

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΚΟ ΚΑΜΠΟ

---

Υπό

Γεώργιου Τσιμέλα

---

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2021

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

## Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής [Δρ. Χρυσή Λασπίδου](#)

(Επιβλέπουσα) [Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Δεύτερος Εξεταστής [Δρ. Δημήτριος Κοφινάς](#)

[Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Τρίτος Εξεταστής [Δρ. Νικόλαος Μέλλιος](#)

[Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

## Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας, Καθηγήτρια Δρ. Λασπίδου Χρυσή, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια της δουλειά μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Κοφινά Δημήτριο για τις πολύτιμες συμβουλές και την στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Οφείλω ευχαριστίες στον Δρ. Νικόλαο Μέλλιο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις του. Ευχαριστώ τους φίλους μου, που με βοήθησαν όποτε τους χρειάστηκα και έκαναν την φοιτητική μου ζωή μια ευχάριστη εμπειρία. Τέλος είμαι πάνω απ' όλα ευγνώμων στην οικογένειά μου, που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε βήμα της ζωής μου.

Τσιμέλας Γεώργιος

Τσιμέλας Γεώργιος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2021

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Χρυσή Λασπίδου, Καθηγήτρια

## Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετάται ο Δεσμός Νερού-Ενέργειας-Τροφής σε αγροτικό συνεταιρισμό του Θεσσαλικού κάμπου. Η διάρθρωση της εργασίας κατανέμεται σε δύο μέρη, στα πρώτα κεφάλαια παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση των πιέσεων που ασκούνται στα συστήματα των πόρων, η φιλοσοφία μιας προσέγγισης Δεσμού, οι προκλήσεις στην εφαρμογή της, οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης που σχετίζονται με την γεωργία ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η μεθοδολογία της προσέγγισης Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής για την περίπτωση μελέτης που εξετάζεται. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στην Ανάλυση κύκλου ζωής, το ενεργειακό, ανθρακικό και υδατικό αποτύπωμα. Παράλληλα εφαρμόστηκαν και εναλλακτικά σενάρια αλλαγής των καλλιεργειών ώστε να αποδειχθεί εάν η καλλιέργεια οσπρίων είναι μια έξυπνη λύση δεσμού.

**Λέξεις κλειδιά:** Δεσμός, νερό, ενέργεια, τροφή, αγροτικός τομέας, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, περιβάλλον

## Abstract

In the context of the present dissertation, the Water-Energy-Food Nexus in an agricultural cooperative of the Thessaly plain is studied. The structure of the work is divided into two parts, the first chapters present the current state of pressures on resource systems, the philosophy of a Nexus approach, the challenges in its implementation, the European Union policies related to agriculture, while the second part presents the methodology of the Water-Energy-Food Link approach for the case study. The methodology followed was based on Life Cycle Analysis, energy, carbon, and water footprint. At the same time, alternative crop change scenarios were implemented to demonstrate whether legume cultivation is a smart nexus solution.

**Key words:** Nexus, Water, Energy, Food, Agriculture, Greenhouse Gas emissions, environment

## Περιεχόμενα

Κατάλογος σχημάτων.....	6
Κατάλογος εικόνων .....	7
Κατάλογος πινάκων .....	8
Εισαγωγή.....	10

Η προσέγγιση Δεσμού.....	10
Οι πιέσεις που δέχονται τα συστήματα πόρων και η αναγκαιότητα της προσέγγισης Δεσμού. ....	11
Οι συνιστώσες του Δεσμού Νερού-Ενέργειας- Τροφής (Water-Energy-Food Nexus) και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. ....	13
Η μοντελοποίηση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής: χαρτογράφηση και ποσοτικοποίηση των διασυνδέσεων.....	24
Προκλήσεις στην Εφαρμογή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής. ....	53
Οι προκλήσεις στον τομέα της έρευνας. ....	53
Η Διαχείριση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής και η Συνεισφορά των ενδιαφερόμενων. ....	54
Η Εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων μέσω της Προσέγγισης του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής.....	56
Πολιτικές και Στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς μία βιώσιμη γεωργία. ....	61
Η Ευρωπαϊκή «Πράσινη» Συμφωνία .....	61
Η Ευρωπαϊκή Στρατηγική «από το αγρόκτημα στο πιάτο» .....	63
Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.).....	65
Συσχέτιση «Πράσινης» Συμφωνίας, Στρατηγικής «από το αγρόκτημα στο πιάτο» και Κοινής Αγροτικής Πολιτικής.....	66
Εφαρμογή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Ενέργειας-Τροφής σε Αγροτικό Συνεταιρισμό στο Θεσσαλικό κάμπο. ....	68
Περιγραφή περίπτωσης μελέτης. ....	69
Υλικά και Μέθοδοι .....	69
Συνιστώσα του Νερού.....	71
Συνιστώσα της Ενέργειας.....	76
Συνεισφορά της συνιστώσας της Ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου .....	87
Συνιστώσα της Τροφής .....	91
Δεσμός Νερού Ενέργειας Τροφής του αγροτικού συνεταιρισμού.....	91
Εφαρμογή σεναρίων .....	95
Συμπεράσματα.....	103
Επίλογος.....	104
Βιβλιογραφία .....	104

## Κατάλογος σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 1. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΙ Η ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ. ....	79
ΣΧΗΜΑ 2. ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ.....	86
ΣΧΗΜΑ 3. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΕΣ ΩΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ. ....	91

ΣΧΗΜΑ 4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ.....	92
ΣΧΗΜΑ 5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΟ ΑΝΑ ΣΤΡΕΜΜΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	93
ΣΧΗΜΑ 6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ.....	93
ΣΧΗΜΑ 7. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΑΝΑ ΣΤΡΕΜΜΑ.....	93
ΣΧΗΜΑ 8. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΣΥΝΕΙΣΦΕΡΟΥΝ ΟΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ.....	94
ΣΧΗΜΑ 9. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΝΑ ΣΤΡΕΜΜΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	95
ΣΧΗΜΑ 10. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 1Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	96
ΣΧΗΜΑ 11. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 1Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	97
ΣΧΗΜΑ 12. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 1Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	97
ΣΧΗΜΑ 13. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕΤΑΞΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	98
ΣΧΗΜΑ 14. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 2Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	99
ΣΧΗΜΑ 15. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 2Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	99
ΣΧΗΜΑ 16. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 2Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	100
ΣΧΗΜΑ 17. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕΤΑΞΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	101
ΣΧΗΜΑ 18. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 3Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	101
ΣΧΗΜΑ 19. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 3Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	102
ΣΧΗΜΑ 20. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟ 3Ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	102
ΣΧΗΜΑ 21. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	103

## Κατάλογος εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1. Ο ΔΕΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ ( <a href="https://www.sim4nexus.eu">HTTPS://WWW.SIM4NEXUS.EU</a> ).	15
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΤΟ ΔΕΝΔΡΟΕΙΔΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΕΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (CHRYSI S. LASPIDOU, 2018).	26
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΚΟΠΙΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΦΥΣΗΣ-ΑΝΘΡΩΠΟΥ (HUANG DAOHAN, 2019).	27
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΒΡΟΓΧΟΙ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ (HUANG DAOHAN, 2019).	32
ΕΙΚΟΝΑ 5. Η ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ NEXUS_SDM (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	33
ΕΙΚΟΝΑ 6. ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ NEXUS_SDM ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	35
ΕΙΚΟΝΑ 7. Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΟΠΩΣ ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΚΕ ΓΙΑ ΤΟ NEXUS_SDM (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	36
ΕΙΚΟΝΑ 8. Η ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ NEXUS_SDM (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	38
ΕΙΚΟΝΑ 9. ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ NEXUS_SDM (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	38
ΕΙΚΟΝΑ 10. Η ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ ΣΤΟ NEXUS_SDM (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	39
ΕΙΚΟΝΑ 11. ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	40
ΕΙΚΟΝΑ 12. Η ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΤΟ NEXUS_SDM. (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	40
ΕΙΚΟΝΑ 13. ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ (CHRYSI LASPIDOU, 2020).	41

EΙΚΟΝΑ 14. Η ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΤΟ NEXUS_SDM (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	41
EΙΚΟΝΑ 15. ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ NEXUS_SDM ΣΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	42
EΙΚΟΝΑ 16. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΑΝΑ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2010 (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	43
EΙΚΟΝΑ 17. ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ, ΤΗΝ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ ΝΕΡΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	44
EΙΚΟΝΑ 18. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ, ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ. ΌΛΑ ΤΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΕΙΝΑΙ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΑ ΣΕ ΜΤΟΕ.	46
EΙΚΟΝΑ 19. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ ΜΕΣΩ ΤΙΣ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	47
EΙΚΟΝΑ 20. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΟΡΔΩΝ ΤΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ-ΚΛΙΜΑΤΟΣ-ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.	49
EΙΚΟΝΑ 21. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΧΟΡΔΩΝ ΔΕΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2030 ΚΑΙ 2050. ΝΑ ΣΗΜΕΙΩΘΕΙ ΠΩΣ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΙΝΑΙ ΟΛΟΙΔΙΟ ΜΕ ΑΥΤΟ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 16 ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΛΟΓΟΥΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	50
EΙΚΟΝΑ 22. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΧΟΡΔΩΝ ΤΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (CHRYSI LASPIDΟΥ, 2020).	52
EΙΚΟΝΑ 23. ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΔΕΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΒΙΩΣΙΜΟΥΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ ΕΠΗΡΕΑΖΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΤΩΝ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΑΜΕΣΑ Η ΕΜΜΕΣΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΕΡΓΕΙΩΝ, ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΚΛΙΜΑΚΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΞΕΠΕΡΝΟΥΝ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΤΟΜΕΩΝ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ, ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΦΗΣ (JIANGUO LIU, 2018).	58
EΙΚΟΝΑ 24. ΟΙ 9 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΚΟΙΝΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.	66
EΙΚΟΝΑ 25. ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΔΕΣΜΟΥ ΝΕΡΟΥ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟΥ "ΘΕΣΓΗ".	70
EΙΚΟΝΑ 26. ΣΥΣΚΕΥΗ ΡΤΟ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ( <a href="https://www.scintex.com.au/products/tractor-pto-generator">HTTPS://WWW.SCINTEX.COM.AU/PRODUCTS/TRACTOR-PTO-GENERATOR</a> ).	77

## Κατάλογος πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΤΩΝ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΩΝ ΣΤΟΧΩΝ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΟΡΩΝ (HOLGER HOFF, 2017)	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΟΙ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΟΙ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΟΙ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΕΣ ΣΕ Μ <sup>3</sup> .	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΕΤΟΠΤΩΣΗΣ (ΜΜ) ΑΠΟ ΤΗΝ Ε.Μ.Υ. ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΕΚΑΗΜΕΡΟ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΚΤΩΒΡΙΟ ΤΟΥ 2019 ΕΩΣ ΤΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2020. ΣΤΗ ΣΤΗΛΗ SUM ΑΝΑΓΡΑΦΕΤΑΙ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΗΣ ΥΕΤΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ.	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΥΕΤΟΠΤΩΣΗ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΣΕ Μ <sup>3</sup> .	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΟΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΟΠΩΣ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΥΕΤΟΠΤΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ, ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΕΣ ΣΕ Μ <sup>3</sup> .	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΑΖΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΟΠΩΣ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΝΕΜΕΣΕΚ ET AL. (2007)	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΘΕ ΥΛΙΚΟΥ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ.	78



ΠΙΝΑΚΑΣ 12. Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ.	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 13. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΙΔΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ (MICHAEL FISCHER, 2009).	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 14. Η ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ DIESEL ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΤΑΙ.	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 15. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΙ Η ΑΛΩΝΙΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 16. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΟΥ ΕΚΦΡΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΩΡΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑ ΕΚΤΑΣΗ (THOMAS NEMECSEK, 2007).	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 17. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 18. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MJ) ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΤΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΙΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 19. ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΕΣ ΣΕ KG/ΣΤΡΕΜΜΑ (HTTPS://WWW.YARA.GR/), (HTTPS://AGROPOST.GR/2021/01/04/SYNTOMOS-ODIGOS-KALLIERGITIKON-ΕΡΕΜ/).	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 20. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΟΥΡΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΣΥΝΕΤΑΙΡΙΣΜΟ, ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΣΥΜ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΤΑΙ Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΟΣ ΣΤΡΕΜΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ (E. AUDSLEY, 2009).	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 22. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΛΟΓΩ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 23. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ 3	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 24. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΥΛΙΚΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ (EDEMILSON J. MANTOAM, 2016).	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 25. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ 3.	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 26. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΛΟΓΩ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΟΥΡΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 27. ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ.	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 28. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 29. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΣΕ ΤΟΝΟΥΣ.	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 30. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΤΟΥ 1ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 31. . ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΤΟΥ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 32. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΤΟΥ 3ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.	98
	101

## Εισαγωγή

Οι πιέσεις που ασκούν η κλιματική κρίση, ο υπερπληθυσμός, η οικονομική ανάπτυξη, η έντονη αστικοποίηση, η αλλαγή του τρόπου ζωής, η ανάπτυξη της τεχνολογίας και οι εφαρμογές διάφορων πολιτικών οδηγούν στην εντατικοποίηση της χρήσης των φυσικών πόρων και οξύνουν το πρόβλημα μεγάλου μέρους του παγκόσμιου πληθυσμού στην πρόσβαση σε ζωτικούς πόρους όπως η ενέργεια, το νερό και η τροφή (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Ερευνητές και θεσμικοί φορείς αναγνωρίζουν, πλέον, πως απαιτείται μία ανεπτυγμένη και ολιστική προσέγγιση για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των πόρων έτσι ώστε να εντοπιστούν τα κοινά κρίσιμα σημεία που απειλούν την ασφάλεια του νερού, της ενέργειας και της τροφής. Η ιδέα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των φυσικών πόρων χρησιμοποιείται εδώ και αρκετό καιρό. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα μεταξύ των διασυνδέσεων και των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στους φυσικούς πόρους δεν είναι πλήρως γνωστή, δημιουργώντας δυσκολίες στην ανάπτυξη και την εφαρμογή της. Συχνά προσπαθώντας να αντιμετωπιστεί ένα πρόβλημα στη διαχείριση ενός πόρου, για παράδειγμα του νερού, παρατηρείται μία ανεπιθύμητη συνέπεια στη διαχείριση άλλων πόρων, όπως της ενέργειας ή της τροφής, το οποίο οφείλεται στην μεταξύ τους συσχέτιση (Chrysi S. Laspidou, 2018).

Μία ολιστική και ολοκληρωμένη μέθοδος διαχείρισης των φυσικών πόρων είναι η προσέγγιση Δεσμού. Η προσέγγιση Δεσμού αποτελεί μια καινοτόμο μέθοδο, η οποία βάζει στο προσκήνιο όλους τους φυσικούς πόρους προς διαχείριση και όχι μόνο έναν κάθε φορά. Εξετάζει τις διασυνδέσεις, τις συνέργειες και τις ανταγωνιστικές σχέσεις που εμφανίζουν οι πόροι μεταξύ τους. Οι Hoff et al. (2019) αναφέρουν πως δεν υπάρχει μοναδικός τρόπος ορισμού και εφαρμογής της προσέγγισης Δεσμού. Η προσέγγιση Δεσμού θεωρείται, σε παγκόσμιο επίπεδο, ως μία διαδικασία που συνδέει τις ιδέες και τις πράξεις όλων των άμεσα ενδιαφερόμενων παραγόντων (stakeholders) που ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς και έχουν ως στόχο την βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, αφού περιγραφεί το θεωρητικό υπόβαθρο του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής, να εφαρμοστεί μια προσέγγιση Δεσμού για την περίπτωση μελέτης αγροτικού συνεταιρισμού στο Θεσσαλικό κάμπο. Παράλληλα γίνεται αναφορά στις πολιτικές και στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης που στοχεύουν σε μια βιώσιμη γεωργία. Μέσω του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής θα αναλυθούν οι κρίσιμες διασυνδέσεις που αναπτύσσονται στη γεωργία μεταξύ του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής.

## Η προσέγγιση Δεσμού

Η ενότητα αυτή αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της Προσέγγισης Δεσμού. Αναλύεται το πλαίσιο των πιέσεων που ασκείται στα διεθνή συστήματα πόρων και ως εκ τούτου η ανάγκη εφαρμογής μιας ολοκληρωμένης και ολιστικής προσέγγισης τους, ο Δεσμός Νερού-Ενέργειας-Τροφής. Ακολουθεί η περιγραφή των συστατικών του Δεσμού και οι

αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Παρατίθενται δύο παραδείγματα εφαρμογής του Δεσμού, όπου γίνεται διεξοδική ανάλυση της χαρτογράφησης και ποσοτικοποίησης των συνιστωσών του σε τοπικό επίπεδο (Huang Daohan, 2019) αλλά και σε εθνικό επίπεδο (Chrysi S. Laspidou, 2020). Στο τέλος αυτής της ενότητας περιγράφονται προκλήσεις που αντιμετωπίζει η εφαρμογή μιας προσέγγισης Δεσμού που σχετίζονται με την έρευνα και την διακυβέρνηση του αλλά και την ολοκληρωμένη εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων (Sustainable Development Goals (SDGs)).

### Οι πιέσεις που δέχονται τα συστήματα πόρων και η αναγκαιότητα της προσέγγισης Δεσμού.

Η σημαντική πρόοδος που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια δεν είχε ως αποτέλεσμα την ίση κοινωνική και οικονομική ευημερία παγκοσμίως. Περίπου το ένα έβδομο του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε υγιεινό και θρεπτικό φαγητό, καθαρό νερό και πηγές ενέργειας. Ταυτόχρονα οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκμεταλλεύονται αλόγιστα τους φυσικούς πόρους σε πολλές περιοχές υποβαθμίζοντας και αλλοιώνοντας τα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα και τις υπηρεσίες που αυτά προσφέρουν (Hoff, 2011).

Μία πρόκληση της διασφάλισης των πόρων είναι και η ραγδαία αύξηση της ζήτησής τους. Η αύξηση του πληθυσμού, η αλλαγή του τρόπου ζωής και των διατροφικών συνήθειων και η έντονη ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας του νερού, της ενέργειας και η επισιτιστική ασφάλεια των πτωχών πληθυσμών αποτελούν ένα σύμπλεγμα πιέσεων στη διαθεσιμότητά τους. Υποστηρίζεται πως αν δεν υπάρξει ριζική αλλαγή στα μοτίβα παραγωγής και κατανάλωσης, η γεωργική παραγωγή θα πρέπει να αυξηθεί έως 70% μέχρι το 2050 και η πρωτογενής ενέργεια μέχρι το 2035 για να καλυφθούν όλες οι ανάγκες. Τέτοια μεγέθη αύξησης θα έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στο νερό και στους χερσαίους πόρους (Hoff, 2011)

Η κλιματική κρίση ενισχύει τον αρνητικό αντίκτυπο στην διαθεσιμότητα των πόρων, καθιστώντας εύαλωτα τα οικοσυστήματα και κατ' επέκταση την ασφάλεια του ανθρώπου. Η χρήση ενεργειακών πόρων και οι αλλαγές χρήσεων γης αποτελούν γενεσιουργά αίτια της κλιματικής απορρύθμισης. Η κλιματική ποικιλότητα εντείνει το πρόβλημα καθώς επιταχύνεται η ξήρανση ξηρών περιοχών, εμφανίζονται ακραία καιρικά φαινόμενα, μειώνονται τα αποθέματα εκμεταλλεύσιμου νερού και ελαττώνεται η αποδοτικότητα της γεωργικής παραγωγής. Η συμβολή του επισιτιστικού κλάδου στην κλιματική απορρύθμιση είναι κρίσιμη. Αποτελεί πηγή του ενός τρίτου των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω της χρήσης ενέργειας, των αλλαγών χρήσεων γης, των εκπομπών μεθανίου από την κτηνοτροφική παραγωγή και των εκπομπών οξειδίων του νατρίου από τα λιπάσματα. Παράλληλα τα μέτρα μείωσης των κλιματικών επιπτώσεων φέρουν στην επιφάνεια νέες ανάγκες ζήτησης στους υδατικούς και χερσαίους πόρους. Η προσέγγιση Δεσμού είναι απαραίτητη ώστε τα μέτρα για τις κλιματικές επιπτώσεις να είναι «υδατικά έξυπνα», τα προσαρμοστικά μέτρα λιγότερο ενεργοβόρα και να μην υπάρξουν αντίκτυποι που θα πλήξουν την διατροφική παραγωγή και άλλες υπηρεσίες οικοσυστημάτων ζωτικής σημασίας (Hoff, 2011).

Ενώ το φαινόμενο της αστικοποίησης εκτυλίσσεται με γρήγορο ρυθμό, ήδη ο μισός πληθυσμός του πλανήτη συγκεντρώνεται στις πόλεις. Αν και δύναται, θεωρητικά, να παρέχονται πιο αποδοτικές υπηρεσίες στα αστικά κέντρα από ότι στις επαρχιακές περιοχές,

εντούτοις η αστική ζωή προωθεί έναν τρόπο ζωής υπερκατανάλωσης των πόρων συγκεντρώνοντας μεγάλο μέρος της κατανάλωσης και παραγωγής απορριμμάτων (Hoff, 2011).

Η παγκοσμιοποίηση, μέσω του εμπορίου και των ξένων επενδύσεων, μπορεί να ωθήσει στην εξέλιξη της τεχνογνωσίας και στη δημιουργία θέσεων εργασίας παρέχοντας ταυτόχρονα πόρους σε περιοχές που παρατηρείται έλλειψη. Η σταδιακή ελευθερία της αγοράς και η εμπορευματοποίηση του αγροτικού τομέα, η αλλαγή των ρόλων του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, ωθούν και υποστηρίζουν τη ραγδαία αύξηση των ξένων ιδιωτικών επενδύσεων. Οι επενδυτές αντιδρούν στην εγχώρια πίεση των πόρων και δέχονται περιορισμούς από μεγάλους γεωργικούς παραγωγούς. Ο αγροτικός τομέας έχει ανάγκη από επενδύσεις, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, για τις καινοτομίες και τα παραγωγικά οφέλη που θα προσφέρουν. Την ίδια στιγμή το τωρινό κύμα επενδύσεων θέτει προκλήσεις στην βιωσιμότητα του ντόπιου πληθυσμού, την πρόσβασή του σε γη, νερό και επισιτιστική ασφάλεια. Για να αποφευχθούν οι παραπάνω προκλήσεις επιτάσσεται η βιωσιμότητα των επενδύσεων μέσω ενός νομοθετικού πλαισίου χωρίς περιορισμούς που θα εξασφαλίζει την ευημερία των διμερών σχέσεων επενδυτή-επενδύμενου. Ο Hoff H. (2011) υποστηρίζει πως όσο πιο συνεκτική μπορεί να γίνει η παγκόσμια οικονομία τόσο πιο έντονη θα είναι η εξαγωγή πόρων σε άλλες περιοχές προκαλώντας την αποσταθεροποίηση της αγοράς. Αν ληφθούν υπόψη οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές εξωτερικότητες θα μπορέσει να υπάρξει ισοκατανομή των οφελών σε διεθνές επίπεδο και διατήρηση του φυσικού κεφαλαίου (Hoff, 2011).

Το σύμπλεγμα των πιέσεων που περιεγράφηκε παραπάνω υποβαθμίζει την ανθεκτικότητα των συστημάτων πόρων με κοινωνικές και περιβαλλοντικές κρίσεις. Τέτοιες πιέσεις οδηγούν τα κοινωνικο-οικολογικά συστήματα σε κρίσιμες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών, λειψυδρία και επισιτιστικές κρίσεις. Κάτω από αυτές τις συνθήκες θα πρέπει να τεθούν μακροχρόνιοι και παγκόσμιοι στόχοι που δεν θα επιδιώκουν μόνο την οικονομική αναβάθμιση αλλά τον βιοπορισμό του παγκόσμιου πληθυσμού και τα αδιαπραγμάτευτα ανθρώπινα δικαιώματα στο νερό και την τροφή (Hoff, 2011).

Η προσέγγιση Δεσμού μπορεί να υποστηρίξει την μετάβαση στη βιωσιμότητα μειώνοντας τις ανταγωνιστικές σχέσεις και αναπαράγοντας επιπλέον οφέλη ικανά να ξεπεράσουν τους αρνητικούς αντίκτυπους που επιφέρει ενδεχόμενη ενσωμάτωση διάφορων τομέων μεταξύ τους. Μέσα από αυτή τη προσέγγιση δίνονται πολλές ευκαιρίες ενσωμάτωσης πρακτικών που δεν αφορούν μόνο το στενό πλαίσιο της διαχείρισης των πόρων αλλά διευρύνονται σε κοινωνικούς και οικονομικούς τομείς.

Η βιώσιμη και αποσυνδεδεμένη από την έντονη χρήση των πόρων οικονομική ανάπτυξη μπορεί να επιτευχθεί με την τεχνολογική καινοτομία, την ανακύκλωση και τη μείωση της παραγωγής απορριμμάτων. Η διατομεακή διαχείριση ενισχύει την συνολική αποδοτικότητα της χρήσης των πόρων. Συγκεκριμένα ένα σύστημα πολλαπλών χρήσεων αξιοποιεί τα απόβλητα και άλλα παραπροϊόντα ως πόρους για την παραγωγή άλλων προϊόντων και υπηρεσιών, όπως η «πράσινη» γεωργία και η παραγωγή ενέργειας από τα λύματα. Ο Δεσμός εστιάζει στην αποδοτικότητα ενός συστήματος και όχι σε ένα σύνολο από απομονωμένους τομείς. Ο κλάδος της οικονομίας κατέχει σημαντική θέση στην αποδοτικότητα της χρήσης

συστημάτων πόρων, καθώς οι καινοτομίες που θα επιτύχουν αυτό το στόχο βασίζονται στις επενδύσεις και τις μειωμένες οικονομικές στρεβλώσεις. Οικονομικά μέσα για την τόνωση των επενδύσεων αποτελούν η τιμολόγηση των πόρων και των υπηρεσιών του οικοσυστήματος, ένα θεσμικό πλαίσιο που θα ορίζει τα δικαιώματα της αγοράς του νερού και του εμπορίου. Η προσέγγιση δεσμού μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή επενδύσεων οι οποίες προωθούν την ανάπτυξη μέσα από μη βιώσιμες λύσεις (Hoff, 2011). Ένα οργανωμένο κανονιστικό πλαίσιο και η συλλογική δράση μπορούν να καθοδηγήσουν τις επενδύσεις και τις τεχνολογικές καινοτομίες για τη βιώσιμη χρήση των πόρων σε μία κατεύθυνση ελαχιστοποίησης των αρνητικών εξωτερικοτήτων και ισοκατανομής των απολαβών. Οι συνθήκες που θα επιτρέψουν την λήψη πολιτικών αποφάσεων για την πορεία των συγκεκριμένων επενδύσεων με βάση τον Hoff H.(2011), απαιτούν ένα ισχυρό θεσμικό δυναμικό, πολιτική πρόθεση, αλλαγή της πολιτικής ατζέντας και ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης, ενώ επιπλέον οφέλη θα αποκτηθούν εάν γίνει προσέγγιση δεσμού σε όλες τις κλίμακες.

Η βελτιωμένη διαχείριση των οικοσυστημάτων και η επένδυση στο φυσικό κεφάλαιο ενδυναμώνει μια σειρά από υπηρεσίες οικοσυστημάτων. Φυσικές υποδομές μπορούν να ενσωματώσουν τις κατασκευές μέσα στα οικοσυστήματα με τρόπο που να ευνοούν τα οφέλη των οικοσυστημικών υπηρεσιών. Η πράσινη γεωργία ή η στροφή σε «αγρο-οικοσυστήματα» μπορούν να προσφέρουν επιπλέον πλεονεκτήματα, όπως η δέσμευση άνθρακα και αντοχή σε κλιματικές κρίσεις και η βελτίωση της επισιτιστικής ασφάλειας (Hoff, 2011).

Ο Hoff H,(2011) δηλώνει πως η κοινωνική ευαισθητοποίηση πάνω σε θέματα που αφορούν την αλληλεπίδραση των συνιστωσών της προσέγγισης δεσμού και των παραγόντων που τις επηρεάζουν, μπορούν να προωθήσουν βιώσιμους τρόπους ζωής και καταναλωτικά μοτίβα. Νέες και καινοτόμες διεπιστημονικές έρευνες της προσέγγισης δεσμού, βαθιά κατανόηση της αλληλεπίδρασης του νερού, της ενέργειας και της τροφής δίνουν τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των ανταγωνιστικών σχέσεων που αναπτύσσονται στους δεσμούς.

### Οι συνιστώσες του Δεσμού Νερού-Ενέργειας- Τροφής (Water-Energy-Food Nexus) και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις.

Ο ορισμός των συνιστωσών του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής αποκαλύπτει όλα αυτά τα στοιχεία που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την ανάλυση και θέτει το πλαίσιο πάνω στο οποίο θα αναπτυχθεί η ανάλυση (Chrysi S. Laspidou, 2018). Το νερό, η τροφή και η ενέργεια είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους πόροι. Οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσά τους είναι πολυάριθμες και ουσιαστικές (El-Gafy, 2017).

Το Νερό καταλαμβάνει κεντρικό ρόλο στον Δεσμό Νερού- Ενέργειας-Τροφής όπως υποδηλώνεται μέσα από εκφράσεις «η ροή του νερού αποτελεί τις φλέβες της οικονομίας» ή πως το νερό παραλληλίζεται ως η ροή αίματος της βιόσφαιρας όπως αναφέρει ο Hoff H.(2011). Το νερό είναι ανανεώσιμος πόρος, ο οποίος μπορεί να καλύψει τις υδατικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού. Η αύξηση όμως της ζήτησης για την κάλυψη αναγκών ενός αυξανόμενου πληθυσμού είναι που το καθιστά μη διαθέσιμο. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί σε περιοχές της Ινδίας, της Κίνας, της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής (Hoff, 2011).

Οι Laspidou et al.(2018) δίνουν έναν σύνθετο ορισμό για την συνιστώσα του Νερού. Ορίζουν το νερό ως ένα σύστημα που αποτελείται από τον υδρολογικό κύκλο, έναν βιότοπο για διάφορα είδη, υδάτινο οικοσύστημα με χαρακτηριστικά όπως την απορροή, την στάθμη, την μορφολογία του υδάτινου σώματος, μοτίβα υετού και εξατμισοδιαπνοής, χημική και οικολογική ποιότητα και την υδατική βιοποικιλότητα. Ταυτόχρονα ορίζεται και ως φυσικός πόρος, που περιλαμβάνει όλες τις χρήσεις του νερού για τις ανθρώπινες ανάγκες, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Η ποσότητα και ποιότητα του νερού συνδέεται με την ανθρώπινη χρήση άμεσα μέσω των μεθόδων για τη διαχείριση του νερού και έμμεσα ως παρενέργεια από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το νερό ορίζεται και ως γεωγραφικό στοιχείο, αφού περιλαμβάνει κανάλια, ποτάμια, καθώς και μεγάλες επιφάνειες/περιοχές που μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους και έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τις μεταφορές και άλλες δραστηριότητες.

Η Ενέργεια αποτελεί έναν κοινωνικο-οικονομικό τομέα. Στην προσέγγιση Δεσμού η Ενέργεια μεταφράζεται ως η παραγωγή ενέργειας, η κατανάλωση ενέργειας και οι διάφορες μορφές ενέργειας ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση (Chrysi S. Laspidou, 2018). Μέσα από το γενικό πλαίσιο προώθησης της Πράσινης Οικονομίας η συνολική παραγωγή ενέργειας θα πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Αυτή τη στιγμή ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής ενέργειας προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές, κυρίως ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο θεωρείται πως η μεταστροφή από τις μη ανανεώσιμες στις ανανεώσιμες πηγές θα αυξηθεί σημαντικά. Η μετάβαση αυτή δεν εξαρτάται μόνο από την προσφορά της ενέργειας αλλά και από την διαχείριση της ζήτησης. Από τον ορισμό τους, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν να εξαντληθούν ούτε να εκμεταλλευθούν σε βαθμό που να επηρεάσει την διαθεσιμότητά τους. Αντίθετα μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις σε άλλες συνιστώσες του Δεσμού. Για παράδειγμα τα βιοκαύσιμα και έως ένα βαθμό και η υδροηλεκτρική ενέργεια απαιτούν περισσότερη κατανάλωση νερού για την παραγωγή μιας μονάδας ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα (Hoff, 2011).

Η Τροφή, όπως και η Ενέργεια, αποτελεί εξορισμού έναν κοινωνικο-οικονομικό τομέα. Στην προσέγγιση Δεσμού η συνιστώσα της τροφής περιλαμβάνει την παραγωγή φαγητού, τόσο την πρωτογενή όσο και τη δευτερογενή, και την κατανάλωση φαγητού. Τα επιμέρους τμήματα αυτού του τομέα συνδέονται μεταξύ τους μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας, το εμπόριο, την αγορά (Chrysi S. Laspidou, 2018). Η «Πράσινη Επανάσταση» συνέβαλε στην συνεχή αύξηση του ρυθμού παραγωγής φαγητού τις τελευταίες δεκαετίες. Η αυξανόμενη ζήτηση φαγητού οδήγησε στην εντατικοποίηση της γεωργίας με αποτέλεσμα είτε να αυξάνονται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις αποψιλώνοντας δασικές περιοχές, είτε μέσω υδροβόρων καλλιεργειών στις υφιστάμενες εκτάσεις οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων (Hoff, 2011).

Ο Δεσμός Νερού-Ενέργειας-Τροφής αποτελεί ένα «τρίγωνο» που αποσαφηνίζει ότι η επισιτιστική ασφάλεια απαιτεί αφθονία πόρων. Η επισιτιστική αλυσίδα μέσω των διάφορων σταδίων της αποδεικνύεται πως αποτελεί σημαντικό καταναλωτή νερού και ενέργειας. Η γεωργία απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού, ενώ η μεταφορά, η άντληση και η επεξεργασία του νερού είναι δραστηριότητες αρκετά ενεργοβόρες, δημιουργώντας έναν άμεσο σύνδεσμο με την κατανάλωση ενέργειας. Η γεωργία, η μεταποίηση και η κατανάλωση τροφής αποτελούν ρυπαντές του νερού, έχοντας ως αποτέλεσμα την κατανάλωση μεγάλων

ποσοτήτων ενέργειας για την επεξεργασία του νερού. Τα λιπάσματα και τα παρασιτοκτόνα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα ευτροφισμού στους επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες και να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού των υπόγειων υδροφορέων. Τα αποτελέσματα αυτά επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή φαγητού καθώς ρυπασμένα υδάτινα συστήματα είναι ακατάλληλα για άρδευση, λόγω της αυξημένης αλατότητας ή ακόμα και τοξικότητας. Η χρήση των απορριμμάτων φαγητού για παραγωγή ενέργειας και η εκμετάλλευση των τακτικών λίπανσης, αποτελούν καλές πρακτικές ώστε να περιοριστεί η έντονη εκμετάλλευση των υδατικών και ενεργειακών πόρων.

Τα τρία συστατικά του Δεσμού, το Νερό, η Ενέργεια και η Τροφή σχετίζονται το ένα με το άλλο μέσω άμεσων και έμμεσων διασυνδέσεων. Ως άμεση διασύνδεση δύο συστατικών (π.χ. του Νερού και της Ενέργειας) θεωρείται το αποτέλεσμα που προκαλείται στην κατάσταση ενός συστατικού (π.χ. Ενέργεια) από την αλλαγή της κατάστασης ενός άλλου συστατικού (π.χ. Νερού) έχοντας ως δεδομένο ότι η κατάσταση του τρίτου συστατικού μένει αμετάβλητη και δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα (π.χ. Τροφή). Για παράδειγμα, μια αλλαγή στη συνιστώσα του Νερού ( $\Delta W$ ), όπως η διαθεσιμότητα καθαρού νερού, θα προκαλέσει αλλαγή στην κατάσταση της ενέργειας ( $\Delta E$ ), περιορίζοντας την διαθεσιμότητα νερού για ψύξη και πιθανώς προκαλέσει συσκοτίσεις. Αυτός είναι ένας από τους πολλούς τρόπους, όπου η αλλαγή της κατάστασης του Νερού μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην Ενέργεια. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως άμεση διασύνδεση Νερού-Ενέργειας και συμβολίζεται ως  $W \rightarrow E$ , η απλά ως WE. Ο συμβολισμός αυτός περιλαμβάνει όλους τους τρόπους όπου μια αλλαγή στο Νερό μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην Ενέργεια. Αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί πως κάθε άμεση διασύνδεση είναι μοναδική και η διασύνδεση της αντίθετης κατεύθυνσης είναι διαφορετική, δηλαδή  $WE \neq EW$  (Chrysi S. Lapidou, 2018).



Εικόνα 1. Ο Δεσμός Νερού-Ενέργειας-Τροφής (<https://www.sim4nexus.eu>).

Οι διασυνδέσεις μεταξύ Ενέργειας και Νερού διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, βάσει της επιστημονικής απογραφής στον ιστότοπο του SIM4NEXUS. Η πρώτη κατηγορία

περιλαμβάνει την ποσότητα του νερού που απαιτείται στον κύκλο ζωής των καυσίμων, δηλαδή την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων, την παραγωγή συμβατικών καυσίμων και την καλλιέργεια βιοκαυσίμων. Η δεύτερη κατηγορία σχετίζεται με την χρήση του νερού στις μεταφορές και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο κύκλος των καυσίμων απαιτεί την χρήση νερού τόσο κατά την εξαγωγή των ορυκτών καυσίμων τόσο και κατά τις διαδικασίες επεξεργασίας τους. Η χρήση του νερού σχετίζεται με την κατηγορία του ορυκτού καυσίμου, για παράδειγμα αν το καύσιμο είναι πετρέλαιο, άνθρακας ή αέριο, αλλά και με τις διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την εξόρυξη ή την παραγωγή τους. Η υπόγεια εξόρυξη είναι αρκετά υδροβόρα, ενώ η εξόρυξη σχιστολιθικού αερίου απαιτεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού από την άντληση του συμβατικού αερίου. Άξιο αναφοράς είναι και η επεξεργασία των λυμάτων των παραπάνω διεργασιών, καθώς η διάθεσή τους στο περιβάλλον έχει σοβαρές επιπτώσεις. Οι δευτερογενείς και τριτογενείς τεχνικές ανάκτησης καταναλώνουν αρκετό όγκο νερού ενώ παράλληλα είναι οικονομικά απαιτητικές. Όσον αφορά τις απαιτήσεις των διεργασιών επεξεργασίας ορυκτών καυσίμων σε νερό, αυτές εξαρτώνται από τον τύπο του καυσίμου, τα παραπροϊόντα που παράγονται και τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται. Σε περίπτωση εισαγωγής ορυκτών καυσίμων δεν παρατηρείται κάποια άμεση συνέπεια στους υδατικούς πόρους της εισαγόμενης χώρας, αλλά ίσως οι επιπτώσεις της παραγωγής καυσίμων στη χώρα εξαγωγής επηρεάσει την χρηματική τους αξία (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η παραγωγή βιοκαυσίμων αποτελεί έναν σημαντικό καταναλωτή νερού, καθώς συχνά απαιτείται η άρδευσή τους. Η ποσότητα του νερού εξαρτάται από τον τύπο της καλλιέργειας, τις πρακτικές που εφαρμόζονται, το μικροκλίμα της περιοχής, την γεωγραφία της περιοχής αλλά και τον τύπο του εδάφους. Η δεύτερη γενιά βιοκαυσίμων χρειάζεται λιγότερη κατανάλωση νερού, διότι οι πρώτες ύλες ( αστικά λύματα, άλγη, υπολείμματα ξύλου από δασικές εκτάσεις, χλόες) δεν έχουν πρωταρχικό ρόλο την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η παραγωγή τους έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι ελαττώνονται οι ανταγωνιστικές σχέσεις με την παραγωγή τροφής, καθώς δεν απαιτείται χρήση γης για την παραγωγή τους (<https://www.sim4nexus.eu>).

Στη δεύτερη κατηγορία, όπου το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας, η ποσότητά του είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τεχνολογία για την παραγωγή ενέργειας. Διακρίνονται δύο υποκατηγορίες που αφορούν την χρήση του νερού για την παραγωγή ηλεκτρισμού και την χρήση του νερού στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Η κατανάλωση νερού για την λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών σχετίζεται με πολλούς παράγοντες όπως η μορφολογία του υδάτινου σώματος, το μικροκλίμα της περιοχής, την τοποθεσία του σταθμού, τα χαρακτηριστικά της ροής και τις εποχικές διακυμάνσεις, το μέγεθος και τον τύπο του υδροηλεκτρικού σταθμού, και την ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια (<https://www.sim4nexus.eu>).

Μία πρώτη σκέψη μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα πως η κατανάλωση νερού στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς δεν υφίσταται, καθώς η λειτουργία τους βασίζεται στη ροή του νερού που εισέρχεται σε τουρμπίνες. Οι απώλειες νερού ωστόσο υπάρχουν και εξαρτώνται από τον τύπο του σταθμού. Σε σταθμούς όπου παράγεται ηλεκτρισμός μέσω της ροής ενός ποταμού, τότε δεν υπάρχουν απώλειες, ενώ σε εκείνους που χρησιμοποιούν την πτώση



στάθμης μιας λίμνης, οι απώλειες νερού οφείλονται στην εξάτμιση της επιφάνειας της λίμνης (<https://www.sim4nexus.eu>).

Οι χρήσεις νερού στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς σχετίζονται με τις ανάγκες της μονάδας για ψύξη. Η ανάληψη και η κατανάλωση νερού εξαρτώνται από το καύσιμο που χρησιμοποιείται, τον κύκλο και την κατηγορία της τεχνολογίας ψύξης. Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί συνήθως διαθέτουν ένα συνδυασμό συστημάτων ψύξης και συχνά η ψύξη ενός περάσματος συνοδεύεται με την ύπαρξη ενός πύργου εξάτμισης, ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του ψυκτικού νερού που θα καταλήξει στον αποδέκτη. Τα ψυκτικά συστήματα ομαδοποιούνται σε δύο κλάσεις, η πρώτη είναι η υγρή ή εξατμιστική, αν το νερό χρησιμοποιείται για ψύξη και η δεύτερη είναι η ξηρή ψύξη, όπου για την ψύξη χρησιμοποιείται αέρας. Οι πιο συχνές μέθοδοι ψύξης είναι η ψύξη ενός περάσματος, η ψύξη ενός περάσματος με πύργο εξάτμισης, κλειστός βρόγχος κυκλικής ψύξης, ξηρή ψύξη και η υβριδική ψύξη που αποτελεί συνδυασμό υγρής και ξηρής ψύξης (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η ψύξη ενός περάσματος αντλεί το νερό από μια λίμνη ή ένα ποτάμι έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί μέσα στον ψυκτήρα. Η ποσότητα που αντλήθηκε επιστρέφει στο αρχικό υδάτινο σώμα, ωστόσο επηρεάζει προσωρινά τον βαθμό εξάτμισης του. Αυτά τα συστήματα ψύξης είναι επιρρεπή στις θερμοκρασιακές μεταβολές (<https://www.sim4nexus.eu>).

Στα συστήματα που εφαρμόζουν ψύξη ενός περάσματος και διαθέτουν πύργους εξάτμισης το νερό που αντλείται από το υδάτινο σώμα χρησιμοποιείται αρκετές φορές. Η θερμότητα που μεταφέρεται λόγω της ψύξης στο νερό διαχέεται στην ατμόσφαιρα με την μορφή υδρατμών μέσω του πύργου εξάτμισης. Μπορεί η ποσότητα νερού να είναι μικρότερη σε σχέση με την ψύξη ενός περάσματος, αλλά μεγάλο μέρος αυτής της ποσότητας δεν επιστρέφει στο υδάτινο σώμα (<https://www.sim4nexus.eu>).

Στα κλειστά συστήματα ψύξης, το νερό που θερμαίνεται στον συμπυκνωτή οδηγείται σε ένα πύργο ψύξης και προωθείται ξανά στον συμπυκνωτή. Αυτό το σύστημα απαιτεί λιγότερη κατανάλωση νερού από το αντίστοιχο σύστημα ανοιχτού τύπου ψύξης (<https://www.sim4nexus.eu>).

Στην ξηρή ψύξη το νερό αντικαθίσταται από αέρα, που χρησιμοποιείται για την ψύξη των ατμών κατά την λειτουργία του σταθμού μέσω ενός συστημάτων εξαερισμού. Η μέθοδος αυτή μειώνει την κατανάλωση νερού κατά 90%. Τα μειονεκτήματα της αφορούν το κόστος της και την σχετικά χαμηλή ικανότητα ψύξης, που απαιτεί μεγαλύτερα πόσα ενέργειας για να συμβαδίσει με την αποδοτικότητα των παραπάνω μεθόδων. Η ξηρή ψύξη προτείνεται για θερμοηλεκτρικούς σταθμούς μικρού μεγέθους που λειτουργούν με φυσικό αέριο (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η τεχνολογία της υβριδικής ψύξης απορρέει από τον συνδυασμό της υγρής και ξηρής ψύξης. Κύριος στόχος της είναι να παρέχει στον συμπυκνωτή του σταθμού την κατάλληλη θερμοκρασία ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται στις εποχικές διακυμάνσεις της περιβάλλουσας θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας με τον βέλτιστο τρόπο (<https://www.sim4nexus.eu>).

Σημαντική είναι η ποσότητα νερού που καταναλώνεται για την λειτουργία μη υδροηλεκτρικών ανανεώσιμων τεχνολογιών που εφαρμόζονται σε μονάδες παραγωγής

θερμότητας μέσω της γεωθερμίας και της ηλιακής ενέργειας. Η κατανάλωση νερού για την ψύξη τέτοιων μονάδων κυμαίνεται στα ίδια μεγέθη με τις καταναλώσεις νερού σε μονάδες που λειτουργούν με άνθρακα και πυρηνικά, με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούν τα ίδια συστήματα ψύξης. Συνήθως μονάδες τέτοιας κατηγορίας συναντώνται σε άνυδρες περιοχές όπου είναι έντονη η ηλιακή ακτινοβολία. Μειωμένη κατανάλωση νερού παρατηρείται αν εφαρμοστεί η μέθοδος της ξηρής ή της υβριδικής ψύξης, ωστόσο οδηγεί σε υψηλά επιχειρηματικά κόστη (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η χρήση νερού από γεωθερμικούς σταθμούς είναι πολυπαραγοντική και εξαρτάται από το μέγεθος του σταθμού, την θερμοκρασία λειτουργίας, και τα διαθέσιμα γεωθερμικά ύδατα. Η ανάλυση της χρήσης και κατανάλωσης νερού για γεωθερμία είναι περίπλοκη όταν η ίδια ποσότητα νερού χαρακτηρίζεται ως υδατικός πόρος. Η κατανάλωση νερού αυξάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό εάν εφαρμοστεί η υγρή ψύξη, ενώ η εφαρμογή της ξηρής ή της υβριδικής ψύξης είναι μια πιο φιλική λύση ως προς την κατανάλωση νερού αλλά οικονομικά δυσχερής (<https://www.sim4nexus.eu>).

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και οι ανεμογενείς πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχουν σχεδόν πάντα μηδενική κατανάλωση νερού. Ελάχιστες ποσότητες νερού ίσως απαιτούνται για τον καθαρισμό και την συντήρησή τους. Ωστόσο η κατασκευή φωτοβολταϊκών είναι αρκετά υδροβόρα, αφού απαιτούνται 0,5 m<sup>3</sup>/MWh μέγεθος πολύ μεγαλύτερο από οποιαδήποτε παραγωγή ορυκτού καυσίμου. Οι ανεμογενείς πηγές ηλεκτρισμού δεν παρουσιάζουν κατανάλωση νερού (<https://www.sim4nexus.eu>).

Το νερό και η ενέργεια συνδέονται μεταξύ τους αναπτύσσοντας σχέσεις εξάρτησης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο τομέας της ενέργειας απαιτεί την χρήση των υδατικών πόρων για όλες τις φάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από την φάση εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων μέχρι και την κατασκευή μονάδας παραγωγής. Στην πλειονότητά τους τα συστήματα ενέργειας παγκοσμίως εξαρτώνται από τους υδατικούς πόρους, αλλά ο τρόπος κατανάλωσής τους δεν σχεδιάζεται αλλά ούτε λειτουργεί με βιώσιμο τρόπο. Στον αντίποδα όλα τα υδατικά συστήματα βασίζονται στην ενέργεια για την λειτουργία τους, από το στάδιο της υδρομάστευσης μέχρι και το στάδιο διάθεσής τους στο περιβάλλον. Μία σημαντική διασύνδεση είναι η χρήση ενέργειας για δραστηριότητες που σχετίζονται με το νερό όπως η πλύση και η θέρμανσή του. Οι διασυνδέσεις του Νερού με την Ενέργεια ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες, ενέργεια για την λειτουργία των υδάτινων συστημάτων, ενέργεια για την χρήση νερού και ο αντίκτυπος της ενέργειας στα υδατικά συστήματα (<https://www.sim4nexus.eu>).

Για την άντληση νερού, συμπεριλαμβανομένων της εξαγωγής και διανομής νερού, απαιτείται ενέργεια, κυρίως ηλεκτρική. Οι ανάγκες σε ενέργεια εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες. Τα ποσά ενέργειας που θα καταναλωθούν είναι συνυφασμένα με την προέλευση των υδατικών πόρων (επιφανειακοί, υπόγειοι). Έναν εξίσου σημαντικό παράγοντα αποτελεί και η διαθεσιμότητα των πόρων, παραδείγματος χάριν το βάθος του υπόγειου υδροφορέα. Η απόσταση των υδατικών πόρων από τον χώρο αξιοποίησής τους, αλλά και η τοπογραφία της περιοχής μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση. Η τεχνολογία για την παροχή νερού (αγωγοί, κανάλια, δεξαμενές) μπορεί να συμβάλει στην αποδοτική χρήση ενέργειας. Οι δραστηριότητες του καταναλωτή νερού παίζουν καταλυτικό ρόλο τόσο στην ποσότητα του νερού όσο και στην ενέργεια που θα αξιοποιηθεί, καθώς τα προφίλ

κατανάλωσης μπορεί να οδηγούν σε μεγάλες ποσότητες άντλησης και συνεπώς σε αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια. Στον τομέα της γεωργίας, αν το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση προέρχεται από επιφανειακό υδροφόρο απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την υδροληψία του σε σχέση με την ενέργεια που θα απαιτούνταν κατά την άντλησή του από υπόγειο υδροφόρο. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις επιλογές των μεθόδων άρδευσης στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η άρδευση με ψεκαστήρες καταναλώνει σχεδόν διπλάσια ενέργεια για την μεταφορά νερού σε σύγκριση με την επιφανειακή άρδευση, ενώ η άρδευση με την μέθοδο της τεχνητής βροχής καταναλώνει την διπλάσια ενέργεια από αυτή της μεθόδου με ψεκαστήρες (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η επεξεργασία του νερού είναι μία διαδικασία που απαιτεί τη χρήση ενέργειας. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μετά την εξαγωγή νερού και πριν τη διανομή του. Η επεξεργασία του νερού εξαρτάται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του. Η βελτίωση της ποιότητας του νερού στην πηγή μέσω της διαχείρισης ανάντη της λεκάνης απορροής μπορεί να μειώσει τόσο το κόστος λειτουργίας όσο και την ποσότητα των ενεργειακών αποθεμάτων (<https://www.sim4nexus.eu>).

Οι απαιτήσεις ενέργειας ποικίλουν ανάλογα τον σταθμό επεξεργασίας λυμάτων. Η εφαρμογή περιβαλλοντικών κανονισμών συνήθως εντατικοποιεί την χρήση ενεργειακών πόρων για την επεξεργασία λυμάτων. Ωστόσο μπορεί να παραχθεί ενέργεια μέσω των διεργασιών που εκτελούνται στις μονάδες μέσω της χρήσης ιλύος που αποτελεί προϊόν αυτών των διεργασιών, μειώνοντας έτσι το κόστος της ενέργειας. Η ιλύς, κατά την ξήρασή της, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες θερμικές λειτουργίες όπως καύση και η πυρόλυση, ενώ μπορεί να αποτελεί και πρώτη ύλη σε μονάδες αεριοποίησης. Η αναερόβια πέψη της ιλύος παράγει βιοαέριο που κατ' επέκταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και βιοκαυσίμων (<https://www.sim4nexus.eu>).

Στις μη συμβατικές μεθόδους πόσιμου νερού συμπεριλαμβάνονται η αφαλάτωση και η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Για να ανταποκριθούν οι μέθοδοι αυτές στα πρότυπα ποιότητας υδάτων, η κατανάλωση ενέργειας για την εφαρμογή τους είναι πολύ πιο υψηλή από τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας των συνηθισμένων εφαρμογών παροχής πόσιμου νερού. Το νερό που παράγεται από αυτές τις διεργασίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον εμπλουτισμό υδροφορέων. Η αφαλάτωση αποτελεί την κατ' εξοχήν ενεργοβόρα και οικονομικά ακριβή μέθοδο για την παραγωγή πόσιμου νερού. Συνίσταται κυρίως σε περιοχές με φαινόμενα λειψυδρίας και σε περιοχές με μεγάλη απόσταση από τα σημεία υδρομάστευσης, όπως περιοχές, της Μέσης Ανατολής και της Αυστραλίας (<https://www.sim4nexus.eu>).

Στην επιστημονική απογραφή του SIM4NEXUS, αναφέρεται πως η τελική χρήση στον κύκλο νερού-ενέργειας είναι το πιο ενεργοβόρο στάδιο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανθρώπινη χρήση και τα καταναλωτικά πρότυπα, και ο αντίκτυπος διαφαίνεται στην υψηλή ζήτηση ζεστού νερού στα νοικοκυριά. Υποστηρίζεται ότι η εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να εστιαστεί στην κατανάλωση του νερού στο στάδιο της τελικής χρήσης του.

Η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών στη γεωργία έχει άμεση συνέπεια την αλληλεπίδραση του τομέα της Ενέργειας με τον τομέα της Τροφής. Η ανάγκη για μη συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές οδήγησε στην καλλιέργεια εναλλακτικών

καλλιιεργειών. Πλέον η γεωργία συμβάλλει στην παραγωγή τόσο της τροφής όσο και των πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η αλλαγή των χρήσεων γης για καλλιέργεια δημιούργησε ανταγωνιστικές σχέσεις μεταξύ Ενέργειας και Τροφής.

Τα βιοκαύσιμα παράγουν μικρότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Παράλληλα αξιοποιούν εκτάσεις οι οποίες δυνητικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τροφής, ενώ θεωρείται ότι πολύ σύντομα θα αντικατασταθούν ως καύσιμο από τεχνολογίες που χρησιμοποιούν μπαταρίες, ενώ απαιτούν και μεγάλες ποσότητες αρδευόμενου νερού. Αν υπάρξει τάση μείωσης της παραγωγής βιοκαυσίμων θα εξαρτηθεί άμεσα από τις πολιτικές που θα εφαρμοστούν και την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι ανταγωνιστικές σχέσεις μεταξύ παραγωγής βιοκαυσίμων και καλλιιεργειών για τροφή θα ορίσουν και το ποσοστό παραγωγής τους. Αν η παραγωγή βιοκαυσίμων εστιάσει στην αξιοποίηση παραπροϊόντων, όπως απόβλητα των διεργασιών της γεωργίας και άγλη θα οδηγήσει σε έναν πιο αποδοτικό κύκλο παραγωγής ενέργειας που θα μειώσει τις προαναφερθείσες ανταγωνιστικές σχέσεις (<https://www.sim4nexus.eu>).

Μία σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ της συνιστώσας της Ενέργειας και της συνιστώσας της Τροφής είναι η ενέργεια που καταναλίσκεται για την άντληση ή την αφαλάτωση του νερού για άρδευση. Η αύξηση της έκτασης για γεωργία συνεπάγεται και την αύξηση ενέργειας τόσο για την άντληση νερού από επιφανειακούς και υπόγειους υδροφορείς όσο και την μεταφορά νερού σε απομακρυσμένες περιοχές για καλλιέργεια. Η αφαλάτωση είναι μία άλλη πρακτική χρήσης του νερού για άρδευση που βρίσκει πρόσφορο έδαφος σε αναπτυγμένα κράτη της Μέσης Ανατολής. Η μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο νερό είναι μια διαδικασία που απαιτεί την κατανάλωση ιλιγγιώδους ποσού ενέργειας και όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή φαγητού οδηγεί σε μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας (<https://www.sim4nexus.eu>).

Υπάρχει μεγάλο βαθμού εξάρτηση μεταξύ Τροφής και Ενέργειας, καθώς ο τομέας παραγωγής φαγητού στηρίζεται κυρίως στη χρήση ορυκτών καυσίμων. Ο τομέας της τροφής αποτελεί σημαντικό καταναλωτή της παγκόσμιας ενέργειας σε ποσοστό 30%, ενώ είναι υπεύθυνος για την παραγωγή του 20% των αερίων του θερμοκηπίου σε διεθνή κλίμακα. Τα νέα διατροφικά πρότυπα απαιτούν την αυξημένη κατεργασία των προϊόντων συνεπάγοντας με αυτό τον τρόπο στην κατανάλωση περισσότερης ενέργειας στην μεταφορά τους στις βιομηχανίες αλλά και στις διαδικασίες επεξεργασίας τους εντός των βιομηχανιών. Μεγάλο μέρος της ποσότητας φαγητού που παράγεται δεν καταναλώνεται, οδηγώντας σε σπατάλη ενέργειας. Ωστόσο το φαγητό που σπαταλιέται μπορεί να συνδράμει στην παραγωγή ενέργειας ως πρώτη ύλη σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αναερόβια πέψη για την παραγωγή ενέργειας. Συγκεκριμένα η αναερόβια αποσύνθεση του φαγητού μπορεί να παράξει μεθάνιο, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Υπολείμματα φαγητού της αναερόβιας πέψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως λιπάσματα. Άλλα παραπροϊόντα αυτής της διεργασίας μεγάλης περιεκτικότητας σε λάδι και υδρογονάνθρακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή βιοντίζελ και αιθανόλης αντίστοιχα (<https://www.sim4nexus.eu>).

Τα διατροφικά πρότυπα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξάρτηση της επισιτιστικής αλυσίδας από την ενεργειακή κατανάλωση. Η ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου μεγάλου μέρους του πλανήτη ώθησε τους ανθρώπους στην υιοθέτηση διατροφικών συνηθειών της

«Δύσης», που περιλαμβάνει μεγάλες ποσότητες κρέατος και ψαρικών, εγκαταλείποντας την τοπική κουζίνα. Προϊόντα αυτής της διατροφής υφίστανται αρκετή επεξεργασία μέχρι να φτάσουν στο στάδιο της κατανάλωσης. Αύξηση της διεργασίας προϊόντων οξύνει τις απαιτήσεις σε ενέργεια τόσο κατά το στάδιο της μεταφοράς αγαθών στις βιομηχανίες αλλά και στις λειτουργίες της ίδιας της βιομηχανίας (<https://www.sim4nexus.eu>).

Ένας σημαντικός παράγοντας στη διασύνδεση Τροφής-Ενέργειας είναι τα απορρίμματα φαγητού. Επισημαίνεται πως το ένα τρίτο της ενέργειας για την παραγωγή τροφής σπαταλιέται καθώς μεγάλη ποσότητα τροφής δεν καταναλώνεται. Οι απώλειες φαγητού και κατ' επέκταση η σπατάλη ενέργειας παρατηρούνται σε διαφορετικά στάδια της επισιτιστικής αλυσίδας αναλογικά με το Α.Ε.Π.. Χώρες με υψηλό Α.Ε.Π. εμφανίζουν απώλειες φαγητού στα στάδια του λιανεμπορίου, της προετοιμασίας και παρασκευής φαγητού αλλά και κατανάλωσής του, ενώ αντίθετα σε χώρες με χαμηλό Α.Ε.Π. απώλειες φαγητού παρουσιάζονται κατά την συγκομιδή και αποθήκευση του φαγητού.

Το 18% της ποσότητας μεθανίου που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται από την αναερόβια αποσύνθεση των υπολειμμάτων τροφής στους χώρους υγειονομικής ταφής. Πολιτικές έχουν εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια για τον περιορισμό της ροής απορριμμάτων, που σχετίζονται με το φαγητό, σε χώρους υγειονομικής ταφής και εκμετάλλευση αυτών των ποσοτήτων για παραγωγή ενέργειας. Η αναερόβια αποσύνθεση είναι μια λειτουργία που χρησιμοποιείται πολλά χρόνια σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Η ίδια διεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή μεθανίου από τα απορρίμματα τροφών. Σε ειδικές μονάδες, αφού τα υπολείμματα υποστούν αναερόβια αποσύνθεση, το μεθάνιο που παράγεται παγιδεύεται και οδηγείται σε γεννήτρια που το μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα. Το βιοαέριο μπορεί να καεί επί τόπου για παραγωγή ενέργειας ή να μετατραπεί σε φυσικό αέριο ή σε υγρό καύσιμο για τις μεταφορές. Η ιλύς που παράγεται κι αυτή κατά την αναερόβια πέψη, είναι μία στερεή ουσία πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, η οποία είναι κατάλληλη για την παρασκευή λιπασμάτων (<https://www.sim4nexus.eu>).

Οι υδατικοί πόροι αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγής φαγητού, ενώ ταυτόχρονα συνδέονται και με την διαθεσιμότητά του. Οι καλλιέργειες βασίζονται στην παρουσία νερού για να ευδοκιμήσουν, τα ζώα για να επιβιώσουν, ενώ το νερό αποτελεί φυσικό οικότοπο για τα ψάρια. Οι στόχοι για την επισιτιστική ασφάλεια βασίζονται τόσο στην ποσότητα του νερού όσο και στην ποιότητά του. Κάθε πηγή προέλευσης νερού παίζει ρόλο στην παραγωγή τροφής. Συγκεκριμένα οι ωκεανοί παίζουν ρόλο στην θαλάσσια αλιεία, λίμνες και ποτάμια στην αλιεία γλυκού νερού και την ιχθυοκαλλιέργεια, ενώ το «πράσινο» και «μπλε» νερό στις χερσαίες διαδικασίες παραγωγής φαγητού. Στην βιβλιογραφία ως «μπλε» νερό θεωρείται η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη στους υπόγειους υδροφορείς, στις λίμνες και στις δεξαμενές, ενώ ως «πράσινο» νερό αναφέρεται η υγρασία του εδάφους. Η κλιματική κρίση θα ασκήσει πιέσεις στην ποσότητα και ποιότητα των υδατικών πόρων, αφού αυτοί θα είναι επιρρεπείς σε αλλαγές που θα επηρεάσουν τα κατακρημνίσματα, την εξατμισοδιαπνοή, την υγρασία του εδάφους, τα αποθέματα υπόγειου νερού, τις ροές των ποταμών τις στάθμες των λιμνών, την ποιότητα των υδάτων και την εμφάνιση ακραίων γεγονότων πλημμύρας. Ο κύκλος του νερού επηρεάζεται και από τις αλλαγές χρήσεων γης, όπως η αποψίλωση των δασικών εκτάσεων. Με βάσει τα παραπάνω

συμπεραίνεται πως τόσο η ποιότητα όσο και η ποσότητα του νερού μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή τροφής (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η έννοια της ποσότητας νερού συμπεριλαμβάνει την διαθεσιμότητα και την πρόσβαση του νερού για χρήση. Σε ορισμένες περιοχές υπάρχει αρκετή ποσότητα νερού αλλά δεν υπάρχουν οι υλικοτεχνικές δυνατότητες για να το αξιοποιήσουν. Αλλού παρατηρείται το φαινόμενο της έντονης χρήσης νερού σε βαθμό που ο ρυθμός εξαγωγής του να είναι αρκετά μεγαλύτερος από το ρυθμό της φυσικής αναπλήρωσής του. Η διαχείριση του νερού έχει κρίσιμο ρόλο στην αποσαφήνιση των διασυνδέσεων μεταξύ νερού και τροφής. Το νερό έχει θετικό αντίκτυπο στην γεωργία. Επαρκής ποσότητα νερού συνδυασμένη με καλώς διατηρημένα και οργανωμένα συστήματα άρδευσης έχουν την δυνατότητα ώθησης της παραγωγής φαγητού. Ωστόσο υπάρχει μία δυσαναλογία μεταξύ της αρδευόμενης έκτασης και της ποσότητας νερού που απαιτείται για άρδευση. Συγκεκριμένα το 19% της συνολικής αρδευόμενης έκτασης αρδεύεται παγκοσμίως, ενώ η άρδευση εξυπηρετεί το 40% των απαιτήσεων σε τροφή. Οι ποσότητες νερού για την παραγωγή τροφής εξαρτώνται από παράγοντες τόσο της παραγωγής όσο και της ζήτησής της (<https://www.sim4nexus.eu>).

Οι απαιτήσεις σε νερό των καλλιεργειών αλλά και η αποτελεσματικότητα των μεθόδων άρδευσης διαφέρουν σημαντικά. Οι υποδομές που είναι απαραίτητες για την άρδευση καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις που δυνητικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για καλλιέργειες. Η ανταγωνιστική σχέση που περιεγράφηκε αντισταθμίζεται από το γεγονός της αυξημένης ποσότητας σοδιάς των υφιστάμενων καλλιεργειών. Στην Ευρώπη ο τομέας της γεωργίας αξιοποιεί μόνο το 21% των υδατικών αποθεμάτων από επιφανειακούς και υπόγειους υδροφορείς σε σχέση με το μέσο ποσοστό παγκοσμίως που ανέρχεται στο 69%. Η αναμενόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας λόγω της κλιματικής κρίσης θα επηρεάσει σημαντικά της δραστηριότητες της γεωργίας σε περιοχές δέλτα των ποταμών. Η ύπαρξη υφάλμυρου νερού θα προκαλέσει προβλήματα στις καλλιέργειες σε αυτές τις περιοχές. Σε αυτές τις περιπτώσεις μία επιλογή θα ήταν η αλλαγή των καλλιεργειών σε καλλιέργειες ανθεκτικές στην αλατότητα (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η διαθεσιμότητα του νερού είναι σημαντικής σημασίας για τους στόχους της επισιτιστικής επάρκειας το ίδιο και η ποιότητά του. Η κατάλληλη υγιεινή και η ισορροπία θρεπτικών συστατικών στις τροφές είναι άρρητα συνδεδεμένες με την ποιότητα του νερού. Φαινόμενα που σχετίζονται με τη μη κατάλληλη ποιότητα νερού για παραγωγή τροφής συναντώνται συνήθως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Συχνά το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση περιέχει ακατάλληλα επίπεδα αρσενικού, ενώ νερό που προέρχεται από την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς. Η επαναχρησιμοποίηση νερού από λύματα θεωρείται μία καλή λύση για την μείωση της ποσότητας του νερού για άρδευση, ωστόσο απαιτεί την κατάλληλη τεχνολογία για την επεξεργασία του νερού, η οποία σε πολλές από αυτές τις χώρες δεν είναι διαθέσιμη. Η ποιότητα του νερού επηρεάζεται και κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας καθώς η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων επηρεάζουν την σύσταση του νερού. Η ρύπανση που προκαλείται από τις γεωργικές δραστηριότητες είναι διάχυτη και αντιμετωπίζεται πιο δύσκολα από την σημειακή ρύπανση. Οι κύριοι ρυπαντές είναι τα θρεπτικά (σε δυσανάλογες ποσότητες), παρασιτοκτόνα, ιζήματα και μικρόβια, ενώ από άλλες

πηγές ρύπανσης μπορούν να ανιχνευθούν βαρέα μέταλλα και οργανικοί μικρο-ρύποι (<https://www.sim4nexus.eu>).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως υπάρχει μία ισχυρή διασύνδεση της παραγωγικής διαδικασίας τροφής με το νερό τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Η γεωργία αποτελεί την κυριότερη πηγή τροφής όχι μόνο για τον άνθρωπο αλλά και τα ζώα που εκτρέφονται. Ειδικότερα οι καλλιέργειες απαιτούν νερό για άρδευση, νερό χρειάζεται για την επιβίωση των ζώων ενώ ποσότητα νερού καταναλώνεται για την παραγωγή τροφής τους και ταυτόχρονα το νερό αποτελεί μέσο για δραστηριότητες όπως το ψάρεμα και οι ιχθυοκαλλιέργειες. Η παραγωγή τροφής δεν επηρεάζει μόνο ποσοτικά τους υδατικούς πόρους, αφού μέσω των διαφόρων διεργασιών της επηρεάζεται και η ποιότητά τους. Για την καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών συχνά γίνεται κατάχρηση των λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων και οι ποσότητες των χημικών που περιέχουν επηρεάζουν την ποιότητα των υδάτων. Οι δραστηριότητες της αλιείας και της ιχθυοκαλλιέργειας επιδρούν στην αύξηση των φυκιών και την χημική σύσταση του νερού, ενώ διαταράσσουν την βιοποικιλότητα. Στον τομέα της κατανάλωσης η χρήση του νερού εστιάζει στην επεξεργασία, την συσκευασία, την μεταφορά και το εμπόριο των τροφών (<https://www.sim4nexus.eu>).

Το σύστημα παραγωγής φαγητού διακρίνεται σε τρία στάδια, την πρωτογενή παραγωγή (καλλιέργειες, ζώα, ψάρια), την δευτερογενή παραγωγή (βιομηχανική επεξεργασία) και το στάδιο της κατανάλωσης. Τα προϊόντα της γεωργίας δεν στοχεύουν μόνο στην τροφή του ανθρώπου, αλλά και στην παραγωγή τροφής για τα ζώα και βιοκαύσιμα. Η ποσότητα νερού για άρδευση εξαρτάται από τις υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας, την προέλευση του νερού και την κατάσταση του συστήματος άρδευσης. Οι διάφορες πρακτικές που εφαρμόζονται στα χωράφια επηρεάζουν την εδαφική υγρασία και την αναπλήρωση νερού στους υπόγειους υδροφορείς. Η εντατικοποίηση της γεωργίας και η εφαρμογή βαρύ εξοπλισμού έχει επηρεάσει την διαπερατότητα των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, με αποτέλεσμα να μην μπορεί το έδαφος να αποστραγγίζει το βρόχινο νερό και το νερό της άρδευσης οδηγώντας στην επιφανειακή απορροή τους (<https://www.sim4nexus.eu>).

Το υδατικό αποτύπωμα των ζωικών προϊόντων είναι πολύ υψηλό σε σχέση με αυτό των γεωργικών προϊόντων. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό είναι η άμεση κατανάλωση νερού του ζωικού κεφαλαίου για επιβίωση και η έμμεση κατανάλωση νερού για την παραγωγή προϊόντων σε συνδυασμό με τον υψηλό κύκλο ζωής. Να σημειωθεί ότι η εξαγωγή προϊόντων κρέατος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και τη ροή του εικονικού νερού (<https://www.sim4nexus.eu>).

Όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας τροφής καταλήγουν να ρυπαίνουν τους υδατικούς αποδέκτες. Τα λιπάσματα και η κοπριά από τις γεωργικές και κτηνοτροφικές εργασίες αλλά και η απορροή λυμάτων των αστικών κέντρων περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις φωσφορικών και νιτρικών προκαλώντας φαινόμενα ευτροφισμού, υποβαθμίζοντας την ποιότητα του νερού (<https://www.sim4nexus.eu>).

Ο αντίκτυπος της γεωργίας στην ποιότητα του νερού είναι η διάθεση ρύπων υψηλής συγκέντρωσης χημικών, θρεπτικών και παθογόνων. Κύριος στόχος της κτηνοτροφίας είναι η παραγωγή φαγητού για τον άνθρωπο, όμως η εντατικοποίησή της παράγει μεγάλες ποσότητες ζωικής κοπριάς. Πολλές φορές γίνεται ασύστολη χρήση της σε συνδυασμό με άλλα

φυτοφάρμακα και σε ακατάλληλες χρονικές περιόδους, προκαλώντας την αύξηση συγκεντρώσεων νιτρικών και παθογόνων στους επιφανειακούς και υπόγειους υδροφορείς που αποτελούν πηγές νερού για υδροδότηση. Με αυτόν τον τρόπο υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού και κατά επέκταση θέτεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη διαβίωση (<https://www.sim4nexus.eu>).

Η αλιεία και ιχθυοκαλλιέργεια εστιάζουν στην παραγωγή φαγητού για τον άνθρωπο. Επηρεάζουν την χημική σύσταση του νερού (νιτρικά, φωσφορικά, οξυγόνο) και αλλάζουν την δομή της διατροφικής αλυσίδας προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις στην υπάρχουσα βιοποικιλότητα. Η τροφή των ψαριών και τα απορρίμματα των παραπάνω δραστηριοτήτων αυξάνουν την βιολογική απαίτηση σε οξυγόνο (BOD) και την ποσότητα των θρεπτικών καθιστώντας ευτροφικά τα οικοσυστήματα με έντονες ανοξικές συνθήκες (<https://www.sim4nexus.eu>).

### Η μοντελοποίηση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής: χαρτογράφηση και ποσοτικοποίηση των διασυνδέσεων.

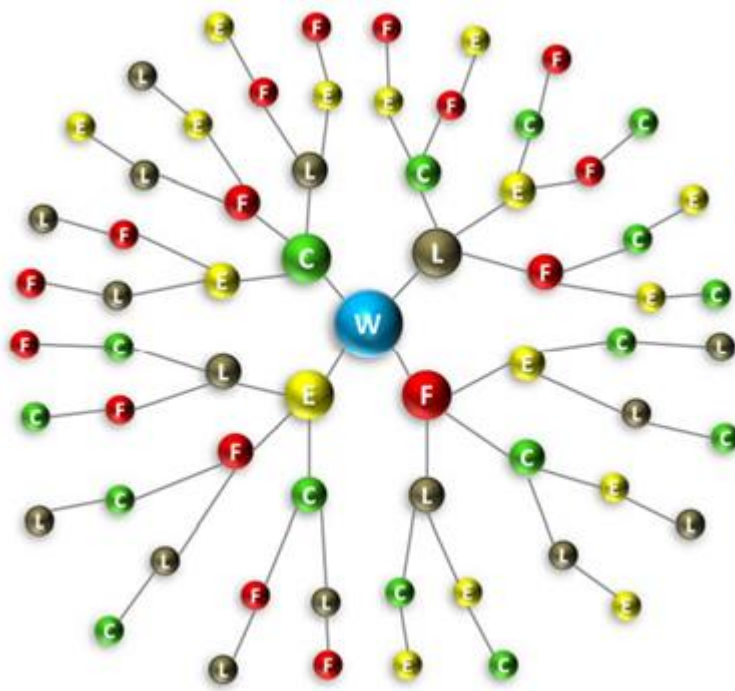
Η διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συνιστωσών του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής αποτελεί σημείο καμπής για την κατανόηση, ποσοτικοποίηση και έλεγχο του. Μεγάλο μέρος της έρευνας σχετικά με το Δεσμό εστιάζει κυρίως στην χαρτογράφηση των διασυνδέσεων μεταξύ των συστατικών του, ενώ η περιγραφή των σχέσεων που αναπτύσσονται ανάμεσά τους μέσω εξισώσεων δεν έχει μελετηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό (Huang Daohan, 2019). Οι αναλυτικές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής προέρχονται από διάφορους επιστημονικούς τομείς. Ο Tameer R. Albrecht et al. αναφέρουν πως μέθοδοι για την εφαρμογή του Δεσμού προέρχονται σε μεγάλο ποσοστό από επιστήμες του περιβάλλοντος, της οικονομίας αλλά και από κοινωνικές επιστήμες. Οι Huang Daohan et. al. (2019) αναφέρουν ότι στην έρευνα για την μοντελοποίηση του Δεσμού έχουν εφαρμοστεί μοντέλα δυναμικών συστημάτων, ερμηνευτική δομική μοντελοποίηση, ανάλυση κύκλου ζωής, το υδατικό αποτύπωμα, γραμμικός προγραμματισμός και φυσικά μοντέλα ώστε να ερμηνευτούν με μεγαλύτερη σαφήνεια οι σχέσεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα συστατικά του Δεσμού. Οι έρευνες για την χαρτογράφηση και ποσοτικοποίηση των διασυνδέσεων του Δεσμού επικεντρώνονται κυρίως στην αποδοτική χρήση των πόρων, την αποτελεσματική διαχείρισή τους, την ενσωμάτωση των πολιτικών αποφάσεων και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών για την χρήση των πόρων (Tameer R. Albrecht, 2018).

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ως άμεση διασύνδεση μεταξύ δύο συνιστωσών του Δεσμού θεωρείται εκείνη η διασύνδεση κατά την οποία η αλλαγή μιας συνιστώσας να προκαλεί αλλαγές σε άλλη συνιστώσα, με τις υπόλοιπες συνιστώσες του Δεσμού να μένουν ανεπηρέαστες. Τέτοιου είδους διασυνδέσεις χαρακτηρίζονται ως διασυνδέσεις 1<sup>ης</sup> τάξεως. Ωστόσο πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο μια συνιστώσα του Δεσμού να επηρεάζει μια άλλη συνιστώσα μέσω έμμεσων διασυνδέσεων. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να προκληθεί μια αλλαγή σε ένα συστατικό του Δεσμού μέσω αλλαγής που θα προκληθεί από ένα συστατικό του Δεσμού σε ένα άλλο διαφορετικό συστατικό. Οι έμμεσες διασυνδέσεις συμβολίζονται με ακρωνύμια τριών ή και περισσότερων γραμμάτων ανάλογα με το πλήθος των συνιστωσών που μελετώνται σε έναν Δεσμό. Έτσι προκύπτουν έμμεσες διασυνδέσεις 2<sup>ης</sup>, 3<sup>ης</sup> ή ακόμα και 4<sup>ης</sup> τάξης (Chrysi S. Laspidou, 2018).



Για την καταγραφή των διαφορετικών διαδρομών που μια συνιστώσα του Δεσμού επηρεάζει τις υπόλοιπες, σχεδιάστηκε από την C. Laspidou et al. 2018, μια σχηματική απεικόνιση αυτών των πολύπλοκων διαδρομών, το δέντρο Δεσμού (Nexus tree). Μια αλλαγή στην κεντρική διάσταση του Δεσμού σηματοδοτεί αλληπάλληλες αλλαγές στις υπόλοιπες διαστάσεις μέσω των κλαδιών του δέντρου του Δεσμού. Στην εικόνα 2 απεικονίζεται το δέντρο Δεσμού της συνιστώσας του Νερού. Στο κέντρο του δέντρου τοποθετείται η συνιστώσα του Νερού. Αρχικά παρατηρούνται οι τέσσερις πρωτοτάξιες διασυνδέσεις του Νερού με την Ενέργεια, την Τροφή, το Κλίμα και τις Χρήσεις γης. Συνεχίζοντας προς τις δευτεροτάξιες διασυνδέσεις, από τις υπόλοιπες τέσσερις συνιστώσες προκύπτουν τρία επιμέρους κλαδιά. Με αυτό τον τρόπο η Ενέργεια συνδέεται με το Κλίμα, την Τροφή και τις Χρήσεις γης, η Τροφή συνδέεται με την Ενέργεια, το Κλίμα και τις Χρήσεις γης, οι Χρήσεις γης συνδέονται με την Τροφή, την Ενέργεια και το Κλίμα και τέλος η συνιστώσα του Κλίματος συνδέεται με τις Χρήσεις γης, την Τροφή και την Ενέργεια. Έτσι σχηματίζονται οι όλες οι πιθανές διασυνδέσεις 2<sup>ης</sup> τάξης που συμβολίζονται με τα ακρωνύμια: WEC, WEF, WEL, WFE, WFC, WFL, WLF, WLE, WLC, WCL, WCF, WCE. Η ίδια λογική ακολουθείται και για τις υπόλοιπες τάξεις διασυνδέσεων. Στο δέντρο Δεσμού του Νερού προκύπτουν 24 διαφορετικές τεταρτοτάξιες διασυνδέσεις. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και για τις υπόλοιπες διασυνδέσεις. Για ένα δέντρο Δεσμού πέντε συνιστωσών, όπως για παράδειγμα το δεσμό Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος-Χρήσεων γης, προκύπτουν 120 διαφορετικές τεταρτοτάξιες διασυνδέσεις (Chrysi S. Laspidou, 2018).

Η απεικόνιση των διασυνδέσεων με τη μορφή δέντρου μπορεί να βοηθήσει τους μελετητές να καταγράψουν βήμα-βήμα όλες τις διασυνδέσεις που εμφανίζονται σε έναν Δεσμό, είτε τις άμεσες είτε τις έμμεσες. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως ο σχεδιασμός του δέντρου Δεσμού δεν λαμβάνει υπόψιν τυχόν βρόγχους ανάδρασης. Τέτοιοι βρόγχοι σχηματίζονται όταν για παράδειγμα μια αλλαγή στη συνιστώσα του Νερού επιφέρει αλλαγές στη συνιστώσα της Ενέργειας και οι αλλαγές αυτές να προκαλούν ξανά αντίκτυπους στη συνιστώσα του Νερού. Μία αλληλεπίδραση αυτής της μορφής διογκώνει τα αποτελέσματα μεταξύ συστατικών του Δεσμού. Είναι σημαντικό, όταν υπάρχουν ενδείξεις εμφάνισης βρόγχων ανάδρασης που παίζουν σημαντικό ρόλο στις αλληλεπιδράσεις του Δεσμού, να λαμβάνονται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό της μοντελοποίησής του (Chrysi S. Laspidou, 2018).

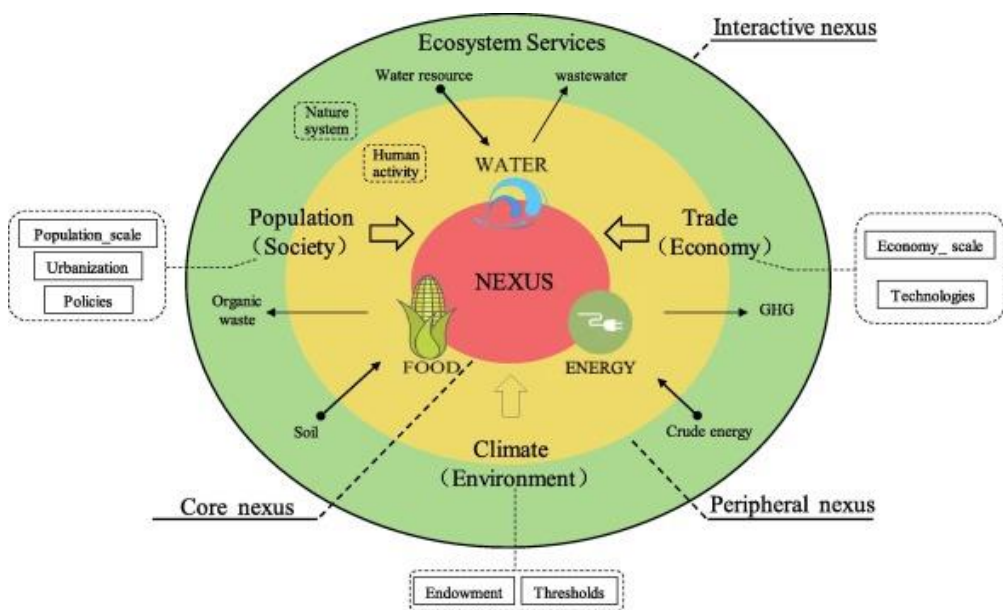


Εικόνα 2. Το δενδροειδές διάγραμμα Δεσμού για τη συνιστώσα του Νερού (Chrysi S. Laspidou, 2018).

Οι Huang Daohan et. al. (2019) αναπτύσσουν ένα μοντέλο με συστήματα εξισώσεων που έχει τη δυνατότητα να ερευνά τις συνέργειες ανάμεσα στο Νερό, την Ενέργεια και την Τροφή, καθώς και να αποσαφηνίζει τους αντικτύπους από τις διακυμάνσεις των μεταβλητών από τους αντικτύπους που προέρχονται από βρόγχους που προκύπτουν στο σύστημα. Αντίθετα οι Laspidou et. al. (2020) εφάρμοσαν ένα μοντέλο δυναμικού συστήματος, το οποίο έχει την δυνατότητα να χαρτογραφεί δεδομένα συγκεκριμένα για κάθε τομέα του Δεσμού που προέρχονται από μεγάλες βάσεις δεδομένων π.χ. της Eurostat., ενώ παράλληλα εφαρμόστηκαν και μοντέλα σεναρίων για την περίπτωση μελέτης της Ελλάδας.

Οι Huang Daohan et. al. (2019) αρχικά διατυπώνουν την προσέγγισή τους πάνω στον αστικό Δεσμό του Νερού-Ενέργειας-Τροφής της Κίνας μέσω ενός εννοιολογικού μοντέλου και στην συνέχεια επεξηγούν την ανάλυση του μοντέλου του συστήματος εξισώσεων που αφορά την παραπάνω προσέγγισή τους. Συγκεκριμένα ο Δεσμός Νερού-Ενέργειας-Τροφής που περιγράφουν διαχωρίζεται σε τρεις υπο-δεσμούς, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτες όλες οι διασυνδέσεις που λαμβάνουν χώρα στο αστικό σύστημα. Αρχικά ο πυρήνας του εννοιολογικού τους μοντέλου περιλαμβάνει τον Δεσμό του Νερού-Ενέργειας-Τροφής που αναπτύσσεται μέσα στον αστικό ιστό και περιλαμβάνει διεργασίες όπως η παραγωγή, η επεξεργασία, η αποθήκευση, η άντληση, η διανομή, η μεταφορά, η κατανάλωση και η παραγωγή απορριμμάτων σε επίπεδο πόλης. Οι διασυνδέσεις αυτού του δεσμού χαρακτηρίζονται ως τεχνική ροή, φυσική ροή και δομική ροή. Ο όρος τεχνική ροή είναι συνώνυμος του όρου της ροής εισόδου-εξόδου, και αναγνωρίζει τις συνέργειες και τις ανταγωνιστικές σχέσεις ανάμεσα στα συστατικά του Δεσμού. Η φυσική ροή σχετίζεται με την κατανομή των φυσικών πόρων σε διάφορες τοποθεσίες της πόλης μέσω των αλλαγών χρήσεων γης και κατασκευής υποδομών. Η δομική ροή περιγράφει τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ της συμπεριφοράς κατανάλωσης που παρατηρείται στο Δεσμό Νερού-Ενέργειας-Τροφής και τον αστικό μεταβολισμό. Ο δεύτερος υπο-δεσμός ονομάζεται περιφερειακός δεσμός και συμπεριλαμβάνει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του Δεσμού Νερού-

Ενέργειας-Τροφής και του αστικού συστήματος. Αποτελείται από κοινωνικούς, οικονομικούς, οικολογικούς, τεχνικούς και πολιτικούς παράγοντες όπως ο πληθυσμός, το εμπόριο, το κλίμα, οι διακυμάνσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας, η ζήτηση, η διανομή καθώς και η δομή του συστήματος Νερού-Ενέργειας-Τροφής. Ένα παράδειγμα αλληλεπίδρασης αυτού του υπο-δεσμού είναι η αύξηση των απαιτήσεων εντός του συστήματος Νερού-Ενέργειας-Τροφής λόγω αύξησης του πληθυσμού, ενώ ταυτόχρονα η αστικοποίηση αλλάζει την δομή της Ζήτησης με την ανάπτυξη της μεσαίας τάξης. Με την ολοκλήρωση του εννοιολογικού τους μοντέλου προχωρούν στην εξέταση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής από την σκοπιά κάθε συστατικού του Δεσμού. Με αυτό τον τρόπο το αρχικό εννοιολογικό μοντέλο περιγράφεται με τρία νέα εννοιολογικά μοντέλα που περιγράφουν την αλληλεπίδραση ενός συστατικού του Δεσμού με τα υπόλοιπα δύο.



Εικόνα 3. Εννοιολογικό πλαίσιο του τοπικού Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής από την σκοπιά της αλληλεπίδρασης φύσης-ανθρώπου (Huang Daohan, 2019).

Για την εφαρμογή του συστήματος εξισώσεων που θα περιγράφει τις συνέργειες και τις αλληλεπιδράσεις μέσα στον αστικό Δεσμό του Νερού-Ενέργειας-Τροφής έγινε η υπόθεση ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συστημάτων και των παραγόντων. Η υπόθεση της γραμμικής σχέσης μειώνει την πολυπλοκότητα του συστήματος εξισώσεων και βοηθάει να γίνουν πιο ευδιάκριτες οι διασυνδέσεις. Στην γενική του μορφή το σύστημα εξισώσεων είναι:

$$Y_t \Gamma + X_t B + \mu_t = 0, t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

Τα  $Y, X$  παριστάνουν τα διανύσματα της εξαρτημένης μεταβλητής και της επεξηγηματικής μεταβλητής αντίστοιχα, ενώ οι συντελεστές  $\Gamma$  και  $B$  αποτελούν τους πίνακες των διασυνδέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και τους συντελεστές των επεξηγηματικών μεταβλητών αντίστοιχα. Ο όρος  $\mu_t$  εκφράζει το διάνυσμα που περιέχει τους όρους σφαλμάτων ενώ με  $t$  συμβολίζεται η περίοδος (Huang Daohan, 2019).

Η εξίσωση (1) που περιγράφει ένα σύστημα εξισώσεων εφαρμόζεται για να εκφράσει τις αλληλεξαρτήσεις και να εντοπίσει πιθανά αποτελέσματα συνέργειας στην μικρο- και μακρο-οικονομία, στην αστική ανάπτυξη και στην βιώσιμη αξιολόγηση. Στη συγκεκριμένη έρευνα

το διάλυμα  $Y$  προκύπτει από τη σύνθεση δεικτών που σχετίζονται με τα υποσυστήματα του νερού, της ενέργειας και της τροφής στην αστική περιοχή. Το διάλυμα των επεξηγηματικών μεταβλητών περιλαμβάνει το ανθρώπινο και φυσικό υποσύστημα στις αστικές περιοχές, ουσιαστικά αποτελείται από μεταβλητές που εκφράζουν την κοινωνία, την οικονομία, τα φυσικά συστήματα με σκοπό την διερεύνηση του αντίκτυπου των διάφορων παραγόντων στα υποσυστήματα του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής καθώς και τις διασυνδέσεις που αναπτύσσονται (Huang Daohan, 2019).

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται γενικώς για την επίλυση τέτοιων συστημάτων είναι η Γενικευμένη Μέθοδος των Ροπών, η μέθοδος των Ελαχίστων τετραγώνων σε δύο στάδια και η Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων σε τρία στάδια. Η απλούστερη μέθοδος μεταξύ των παραπάνω είναι αυτή των Ελαχίστων Τετραγώνων σε δύο στάδια η οποία και εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση. Σε πρώτο στάδιο σχηματίζονται κατάλληλες μεταβλητές-όργανα μέσω του διανύσματος των επεξηγηματικών μεταβλητών του συστήματος εξισώσεων και στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων ώστε να εκτιμηθούν οι τιμές των μεταβλητών-οργάνων ως προς τις ενδογενείς μεταβλητές. Σε δεύτερο βήμα οι ενδογενείς μεταβλητές που πλέον δεν έχουν συσχέτιση με τους όρους σφαλμάτων μπορούν να αντικαταστήσουν τις ενδογενείς μεταβλητές που υπάρχουν ανάμεσα στις επεξηγηματικές μεταβλητές και εφαρμόζεται ξανά η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, ώστε να εντοπιστούν τα συσχετιζόμενα φαινόμενα και οι συντελεστές. Ακολουθούνται επιπλέον έλεγχοι πάνω στα δεδομένα, τις εξισώσεις και στις μεταβλητές-όργανα ώστε να επιβεβαιωθούν η σταθερότητα και η αποδοχή των τιμών και να αποφευχθούν η πολυσυγγραμμικότητα και η συσχέτιση με τους όρους σφαλμάτων στις εκτιμήσεις (Huang Daohan, 2019).

Βάσει της παραπάνω διαδικασίας προκύπτουν τρεις εξισώσεις που περιγράφουν τη δομή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής της Κίνας. Αρχικά στην εξίσωση του Νερού, η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται σε επίπεδο πόλης επιλέχθηκε ως η μεταβλητή  $Y$ . Η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται αντιπροσωπεύει την κατάσταση όλου του αστικού νερού, καθώς η ποσότητα του νερού που τροφοδοτεί την πόλη ισούται με την απαιτήσεις σε νερό. Παράλληλα οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα νερού που καταναλώνεται προέρχονται τόσο από διεργασίες στους υδατικούς πόρους όσο και από την συμπεριφορά του αστικού ιστού (κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες). Στην εξίσωση που περιγράφει τον τομέα της Ενέργειας επιλέχθηκε ως μεταβλητή  $Y$  η κατανάλωση ενέργειας, διότι η κατανάλωση ενέργειας συνάδει με την αστική ανάπτυξη και την βιομηχανική παραγωγή σε τοπική κλίμακα. Ορισμένοι από τους παράγοντες που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας αποτελούν η άντληση και η επεξεργασία του νερού από το υποσύστημα του Νερού και ο πληθυσμός από το κοινωνικό υποσύστημα. Η παραγωγή τροφής επιλέχθηκε ως η μεταβλητή  $Y$  στην εξίσωση που περιγράφει τη δομή του συστήματος Τροφής. Η παραγωγή φαγητού αποτελεί μείζονα καταναλωτή νερού, ενώ ταυτόχρονα θεωρείται σημαντική εξαγωγή της πόλης. Η παραγωγή τροφής επηρεάζεται άμεσα από το νερό, τις χρήσεις γης, το οικοσύστημα και την οικονομία της πόλης (Huang Daohan, 2019). Οι εξισώσεις που περιγράφουν τον Δεσμό Νερού -Ενέργειας-Τροφής είναι:

$$\text{Εξίσωση Νερού: } W_t = f_1(E_t, F_t, X_{W_t}) \quad (2)$$

$$\text{Εξίσωση Ενέργειας: } E_t = f_2(W_t, F_t, X_{E_t}) \quad (3)$$

$$\text{Εξίσωση Τροφής: } F_t = f_3(E_t, W_t, X_{F_t}) \quad (4)$$

Για να επιτευχθεί η κανονικότητα των δεικτών που έχουν θεωρηθεί, οι παραπάνω εξισώσεις λαμβάνουν λογαριθμική μορφή.

$$\begin{aligned} \ln(W_{C_t}) = & a_0 + a_1 \ln(F_{P_t}) + a_2 \ln(TWR_t) + a_3 \ln(TG_t) + a_4 \ln(TGP_t) + a_5 \ln(EIA_t) \\ & + a_6 \ln(WEPI_t) + a_7 \ln(MII_t) + a_8 \ln(UGL_t) + a_9 \ln(UP_t) \\ & + a_{10} \ln(WGE_t) + \mu_W \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(E_{C_t}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(F_{P_t}) + \beta_2 \ln(TWR_t) + \beta_3 \ln(VV_t) + \beta_4 \ln(TGP_t) + \beta_5 \ln(CACB_t) \\ & + \beta_6 \ln(SIR_t) + \beta_7 \ln(WWTC_t) + \beta_8 \ln(CFSA_t) + \beta_9 \ln(TP_t) \\ & + \beta_{10} \ln(PTWI_t) + \mu_E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(F_{P_t}) = & \chi_0 + \chi_1 \ln(W_{C_t}) + \chi_2 \ln(CFSA_t) + \chi_3 \ln(DA_t) + \chi_4 \ln(TGP_t) + \\ & \chi_5 \ln(AGDP_t) + \chi_6 \ln(CSA_t) + \chi_7 \ln(WWTC_t) + \chi_8 \ln(AFAFI_t) + \mu_F \end{aligned}$$

(5)

Οι Huang Daohan et. al (2019) αναφέρουν πως η διαθεσιμότητα δεδομένων είναι πολύ σημαντική για τον τρόπο με τον οποίο θα μελετηθεί η προσέγγιση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής. Στην περίπτωση μελέτης της Κίνας τα δεδομένα από ανοικτές βάσεις δεδομένων σε επίπεδο πόλης δεν είναι κατάλληλα για την μελέτη Δεσμού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι στην κατανάλωση νερού σε αστική κλίμακα δεν υπολογίζεται το νερό για άρδευση, που αποδεικνύεται πως αποτελεί σημείο ορόσημο στη διασύνδεση του συστήματος Νερού με το σύστημα της Τροφής. Δεδομένα από τις περιφέρειες της Κίνας είναι αξιοποιήσιμα και έχουν ληφθεί υπόψιν για μελέτες Δεσμού. Για την αποφυγή τέτοιων εμποδίων γίνεται πλέον ανάλυση από τοπικό επίπεδο σε περιφερειακό επίπεδο ώστε να υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε κλίμακες μελέτης κατάλληλες για την λήψη πολιτικών αποφάσεων (Huang Daohan, 2019).

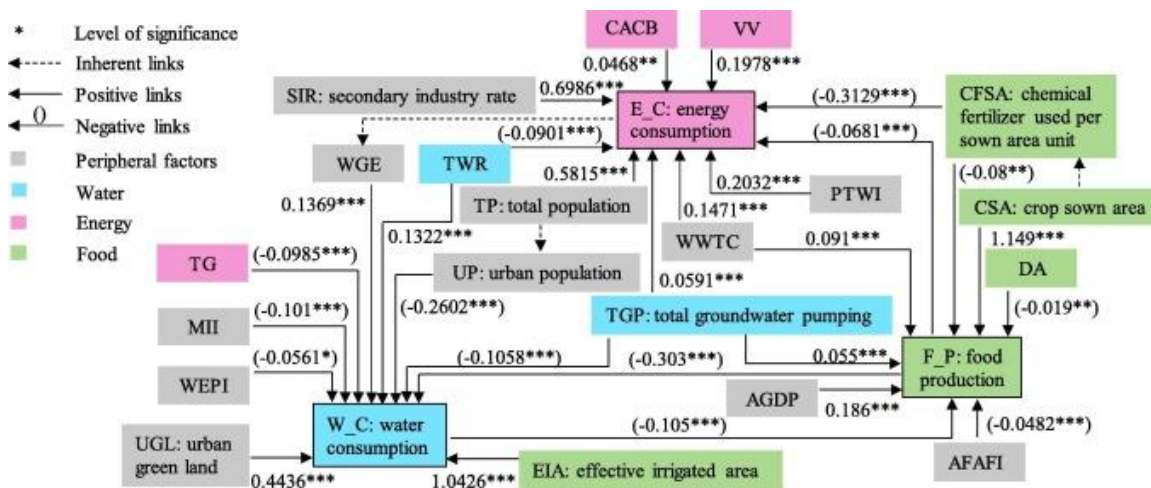
Η εφαρμογή των εξισώσεων αποσαφήνισε τους παράγοντες που επηρεάζουν είτε αρνητικά είτε θετικά τα συστήματα του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής μέσω του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής. Στην εξίσωση του Νερού η κατανάλωση νερού ( $W_C$ ) στην αστική περιοχή επηρεάζεται έντονα από την ενεργή αρδευόμενη έκταση (EIA) του συστήματος Τροφής. Η παραγωγή τροφής ( $F_P$ ), ο αστικός πληθυσμός (UP) και η παραγωγή θερμικής ενέργειας (TG) ασκούν αρνητικό αντίκτυπο στην κατανάλωση νερού. Ο αρνητικός αντίκτυπος στη παραγωγή τροφής οφείλεται στη μείωση της κατανάλωσης νερού για παραγωγή τροφής στην Κίνα. Η χαμηλή αρνητική επίπτωση του αστικού πληθυσμού (UP) στην κατανάλωση νερού συνδέεται με τις επενδύσεις στα δίκτυα ύδρευσης, διότι η σημαντική επέκταση των αγωγών διανομής των δικτύων μειώνουν την κατανάλωση νερού ανά κάτοικο στην Κίνα. Η αρνητική επιρροή της παραγωγής θερμικής ενέργειας (TG) απορρέει από την μείωση της χρήσης νερού στις μονάδες παραγωγής θερμικής ενέργειας, που οφείλεται στις πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης εκπομπών αλλά και των μεθόδων ψύξης που εφαρμόζονται. Στην εξίσωση Ενέργειας, το ποσοστό της δευτερογενούς βιομηχανίας (SIR)

επηρεάζει σε αξιοσημείωτο βαθμό την αστική ενεργειακή κατανάλωση ενώ ακολουθεί η επίδραση που ασκεί ο συνολικός πληθυσμός (TP). Και οι δύο αυτοί παράγοντες προέρχονται από το ανθρωπογενές σύστημα που ανήκει στο περιφερειακό Δεσμό, σε αντίθεση με την ενεργή αρδευόμενη έκταση (EIA) που αποτελεί μέρος του φυσικού συστήματος και τοποθετείται στο διαδραστικό Δεσμό. Αυτό συμβαίνει διότι οι κύριοι καταναλωτές ενέργειας είναι η βιομηχανία και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ η κύρια κατανάλωση νερού παρατηρείται στη γεωργία. Στην εξίσωση Τροφής η καλλιεργούμενη έκταση (CSA) παίζει κυρίαρχο ρόλο στην παραγωγή τροφής. Θα πρέπει να αναφερθεί πως η καλλιεργούμενη έκταση (CSA) είναι διαφορετική από την ενεργή αρδευόμενη έκταση (EIA), ασχέτως αν και οι δύο βασίζονται σε καλλιεργήσιμη περιοχή. Η καλλιεργούμενη έκταση (CSA) μελετάται από την σκοπιά της παραγωγής τροφής, ενώ η ενεργή αρδευόμενη έκταση (EIA) από τη σκοπιά της κατανάλωσης νερού. Σημαντική επιρροή στην παραγωγή τροφής έχει και το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. (AGDP). Η αρνητική επίδραση της κατανάλωσης νερού στην παραγωγή τροφής δεν οφείλεται μόνο στην αύξηση της αρδευόμενης έκτασης και την μεταφορά νερού για άρδευση αλλά και από τις πολιτικές που εφαρμόζονται από το 2000 για να επιτευχθεί μεγαλύτερη παραγωγή τροφίμων με μικρότερη κατανάλωση νερού. Ο θετικός αντίκτυπος του συνολικού υπόγειου όγκου νερού που αντλείται (TGP) οφείλεται στο γεγονός πως το υπόγειο νερό είναι η κύρια πηγή νερού για άρδευση. Η χρήση χημικών λιπασμάτων ενισχύουν την παραγωγή τροφής στην Κίνα, ωστόσο ο δείκτης της χρήσης χημικών λιπασμάτων ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης (CFSA) υποδηλώνει κατάχρηση των λιπασμάτων (Huang Daohan, 2019).

Η εξέταση των εξισώσεων από την οπτική ολόκληρου του συστήματος του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής αποσαφηνίζει σημαντικά σημεία του Δεσμού, τις αλληλεπιδράσεις που παρατηρούνται και την κατάσταση ισορροπίας του συστήματος εξισώσεων. Ο συνολικός όγκος υπόγειου νερού που αντλείται επηρεάζει και τις τρεις εξισώσεις του Δεσμού, με αρνητικές επιπτώσεις στην κατανάλωση νερού ( $W_C$ ) και ασθενείς θετικές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας ( $E_C$ ) και την παραγωγή τροφής ( $F_P$ ), υποδηλώνοντας με αυτό τον τρόπο πως το σύστημα του Νερού κυριαρχεί στο Δεσμό Νερού-Ενέργειας-Τροφής. Στον Δεσμό Νερού-Ενέργειας, οι συνολικοί υδατικοί πόροι (TWR) και ο πληθυσμός (αστικός και συνολικός) αποτελούν σημεία του Δεσμού με αντίθετες επιδράσεις στην κατανάλωση νερού ( $W_C$ ) και στην κατανάλωση ενέργειας ( $E_C$ ). Η διαθεσιμότητα περισσότερων υδατικών πόρων μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση νερού, διότι περιοχές με υψηλή διαθεσιμότητα υδατικών πόρων έχουν την τάση να καταναλώνουν περισσότερο νερό από περιοχές με χαμηλή διαθεσιμότητα, ενώ μειώνει την κατανάλωση ενέργειας προκαλώντας συνέπειες εξοικονόμησης ενέργειας στην υπηρεσία του οικοσυστήματος. Όσο αφορά τον πληθυσμό, η αύξηση του αστικού πληθυσμού μπορεί να επιτύχει εξοικονόμηση νερού μέσω της χρήσης ενός κεντρικού συστήματος παροχής νερού, ενώ ο συνολικός πληθυσμός ως δείκτης της συνολικής παραγωγής λυμάτων έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας της δεδομένης χωρητικότητας επεξεργασίας λυμάτων (WWTC), καθώς τα μη επεξεργασμένα λύματα μπορούν προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στις υπηρεσίες των αστικών οικοσυστημάτων. Στον δεσμό Ενέργειας-Τροφής σημαντικά σημεία είναι η χωρητικότητα επεξεργασίας λυμάτων WWTC και η κατανάλωση χημικών λιπασμάτων ανά καλλιεργούμενη έκταση (CFSA), με την πρώτη να επιδρά θετικά στο δεσμό και τη δεύτερη αρνητικά. Η χωρητικότητα της επεξεργασίας λυμάτων αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση, ενώ μπορεί να δώσει ώθηση στην αύξηση της παραγωγής τροφής μέσω του εμπλουτισμού των

υπηρεσιών του οικοσυστήματος με επεξεργασμένα λύματα. Ως δείκτης ποιότητας του εδάφους, η υψηλή κατανάλωση χημικών λιπασμάτων ανά καλλιεργούμενη έκταση (CFSA) υποδηλώνει πως για την ίδια ποσότητα παραγωγής τροφής απαιτείται μεγαλύτερη καλλιεργούμενη έκταση, καθώς η ποιότητα του εδάφους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Στο δεσμό Νερού-Τροφής κύρια σημεία αποτελούν η κατανάλωση νερού και η παραγωγή τροφής, διότι αλληλοεπιδρούν έντονα μεταξύ τους και αντιπροσωπεύουν τα συστήματα του νερού και της τροφής αντίστοιχα. Η χωρητικότητα επεξεργασίας λυμάτων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στα δύο συστήματα. Η άνοδος των επιπέδων κατανάλωσης νερού συνεπάγεται περισσότεροι ποσότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων που μπορούν να βλάψουν τα οικοσυστήματα αν διατίθενται ελεύθερα και κατά επέκταση να μειώσουν την παραγωγή τροφής. Από την άλλη, η αύξηση της παραγωγής τροφής μπορεί να εξοικονομήσει ποσότητες νερού μέσω των οικονομικών εσόδων της και των επενδύσεων σε τεχνολογίες για την ανάπτυξη της παραγωγικής διαδικασίας (Huang Daohan, 2019).

Οι διασυνδέσεις μεταξύ των συστημάτων εκδηλώνονται με διαφορετικό, εντοπίζονται σε διαφορετικές διεργασίες ανάμεσα στο δεσμό του πυρήνα και τον περιφερειακό δεσμό του εννοιολογικού μοντέλου. Στον Δεσμό Νερού-Ενέργειας-Τροφής της συγκεκριμένης μελέτης δεν εμφανίστηκε κάποιου είδους συνέργεια, ωστόσο τονίστηκαν οι θετικές και αρνητικές επιρροές διαφόρων συμπεριφορών των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστημάτων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής. Ένας βρόγχος διασυνδέσεων ανάμεσα σε αυτά τα συστήματα αποτελεί ο αρνητικός αντίκτυπος της κατανάλωσης νερού στην παραγωγή τροφής, η παραγωγή τροφής να επιδρά αρνητικά στην κατανάλωση ενέργειας και η κατανάλωση ενέργειας να επιδρά θετικά στην κατανάλωση νερού. Παράγοντες τόσο από το δεσμό του πυρήνα όσο και από τον περιφερειακό δεσμό μπορούν να επηρεάσουν οποιαδήποτε από την κατανάλωση νερού, την κατανάλωση ενέργειας ή την παραγωγή τροφής και κατά συνέπεια όλα τα συστήματα οδηγώντας στο αποτέλεσμα νέας ισορροπίας του δεσμού του πυρήνα (Huang Daohan, 2019). Βάσει των συμπεριφορών του συστήματος εξισώσεων στην περίπτωση μελέτης της Κίνας, οι δράσεις των φορέων στην διαχείριση του δεσμού, κατά τους Huang Daohan et. al. (2019), μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε επενδυτικά προγράμματα, πολιτικές σχετικές με τις υποδομές και πολιτικές που σχετίζονται με τους ελέγχους ποιότητας. Σε αυτή τη μελέτη κάθε συμπεριφορά που εντοπίζεται μέσω των εξισώσεων στα διάφορα συστήματα του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής και κάθε σύστημα ή διεργασία που λαμβάνει χώρα στο Δεσμό ανταποκρίνεται σε έναν τομέα διαχείρισης. Σύμφωνα με τις τιμές των συντελεστών που εκτιμήθηκαν για τις εξισώσεις, τομείς με υψηλή τιμή του συντελεστή τους αναγνωρίζονται ως ικανοί ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματική διαχείριση του Δεσμού. Στην περίπτωση μελέτης στην Κίνα οι τομείς που σχετίζονται με την ενεργή αρδευόμενη έκταση (EIA), το ποσοστό της δευτερογενούς βιομηχανίας (SIR), το συνολικό πληθυσμό (TP) και την καλλιεργούμενη έκταση (CSA) αποτελούν κύριους τομείς για την διαχείριση της κατανάλωσης νερού, της ενεργειακής κατανάλωσης και της παραγωγής φαγητού (Huang Daohan, 2019). Οι Huang Daohan et. al (2019) υποστηρίζουν πως ο εντοπισμός τόσο των θετικών όσο και των αρνητικών αλληλεπιδράσεων που εμφανίζονται μεταξύ των συστημάτων πόρων οδηγεί στο συμπέρασμα πως η διαχείριση βασισμένη σε στοχευμένους τομείς θα οδηγήσει σε εφικτή διαχείριση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής.



Εικόνα 4. Βρόγχοι ανάδρασης με τους εκτιμώμενους συντελεστές (Huang Daohan, 2019).

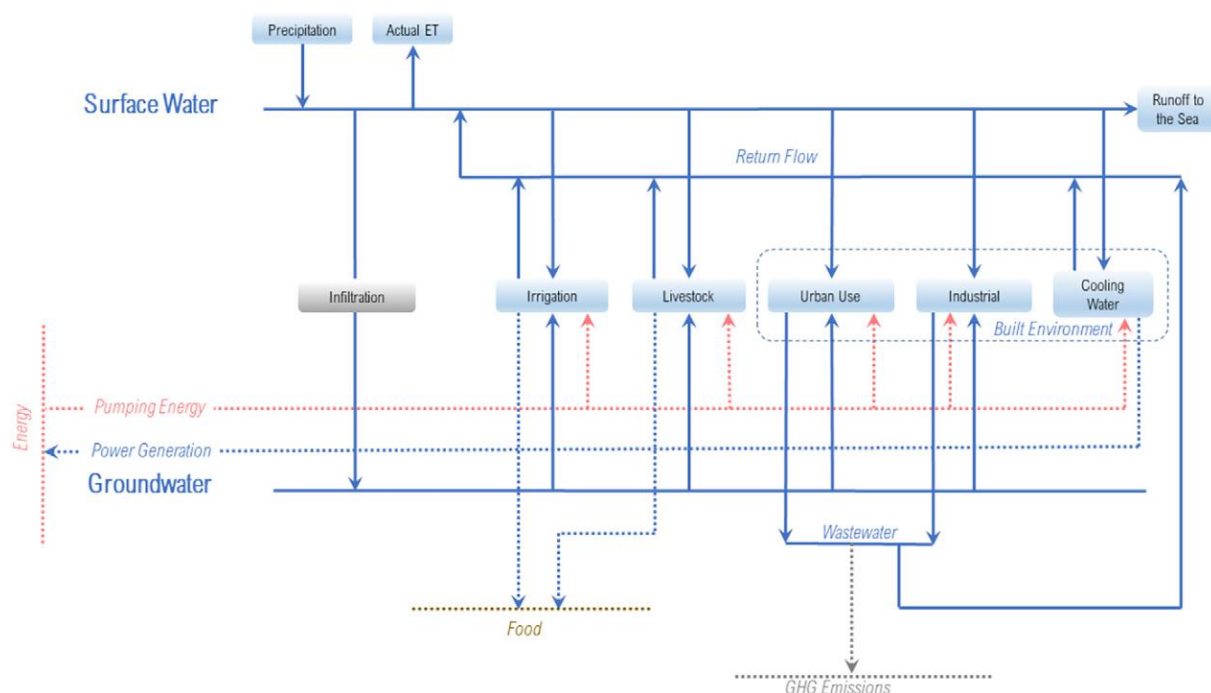
Οι Laspidou et. al. (2020) εφάρμοσαν ένα μοντέλο δυναμικού συστήματος, το Nexus\_SDM, ώστε να χαρτογραφήσουν δεδομένα από διάφορους τομείς από μεγάλες βάσεις δεδομένων και στη συνέχεια να γίνει δυνατός ο υπολογισμός των διασυνδέσεων του Δεσμού καθώς και η ποσοτικοποίηση των διασυνδέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ του Νερού, της Ενέργειας, της Τροφής, του Κλίματος και των Χρήσεων γης. Παράλληλα μελετήθηκαν και μοντέλα σεναρίων του Δεσμού για την εθνική περίπτωση μελέτης της Ελλάδας. Το δυναμικό σύστημα προσομοιάζει το Δεσμό ως ένα ολιστικό διατομεακό σύστημα ενώ εντοπίζει την τρωτότητα του συστήματος των πόρων σε μελλοντικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια.

Το σύστημα του δυναμικού μοντέλου που εφαρμόστηκε περιέχει πέντε ενότητες, μία για κάθε συνιστώσα του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Χρήσεων γης-Κλίματος. Όλες οι ενότητες του μοντέλου ενσωματώνονται μέσω του λογισμικού Stella. Η μέθοδος ολοκλήρωσης πραγματοποιήθηκε με μηνιαίο χρονικό βήμα Euler. Κάθε ενότητα χρησιμοποιεί χωρικά και στατιστικά σετ δεδομένων για την ποσοτικοποίηση των διασυνδέσεων μεταξύ των συνιστωσών του Δεσμού και για να εκτιμήσει τις ποσότητες του νερού, της ενέργειας, της αγροτικής παραγωγής και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τις διαφορετικές χρήσεις γης, έχοντας υπόψη και τον παράγοντα του πληθυσμού αλλά και του τουρισμού (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Στον ελλαδικό χώρο παρατηρείται μία ιδιαίτερη κατανομή των υδατικών πόρων. Το δυτικό τμήμα της χώρας χαρακτηρίζεται από αφθονία υδατικών πόρων, ενώ το ανατολικό τμήμα της παρουσιάζει έντονα φαινόμενα λειψυδρίας. Για να μπορέσει να περιγραφεί αυτή η ιδιαιτερότητα στο μοντέλο, η ενότητα του Νερού διαχωρίστηκε σε 14 υποενότητες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας. Αυτός ο τρόπος προσέγγισης αποδείχθηκε σωστός, καθώς τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας είναι υδρολογικά ανεξάρτητα. Για κάθε υδατικό διαμέρισμα έχουν χαρτογραφηθεί όλες οι υδατικές ανάγκες, οι οικιακές και εμπορικές χρήσεις νερού, η άρδευση, η κτηνοτροφική χρήση νερού, βιομηχανική χρήση νερού και η χρήση νερού για ψύξη στις μονάδες παραγωγής θερμοηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα έγινε και η διάκριση της προέλευσης του νερού για τις διάφορες χρήσεις, σε επιφανειακό και υπόγειο νερό. Παράλληλα το μοντέλο αυτό αποτελεί και σημαντική πηγή πληροφοριών, αφού μπορεί και διαχωρίζει τις αναλήψεις νερού σε υπόγειες και επιφανειακές αλλά και να εντοπίζει το επίπεδο του υπόγειου υδροφορέα. Υδατικά διαμερίσματα με φαινόμενα λειψυδρίας και με υδροφορείς που έχουν πληχθεί από



τις δραστηριότητες της γεωργίας μπορούν να αποτυπωθούν μέσω αυτού του μοντέλου, ενώ είναι δυνατή και η εκτίμηση του αντίκτυπου των πολιτικών που εφαρμόζονται και των χρήσεων νερού ή πιθανά σενάρια του Δεσμού. Στην Εικόνα 1 παρατηρείται μια σχηματική απεικόνιση της Ενότητας του Νερού στο Nexus\_SDM, όπου έχουν καταγραφεί όλες οι χρήσεις νερού, συγκεκριμένα από όλες τις χρήσεις, η αστική και η βιομηχανική και το νερό για ψύξη σχετίζονται με το δομημένο περιβάλλον. Απεικονίζονται και οι διασυνδέσεις του τομέα του Νερού με τους άλλους τομείς του Δεσμού, για παράδειγμα η ενέργεια απαιτείται για την άντληση του νερού και το νερό χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο για την παραγωγή ενέργειας, η άρδευση και η κτηνοτροφική χρήση νερού απαιτείται για την παραγωγή τροφής, ενώ η επεξεργασία λυμάτων σχετίζεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Στην ενότητα αυτή καταγράφονται μόνο οι άμεσες διασυνδέσεις και όχι οι έμμεσες μεταξύ των συνιστωσών του Δεσμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που είναι συνυφασμένες με την χρήση ενέργειας για την άντληση νερού, δηλαδή στην ενότητα του Νερού οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν έμμεση διασύνδεση και δεν καταγράφονται, σε αντίθεση με την ενότητα της Ενέργειας που καταγράφονται αφού αποτελούν άμεση διασύνδεση μεταξύ Ενέργειας-Κλίματος (Chrysi S. Lapidou, 2020).



Εικόνα 5. Η ενότητα του Νερού στο Nexus\_SDM (Chrysi S. Lapidou, 2020).

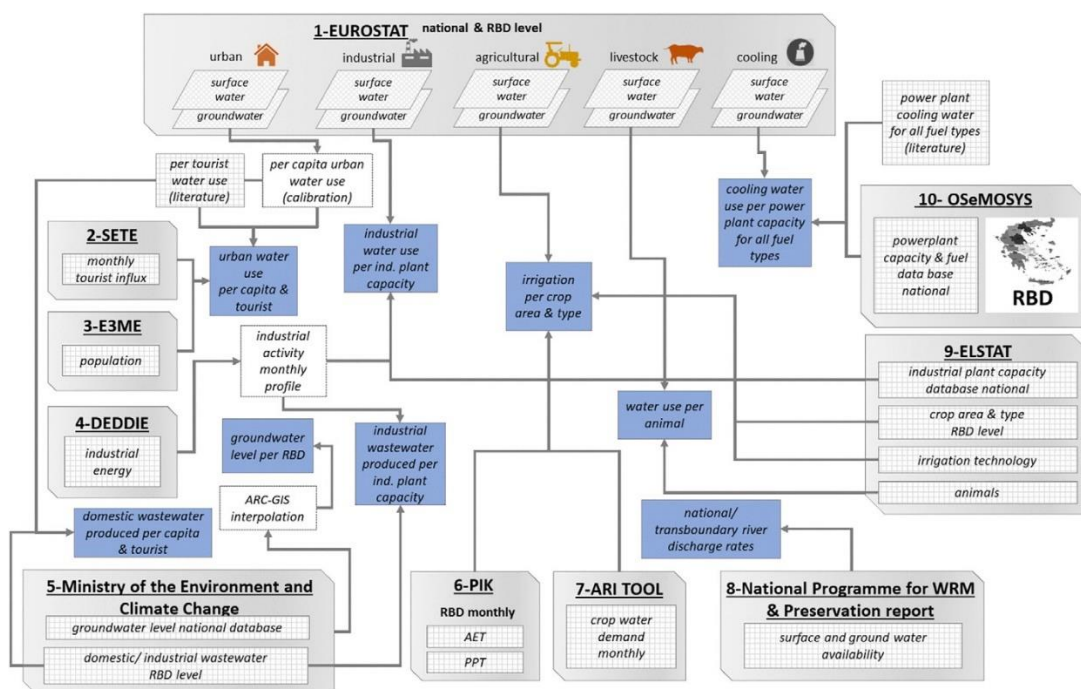
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από σειρές βάσεων δεδομένων και έχουν επεξεργαστεί μέσω αλγορίθμων για την παραγωγή χωροχρονικών διακριτών τιμών, λόγω χάρης μηνιαίες τιμές για κάθε υδατικό διαμέρισμα. Για το Nexus\_SDM τα δεδομένα που εισήχθησαν προέρχονται από βάσεις δεδομένων και αποτελέσματα μοντέλων, στοιχεία της βιβλιογραφίας, υπολογιστικά αποτελέσματα προϊόν βαθμονόμησης ή χαρτογράφηση δεδομένων και επεξεργασίας μέσω λογισμικών γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS). Συνδυάζοντας όλες αυτές τις πληροφορίες όλες οι ποσότητες των παραγόντων που εμφανίζονται στο Δεσμό εκφράζονται ως ποσότητες «ανά μονάδα», για παράδειγμα «αστική χρήση νερού ανά κάτοικο και τουρίστα». Η Eurostat παρείχε όλες τις απαραίτητες ζητήσεις

σε νερό ανά υδατικό διαμέρισμα για υπόγειο και επιφανειακό νερό, ενώ ο τωρινός πληθυσμός και οι εκτιμήσεις του πραγματοποιήθηκαν μέσω του θεματικού μοντέλου E3ME-FFT. Μέσω του Συνδέσμου Ελληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων δεδομένα για τον τουρισμό της Ελλάδας συνδυάστηκαν με τα δεδομένα πληθυσμού ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι πιέσεις από την ανθρώπινη κατανάλωση. Μηνιαία δεδομένα για τη χρονιά 2010 σχετικά με την διανυκτέρευση των τουριστών χαρτογραφήθηκαν με τη χρήση λογισμικού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS). Με την παραδοχή πως ο μόνιμος πληθυσμός παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια του έτους, η ανάμειξη των τουριστικών δεδομένων με τα δεδομένα του μόνιμου πληθυσμού, παρήγαγε έναν συνολικό πληθυσμό που παρουσίαζε χωρική και χρονική διακύμανση σε όλα τα υδατικά διαμερίσματα για κάθε μήνα. Για να υπολογιστεί ο παράγοντας της διασύνδεσης του Δεσμού «αστική κατανάλωση νερού ανά κάτοικο και τουρίστα» στο Nexus\_SDM εισέρχονται δεδομένα από τον μόνιμο πληθυσμό μέσω του E3ME, τον τουρισμό από το Σ.Ε.Τ.Ε., η κατανάλωση νερού λόγω τουρισμού από την βιβλιογραφία και πραγματοποιεί βαθμονόμηση για να υπολογίσει τον παράγοντα της διασύνδεσης ώστε να συνάδει με τον συνολικό επίπεδο χρήσης νερού συνολικά σε όλα τα υδατικά διαμερίσματα βάσει της ELSTAT (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Δεδομένα μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρισμού για το έτος 2010 για όλους τους Δήμους της Ελλάδας για διαφορετικές χρήσεις, παραχωρήθηκαν από τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Με την χρήση λογισμικού ΓΣΠ πραγματοποιήθηκε εκφυλισμός των δεδομένων των Δήμων σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος και στη συνέχεια με τα δεδομένα αυτά σχηματίστηκαν τέσσερα διαφορετικά μηνιαία προφίλ δραστηριοτήτων (βιομηχανική δραστηριότητα, αστική δραστηριότητα, αγροτική δραστηριότητα και προφίλ συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού). Τα παραπάνω προφίλ αποτυπώνουν την ετήσια δραστηριότητα σε όλους τους μήνες και δίνουν την δυνατότητα χρονικής ανάλυσης σε ετήσιες τιμές όχι μόνο της ενέργειας αλλά και της κατανάλωσης νερού. Η κατάλληλη σε αυτό το συμπέρασμα προέρχεται από το γεγονός πως τα μοτίβα κατανάλωσης ενέργειας μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις διακυμάνσεις της κατανάλωσης νερού. Στη συγκεκριμένη μελέτη το νερό για βιομηχανική χρήση εκφράζεται ως νερό ανά χωρητικότητα βιομηχανικής μονάδας. Το σύνολο των βιομηχανικών μονάδων προέρχεται από την ELSTAT και τοποθετούνται στα κατάλληλα υδατικά διαμερίσματα. Ο παράγοντας διασύνδεσης «βιομηχανική χρήση νερού ανά χωρητικότητα βιομηχανικής μονάδας» περιγράφεται από την χωρητικότητα της μονάδας σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος, την βιομηχανική κατανάλωση νερού (EUROSTAT) και το προφίλ της βιομηχανικής δραστηριότητας (ΔΕΔΔΗΕ) (Chrysi S. Laspidou, 2020).

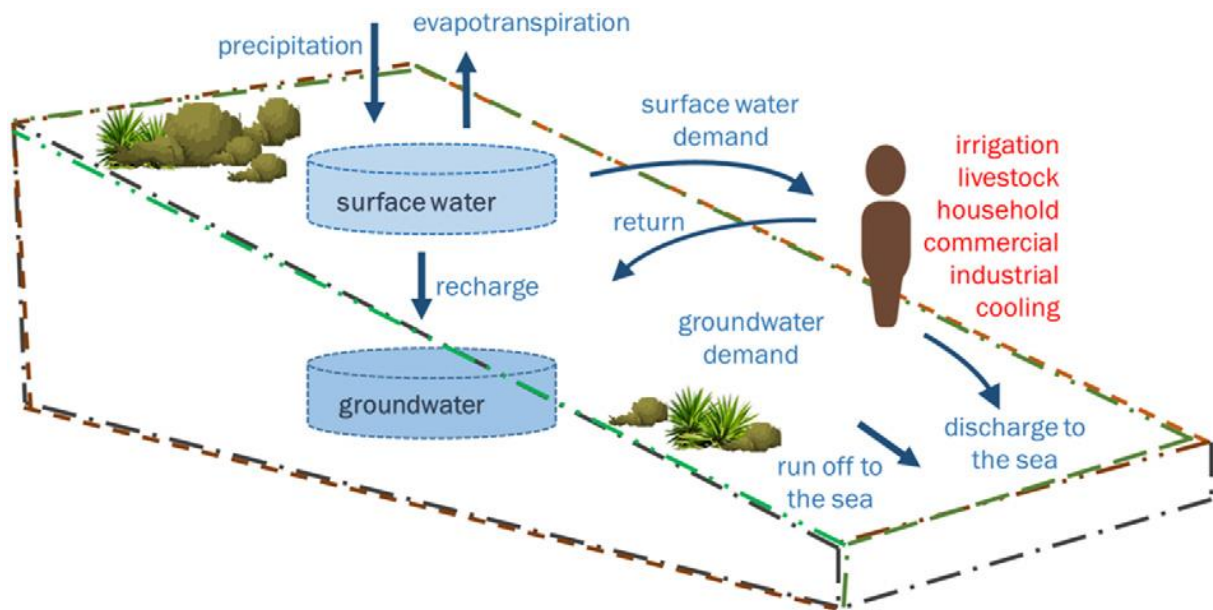
Παράλληλα μέσω δεδομένων που προέρχονται από το Εθνικό Πρόγραμμα για την Διαχείριση και Προστασία των Υδατικών Πόρων έγινε η κατανομή της διαθεσιμότητας του επιφανειακού και υπόγειου νερού σε καθένα από τα υδατικά διαμερίσματα, ενώ από την ίδια πηγή ήταν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικές με παραμέτρους όπως οι ροές ποταμών, τα διασυννοριακά υδάτινα σώματα, η διήθηση του υπόγειου νερού και οι εκροές προς την θάλασσα. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής διέθεσε στοιχεία σχετικά με τα επίπεδα του υπόγειου υδροφορέα για το έτος 2010 ανά υδατικό διαμέρισμα. Έπειτα από επεξεργασία αυτών των στοιχείων μέσω ανάλυσης πολυγώνων Thiessen οι Laspidou et. al. (2020) κατέληξαν σε μία τιμή «επιπέδου υπόγειου υδροφορέα ανά υδατικό διαμέρισμα». Σε

επίπεδο υδροφορέα όλες οι απαιτήσεις σε υπόγειο νερό συνδέονται με αντίστοιχη απαίτηση σε ενέργεια άντλησης υποδηλώνοντας μία διασύνδεση δεσμού Νερού-Ενέργειας.



Εικόνα 6. Πηγές δεδομένων και επεξεργασία δεδομένων στο Nexus\_SDM για την ενότητα του Νερού (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Σημαντικό ρόλο για την ολοκληρωμένη περιγραφή της ενότητας του Νερού στο Nexus\_SDM διαδραματίζει η μοντελοποίηση του υδρολογικού κύκλου. Για την μοντελοποίηση του υδρολογικού κύκλου χρειάστηκαν στοιχεία από το Ινστιτούτο Κλιματολογίας του Potsdam (PIK) που σχετίζονται με τοπικές προβλέψεις κλιματικής αλλαγής για την Ελλάδα, ενώ το σχετικό μοντέλο που αξιοποιήθηκε ήταν το GFDL-ESM2M, ενώ το θεματικό μοντέλο SWIM χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Το μοντέλο SWIM είναι χωρικά διακριτό από υδρότοπους, περιοχές που χαρακτηρίζονται από μοναδικούς συνδυασμούς τύπων εδαφών, από επιφάνειες εδάφους που βρίσκονται σε απόσταση από την ανώτερη στάθμη του υπόγειου υδροφορέα, από διάφορες χρήσεις γης, εναλλαγή καλλιεργειών (σε περίπτωση που αρδεύονται) και αποτελούν υπολεκάνες απορροής. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται σε ανεξάρτητες τοποθεσίες των υγροτόπων. Αυτό το πρώτο βήμα υπολογισμού βασίζεται στη μέθοδο των Turc-Ivanov. Σε δεύτερο στάδιο η πραγματική εξατμισοδιαπνοή προέρχεται από την δυνητική εξατμισοδιαπνοή από τους παράγοντες της εδαφικής εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών με παρόμοια προσέγγιση με αυτή του Ritchie (Chrysi S. Laspidou, 2020). Ο υδρολογικός κύκλος για την ενότητα του Νερού σχεδιάζεται με τα κατακρημνίσματα και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή ως τιμές εισόδου για κάθε υδατικό διαμέρισμα. Σε κάθε χρονικό βήμα γίνεται υπολογισμός του ισοζυγίου του επιφανειακού και υπόγειου νερού χρησιμοποιώντας δεδομένα κατακρημνισμάτων, εξατμισοδιαπνοής, εμπλουτισμού των υδροφορέων, εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα και της απορροής στη θάλασσα, ενώ ενσωματώνονται και οι απαιτήσεις ζήτησης σε επιφανειακό και υπόγειο νερό από όλους τους τομείς (Chrysi S. Laspidou, 2020). Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου όπως αυτός σχεδιάστηκε για τις ανάγκες του Nexus\_SDM.

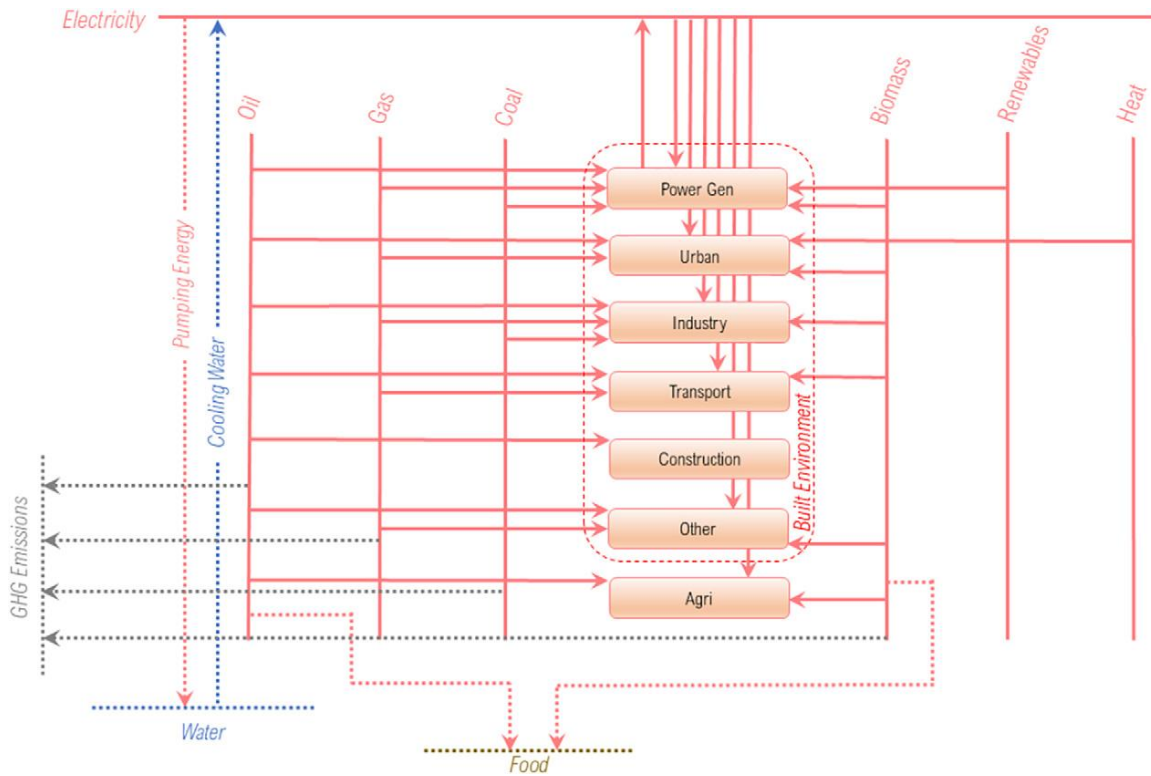


Εικόνα 7. Ο υδρολογικός κύκλος όπως σχεδιάστηκε για το Nexus\_SDM (Chrysi S. Laspidou, 2020).

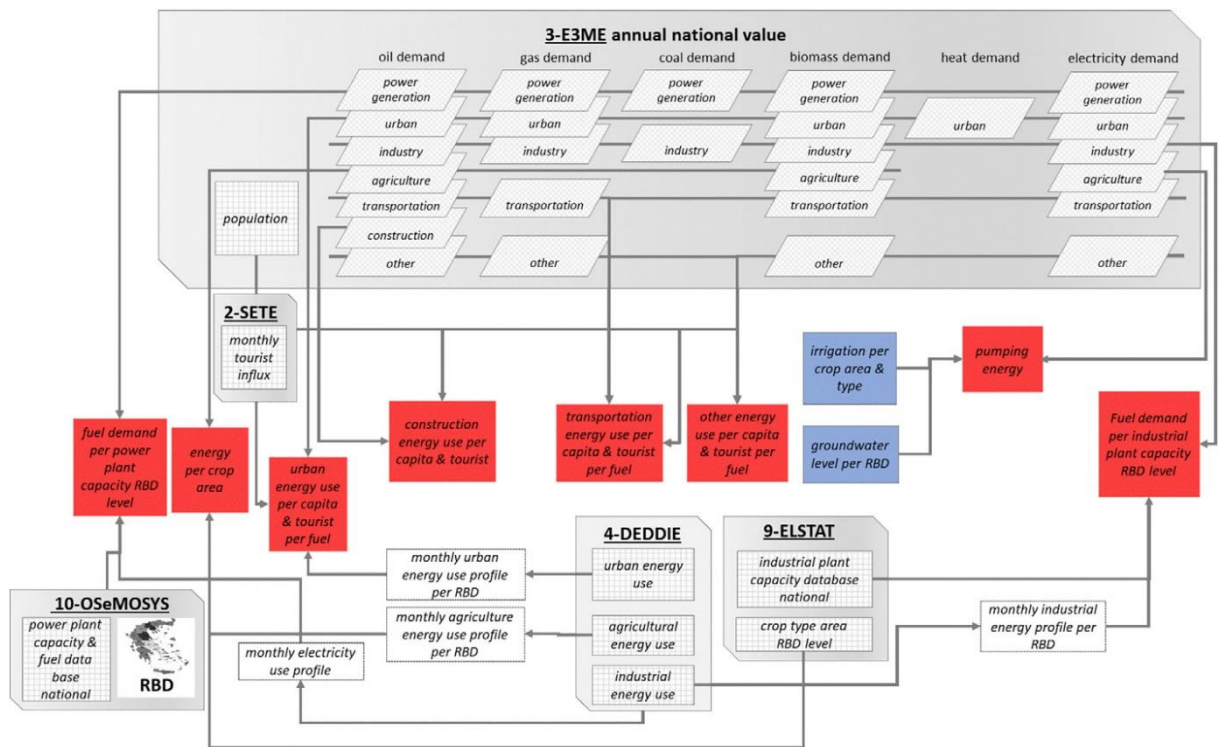
Η χαρτογράφηση κάθε μονάδας παραγωγής ενέργειας σε καθένα από τα 14 υδατικά διαμερίσματα, συμπεριλαμβανομένων της χωρητικότητάς τους και του τύπου καυσίμου που χρησιμοποιούν, επιτεύχθηκε μέσω δεδομένων του OSeMOSYS. Οι τύποι καυσίμων που απαντώνται είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, βιομάζα και η χρήση αποβλήτων αλλά και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η ηλιακή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ψυκτική χρήση νερού σε κάθε υδατικό διαμέρισμα σε συνδυασμό με την χωρητικότητα των μονάδων παραγωγής ενέργειας που έχει καταγραφεί και τους παράγοντες που σχετίζονται με την ψυκτική χρήση νερού για κάθε τύπο μονάδας παραγωγής ενέργειας από την βιβλιογραφία αξιοποιούνται για την εκτίμηση του παράγοντα διασύνδεσης του Δεσμού «χρήση νερού για ψύξη ανά χωρητικότητα μονάδας παραγωγής ενέργειας για όλους τους τύπους καυσίμου». Ταυτόχρονα έγινε και η χαρτογράφηση των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων ανά υδατικό διαμέρισμα με το ποσοστό διάθεσης λυμάτων αλλά και τις τοποθεσίες διάθεσης αυτών. Τα στοιχεία που σχετίζονται με τα λύματα διακρίνονται σε λύματα αστικών χρήσεων και βιομηχανικών χρήσεων. Όσον αφορά την ζήτηση νερού για άρδευση, αυτή υπολογίστηκε από διάφορες πηγές, όπως ιστορικά δεδομένα για τυπικές καλλιέργειες στην περιοχή και στατιστικά δεδομένα. Τα δεδομένα βαθμονομήθηκαν ώστε να ταυτίζονται με τα καταγεγραμμένα δεδομένα των τύπων και των εκτάσεων των καλλιεργειών για το έτος 2010 και στην συνέχεια να υπολογιστεί ο παράγοντας διασύνδεσης του Δεσμού «άρδευση ανά τύπο και έκταση καλλιέργειας», ενώ το νερό για τις απαιτήσεις των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων εκφράστηκε μέσω του παράγοντα διασύνδεσης «χρήση νερού ανά ζώο» (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Για την ενότητα της Ενέργειας στο Nexus\_SDM, μία σημαντική πηγή δεδομένων αποτελεί το μοντέλο E3ME-FTT από το Ινστιτούτο Οικονομετρίας του Cambridge. Το E3ME αποτελεί μοντέλο μακροοικονομικής προσομοίωσης. Το E3ME σε συνδυασμό με το FTT (Future Technology Transformations), ένα μοντέλο που επιτρέπει στον χρήστη να προσομοιώσει τον αντίκτυπο πολιτικών σχετικές με το κλίμα. Το E3ME-FTT μοντελοποιεί τους τομείς της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών και παρέχει δεδομένα ανά τομέα στην Ελλάδα,

σχετικά με το Α.Ε.Π., την εργασία, τον πληθυσμό, τις εξαγωγές, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, απαιτήσεις σε ενέργεια για άνθρακα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρισμό, θερμότητα, βιομάζα και αποβλήτων ως καύσιμο, όπως και επίσης ηλεκτρισμό που προέρχεται από όλες τις πηγές συμπεριλαμβανομένων και των ανανεώσιμων πηγών. Αναλυτικότερα οι τομείς που μελετώνται είναι η παραγωγή ενέργειας, η βιομηχανία, οι κατασκευές, οι μεταφορές, τα νοικοκυριά και η γεωργία αλλά και οι χρήσεις που σχετίζονται με το δομημένο περιβάλλον. Το E3ME-FTT παρείχε όλα τα δεδομένα της ενότητας της Ενέργειας, ενώ παρείχε την δυνατότητα της συσχέτισής τους με τις άμεσες διασυνδέσεις της Ενότητας του Κλίματος διαμέσου της σύνδεσης των απαιτήσεων σε ενέργεια ανά καύσιμο και τομέα με τις αντίστοιχες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ως ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα (Chrysi S. Lapidou, 2020). Όλοι οι παράγοντες διασύνδεσης του Δεσμού εκτιμώνται με βάση την Ενότητα της Ενέργειας του Nexus\_SDM για όλες τις ενεργειακές χρήσεις. Διάφορες διακυμάνσεις ζήτησεων ενέργειας μαζί με τον πληθυσμό και την τουριστική ροή χρησιμοποιούνται για την έκφραση των χρήσεων ενέργειας, όπως της αστικής, κατασκευαστικής, των μεταφορών και άλλες, ως χρήση ενέργειας ανά κάτοικο και τουρίστα. Η παραγωγή ενέργειας μελετάται σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος αξιοποιώντας τα δεδομένα για την δυναμικότητα των μονάδων παραγωγής ενέργειας σε εθνική κλίμακα από το OSeMOSYS που καταγράφει όλες τις μονάδες όλων των ειδών καυσίμων στην Ελλάδα. Χρησιμοποιείται μηνιαίο χρονικό βήμα για την παραγωγή ενέργειας μέσω τον συνολικών προφίλ της χρήσης ηλεκτρισμού από την Δ.Ε.Δ.Η.Ε. που περιλαμβάνει όλες τις χρήσεις ηλεκτρισμού. Ειδικότερα για την βιομηχανική χρήση ενέργειας οι Lapidou et. al. (2020) την αποτύπωσαν στο Nexus\_SDM βάσει της ζήτησης ενέργειας του E3ME που διαθέτει χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων της βιομηχανικής δραστηριότητας της Δ.Ε.Δ.Η.Ε. Η αγροτική ενέργεια υπολογίστηκε συναρτήσει της «ανά έκταση καλλιέργειας», χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της αγροτικής ενέργειας που παρείχε το E3ME, της καλλιεργούμενης έκτασης από την ELSTAT και την χρήση της ενέργειας για την αγροτική δραστηριότητα της Δ.Ε.Δ.Η.Ε. για την χωροχρονική ανάλυση (Chrysi S. Lapidou, 2020).



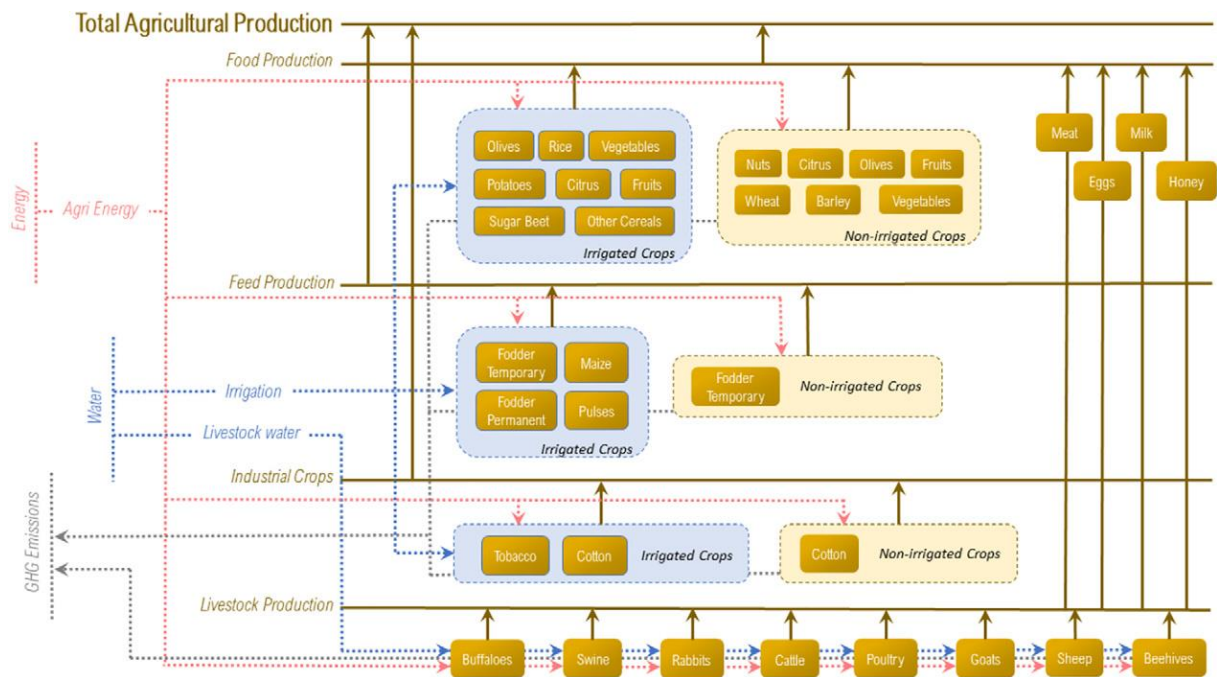
Εικόνα 8. Η ενότητα της Ενέργειας στο Nexus\_SDM (Chrysi S. Lapidou, 2020).



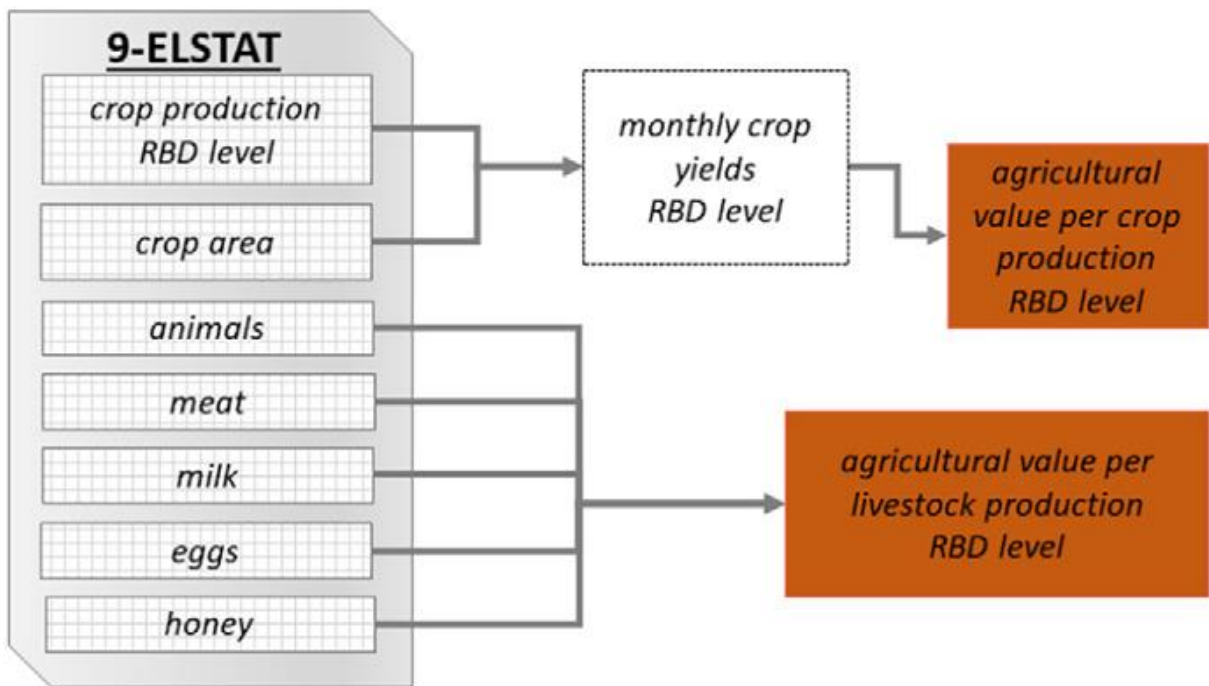
Εικόνα 9. Πηγές δεδομένων και επεξεργασία δεδομένων για την ενότητα της Ενέργειας στο Nexus\_SDM (Chrysi S. Lapidou, 2020).

Η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή συμπεριλαμβάνονται στην ενότητα της Τροφής μέσω των τύπων καλλιεργειών που ευδοκιμούν στον ελλαδικό χώρο και τα είδη ζώων και προϊόντων που συναντώνται στις κτηνοτροφικές μονάδες. Οι καλλιέργειες χαρακτηρίζονται ως τροφές, ζωοτροφές και βιομηχανικές καλλιέργειες. Η διασύνδεση μεταξύ Νερού-Τροφής εκφράζεται μέσω της χρήσης του νερού για άρδευση των καλλιεργειών και την εκτροφή των

ζώων, ενώ η ενέργεια είναι απαραίτητη για την επίτευξη όλων των διεργασιών τόσο της γεωργίας όσο και της κτηνοτροφίας. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν άμεσες συνέπειες των αγροτικών δραστηριοτήτων. Η ELSTAT παρείχε τα απαραίτητα δεδομένα όπως όλες τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, τους τύπους καλλιεργειών και όλα τα είδη ζώων σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος. Συνδυάζοντας όλα αυτά τα δεδομένα με τα δεδομένα σχετικά με το σύνολο της γεωργικής παραγωγής, εξάγονται ως αποτελέσματα η κτηνοτροφική και γεωργική παραγωγή σε συνολικές αγροτικές τιμές για κάθε υδατικό διαμέρισμα (Chrysi S. Laspidou, 2020). Στην εικόνα 6 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της ενότητας της Τροφής στο Nexus\_SDM, όπου διακρίνονται όλα τα αγροτικά προϊόντα, καθώς και όλα τα συσχετιζόμενα συστατικά του Δεσμού που αλληλοεπιδρούν. Οι διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν τις διασυνδέσεις της αγροτικής παραγωγής με τις υπόλοιπες συνιστώσες του Δεσμού.



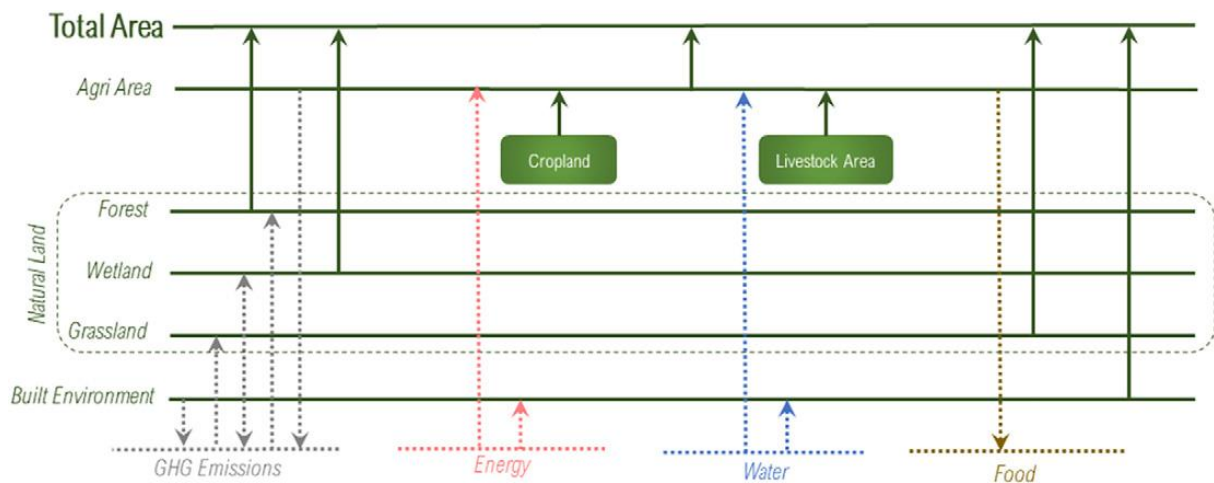
Εικόνα 10. Η ενότητα της Τροφής στο Nexus\_SDM (Chrysi S. Laspidou, 2020).



Εικόνα 11. Πηγές δεδομένων και επεξεργασία δεδομένων της ενότητας της Τροφής (Chrysi S. Laspidou, 2020).

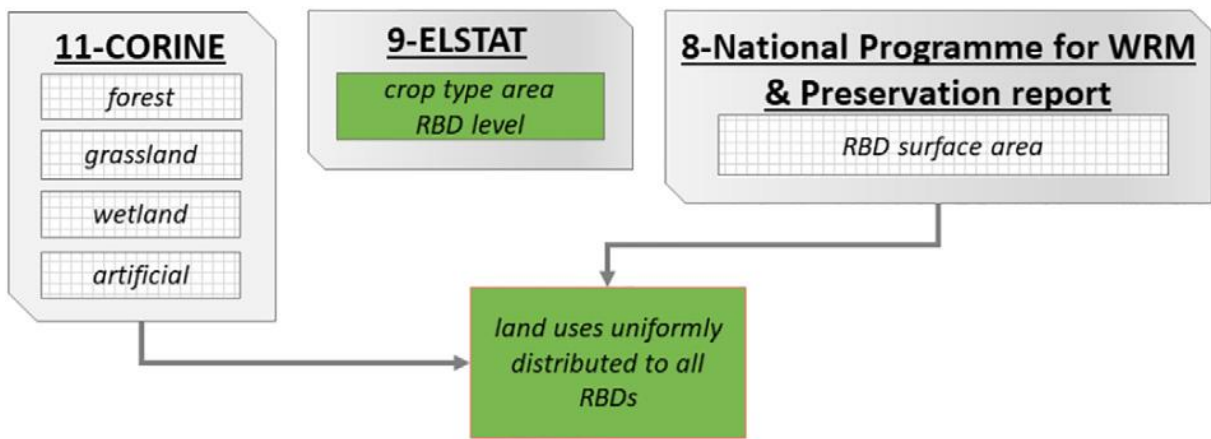
Στην εικόνα 7 απεικονίζονται οι πηγές των δεδομένων για την ενότητα της Τροφής, στα άσπρα πλαίσια φαίνονται τα υπολογιστικά βήματα, στα σκιαγραφημένα πλαίσια αναγράφονται τα δεδομένα εισαγωγής, ενώ οι παράγοντες διασύνδεσης για την Ενέργεια βρίσκονται στα καφέ πλαίσια.

Οι Laspidou et. al. (2020) διαχώρισαν τις Χρήσεις γης σε πέντε κατηγορίες, αγροτική έκταση, δασώδης έκταση, υγρότοποι, λιβάδια και δομημένο περιβάλλον. Οι διασυνδέσεις με τον τομέα του κλίματος, που παρατηρούνται στην εικόνα 8 σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα των αλλαγών χρήσεων γης και της δασοκομίας. Τα δεδομένα για τις διάφορες χρήσεις γης σε εθνικό επίπεδο ανακτήθηκαν από την βάση δεδομένων CORINE. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων, επιτεύχθηκε με διαμοιρασμό των χρήσεων γης ανά υδατικό διαμερίσμα και λαμβάνοντας υπόψιν την έκταση του κάθε υδατικού διαμερίσματος (Chrysi S. Laspidou, 2020).



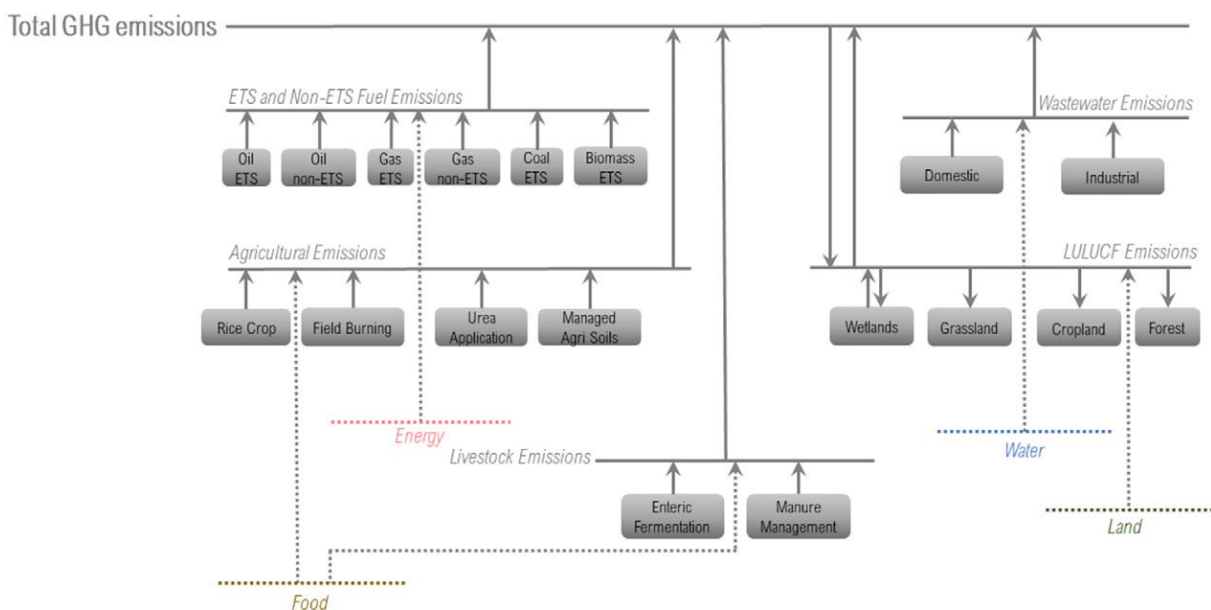
Εικόνα 12. Η ενότητα των Χρήσεων γης στο Nexus\_SDM. (Chrysi S. Laspidou, 2020).



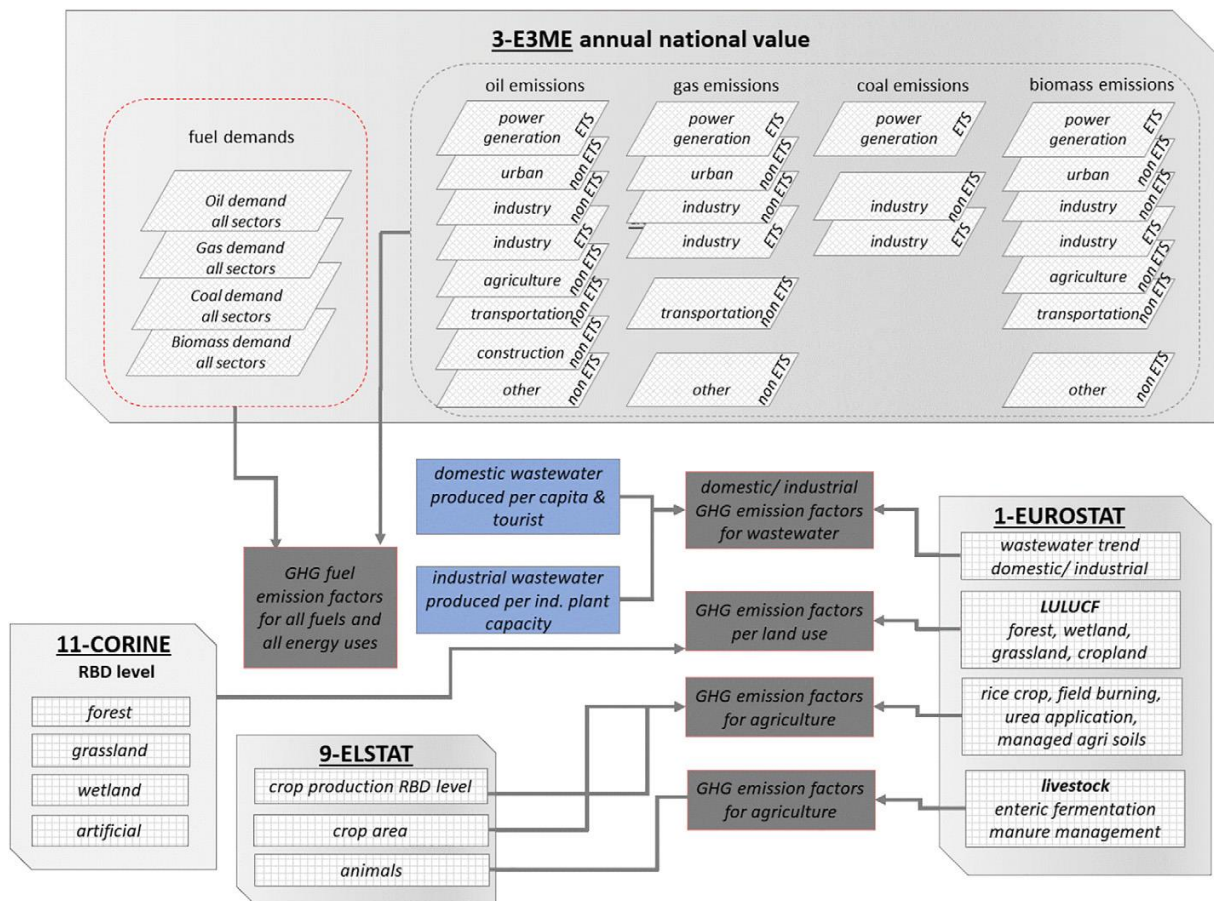


Εικόνα 13. Πηγές δεδομένων και επεξεργασία δεδομένων για την ενότητα των Χρήσεων γης (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Στην ενότητα του Κλίματος περιλαμβάνονται όλες οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που εμπεριέχονται στις υπόλοιπες ενότητες του Nexus\_SDM. Συγκεκριμένα από την ενότητα του Νερού καταγράφονται όλες οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που προκύπτουν από την επεξεργασία λυμάτων, τόσο από την οικιακή όσο και από την βιομηχανική χρήση. Στον τομέα της Ενέργειας οι εκπομπές αερίων αποτελούν προϊόν της χρήσης ορυκτών καυσίμων. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται μία διάκριση μεταξύ των εκπομπών που καλύπτονται από το Σχέδιο Εμπορίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αυτών που δεν καλύπτονται. Η αγροτική δραστηριότητα που εκφράζει τον τομέα της Τροφής μέσω των διεργασιών της όπως, η καύση των χωραφιών, η εφαρμογή ουρίας και εκπομπών που προέρχονται από την επεξεργασία του εδάφους και της διαχείρισης του ζωικού κεφαλαίου συνεισφέρει στην εντατικοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στις Χρήσεις γης, οι αρνητικές επιπτώσεις των εκπομπών οφείλονται κυρίως σε δραστηριότητες όπως η δασοκομία (Chrysi S. Laspidou, 2020). Όλες οι πηγές προέλευσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνονται σχηματικά στην εικόνα 10.



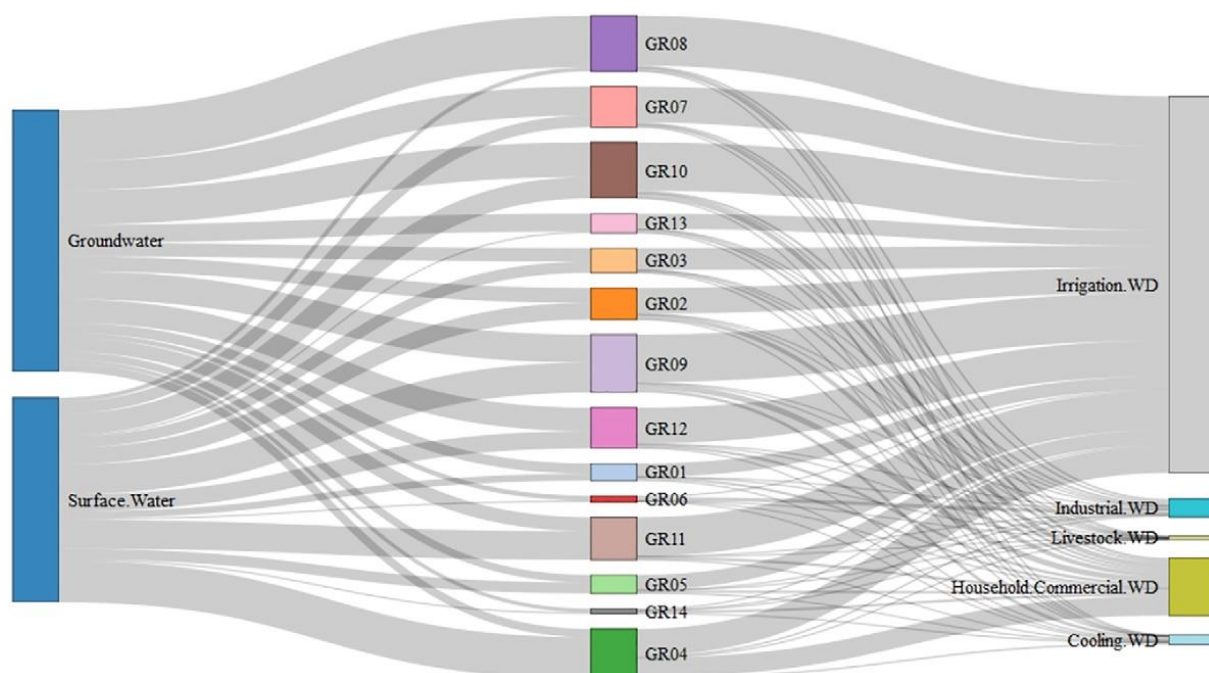
Εικόνα 14. Η ενότητα του Κλίματος στο Nexus\_SDM (Chrysi S. Laspidou, 2020).



Εικόνα 15. Πηγές δεδομένων και επεξεργασία δεδομένων στο Nexus\_SDM στην ενότητα του Κλίματος (Chrysi S. Lapidou, 2020).

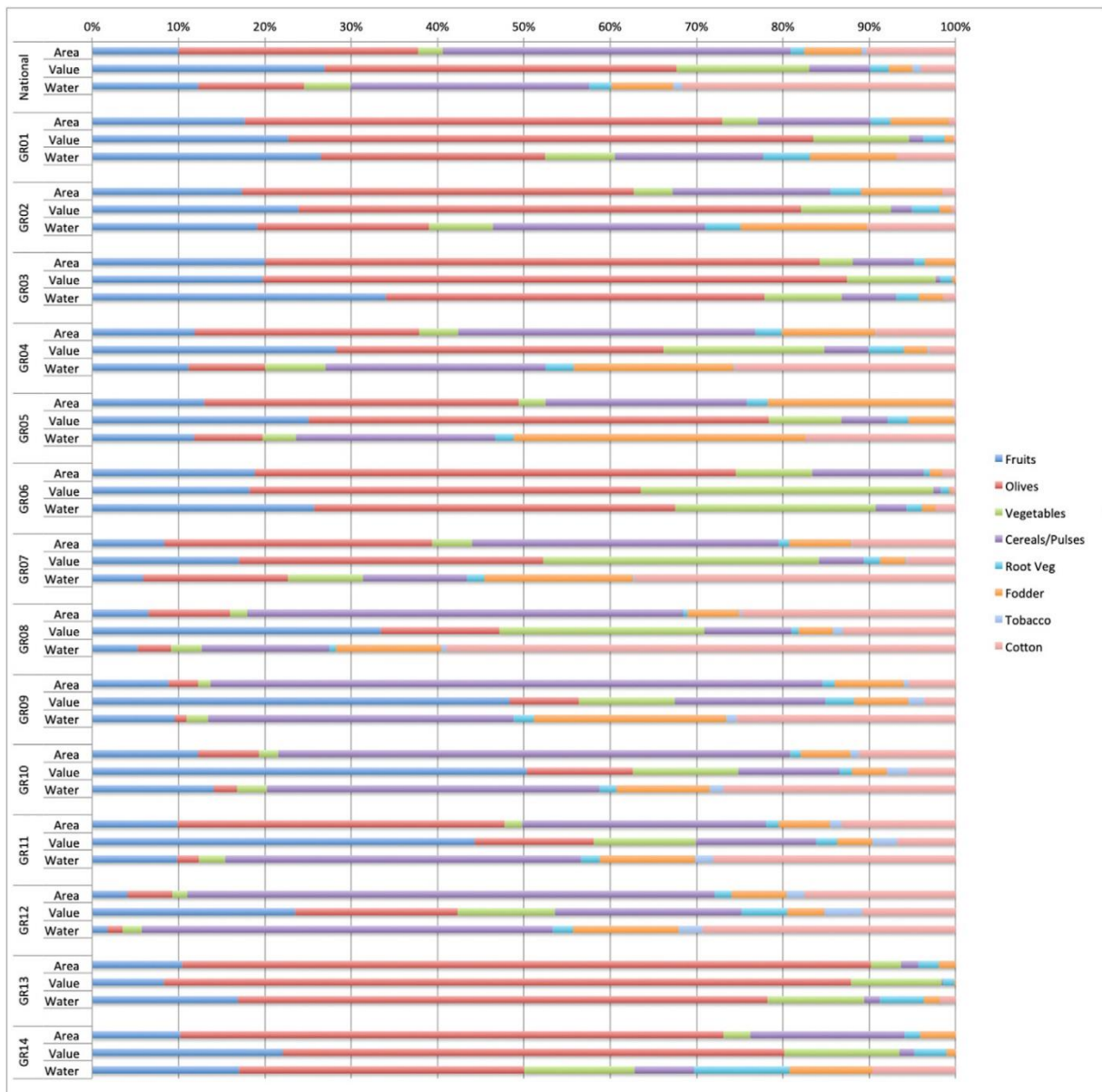
Η ποσοτικοποίηση του Δεσμού εκφράζεται μέσω των παραγόντων διασύνδεσης. Οι διασυνδέσεις του Δεσμού σχεδιάζονται στο Nexus\_SDM με έκφραση των μεταβλητών σε ποσότητες «ανά μονάδα». Προκύπτουν παράγοντες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή σεναρίων αλλάζοντας την μονάδα στην οποία είναι εκφρασμένοι. Στην ενότητα της Ενέργειας από το E3ME-FTT παράγεται η συνολική ετήσια ζήτηση σε ελαιόλαδο. Η τιμή αυτή διαχωρίστηκε για καθένα από τα 14 υδατικά διαμερίσματα, ενώ στη συνέχεια κάθε τιμή του υδατικού διαμερίσματος αναλύθηκε σε 12 μηνιαίες τιμές ανά χρόνο χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την Δ.ΕΔ.Η.Ε. Η ενότητα των Χρήσεων γης περιλαμβάνει την καλλιεργήσιμη έκταση για κάθε υδατικό διαμέρισμα. Με διαίρεση των τιμών της ζήτησης ελαιόλαδου με την αντίστοιχη έκταση προκύπτει μια χρονοσειρά από παράγοντες που εκφράζουν την αγροτική ζήτηση σε ελαιόλαδο ανά  $m^2$  καλλιεργήσιμης έκτασης. Ο παράγοντας αυτός εκφράζει την διασύνδεση μεταξύ των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και της αγροτικής ζήτησης ελαιόλαδου και επιτρέπει στον μελετητή να ποσοτικοποιήσει αυτή την διασύνδεση αλλά και να εφαρμόσει διάφορα σενάρια, όπως να ελαττώσει ή να αυξήσει την έκταση και να παρακολουθήσει τις συνέπειες στη ζήτηση ελαιόλαδου. Οι παράγοντες διασύνδεσης μπορούν είτε να συνδέουν μεταβλητές της ίδιας ενότητας, είτε να συνδέουν μεταβλητές άλλων ενότητων μεταξύ τους. Παρατηρείται ότι οι αλλαγές σε παράγοντες μπορεί να προκαλέσουν μια αλυσίδα αλλαγών σε άλλους παράγοντες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι πως η αλλαγή στον πληθυσμό ή τον τουρισμό μπορεί να επιφέρει μια σειρά αλλαγών σε διάφορες μεταβλητές και διάφορους τομείς του Δεσμού. Έτσι μπορούν να

εντοπιστούν και να ποσοτικοποιηθούν επιπτώσεις που εμφανίζονται μεταξύ των συνιστωσών του Δεσμού, ενώ διαφαίνονται οι κρίσιμες διασυνδέσεις (Chrysi S. Laspidou, 2020).



Εικόνα 16. Κατανομή εθνικής κατανάλωσης επιφανειακού και υπόγειου νερού στην Ελλάδα ανά υδατικό διαμέρισμα και ανά τύπο χρήσης νερού για το έτος 2010 (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Η εικόνα 12 παρουσιάζει την κατανομή του επιφανειακού και υπόγειου νερού στα 14 υδατικά διαμερίσματα, αλλά και τον τρόπο που αυτό καταναλώνεται σε καθένα από αυτά. Σε εθνικό επίπεδο παρατηρείται ότι η κατανάλωση επιφανειακού και υπόγειου νερού κυμαίνεται στα ίδια ποσοστά. Όπως φαίνεται στην εικόνα 12 ο κύριος καταναλωτής νερού είναι η αγροτική δραστηριότητα που εκφράζεται από την άρδευση και τη χρήση νερού στην κτηνοτροφία. Τόσο η γεωργία όσο και η κτηνοτροφία σχετίζονται άμεσα με τον τομέα της Τροφής ως εκ τούτου η διασύνδεση Νερού-Τροφής είναι ισχυρή. Σε δεύτερη θέση έρχεται η αστική κατανάλωση νερού, με την βιομηχανική χρήση και την ψυκτική να ακολουθούν. Η αστική και η βιομηχανική χρήση νερού συνδέονται με το δομημένο περιβάλλον, επομένως η διασύνδεση του Νερού με το δομημένο περιβάλλον χαρακτηρίζεται αδύναμη σε σχέση με τη διασύνδεση Νερού-Τροφής. Το ίδιο συμβαίνει με την ψυκτική χρήση νερού που εκφράζει την διασύνδεση Νερού-Ενέργειας. Η εικόνα 12 επιβεβαιώνει ότι τα υδατικά διαμερίσματα της Θεσσαλίας, της Κεντρικής Μακεδονίας και της Δυτικής Μακεδονίας καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού, διότι το μεγαλύτερο μέρος της αγροτικής δραστηριότητας λαμβάνει χώρα εκεί. Παρατηρείται πως το υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Κεντρικής Ελλάδας καταναλώνει μεγάλη ποσότητα νερού για αστική χρήση. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός πως το Υδατικό Διαμέρισμα της Αττικής, στο οποίο ανήκει η Αθήνα, δεν διαθέτει αρκετούς υδατικούς πόρους για να καλύψει την ζήτηση σε νερό και ως εκ τούτου προμηθεύεται νερό από το υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Κεντρικής Ελλάδας. Για αυτό το λόγο το υδατικό διαμέρισμα της Αττικής παρουσιάζεται στην εικόνα 12 με μικρή αστική κατανάλωση (Chrysi S. Laspidou, 2020).

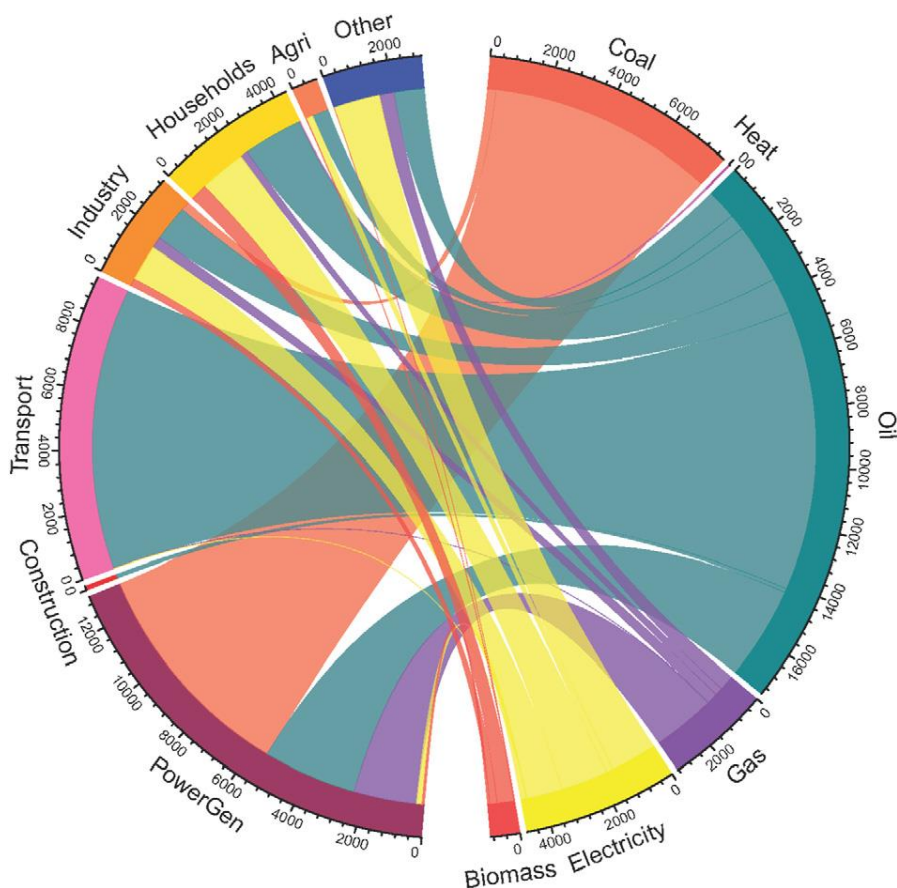


Εικόνα 17. Ποσοστιαίος διαχωρισμός των καλλιεργειών σε σχέση με την έκταση, την αγροτική αξία και το αρδευόμενο νερό στην Ελλάδα (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Η ανάλυση της αγροτικής παραγωγής συναρτήσεως της έκτασης της καλλιεργήσιμης γης με συγκεκριμένη καλλιέργεια, της αντίστοιχης αξίας της καλλιέργειας και του απαιτούμενου νερού για άρδευση αποτυπώνεται στην εικόνα 13. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι τρεις ποσότητες σχετίζονται μεταξύ τους σε εθνικό επίπεδο, αλλά και για κάθε υδατικό διαμέρισμα ξεχωριστά. Όσον αφορά τις υδροβόρες καλλιέργειες, αυτές παρουσιάζονται με μακρύτερη μπάρα στην κατηγορία του νερού, συγκριτικά με άλλες καλλιέργειες. Η μπάρα αυτή απεικονίζει το «μπλε» νερό όπως αυτό ορίζεται από την ορολογία του υδατικού αποτυπώματος. Όταν το «πράσινο» νερό συναντά την ζήτηση σε καλλιέργεια ή όταν τμήμα της καλλιέργειας δεν αρδύεται, τότε η μπάρα απεικονίζεται μικρότερη συγκριτικά με το μήκος της μπάρας που σχετίζεται με την έκταση. Η μπάρα της «τιμής» αφορά την αγοραστική αξία της κάθε καλλιέργειας και οι Laspidou et.al. (2020) θεωρούν σημαντικό να συσχετιστεί με το «νερό» και την «έκταση», διότι καλλιέργειες με υψηλή «αξία» και με λιγότερη «έκταση» ή «νερό» καθίστανται δημοφιλής σε θέματα βιωσιμότητας, καθώς συνδυάζουν υψηλά οικονομικά οφέλη με σχετικά χαμηλή χρήση νερού

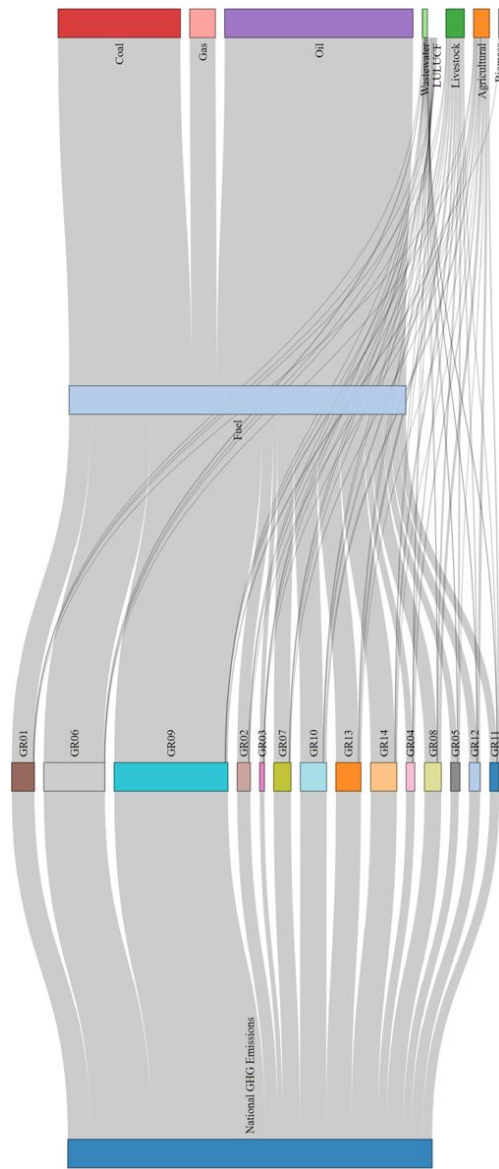
και μικρή έκταση. Στην παραπάνω περίπτωση, βάσει της εικόνας 13, ανήκουν οι ελιές, τα φρούτα και τα λαχανικά που παρουσιάζουν υψηλή «αξία» και χαμηλά ποσοστά «νερού» και «έκτασης» σε εθνική κλίμακα. Εν αντιθέσει το βαμβάκι αποτελεί μια πολύ υδροβόρα καλλιέργεια που αποφέρει ελάχιστα οικονομικά οφέλη συνολικά. Η ανάλυση σε κλίμακα υδατικού διαμερίσματος αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη, διότι κατάφερε να εντοπίσει τις διαφορές στα δεδομένα των καλλιεργειών. Τα προφίλ και οι ποσότητες των κατακρημνίσεων διαφέρουν στην ελληνική επικράτεια, καθώς επίσης και οι σοδιές αλλά και η παραγωγή τροφής από μη αρδευόμενες καλλιέργειες. Μία ανάλυση μόνο σε εθνικό επίπεδο δε θα επαρκούσε για την αποσαφήνιση αυτών φαινομένων. Ωστόσο το συγκριτικό παράδειγμα του βαμβακιού με τα φρούτα και τα λαχανικά ισχύει και σε επίπεδο υδατικού διαμερίσματος (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Η ανάλυση του τομέα της Ενέργειας παρουσιάζεται με τη μορφή του διαγράμματος χορδής της εικόνας 14. Το διάγραμμα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τομείς που καταναλώνουν ενέργεια και στη δεύτερη περιλαμβάνονται οι τύποι καυσίμου που καταναλώνονται. Οι λωρίδες που σχεδιάζονται μεταξύ των δύο κατηγοριών υποδηλώνουν την αλληλοεπίδραση μεταξύ τους. Οι λωρίδες χρωματικά είναι ίδιες με τις οντότητες από τις οποίες ξεκινούν και καταλήγουν σε οντότητες της άλλης κατηγορίας. Το μέγεθος της λωρίδας που συνδέει τις δύο κατηγορίες είναι ανάλογο του μεγέθους της ροής. Παραδείγματος χάριν, παρατηρείται μια παχιά λωρίδα γαλαζοπράσινου χρώματος να φεύγει από την οντότητα «πετρέλαιο» και να καταλήγει στην οντότητα «Μεταφορές», μαρτυρώντας πως μεγάλο μέρος από την ποσότητα πετρελαίου χρησιμοποιείται από τον τομέα των Μεταφορών. Παράλληλα διακρίνεται και μια λεπτή κίτρινη λωρίδα (ηλεκτρισμός) να καταλήγει στις «Μεταφορές», υποδεικνύοντας πως μικρό μέρος της ενεργειακής ζήτησης καλύπτεται από τον ηλεκτρισμό. Το διάγραμμα της εικόνας 14 αποτυπώνει για κάθε κατηγορία τομέων κατανάλωσης ενέργειας τι είδους καύσιμα χρησιμοποιούν σε εθνικό επίπεδο (Chrysi S. Laspidou, 2020).



Εικόνα 18. Ανάλυση του τομέα της Ενέργειας σε εθνικό επίπεδο, σύνδεση πηγών ενέργειας με ενεργειακές χρήσεις. Όλα τα μεγέθη που φαίνονται είναι εκφρασμένα σε Mtoe.

Η χαρτογράφηση των δεδομένων της ενέργειας κατά αυτόν τον τρόπο διευκρινίζει με ευκολία ποιος τύπος καυσίμου δεσπόζει στην κατανάλωση ενέργειας και ποιοι τομείς είναι οι κύριοι καταναλωτές αυτών των τύπων καυσίμου. Μέσω του διαγράμματος διακρίνεται ότι το Πετρέλαιο παίζει κυρίαρχο ρόλο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε εθνική κλίμακα, με τις μεταφορές να αναδεικνύονται ως ο μεγαλύτερος καταναλωτής. Ταυτόχρονα ο Άνθρακας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ενέργειας, ενώ η κατανάλωση φυσικού αερίου από τα νοικοκυριά είναι ελάχιστη. Εκτός από τις μεταφορές, ο τομέας παραγωγής ενέργειας καταναλώνει σημαντικές ποσότητες Πετρελαίου, με τη θέρμανση των νοικοκυριών και τη βιομηχανική χρήση να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανάλωσή του. Μεγάλο μέρος του αποθέματος Φυσικού Αερίου αξιοποιείται από τον τομέα παραγωγής ενέργειας, ενώ ο Ηλεκτρισμός διαχωρίζεται στις οικιακές, βιομηχανικές κι άλλες χρήσεις. Το μεγαλύτερο μέρος της Βιομάζας καταναλώνεται από τα νοικοκυριά για θέρμανση. Η Θερμότητα αποτελεί πολύ μικρό κομμάτι των πηγών ενέργειας και καταναλώνεται αποκλειστικά από τα νοικοκυριά (Chrysi S. Laspidou, 2020).



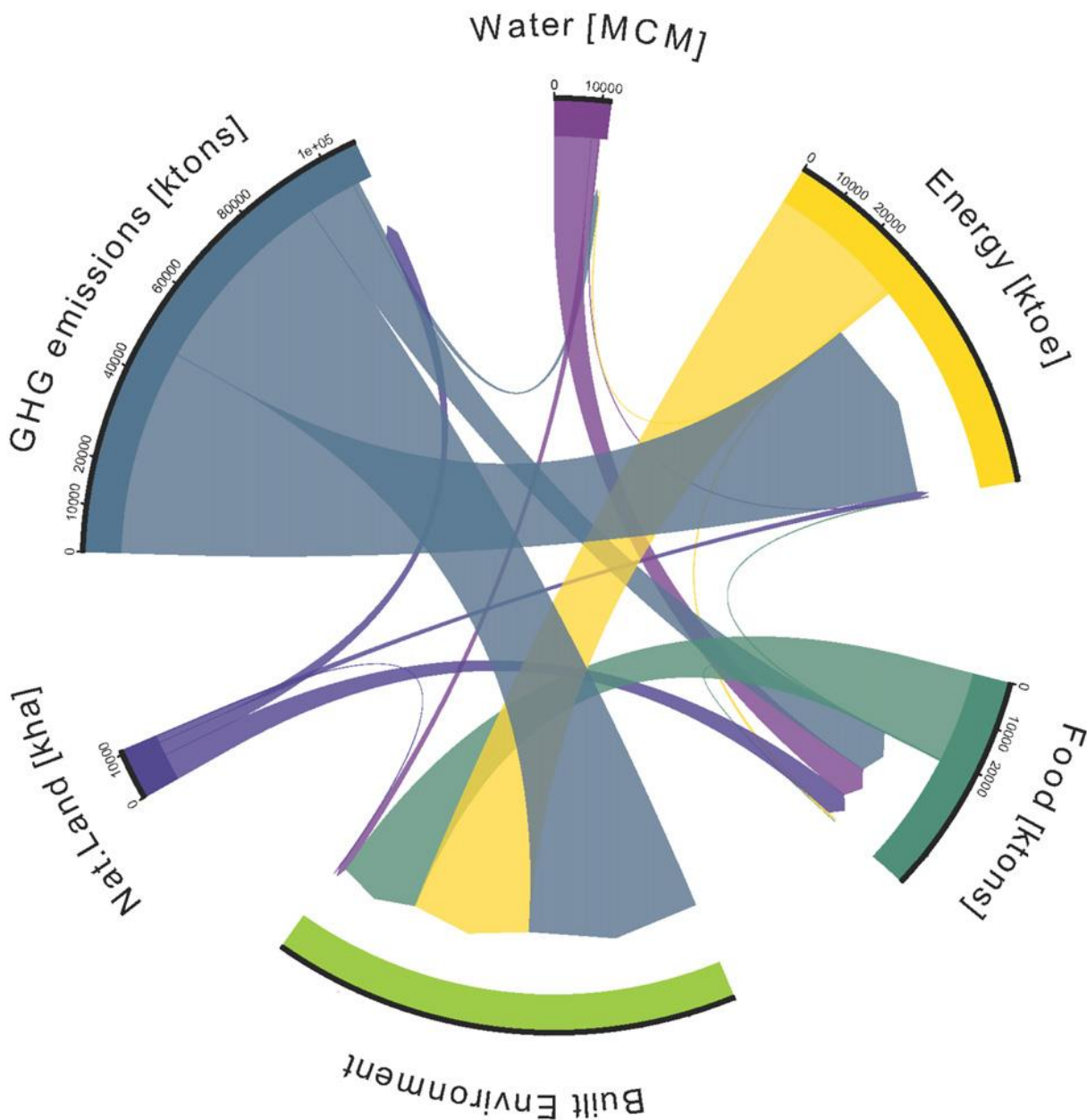
Εικόνα 19. Ανάλυση του κλιματικού αντίκτυπου μέσω της ποσοτικοποίησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε εθνικό επίπεδο αλλά και επίπεδο υδατικού διαμερισματος (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Η ανάλυση του κλιματικού αντίκτυπου μέσω της ποσοτικοποίησης των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον τομέα της Ενέργειας. Η εικόνα 15 αποτελεί ένα διάγραμμα Sankey που παρουσιάζει πως οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε εθνικό επίπεδο κατανέμονται στα 14 υδατικά διαμερίσματα. Αναγράφονται επίσης και ποιοι τομείς ευθύνονται για αυτές τις εκπομπές. Το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου οφείλεται στα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο), με το πετρέλαιο να κατέχει πρωταρχικό ρόλο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την εικόνα 15. Το υδατικό διαμέρισμα με τις περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι η Δυτική Μακεδονία, διότι είναι η περιοχή στην οποία λειτουργούν οι μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ενέργειας που καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες ολόκληρης της χώρας. Μπορεί οι μονάδες αυτές να τροφοδοτούν με ενέργεια όλη την χώρα, ωστόσο ο αντίκτυπος της χρήσης ορυκτών καυσίμων έχει έντονο τοπικό χαρακτήρα. Οι κοινότητες της Δυτικής Μακεδονίας είναι αυτές οι οποίες δέχονται τις επιπτώσεις των μεγάλων ποσών αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές που σχετίζονται με δραστηριότητες της κτηνοτροφίας και της γεωργίας είναι οι αμέσως επόμενες κατηγορίες σε μέγεθος και είναι σχετικά σημαντικές (Chrysi S. Laspidou, 2020). Οι Laspidou et.al. (2020) αναφέρουν πως υπάρχει μεγάλο περιθώριο βελτίωσης στις διεθνείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που μπορεί να επιτευχθεί με στροφή της ενεργειακής κατανάλωσης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τόσο στον τομέα της παραγωγής ενέργειας όσο και στον τομέα των μεταφορών με αλλαγή των συμβατικών οχημάτων με ηλεκτρικά. Οι εκπομπές που οφείλονται σε δραστηριότητες που έχουν σχέση με τις χρήσεις γης, μπορούν να καταπολεμηθούν με δράσεις όπως οι αναδάσώσεις ώστε να αντισταθμιστούν οι τεράστιες ποσότητες ρύπων από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

Η εικόνα 16 αποτελεί μια καινοτόμα παρουσίαση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος-Χρήσεων γης για την περίπτωση μελέτης της Ελλάδας. Ο κύκλος που παρουσιάζεται χωρίζεται σε έξι τμήματα, ένα για κάθε συστατικό του Δεσμού με εξαίρεση τις οντότητες του Δομημένου Περιβάλλοντος και της Φυσικής Έκτασης που εκφράζουν τον τομέα των Χρήσεων γης. Το μήκος κάθε τμήματος διαφέρει ανάλογα με την ποσότητα που εκφράζει, ενώ η ροή/βέλος που συνδέει δύο τμήματα του διαγράμματος ποσοτικοποιεί την διασύνδεση εντός του Δεσμού, με το πάχος να αναλογεί στο μέγεθος της ποσότητας. Επομένως τα βέλη που ξεκινούν από μία οντότητα και καταλήγουν σε μια άλλη δείχνουν την κατεύθυνση της ροής, ενώ το συνολικό τους πάχος ανταποκρίνεται στην συνολική ποσότητα για την Ελλάδα. Κάθε τομέας που απεικονίζεται στο διάγραμμα έχει διαφορετικές μονάδες και αυτές θα πρέπει να διαβάζονται από το σημείο έναρξης του κάθε βέλους. Μεγάλο τμήμα της ποσότητας Νερού στην Ελλάδα πηγαίνει στην Τροφή, έτσι το πάχος του μωβ βέλους εκφράζεται με μονάδες Νερού τα  $10^6$  κυβικά μέτρα, ενώ η ποσότητα της Τροφής που παράγεται από την κατανάλωση αυτής της ποσότητας Νερού εκφράζεται με το γαλαζοπράσινο βέλος που ξεκινά από την Τροφή με μονάδες  $10^6$  τόνων. Το πάχος του μωβ βέλους που καταλήγει στον τομέα της Τροφής εκφράζεται μόνο από μονάδες Νερού. Οι μονάδες Τροφής αντιστοιχούν μόνο στο πάχος του γαλαζοπράσινου βέλους. Το ίδιο συμβαίνει για την Ενέργεια, το Κλίμα, την Φυσική Έκταση κλπ. Ο τρόπος με τον οποίο διαβάζεται το μωβ βέλος του Νερού που καταλήγει στην Τροφή, αναφέρεται από τους Laspidou et.al. (2020) ως «ποσότητα του Νερού που καταναλώνεται για την παραγωγή Τροφής». Παρατηρείται πως η οντότητα που εκφράζει το Δομημένο Περιβάλλον δεν έχει βέλη που να ξεκινούν από αυτό, αλλά μόνο βέλη που καταλήγουν σε αυτό που αιτιολογείται



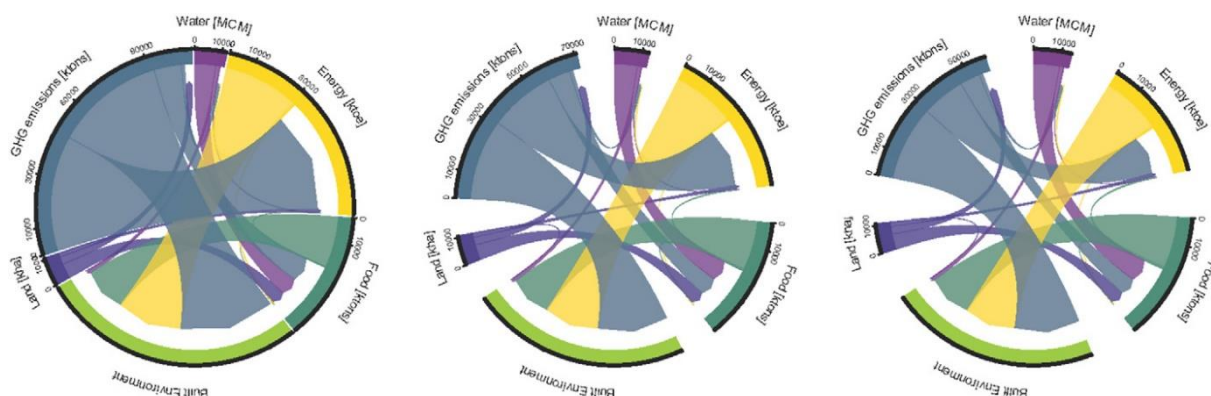
από το γεγονός πως ο τομέας του Δομημένου Περιβάλλοντος καταναλώνει τους πόρους. Από την άλλη πλευρά, τα βέλη του Κλίματος που καταλήγουν σε διάφορα συστατικά του Δεσμού ποσοτικοποιούν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με το αντίστοιχο συστατικό του Δεσμού. Έτσι η λωρίδα του Κλίματος που καταλήγει στην Ενέργεια εκφράζεται με μονάδες Κλίματος εννοώντας «την ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας». Το Κλίμα διαθέτει βέλη που εξέρχονται από αυτό, με εξαίρεση την Φυσική έκταση όπου βέλος καταλήγει στο Κλίμα, αφού προκύπτουν αρνητικές εκπομπές αερίων (Chrysi S. Laspidou, 2020).



Εικόνα 20. Διαγράμμο χορδών του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος-Χρήσεων γης για την Ελλάδα.

Μια ανάλυση του Διαγράμματος της εικόνας 16 δείχνει πως μεγάλο μέρος της ποσότητας Νερού καταναλώνεται για την παραγωγή Τροφής, που περιλαμβάνει τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Το Δομημένο Περιβάλλον που σχετίζεται με την αστική, εμπορική και τουριστική χρήση νερού καταναλώνει μικρή ποσότητα νερού. Ακόμη μικρότερη ποσότητα νερού καταναλώνει ο τομέας της Ενέργειας, που χρησιμοποιεί το νερό

ως ψυκτικό μέσο για της μονάδες παραγωγής ενέργειας. Τα βέλη που καταλήγουν στο Νερό από το Κλίμα και την Ενέργεια είναι πολύ μικρά. Από την συνολική Ενέργεια που παράγεται στην Ελλάδα το μεγαλύτερο μέρος καταναλώνεται από το Δομημένο Περιβάλλον, ενώ μόνο μία μικρή ποσότητα αυτής καταναλώνεται από την γεωργία. Το παχύ βέλος που καταλήγει από το Κλίμα στην Ενέργεια αντιπροσωπεύει την μαζική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας. Το μεγαλύτερο ποσό Τροφής καταναλώνεται από το Δομημένο Περιβάλλον και παριστάνεται από το βέλος που ξεκινά από την Τροφή και καταλήγει στο Δομημένο Περιβάλλον. Παράλληλα τα πολλαπλά βέλη που καταλήγουν στον τομέα της Τροφής τονίζουν το γεγονός πως η παραγωγή τροφής απαιτεί Νερό, Ενέργεια, Φυσική Έκταση, αλλά και οι δραστηριότητές της (κτηνοτροφία, γεωργία) οφείλονται για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Chrysi S. Laspidou, 2020).

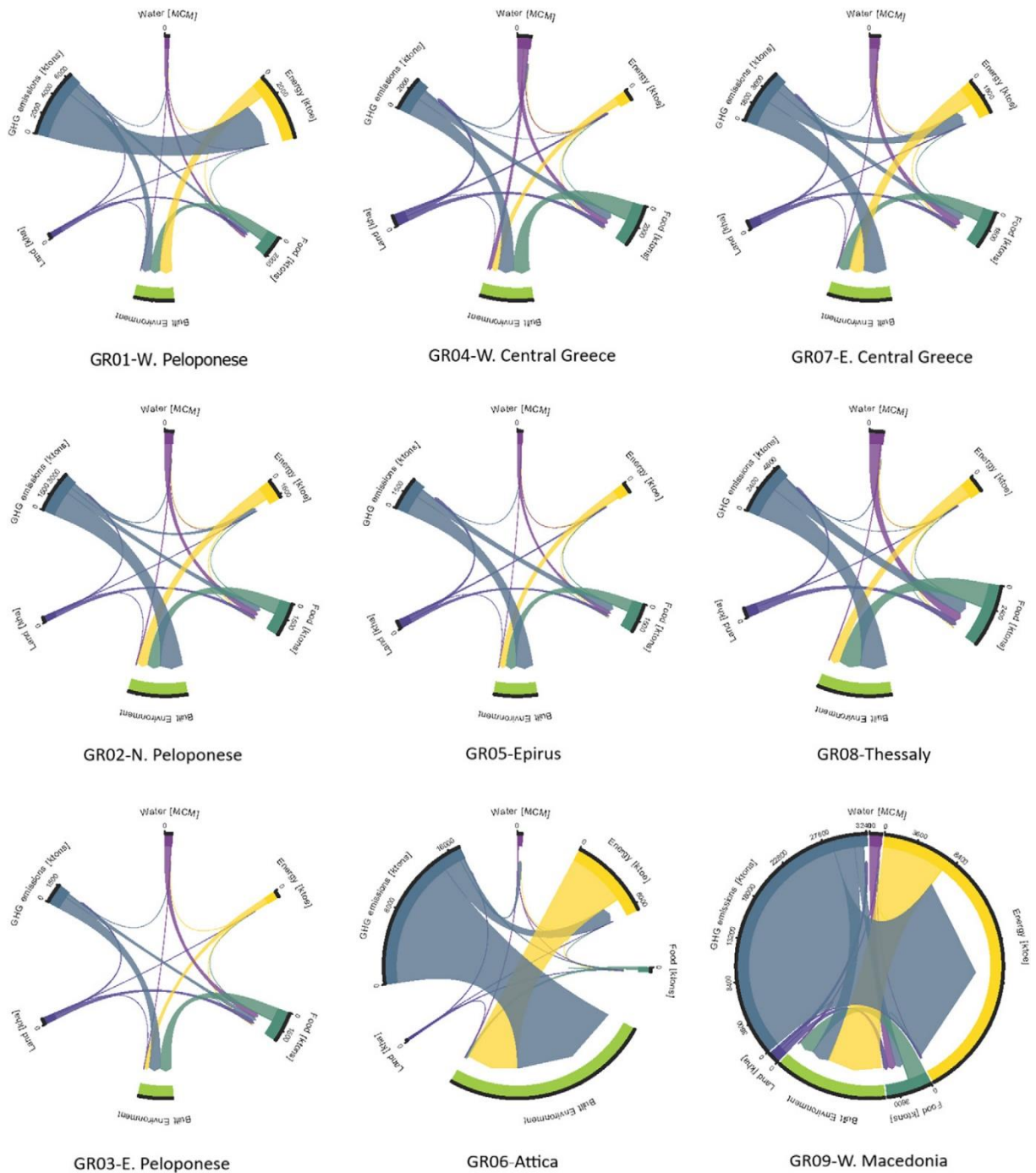


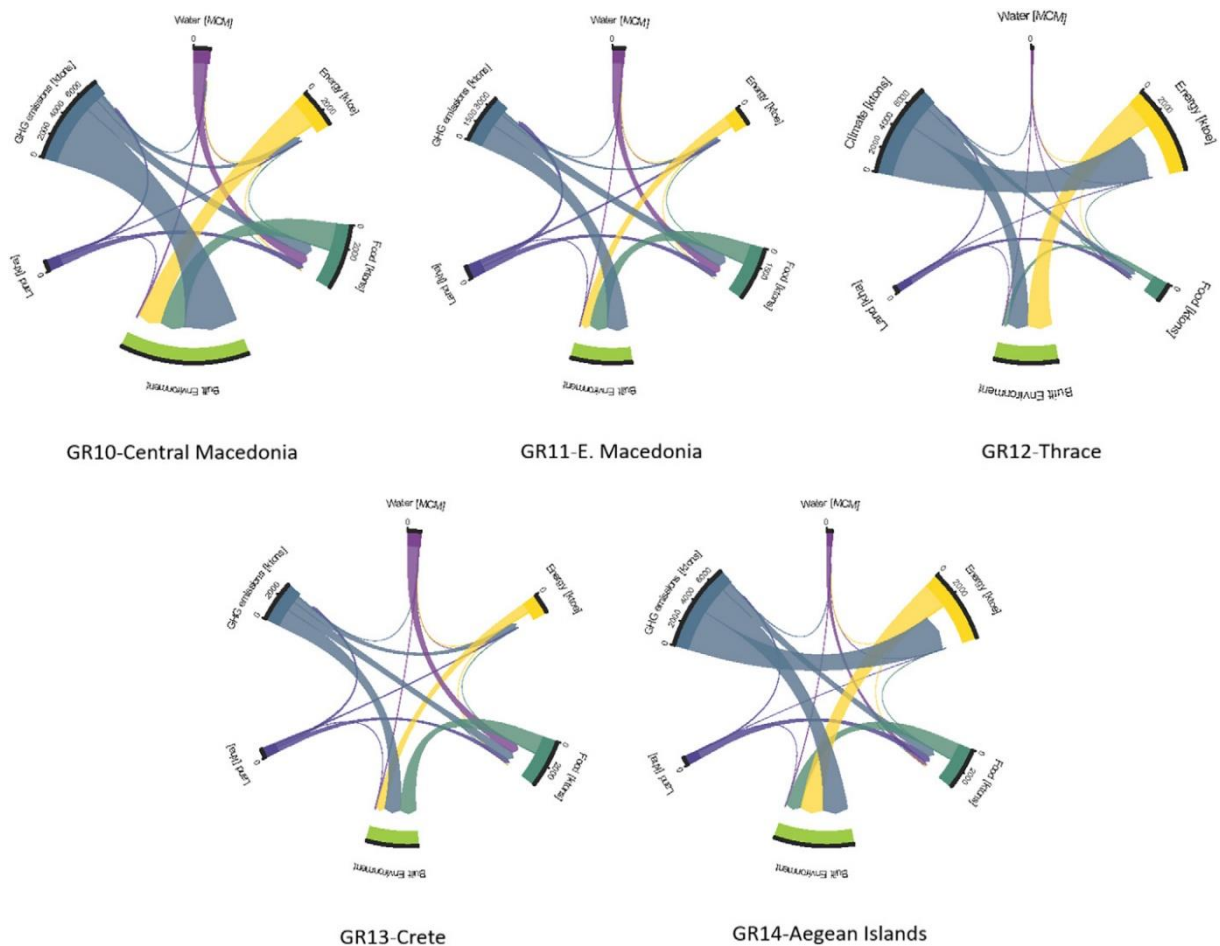
Εικόνα 21. Διαγράμματα κατεύθυνσης χορδών Δεσμού για την περίπτωση μελέτης της Ελλάδας με προγνώσεις για τα έτη 2030 και 2050. Να σημειωθεί πως το πρώτο διάγραμμα είναι ολότιδιο με αυτό της εικόνας 16 και χρησιμοποιείται για λόγους σύγκρισης (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Στην εικόνα 17 μέσω των διαγραμμάτων χορδών παρουσιάζονται οι προβλέψεις για τη μορφή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής-Κλίματος-Χρήσεων γης για τα έτη 2030 και 2050 στην Ελλάδα. Το βασικό σενάριο πρόγνωσης για αυτά τα έτη δείχνει μια σημαντική μείωση σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με το Δομημένο Περιβάλλον, με την δραματική μείωση να παρατηρείται μεταξύ 2010 και 2030. Αυτό οφείλεται κυρίως στον τομέα των μεταφορών, όπου προβλέπεται να διεισδύσουν στην ελληνική αγορά υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα. Μεγάλες μειώσεις αερίων του θερμοκηπίου παρατηρούνται και στην παραγωγή ενέργειας. Μειωτική τάση παρατηρείται και στην Ενέργεια που καταναλώνεται από το Δομημένο Περιβάλλον, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών σε διάφορους τομείς (μεταφορές, βιομηχανία, νοικοκυριά). Σε γενικές γραμμές το διάγραμμα Δεσμού για την Ελλάδα παρουσιάζει μια οικονομία με λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και πιο ενεργειακά αποδοτική. Τεράστιες αλλαγές στις αγροτικές χρήσεις νερού δεν παρατηρούνται, ενώ οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την παραγωγή τροφής ελαττώνονται σταδιακά (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Για να αναδειχθεί η χρησιμότητα των διαγραμμάτων χορδών του Δεσμού, κατασκευάστηκαν 14 τέτοια διαγράμματα ένα για κάθε υδατικό διαμέρισμα της χώρας. Με μια πρώτη ματιά αυτών των διαγραμμάτων προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στο υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας, που παρατηρούνται στο αντίστοιχο διάγραμμα, σχετίζονται κυρίως με τον τομέα της Ενέργειας, διότι εκεί λειτουργούν οι μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Στην Αττική όπου βρίσκεται η Αθήνα με τον μεγαλύτερο πληθυσμό της χώρας, παρουσιάζονται επίσης, μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, αλλά προέρχονται από το Δομημένο Περιβάλλον και συγκεκριμένα από τις μεταφορές και τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Το ίδιο φαινόμενο συναντάται και στο υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας, όπου ανήκει η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της χώρας η Θεσσαλονίκη. Το υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Πελοποννήσου διαθέτει επίσης αρκετές μονάδες παραγωγής ενέργειας και σε αυτές οφείλονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που φαίνονται στο αντίστοιχο διάγραμμα της εικόνας 18. Σημαντική είναι η παραγωγή τροφής στα υδατικά διαμερίσματα της Θεσσαλίας, της Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας, διότι το μεγαλύτερο μέρος της αγροτικής δραστηριότητας λαμβάνει χώρα εκεί (Chrysi S. Laspidou, 2020).





Εικόνα 22. Διαγράμματα κατεύθυνσης χορδών του Δεσμού για όλα τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Chrysi S. Laspidou, 2020).

Υπάρχουν πολλές πληροφορίες που μπορούν να παραχθούν από τέτοιου είδους διαγράμματα, ενώ αποτελούν και κατάλληλα εργαλεία για φορείς λήσεων αποφάσεων. Η συγκεκριμένη ανάλυση δεσμού παρουσιάζει την δυναμική των διασυνδέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των διάφορων τομέων μέσω της ποσοτικοποίησής τους και την διατομεακή συμμετοχή του κάθε τομέα ξεχωριστά. Μια επιτυχημένη ανάλυση δεσμού των πόρων πρέπει να δίνει έμφαση στα ισχυρά σημεία ζεύξης που εμφανίζονται και να εντοπίζει τις αδυναμίες. Για παράδειγμα εάν εμφανίζεται μια ισχυρή διασύνδεση Νερού-Ενέργειας και η παραγωγή ενέργειας απαιτεί τεράστια ποσά νερού, σε περίπτωση έντονης λειψυδρίας η διαθεσιμότητα ενέργειας τίθεται σε κίνδυνο με τον τομέα της Ενέργειας να είναι λιγότερο ανθεκτικός. Ισχυρές διασυνδέσεις θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των πόρων και θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται δια της προώθησης της αποδοτικής χρήσης των πόρων σε βιώσιμα συστήματα (Chrysi S. Laspidou, 2020). Η Laspidou et.al. (2020) υποστηρίζουν ότι διαγράμματα χορδών Δεσμού, βοηθούν τους εμπλεκόμενους να αναγνωρίσουν τα σημεία στα οποία υπάρχουν προοπτικές βελτίωσης. Μια επένδυση σε έναν τομέα που εμφανίζει συνεργιστικά αποτελέσματα με άλλους τομείς, θα έχει πολλαπλασιαστικά οφέλη στον αντίκτυπό του. Έτσι οι εμπλεκόμενοι σε θέματα διαχείρισης και λήσης αποφάσεων θα έχουν την δυνατότητα να θέτουν τις κατάλληλες προτεραιότητες στις επενδύσεις τους (Chrysi S. Laspidou, 2020).

## Προκλήσεις στην Εφαρμογή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής.

Ο Δεσμός του Νερού-Ενέργειας-Τροφής διαθέτει ευρύ πεδίο εφαρμογής και σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των επιμέρους συστημάτων πόρων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής, αλλά και της καινοτόμου έννοιάς του, εμφανίζονται σημαντικές προκλήσεις για την εφαρμογή του (Hamdi Abdi, 2020).

Οι προκλήσεις στον τομέα της έρευνας.

Σε επίπεδο έρευνας υπάρχουν ακόμα προκλήσεις για την λειτουργία του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής και αφορούν τις ελλείψεις σε δεδομένα, γνώση και συστηματικών αναλυτικών εργαλείων (J. Liu, 2017). Η ανάπτυξη μεθοδολογιών που να αξιολογούν τις συνέργειες και τις ανταγωνιστικές σχέσεις με ολιστικό τρόπο και η δημιουργία βοηθητικών εργαλείων για την αντιμετώπισή τους είναι σημαντικές για την αποφυγή συγκρούσεων, μείωση κινδύνων στις επενδύσεις και τις βέλτιστες οικονομικές απολαβές (J. Liu, 2017). Τόσο οι συνέργειες όσο και οι ανταγωνιστικές σχέσεις που παρατηρούνται μεταξύ των συστημάτων του Δεσμού χαρακτηρίζονται και από μη νομισματικές αξίες που είναι δύσκολο να υπολογιστούν στην αγορά, όπως το περιβάλλον και η ρύπανση (J. Liu, 2017).

Στη συστηματική μελέτη των συνεργειών και των ανταγωνιστικών σχέσεων μεταξύ Νερού, Ενέργειας και Τροφής απαιτούνται ολοκληρωμένα μοντέλα για την διερεύνηση της ισχύος των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των ποικίλων διαστάσεων του Δεσμού αλλά και άλλων σχετικών θεμάτων όπως η οικονομική ευημερία, η φτώχεια, η βιοποικιλότητα, η βιώσιμη ανάπτυξη και η κλιματική κρίση (J. Liu, 2017).

Τα περισσότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στην έρευνα του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής περιορίζονται μόνο στην περιγραφή μεμονωμένων τομέων και έτσι είναι δύσκολο να ξεδιαλύνουν τις πολύπλοκες διασυνδέσεις, ειδικά στην περίπτωση που η κλίμακα μελέτης είναι αρκετά μεγάλη (J. Liu, 2017).

Αποτελεί σπάνιο φαινόμενο ταύτισης των ορίων του Δεσμού με τα παραδοσιακά όρια των μονάδων διαχείρισης ή των διοικητικών μονάδων, όπως για παράδειγμα τα όρια υδρολογικών λεκανών ή των αστικών περιοχών. Η δυσκολία αντιστοίχισης των ορίων του Δεσμού και των υφιστάμενων διαχειριστικών μονάδων εντείνει το πρόβλημα της πρόσβασης και σύνθεσης πληροφοριών που αφορούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών του Δεσμού. Παράλληλα τα όρια κάθε διάστασης του Δεσμού έχουν διαφορετικά πεδία επιρροής, δημιουργώντας εμπόδια στον εντοπισμό και τη διαχείριση των αλληλεπιδράσεων πέρα των ορίων επιρροής της κάθε διάστασης του Δεσμού. Η γνώση του τρόπου με τον οποίο τα πεδία επιρροής των συνιστωσών του Δεσμού επηρεάζονται μεταξύ τους είναι κρίσιμη για την διαχείριση των αλληλεπιδράσεων του Δεσμού (J. Liu, 2017).

Η ενοποίηση των διαδικασιών υπολογισμού των διαφόρων διαστάσεων του Δεσμού αποτελεί ακόμα μια πρόκληση. Τα ετερογενή δεδομένα, οι μέθοδοι και τα πρότυπα που διέπουν την κάθε συνιστώσα του Δεσμού είναι περιορισμοί για τον υπολογισμό του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής εντός ενός συστηματικού και ενοποιημένου πλαισίου. Επιπλέον κάποιες διαστάσεις του Δεσμού είναι δύσκολο να υπολογιστούν και να ποσοτικοποιηθούν. Καθώς οι διάλογοι είναι ανοιχτοί για την συμπερίληψη των φυσικών υποδομών στον αναπτυξιακό σχεδιασμό, η έρευνα απαιτείται να αποσαφηνίσει και ειδικότερα να ποσοτικοποιήσει με οικονομικούς όρους της ρυθμιστικές υπηρεσίες της φύσης (J. Liu, 2017).

Μέχρι προσφάτως, υπήρχε έντονη δυσκολία χρηματοδότησης ερευνών σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ του νερού, της ενέργειας και της τροφής. Οι χρηματοδοτήσεις συχνά αντανάκλυσαν την προτίμηση προς μονοδιάστατες περιοχές έρευνας. Η έλλειψη επαρκούς χρηματοδότησης έχει εμποδίσει να γίνουν μεγάλα βήματα στη γνώση, στην μοντελοποίηση και στην εφαρμογή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής (J. Liu, 2017). Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση σε χρηματοδοτήσεις σε ερευνητικά προγράμματα που σχετίζονται άμεσα με την έννοια του Δεσμού όπως το πρόγραμμα SIM4NEXUS (<https://www.sim4nexus.eu/Startseite>) που χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης Horizon 2020.

Η Διαχείριση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής και η Συνεισφορά των ενδιαφερόμενων. Ένα από τα κύρια προτερήματα της προσέγγισης Δεσμού είναι πως λαμβάνονται υπόψιν όχι μόνο βιοφυσικές θεωρήσεις αλλά και κοινωνικοοικονομικές. Οι ανταγωνιστικές σχέσεις και οι συνέργειες που εμφανίζονται μεταξύ των συστατικών του Δεσμού είναι απόρροια διεπιστημονικής προσέγγισης. Τα διάφορα συστατικά του Δεσμού εξετάζονται ως ένα σύνολο που κάθε συστατικό επηρεάζει τα υπόλοιπα (Chrysaida-Aliki Papadopoulou, 2020).

Μεγάλο μέρος της επιστημονικής βιβλιογραφίας του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής προέρχεται από την συνεργασία διεπιστημονικών ερευνητικών ομάδων που βασίζονται σε πλαίσια και θεωρίες σχετικές με τις διασυνδέσεις των συστημάτων πόρων, ωστόσο ελάχιστη γνώση υπάρχει σχετικά με τον βαθμό που αποτυπώνεται η άποψη των ενδιαφερομένων στην εκάστοτε έρευνα για την περιοχή μελέτης που εξετάζεται (Bassel Daher, 2019). Ένας ενδιαφερόμενος μπορεί να είναι ένα φυσικό πρόσωπο ή ένας οργανισμός ή και ένα ίδρυμα το οποίο λαμβάνει μέρος σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων που μπορεί να έχουν αντίκτυπο στα συστήματα πόρων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής (Bassel Daher, 2019).

Τα συστήματα πόρων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής είναι πολυδιάστατα και συνδέονται μεταξύ τους. Τα συστήματα αυτά ελέγχονται διαχειρίζονται και καταναλώνονται από διάφορους διαδραστικούς παράγοντες που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ηθικές αξίες και στόχους που επηρεάζουν τις αποφάσεις και τις δράσεις τους (Bassel Daher, 2019). Όπως υποστηρίζουν ο Bassel Daher et al. (2019) είναι σημαντικό να εδραιωθούν υψηλά επίπεδα επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ ερευνητών και ενδιαφερομένων σε διάφορα στάδια μιας έρευνας.

Ως διαχείριση του Δεσμού θεωρείται ένα δίκτυο μεταξύ παραγόντων, θεσμών και δράσεων που προέρχονται από τα συστήματα του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής. Η κατανόηση του συστήματος διαχείρισης του Δεσμού είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό και την επίλυση των προκλήσεων για την εφαρμογή του. Σε πεδία έρευνας μεγάλης κλίμακας συχνά παραβλέπονται οι κοινωνικές και θεσμικές διαστάσεις του. Η σύλληψη όλου του εύρους των προκλήσεων αλλά και των πιθανών λύσεων τους γύρω από τον Δεσμό, προϋποθέτει την αναγνώριση όλων των μηχανισμών που επηρεάζουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, καθώς και των κινήτρων και θέσεων των εμπλεκόμενων σε διάφορες βαθμίδες (C. Hoolohan, 2018).

Η διακυβέρνηση του Δεσμού συνεπάγεται και ταυτόχρονη διακυβέρνηση των ανταγωνιστικών σχέσεων και συνεργειών των διαφορετικών τομέων αλλά και την αντιμετώπιση του πλήθους των πολιτικών που εφαρμόζονται. Απαιτεί νομικές, πολιτικές και

διοικητικές μεταρρυθμίσεις πάνω σε κατάλληλα εφαρμοσμένα όργανα για την ελαχιστοποίηση των ανταγωνιστικών σχέσεων και την πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας υπηρεσίες για νερό, ενέργεια και τροφή για όλους με παράλληλη προστασία των οικοσυστημάτων που προσφέρουν αυτές τις παροχές (Anik Bhaduri, 2015).

Προβλήματα που παρουσιάζονται στον σχεδιασμό και την λειτουργία των υποσυστημάτων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής, και η ανάγκη να εφαρμοστούν πρακτικές, χρήσιμες και οικονομικές λύσεις σε αυτά τα προβλήματα, χρήζουν νέους νόμους και διοικητικές υποδομές και μηχανισμούς για την έννοια του Δεσμού (Hamdi Abdi, 2020). Οι πρόσφατες πρακτικές στον τομέα λήψης αποφάσεων εστιάζουν στην επίλυση προβλημάτων των πόρων κατά περίπτωση και όχι ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα (Rhett B. Larson, 2018). Χαρακτηριστικά παρατηρείται το σύνθετο φαινόμενο πως οι κυβερνήσεις στον σχεδιασμό στρατηγικών για την γεωργία, για παράδειγμα πολιτικών που αφορούν στη χρήση λιπασμάτων, δεν λαμβάνουν υπόψη την πολυπλοκότητα των διασυνδέσεων με την ενέργεια και το νερό, χάνοντας έτσι ευκαιρίες για την μεγιστοποίηση των θετικών αποτελεσμάτων και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών αντικτύπων. Οι θεσμικές μεταρρυθμίσεις θα πρέπει να αναγνωρίζουν τέτοιου είδους επιπτώσεις, να διατυπώνουν και να συντονίζουν πολιτικές που θα αποφεύγουν τις εξωτερικότητες (Anik Bhaduri, 2015).

H C. Papadopoulou et al. (2020) υποστηρίζουν πως η συνοχή των πολιτικών που λαμβάνονται κατέχει ρόλο κλειδί όταν γίνεται αναφορά στην αλληλεπίδραση μεταξύ πολιτικών που σχετίζονται με θέματα Δεσμού. Από την σκοπιά διαχείρισης του Δεσμού, διακρίνονται πολυάριθμες διατομεακές πολιτικές που καθορίζουν το πλαίσιο για την βιώσιμη ανάπτυξη των διαφορετικών συνιστωσών του Δεσμού.

Οι θεσμοί εντός των συστημάτων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής είναι κυρίως η πηγή προέλευσης των προκλήσεων για τη διαχείριση του Δεσμού. Εντός του πλαισίου διαχείρισης, η απομόνωση των συστημάτων του Δεσμού, ως έλλειψη επικοινωνίας και ανταλλαγής απόψεων ανάμεσα σε παράγοντες που ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς κατά τη διάρκεια των διαδικασιών λήψης αποφάσεων προκαλεί ακούσιες επιπτώσεις στα συστήματα των πόρων (C. Hoolohan, 2018).

Η ασφάλεια, η έλλειψη και ο κίνδυνος διαθεσιμότητας των πόρων είναι μερικά από τα πολυάριθμα πλαίσια για τα οποία ακολουθείται η προσέγγιση Δεσμού και ταυτόχρονα αντικατοπτρίζουν τις επιλογές και εφαρμογές των πολιτικών αποφάσεων για την αντιμετώπιση σημαντικών ζητημάτων. Καθένα από αυτά τα πλαίσια δίνει μια διαφορετική σκοπιά στην κατανόηση του προβλήματος και οδηγεί σε διαφορετικές μεθόδους επίλυσης. Η ασφάλεια των υδατικών, ενεργειακών και επισιτιστικών πόρων ήταν το πλαίσιο που κυριαρχούσε για την εφαρμογή του Δεσμού τα πρώτα χρόνια εφαρμογής του. Η C. Hoolohan et al. (2018) θεωρούν πως η εμμονή σε ένα μόνο πλαίσιο εφαρμογής του Δεσμού ελλοχεύει κινδύνους για περιορισμό των συζητήσεων γύρω από πιο ευρέα θέματα όπως η βιωσιμότητα, η ισότητα και η δικαιοσύνη.

Οι διαδικασίες αλλαγών και συνοχής που διέπουν τα συστατικά του Δεσμού είναι έντονα συνδεδεμένες με τη συμμετοχή ομάδων παραγόντων. Η κατανόηση των καινοτομιών, είτε αυτές αναφέρονται σε αλλαγές των συνιστωσών του Δεσμού είτε σε κοινωνικές αλλαγές, ανταποκρίνεται στον βαθμό που έχει κατανεμηθεί και εφαρμοστεί η συμμετοχή των

παραγόντων. Το υπάρχον καθεστώς αδυνατεί να προσαρμόσει την πολυπλοκότητα της διακυβέρνησης, ωστόσο παρατηρείται κάποιο είδος διαλειτουργικότητας μόνο μεταξύ συναφών περιπτώσεων μελέτης. Υπάρχει η ανάγκη για προσεγγίσεις που να ασπάζονται την πολυπλοκότητα και να αναγνωρίζουν ένα εννοιολογικό πλαίσιο προσαρμογής κατάλληλων μηχανισμών διακυβέρνησης (C. Hoolohan, 2018). Η συγκεκριμένη πρόκληση διογκώνεται στην έρευνα του Δεσμού, καθώς οι διασυνδέσεις μεταξύ καθεστώτων διακυβέρνησης σε αλληλοσυνδεδεμένους τομείς γίνονται ολοένα και πιο σημαντικές. Μόνο εάν γίνει ανάμιξη των εμπλεκόμενων φορέων, υποστηρίζουν η C Hoolohan et al. (2018), υπάρχει η δυνατότητα εξέλιξης του Δεσμού.

#### Η Εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων μέσω της Προσέγγισης του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής.

Διασυνδέσεις μεταξύ των πόρων, τομέων ή και κλάδων χαρακτηρίζονται ως οριζόντιες διασυνδέσεις. Τέτοιου είδους διασυνδέσεις έχουν ήδη μελετηθεί εδώ και αρκετό καιρό εφαρμογής του Δεσμού, ωστόσο διασυνδέσεις εμφανίζονται και κατακόρυφα μέσα στο Δεσμό, είτε ανάμεσα σε ιεραρχικά επίπεδα, είτε σε γεωγραφικές κλίμακες ακόμη και ανάμεσα σε περιοχές. Ως κατακόρυφες διασυνδέσεις μπορούν να θεωρηθούν η υποβάθμιση των πόρων και η απώλεια της βιοποικιλότητας ως συνέπειες της μη βιώσιμης διαχείρισης των τοπικών χρήσεων γης που αθροιστικά έχουν την δυνατότητα να μειώσουν την ανθεκτικότητα του συστήματος της Γης, ενώ ταυτόχρονα διεθνείς μηχανισμοί όπως η αγορά και οι επενδύσεις επηρεάζουν την χρήση των τοπικών πόρων (Hoff, 2018).

Οι δράσεις, η διαχείριση αλλά και ο έλεγχος σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο πρέπει να συντονίζονται προς βιώσιμους στόχους και προσεγγίσεις διατομεακού χαρακτήρα. Όπως αναφέρει ο Hoff (2018) η επιστήμη μπορεί να παρέχει εμπειριστατωμένες αποδείξεις για τη λειτουργία μιας κατακόρυφης προσέγγισης Δεσμού. Παράλληλα, με την αναγνώριση, τον προσδιορισμό και την επικοινωνία των αβεβαιοτήτων και πιθανόν εκπλήξεων κατά τη διάρκεια της έρευνας, η επιστήμη έχει την ικανότητα να προωθήσει την αρχή της πρόνοιας στις διαδικασίες λήψης και εφαρμογής πολιτικών αποφάσεων (Hoff, 2018).

Ποικίλα ολοκληρωμένα και διεθνή δεδομένα, μοντέλα και εργαλεία είναι διαθέσιμα προς αυτή την κατεύθυνση. Ο Hoff (2018) προτείνει πως τα Πλανητικά Σύνορα (Planetary Boundaries) παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, δίνοντας έμφαση στις διασυνδέσεις και τις αναδράσεις μεταξύ διαφορετικών συνόρων στο σύστημα της Γης. Ωστόσο παρά τα πολλά υποσχόμενα οφέλη, παρατηρείται ακόμη σημαντική έλλειψη ολοκληρωμένων διατομεακών και παγκόσμιων δεδομένων, γνώσεων και πρακτικών, που εμποδίζουν την αναβάθμιση των προσεγγίσεων Δεσμού (Hoff, 2018).

Η Προσέγγιση Δεσμού μπορεί να λειτουργήσει και να εφαρμοστεί και με κοινές πρακτικές. Υπάρχουν πολλά σημεία για να ενταχθεί η Προσέγγιση Δεσμού στην επικρατούσα τάση σε όλα τα επίπεδα και σε όλες τις κλίμακες. Τέτοια χαρακτηριστικά σημεία αποτελούν εθνικές βιο-οικονομικές και πράσινες πολιτικές, ενεργειακές ή αγροτικές μεταρρυθμίσεις και ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός (Hoff, 2018).

Οι Βιώσιμοι Αναπτυξιακοί Στόχοι (Sustainable Development Goals) και η ανάγκη για την ολοκληρωμένη εφαρμογή τους αποτελούν σημεία επιτομής για την ένταξη του Δεσμού στην



επικρατούσα τάση. Η ολοκληρωμένη και καθολική εφαρμογή αποτελούν των πυρήνα των αρχών που διέπουν την Ατζέντα του 2030 και τους Βιώσιμους Αναπτυξιακούς Στόχους. Η ολοκληρωμένη εφαρμογή στηρίζεται στην επίτευξη ενός στόχου όχι σε βάρος ενός άλλου στόχου και η καθολικότητα αναφέρεται στην ανάγκη εφαρμογής των στόχων παντού και σε όλες τις κλίμακες. Στην ίδια λογική, για την επιτυχή εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών στόχων απαιτείται να αντιμετωπιστούν δραστικά οι κρίσιμες διασυνδέσεις ανάμεσα στους διάφορους περιβαλλοντικούς αναπτυξιακούς στόχους (Hoff, 2018).

Μια κατακόρυφη και διαπεριφερειακή συνοχή είναι εξίσου σημαντική με μια οριζόντια συνοχή μεταξύ των στόχων για την επιτυχή εφαρμογή SDGs και της Ατζέντας για το 2030. Κάθε κυβέρνηση απαιτείται να θέσει τους δικούς της στόχους που θα συμβαδίζουν με την παγκόσμια φιλοδοξία για την επίτευξη των SDGs (Hoff, 2018). Η επίτευξη μιας κατακόρυφης συνοχής προϋποθέτει την υλοποίηση των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων σε τοπικό και εθνικό επίπεδο να συμβαδίζει με τους παγκόσμιους βιώσιμους στόχους, χωρίς ωστόσο οι παγκόσμιοι να θέτουν σε κίνδυνο την εκπλήρωση των τοπικών και εθνικών στόχων. Οι πιέσεις στις κυβερνήσεις για την ανάπτυξη βιώσιμων στόχων μέσα από τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων είναι η ανταπόκριση απέναντι στις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που αποτελούν κύριο παράγοντα μη βιώσιμων αλλαγών σε παγκόσμιο επίπεδο. Βασικός στόχος των Πλανητικών Συνόρων είναι η αναγνώριση κρίσιμων κομβικών σημείων του Γήινου Συστήματος και η επίτευξη της βιωσιμότητας σε παγκόσμιο επίπεδο που θα περιγράφεται μέσα από μεγάλης κλίμακας βιώσιμων περιβαλλοντικών συνόρων (Hoff, 2018).



Εικόνα 23. Αντίκτυπος των προσεγγίσεων Δεσμού στους Βιώσιμους Αναπτυξιακούς Στόχους. Η προσέγγιση του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής επηρεάζει την επίτευξη των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων άμεσα ή έμμεσα με την ενδυνάμωση των συνεργειών, την μείωση των ανταγωνιστικών σχέσεων και δημιουργεί κλιμακωτά αποτελέσματα που ξεπερνούν τα όρια των τομέων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής (Jianguo Liu, 2018).

Το βασικό ερώτημα που τίθεται είναι πώς τα Πλανητικά Σύνορα βοηθούν την ανάπτυξη μιας κατακόρυφης προσέγγισης Δεσμού. Ο Hoff (2018) ασπάζεται την άποψη πως τα Πλανητικά Σύνορα συμβάλλουν στον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση της «παγκόσμιας φιλοδοξίας» που αναφέρεται στην Ατζέντα του 2030. Τα εννέα Πλανητικά Σύνορα χαρακτηρίζονται ως ένας ασφαλής λειτουργικός χώρος και στοχεύουν στην οριοθέτηση της χρήσης των πόρων, τον περιορισμό των εκπομπών βλαβερών ουσιών και άλλων περιβαλλοντικών κινδύνων. Εισάγοντας σε διαλόγους για την βιωσιμότητα και σε ιδρύματα, παγκόσμιας κλίμακας περιβαλλοντικά σύνορα μπορούν να κατευθύνουν μια κατακόρυφη Προσέγγιση Δεσμού προς την εφαρμογή των Αναπτυξιακών Βιώσιμων Στόχων. Ο λειτουργικός χώρος που προσφέρεται από τα Πλανητικά Σύνορα μπορεί να επιτύχει την ενσωμάτωση των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων. Το σύνολο όλων των περιβαλλοντικών πιέσεων ή χρήσεων των πόρων θα πρέπει να παραμείνουν εντός αυτού του ασφαλούς λειτουργικού χώρου, ώστε να μην υπάρξει παραβίαση του κατώτερου ορίου που έχει θεσπιστεί και να μην τεθεί σε κίνδυνο η λειτουργία του πλανήτη. Ακόμη και τα αποτελέσματα εφαρμογής όλων των στόχων είναι απαραίτητο να παραμείνουν εντός των ορίων των Πλανητικών Συνόρων. Η κατακόρυφη συνοχή που επιδιώκεται, εκφράζει την

ικανοποίηση των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα να μην ξεπερνάει τα όρια των εννέα Πλανητικών Συνόρων. Για παράδειγμα οι εθνικές στρατηγικές που αφορούν την βιοενέργεια, την βιο-οικονομία και την επισιτιστική ασφάλεια αθροιστικά θα πρέπει να σέβονται το Πλανητικό Σύνορο που αφορά τη γη και το νερό. Εφαρμόζοντας τις αρχές των Πλανητικών Συνόρων στην Προσέγγιση Δεσμού δίνεται η δυνατότητα να εξηγούνται οι πιθανές αρνητικές αλληλεπιδράσεις και αναδράσεις μεταξύ των διαφορετικών συνόρων κατά την εφαρμογή τους (Hoff, 2018).

Πίνακας 1. Παραδείγματα επίτευξης των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων μέσω των Πλανητικών Συνόρων (Holger Hoff, 2017)

Planetary Boundary	Related SDG target
Climate change	13.2: Integrate climate change measures into national policies, strategies and planning
Biosphere integrity	15.5: Take urgent and significant action to reduce the degradation of natural habitats, halt the loss of biodiversity and, by 2020, protect and prevent the extinction of threatened species.
Biogeochemical flows (N & P)	14.1: By 2025, prevent and significantly reduce marine pollution of all kinds, in particular from land-based activities, including marine debris and nutrient pollution.
Global freshwater use	6.4: By 2030, substantially increase water-use efficiency across all sectors and ensure sustainable withdrawals
Land-system change	15.2: By 2020, promote the implementation of sustainable management of all types of forests, halt deforestation, restore degraded forests and substantially increase afforestation and reforestation globally
Ocean acidification	14.3: Minimize and address the impacts of ocean acidification
Stratospheric ozone depletion	12.4: By 2020, achieve the environmentally sound management of chemicals and all wastes throughout their life cycle, in accordance with agreed international frameworks, and significantly reduce their release to air, water and soil in order to minimize their adverse impacts on human health and the environment.
Atmospheric aerosol loading	3.9: By 2030, substantially reduce the number of deaths and illnesses from hazardous chemicals and air, water and soil pollution and contamination.
Novel entities (chemical pollution)	12.4: By 2020, achieve the environmentally sound management of chemicals and all wastes throughout their life cycle, in accordance with agreed international frameworks, and significantly reduce their release to air, water and soil in order to minimize their adverse impacts on human health and the environment

Δεδομένου ότι τα Πλανητικά Σύνορα είναι συστημικά σύνορα, συναρτήσε του γήινου συστήματος, ο ορισμός τους αιτιολογεί την ύπαρξη κρίσιμων (οριζόντιων) διασυνδέσεων μεταξύ διαφορετικών συστατικών του συστήματος, π.χ. της βιόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της ατμόσφαιρας και της δυναμικής του Συστήματος της Γης. Με γνώμονα αυτό το χαρακτηριστικό τους, τα Πλανητικά Σύνορα μπορούν να ενισχύσουν μια οριζόντια εφαρμογή και συνοχή ή αλλιώς μια οριζόντια Προσέγγιση Δεσμού μεταξύ περιβαλλοντικών τομέων και Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων (Hoff, 2018).

Απαραίτητη προϋπόθεση ώστε τα Πλανητικά Σύνορα να υποστηρίξουν μια κατακόρυφη πολιτική συνοχή και να αποτελούν βιώσιμα σύνορα για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών πιέσεων και την ασφαλή χρήση των πόρων με εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων αποτελεί η μείωση της κλίμακάς τους και η ρητά εκφρασμένη χωρικά διάστασή τους. Όλα τα Πλανητικά Σύνορα δεν είναι ίσα και υπάρχουν διαφορετικοί μηχανισμοί υποβάθμισης της κλίμακάς τους. Υπάρχουν σύνορα όπως το σύνορο του κλίματος που είναι κοινό παντού. Για τέτοιου είδους σύνορα δεν είναι σημαντικό που βρίσκεται η πηγή του περιβαλλοντικού προβλήματος και έτσι η κλίμακα μπορεί να μειωθεί και να τοποθετηθεί ισόποσα σε όλο τον πλανήτη. Σε αντίθεση, σύνορα όπως η γη, το νερό ή οι βιογεωχημικές ροές ο τόπος που διαδραματίζεται ο περιβαλλοντικός κίνδυνος είναι

σημαντικός και χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν, όταν θα γίνει η υποβάθμιση της κλίμακας του αντίστοιχου Πλανητικού Συνόρου (Hoff, 2018).

Η κατανομή του ασφαλούς λειτουργικού χώρου όλων των Πλανητικών Συνόρων στα ανεξάρτητα κράτη περιλαμβάνει κάποια κανονιστικά στοιχεία που χαρακτηρίζονται ως «αποδεκτοί κίνδυνοι». Τέτοιοι ανεκτοί κίνδυνοι απαιτείται να διαπραγματεύονται σε παγκόσμιο επίπεδο, να κατανέμονται και τελικά να γίνονται αποδεκτοί σε εθνικό (ή άλλο επίπεδο) λήψης αποφάσεων. Για το κλιματικό σύνορο υπάρχει ο στόχος των 2/1,5 βαθμών, ο οποίος χρειάστηκε να διαπραγματευτεί αρκετές δεκαετίες για να γίνει αποδεκτός παγκοσμίως. Η υποβάθμιση της κλίμακας των Πλανητικών Συνόρων οδηγεί σε διαφορετικές πιθανές κατανομές του ασφαλούς λειτουργικού χώρου των επιμέρους κρατών και εξαρτάται από τις κανονιστικές πράξεις και τα κριτήρια που επιλέγονται. Εφόσον έχει επιτευχθεί η υποβάθμιση της κλίμακας σε εθνικό περιφερειακό ή άλλο επίπεδο του κάθε συνόρου, μπορεί πλέον να αποτελεί σημείο αναφοράς για τις περιβαλλοντικές μεταρρυθμίσεις (Hoff, 2018).

Μια ανάλυση των πιέσεων ως προς τα Πλανητικά Σύνορα είναι χρήσιμη για την υποστήριξη μιας κατακόρυφης συνοχικής πολιτικής και ολοκληρωμένης εφαρμογής των παγκόσμιων Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων. Αν και ακόμα υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με το κάθε σύνορο, τους αλγορίθμους υποβάθμισης της κλίμακας και την ισάξια κατανομή του παγκόσμιου ασφαλούς λειτουργικού χώρου, η γνώση που είναι διαθέσιμη αυτή τη στιγμή πρέπει να αρχίσει να αξιοποιείται από φορείς που συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων, διότι παρέχει πολύτιμες νέες πληροφορίες για τις φιλοδοξίες που έχουν τεθεί από την Ατζέντα του 2030. Επιπροσθέτως, μπορεί να πυροδοτήσει συζητήσεις μεταξύ επιστήμης και πολιτικής, από τις οποίες να προκύψει η περαιτέρω ανάπτυξη των Πλανητικών Συνόρων (Hoff, 2018).

Η επίτευξη των Βιώσιμων Αναπτυξιακών στόχων χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα ευαίσθητη, καθώς μέσω της επισιτιστικής αλυσίδας, της εισαγωγής αγαθών και υπηρεσιών και της υιοθέτησης καταναλωτικών προτύπων και τρόπου ζωής, κράτη επηρεάζουν την βιωσιμότητα και την εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων άλλων κρατών. Ουσιαστικά η Παγκοσμιοποίηση γεννά ισχυρές οριζόντιες, κατακόρυφες και διαπεριφερειακές διασυνδέσεις. Βιομηχανοποιημένες χώρες όπου τα επίπεδα κατανάλωσης και παραγωγής ξεπερνάνε κατά πολύ τον μέσο όρο, είναι υπεύθυνες για την εξαγωγή τεράστιων περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων εμποδίζοντας άλλες χώρες να επιτύχουν τους Βιώσιμους Αναπτυξιακούς Στόχους. Σχετικά με αυτά τα αποτελέσματα απαιτείται να εφαρμοστεί ένα πλαίσιο βιώσιμης παραγωγής και κατανάλωσης. Η αρχή της Βιώσιμης Κατανάλωσης και Παραγωγής αποτελεί τον πιο ισχυρά διασυνδεδεμένο και κεντρικό Βιώσιμο Αναπτυξιακό Στόχο (SDG 12). Η Βιώσιμη Κατανάλωση και Παραγωγή ισοδυναμεί με την βιώσιμη διαχείριση και διακυβέρνηση συμπεριλαμβανομένης της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων και μείωσης παραγωγής απορριμμάτων (Hoff, 2018). Στο ίδιο μοτίβο, θα πρέπει να εντοπιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις των οικιακών δραστηριοτήτων και ειδικότερα οι οποιεσδήποτε βελτιώσεις αυτών των δραστηριοτήτων να μην επιτευχθούν εις βάρος της βιώσιμης ανάπτυξης άλλων χωρών ή περιοχών ως αποτέλεσμα της καθολικότητας που διέπει τους Βιώσιμους Αναπτυξιακούς στόχους (Hoff, 2018).

Τα Πλανητικά Σύνορα είναι αρωγοί της βιώσιμης κατανάλωσης και παραγωγής αλλά και της κατακόρυφης συνοχής της λειτουργίας του SDG 12, εντοπίζοντας ευαίσθητες περιοχές από την σκοπιά του Γήινου Συστήματος. Συνδυάζοντάς τα με αναλύσεις της επισιτιστικής

αλυσίδας δίνεται η δυνατότητα να εντοπιστούν πιο βιώσιμα μοτίβα κατανάλωσης, εμπορίου και παραγωγής. Ο Hoff (2018) υιοθετεί την άποψη πως βιώσιμοι περιβαλλοντικοί και κοινωνικοοικονομικοί στόχοι θα πρέπει να συντονιστούν με τους οικονομικούς στόχους, οι οποίοι τώρα κατέχουν κύριο ρόλο στην παραγωγή και την επέκταση των επισιτιστικών αλυσίδων, για την κατακόρυφη ολοκληρωμένη εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων αλλά και της Βιώσιμης Παραγωγής και Κατανάλωσης.

Έχοντας ως δεδομένο τις πολύπλοκες σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων είναι απαραίτητη η εφαρμογή εργαλείων όπως μοντέλα διαπεριφερειακών ισοζυγίων (Multi-Regional Input-Output (MRIO)), Ανάλυσης Ροής Υλικών (Material Flow Analysis (MFA)), Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis (LCA)) αλλά και συνδυασμών τους (Hoff, 2018).

Η δημιουργία και η επιμέρους κατανομή των Πλανητικών Συνόρων δεν αποτελεί καθαρά επιστημονική πρακτική αλλά περιέχει και ισχυρά κανονιστικά στοιχεία. Οι διαφορετικές διαστάσεις της δικαιοσύνης και ισότητας που εμπλέκονται θα πρέπει να συζητηθούν έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η κατακόρυφη ολοκληρωμένη εφαρμογή των Βιώσιμων Αναπτυξιακών Στόχων ικανοποιώντας τον πήχη που έχει τεθεί παγκοσμίως. Μια συνεχής και διαδραστική συζήτηση μεταξύ επιστήμης και πολιτικής δεν παρέχει μόνο ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εφαρμογή τους αλλά ενισχύει και τις επιστημονικές διεργασίες (Hoff, 2018).

## Πολιτικές και Στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς μία βιώσιμη γεωργία.

Σε αυτή την ενότητα γίνεται παράθεση του γενικότερου πλαισίου της Ευρωπαϊκής «Πράσινης» Συμφωνίας που σχετίζεται με την αντιμετώπιση των πιέσεων που δέχονται το περιβάλλον και οι φυσικοί πόροι και δεν αφορά μονάχα τον τομέα της γεωργίας. Αναλύονται η Κοινή Αγροτική Πολιτική και η Στρατηγική «Από το αγρόκτημα στο πιάτο» που είναι άμεσα συνυφασμένες με την «Πράσινη» Συμφωνία.

### Η Ευρωπαϊκή «Πράσινη» Συμφωνία

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί το πλαίσιο των απαντήσεων έναντι των προκλήσεων στο περιβάλλον και κατά επέκταση τους φυσικούς πόρους. Απαρτίζει μια νέα αναπτυξιακή στρατηγική που στοχεύει στην μετατροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε μία ανταγωνιστική και αποδοτική οικονομία ως προς την χρήση των πόρων, επιτρέποντας της να μηδενίσει τις καθαρές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου ως το 2050 και να αποσυνδέσει την οικονομία της από την χρήση των πόρων. Παράλληλα συνιστά μέσω προστασίας, διατήρησης και ενίσχυσης του φυσικού κεφαλαίου της ΕΕ ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el))

Η υλοποίηση της Πράσινης συμφωνίας έγκειται στην επανεξέταση των πολιτικών του εφοδιασμού της οικονομίας με καθαρή ενέργεια σε όλους τους τομείς που την απαρτίζουν, τη βιομηχανία, την παραγωγή και την κατανάλωση, τις υποδομές μεγάλης κλίμακας, τις μεταφορές, τα τρόφιμα και τη γεωργία, τις κατασκευές, τη φορολογία και τις κοινωνικές παροχές. Η αύξηση της αξίας που αποδίδεται στην προστασία και αποκατάσταση των

φυσικών οικοσυστημάτων, στη βιώσιμη χρήση των πόρων και τη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας, συνιστά κύρια προϋπόθεση επίτευξης των παραπάνω στόχων ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el)).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ήδη παρουσιάσει ένα όραμα για την πορεία επίτευξης της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Για τον καθορισμό των όρων μιας αποτελεσματικής και δίκαιης μετάβασης με σαφήνεια, ώστε να εξασφαλιστεί η προβλεψιμότητα για τους επενδυτές και να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση είναι μη αντιστρέψιμη η Επιτροπή πρότεινε τον πρώτο ευρωπαϊκό νόμο για το κλίμα. Με αυτό τον τρόπο κατοχυρώνεται νομικά ο στόχος της κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050. Αρχικός ενωσιακός στόχος αποτελεί η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον στο 50% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με το 1990. Για να επιτευχθούν αυτές οι μειώσεις, θα επανεξεταστούν, και όπου θεωρηθεί απαραίτητο, θα προταθούν αναθεωρήσεις όλων των συναφών μέσων πολιτικής που σχετίζονται με το κλίμα. Η επίτευξη των στόχων για το 2030 και το 2050 προϋποθέτει την περαιτέρω απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el)).

Τα ευρωπαϊκά τρόφιμα χαρακτηρίζονται ως ασφαλή, θρεπτικά και υψηλής ποιότητας, ενώ πλέον θα πρέπει να καταστούν παγκόσμιο πρότυπο βιωσιμότητας. Η βιομηχανία παραγωγής τροφίμων εξακολουθεί να αποτελεί κλάδος ρύπανσης του αέρα, των υδάτων και του εδάφους και παράλληλα ευθύνεται για την απώλεια της βιοποικιλότητας και την κλιματική κρίση. Ομόχρονα καταναλώνει σημαντικές ποσότητες φυσικών πόρων, ενώ μεγάλες ποσότητες τροφίμων σπαταλούνται. Στο μεταβατικό στάδιο της βιωσιμότητας της παραγωγής τροφίμων κεντρικό ρόλο κατέχουν οι ευρωπαίοι αγρότες και αλιείς μέσω της στρατηγικής «από το αγρόκτημα στο πιάτο». Στα στρατηγικά σχέδια αντικατοπτρίζεται το αυξημένο επίπεδο φιλοδοξίας για τη σημαντική μείωση της χρήσης και των κινδύνων των χημικών φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων και αντιβιοτικών.

Η Πράσινη Συμφωνία αναγνωρίζει την επιτακτική ανάγκη διατήρησης και αποκατάστασης των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας. Στις βασικές υπηρεσίες που προσφέρουν τα οικοσυστήματα συγκαταλέγονται τα τρόφιμα, καθαρό νερό, καθαρό αέρα και στέγαση. Μετριάζουν την επίδραση των φυσικών καταστροφών, τους κινδύνους από παθογόνους οργανισμούς, ασθένειες και συμβάλλουν στη ρύθμιση του κλίματος. Όλοι οι στόχοι για την βιοποικιλότητα εντάσσονται σε στρατηγικές που προσδιορίζουν συγκεκριμένα μέτρα για την επίτευξή τους.

Οι δασικές εκτάσεις της Ε.Ε. χρήζουν βελτίωσης τόσο από ποιοτική όσο και από ποσοτική άποψη, καθώς λόγω της κλιματικής απορρύθμισης δέχονται έντονες πιέσεις. Η νέα δασική στρατηγική της Ε.Ε. θέτει ως βασικούς στόχους την αποτελεσματική δάσωση και τη διατήρηση και αποκατάσταση των δασών της.

Έντονη είναι η φιλοδοξία μηδενικής ρύπανσης για ένα περιβάλλον απαλλαγμένο από τοξικές ουσίες. Η δημιουργία ενός τέτοιου περιβάλλοντος απαιτεί περισσότερη δράση για την πρόληψη ρύπανσης και μέτρων για τον καθαρισμό και της αποκατάστασής του. Οι αλληλένδετες αυτές προκλήσεις ώθησαν την δημιουργία ενός σχεδίου για μηδενική ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους. Ωστόσο θα πρέπει να αποκατασταθούν οι φυσικές λειτουργίες των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων. Όσον αφορά την ρύπανση του αέρα η

Επιτροπή θα βασιστεί στα αποτελέσματα που αντλήθηκαν από την εφαρμογή και αξιολόγηση της ισχύουσας νομοθεσίας για την ποιότητα του αέρα, ταυτόχρονα θα επανεξετάσει τα μέτρα της Ε.Ε. για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από μεγάλες βιομηχανίες.

Για να συντελεστούν οι στόχοι που θέτει η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία πρέπει να καλυφθούν σημαντικές επενδυτικές ανάγκες. Η Επιτροπή θα παρουσιάσει ένα επενδυτικό σχέδιο για μια βιώσιμη Ευρώπη, ενώ ο προϋπολογισμός της Ε.Ε. θα διαδραματίσει καίριο και ουσιαστικό ρόλο. Τουλάχιστον το 30% του ταμείου InvestEU θα συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Ένας μηχανισμός δίκαιης μετάβασης, οποίος θα περιλαμβάνει και ένα αντίστοιχο ταμείο, θα προταθεί από την Επιτροπή στο πλαίσιο του επενδυτικού σχεδίου που θα εμπερικλείει όλα τα συμβαλλόμενα μέλη. Θα εστιάζει κυρίως στις περιφέρειες και τους τομείς που επηρεάζονται περισσότερο από τη μετάβαση.

Δράσεις για τη στρατηγική της βιώσιμης χρηματοδότησης συναπαρτίζουν η ενίσχυση των «θεμελίων» για βιώσιμες επενδύσεις, η παροχή αυξημένων ευκαιριών σε επενδύσεις και επιχειρήσεις για διευκόλυνση εντοπισμού βιώσιμων επενδύσεων και διασφάλιση της αξιοπιστίας τους και αντιμετώπιση των κινδύνων για το κλίμα και το περιβάλλον και ενσωμάτωσής τους στο χρηματοπιστωτικό σύστημα.

Οι εθνικοί προϋπολογισμοί θα πρέπει να προσανατολίζονται σε μία οικολογική οδό, ενώ σχετικά με τις τιμές θα πρέπει να υπάρξει εστίαση στα σωστά μηνύματα. Οι εθνικοί προϋπολογισμοί έχουν κεντρική θέση στη μετάβαση και οι καλά σχεδιασμένες μεταρρυθμίσεις δίνουν την δυνατότητα τόνωσης της οικονομικής ανάπτυξης, της ανθεκτικότητας έναντι κλιματικών διαταραχών και συμβάλλουν σε δικαιότερη κοινωνία και μετάβαση. Η θέσπιση νέου πλαισίου για φορολογικές μεταρρυθμίσεις, θα καταργήσει τις επιδοτήσεις για τα ορυκτά καύσιμα και θα μεταθέσει τα φορολογικά βάρη από την εργασία στη ρύπανση λαμβάνοντας υπόψη διάφορες κοινωνικές παραμέτρους.

Η διεκπεραίωση των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας απαιτεί την κινητοποίηση της έρευνας και την προώθηση της καινοτομίας. Οι συμβατικές προσεγγίσεις χαρακτηρίζονται μη επαρκείς, ερευνητικά προγράμματα όπως το «Ορίζοντας Ευρώπη» θα στηρίξουν τις προσπάθειες έρευνας και καινοτομίας. Η αρωγή της εκπαίδευσης και της κατάρτισης είναι εξίσου σημαντική. Τα σχολεία, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και τα πανεπιστήμια βρίσκονται σε ευνοϊκή θέση για να συμμετέχουν με τους μαθητές, τους γονείς και την ευρύτερη κοινότητα στις αλλαγές που απαιτούνται για την βιώσιμη μετάβαση. Θα γίνει ένταξη των Κρατών Μελών σε χρηματοδοτικά προγράμματα με σκοπό την ενίσχυση της ενεργειακής βιωσιμότητας των σχολικών κτιρίων και λειτουργιών. Η αξιοποίηση των οφελών της οικολογικής μετάβασης προϋποθέτει την προορατική επανεκπαίδευση και αναβάθμιση των δεξιοτήτων.

## Η Ευρωπαϊκή Στρατηγική «από το αγρόκτημα στο πιάτο»

Η στρατηγική «από το αγρόκτημα στο πιάτο» βρίσκεται στον πυρήνα της Πράσινης Συμφωνίας. Στοχεύει στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που δέχονται τα βιώσιμα συστήματα τροφίμων με ολοκληρωμένο τρόπο, ενώ αναγνωρίζει τη στενή αλληλεπίδραση μεταξύ υγιών ανθρώπων, υγιών κοινωνιών και υγιούς πλανήτη. Θέτει την Ευρώπη ως ένα βιώσιμο σύστημα τροφίμων που της αποφέρει περιβαλλοντικά, υγειονομικά και κοινωνικά οφέλη. Η πανδημία Covid-19 υπογράμμισε την σπουδαιότητα ενός εύρωστου και ανθεκτικού

συστήματος τροφίμων που θα λειτουργεί κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, θα διασφαλίζει πρόσβαση σε επαρκή προσφορά τροφίμων σε προσιτές τιμές για τους πολίτες. Η αυξανόμενη συχνότητα εμφάνισης ξηρασίας, πλημμυρών και δασικών πυρκαγιών αποτελούν απειλή για το σύστημα τροφίμων ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_el)).

Η στρατηγική έχει ως στόχο να ανταμείψει τους γεωργούς που έχουν μεταβεί σε βιώσιμες πρακτικές, να διευκολύνει τους υπόλοιπους στην μετάβαση των βιώσιμων πρακτικών και να δημιουργήσει περισσότερες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις τους. Η γεωργία της Ε.Ε. είναι το μόνο μείζον σύστημα που μείωσε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% από το 1990. Η πορεία αυτή δε χαρακτηρίζεται ούτε ομαλή ούτε γραμμική μεταξύ των Κρατών Μελών. Στην παρούσα κατάσταση η παρασκευή, η μεταποίηση, η λιανική πώληση, η συσκευασία και η μεταφορά τροφίμων εντείνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ρύπανση εδάφους, την ρύπανση των υδάτων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου με έντονο τον αντίκτυπο στη βιοποικιλότητα. Χαρακτηρίζεται επιτακτική η ανάγκη για μείωση της εξάρτησης από φυτοφάρμακα, αντιμικροβιακά φάρμακα και της έντονης χρήσης λιπασμάτων, αύξηση της βιολογικής γεωργίας, καλύτερης μεταχείριση των ζώων και να αντιστραφεί η απώλεια της βιοποικιλότητας ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_el)).

Η δημιουργία μιας λειτουργικής επισιτιστικής αλυσίδας για τους καταναλωτές, τους παραγωγούς, το κλίμα και το περιβάλλον φανερώνει ότι το σύστημα τροφίμων θα έχει ένα ουδέτερο ή θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, θα επιτρέπεται η πρόσβαση σε επαρκή, θρεπτικά και βιώσιμα τρόφιμα και θα δίνει την δυνατότητα στα πιο βιώσιμα τρόφιμα να είναι και τα πιο προσιτά οικονομικά. Η διασφάλιση της βιώσιμης παραγωγής τροφίμων θα εξασφαλιστεί από επενδύσεις σε ανθρώπινους και οικονομικούς πόρους, την εκμετάλλευση της κυκλικής οικονομίας βιολογικής βάσης από γεωργούς και συνεταιρισμούς τους, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και από σχέδια δράσης για την ολοκληρωμένη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών. Για τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας, κρίνεται σημαντικό να υπάρξει ένας συντονισμός κοινής ευρωπαϊκής απάντησης σε κρίσεις που επηρεάζουν τα συστήματα τροφίμων και η συγκρότηση ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης για τη διασφάλιση της προσφοράς τροφίμων και τις επισιτιστικής ασφάλειας που θα πρέπει να εφαρμόζεται σε περιόδους κρίσης ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_el)).

Το στρατηγικό πλαίσιο παρέχει κίνητρα για βιώσιμες πρακτικές στον τομέα της μεταποίησης τροφίμων, του χονδρικού εμπορίου, του λιανικού εμπορίου, της φιλοξενίας και των υπηρεσιών εστίασης. Προωθεί τη βιώσιμη κατανάλωση τροφίμων και διευκολύνει τη μετάβαση σε μια υγιεινή και βιώσιμη διατροφή, ενώ μειώνει την απώλεια και τη σπατάλη τροφίμων. Σημαντική είναι η προσφορά της στην καταπολέμηση της απάτης στον τομέα των τροφίμων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού των τροφίμων ([https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_el)).



## Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.)

Η Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.) παίζει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση του Ευρωπαϊκού αγροτικού τομέα, ακόμη περισσότερο λόγω της παρουσίας του Covid-19. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την μετάβαση στη βιώσιμη παραγωγή των συστημάτων τροφίμων, καθώς θα ενδυναμώσει τις προσπάθειες των Ευρωπαίων αγροτών να ανταποκριθούν και να συνεισφέρουν στους κλιματικούς στόχους της Ε.Ε. για την προστασία του περιβάλλοντος. Η Επιτροπή εξέτασε τα κοινά σημεία μεταξύ της Κ.Α.Π. και της Πράσινης συμφωνίας και προσδιόρισε τα πιθανά εμπόδια ή/και κενά που εμποδίζουν την εφαρμογή της Συμφωνίας στον αγροτικό τομέα. Η νέα Κ.Α.Π. βασίζεται σε τρεις διαφορετικές νομοθετικές προτάσεις ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)):

- Στο σχεδιασμό ενός στρατηγικού σχεδίου ως προγραμματιστικό εργαλείο που θα ορίζει για κάθε Κράτος Μέλος τους παράγοντες κλειδιά για την εκτέλεση των οργάνων της Κ.Α.Π.. Κάθε Κράτος Μέλος έχει την ελευθερία επιλογής και περαιτέρω σχεδιασμού συγκεκριμένων μέτρων που θεωρεί ότι είναι πιο αποτελεσματικά για τις ανάγκες του. Παράλληλα διατίθεται ομάδα δεικτών σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης που επιτρέπει τον έλεγχο και την αξιολόγηση του αντικτύπου τους.
- Στη δημιουργία Κοινού Κανονισμού Οργάνωσης της Αγοράς. Η νέα Κ.Α.Π. συνεχίζει και ενδυναμώνει τον προσανατολισμό της αγοράς του Ευρωπαϊκού Αγροτικού Τομέα. Η Επιτροπή δεν έχει προτείνει αλλαγές στον τομέα της αγοράς αλλά στοχεύει σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις όπου υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης της ανταγωνιστικότητας του τομέα ή/και την απλοποίηση των υπαρχόντων κανονισμών.
- Θεσμοθέτηση ενός Οριζόντιου Κανονισμού. Η πρόταση για έναν κανονισμό σχετικά με τη χρηματοδότηση, διαχείριση και έλεγχο της Κ.Α.Π. παρέχει ένα νομοθετικό πλαίσιο για την προσαρμογή των χρηματοδοτικών, των διαχειριστικών και εκλεκτικών κανόνων του νέου μοντέλου της Κ.Α.Π. Η πρόταση αυτή έχει ως στόχο να καταφέρει μεγαλύτερη επικουρικότητα και απλοποίηση, δίνοντας μεγαλύτερη ευθύνη στα κράτη μέλη.

Οι παραπάνω προτάσεις διαχωρίζονται σε εννέα επιμέρους στόχους που καλύπτουν την τρισδιάστατη υπόσταση της βιωσιμότητας, δηλαδή το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία. Οι στόχοι αυτοί βρίσκονται σε κοινή πορεία με την «Πράσινη» Συμφωνία σχετικά με τα συστήματα τροφής. Οι εννέα στόχοι της Κ.Α.Π. παρουσιάζονται στην εικόνα 24 ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).



Εικόνα 24. Οι 9 στόχοι της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω προτάσεις, ο νέος κανονισμός απαιτεί από κάθε Κράτος-Μέλος να καταστρώσει ένα σχέδιο στρατηγικής Κ.Α.Π.. Η όλη προσέγγιση θα βασιστεί πάνω σε καλά εδραιωμένα επιχειρήματα (έρευνες) και δεδομένα λαμβάνοντας υπόψη τα εθνικά και περιφερειακά πλαίσια. Η στρατηγική προσέγγιση θα εφαρμοστεί και για τους δύο «πυλώνες» της Κ.Α.Π., που σχετίζονται με την αγροτική ανάπτυξη (Πυλώνας II) και την οικονομική ενίσχυση των αγροτών (Πυλώνας I) ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Απαιτείται μια «νέα πράσινη αρχιτεκτονική» που θα ενισχύει τις φιλοδοξίες της Κ.Α.Π. για επίτευξη των στόχων της σχετικά με το περιβάλλον και το κλίμα. Στο πλαίσιο αυτό απαιτείται από κάθε Κράτος-Μέλος της Ε.Ε. να προβεί σε εκπλήρωση των στόχων που έχουν τεθεί από διάφορες περιβαλλοντικές, κλιματικές και ενεργειακές νομοθετήσεις. Οι αρμόδιες αρχές κάθε Κράτους-Μέλους θα πρέπει να λαμβάνουν ενεργό ρόλο για την προετοιμασία περιβαλλοντικών και κλιματικών σχεδίων που αφορούν την Κ.Α.Π.. Παράλληλα τα Κράτη-Μέλη έχουν την νομική υποχρέωση να επιδείξουν υψηλότερα ποσοστά φιλοδοξίας για την πραγματοποίηση των στόχων της Κ.Α.Π. για το περιβάλλον και το κλίμα. Η συνέχιση της ενίσχυσης της αγροτικής ανάπτυξης (2<sup>ος</sup> Πυλώνας της Κ.Α.Π.) θα προσφέρει πλήθος εργαλείων για την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ ταυτόχρονα η Επιτροπή προτείνει μέτρα για την εμπόδιση στήριξης επενδύσεων που δεν συμβαδίζουν με την Κ.Α.Π. και προκαλούν βλάβες στο περιβάλλον ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

### Συσχέτιση «Πράσινης» Συμφωνίας, Στρατηγικής «από το αγρόκτημα στο πιάτο» και Κοινής Αγροτικής Πολιτικής.

Η στρατηγική «από το αγρόκτημα στο πιάτο» θέτει επί τάπητος την ανάγκη για μείωση της χρήσης των παρασιτοκτόνων, των αντιβιοτικών και των λιπασμάτων αλλά και των κινδύνων που παρουσιάζονται από την εκτεταμένη χρήση τους στη γεωργία, ενώ παράλληλα προωθεί την εφαρμογή της βιολογικής γεωργίας. Η Ευρωπαϊκή «Πράσινη» Συμφωνία στοχεύει στην επέκταση της χρήσης βιώσιμων πρακτικών όπως η γεωργία ακριβείας, οι βιολογικές

καλλιέργειες, η αγρο-οικολογία, και η αγρο-δασοκομία. Η αλλαγή σε νέες βιώσιμες πρακτικές ενσωματώνεται μέσα από μέτρα που επιβραβεύουν τους αγρότες που ακολουθούν αυτές τις περιβαλλοντικά και κλιματικά βιώσιμες πρακτικές, όπως η διαχείριση και αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος, αλλά και η διαχείριση των θρεπτικών που βελτιώνει την ποιότητα των υδάτων και μειώνει τις εκπομπές. Η επέκταση της χρήσης βιώσιμων πρακτικών είναι ένας από τους τρόπους της αντιμετώπισης των αναγκών που καταγράφονται στην «Πράσινη» Συμφωνία, οι οποίες είναι μεταξύ άλλων και η κλιματική κρίση, η διασφάλιση και αποκατάσταση των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας, αλλά και μία ανθεκτική Ευρωπαϊκή γεωργία ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Τα οικολογικά σχέδια που ενσωματώνονται στον 1<sup>ο</sup> Πυλώνα της Κ.Α.Π. αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την ενίσχυση της γεωργίας ακριβείας, τις βιολογικές καλλιέργειες, την αγρο-οικολογία, την αγρο-δασοκομία αλλά και άλλες προσεγγίσεις που σχετίζονται με την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης, την διαχείριση των φυσικών πόρων και τις βιοποικιλότητας. Τα οικολογικά σχέδια θα στηρίξουν τους αγρότες να αναπτύξουν τις περιβαλλοντικές τους δράσεις. Σε αντίθεση με τα έως τώρα «πράσινα» μέτρα, κάθε Κράτος-Μέλος θα είναι υπεύθυνο για τον σχεδιασμό οικολογικών σχεδίων με προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω», που θα ενσωματώνει τις φιλοδοξίες των στόχων για το περιβάλλον με τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στον αγροτικό τομέα. Η αποτελεσματικότητα αυτών των σχεδίων θα είναι δυνατή μέσω της ανταλλαγής σχετικών και ακριβών δεδομένων ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Τα συστήματα και οι πρακτικές που ενισχύονται από τον 1<sup>ο</sup> Πυλώνα της Κ.Α.Π. μέσω των οικολογικών σχεδίων, πληρούν τις προϋποθέσεις για χρηματοδότηση και από το πλαίσιο του 2<sup>ου</sup> Πυλώνα της Κ.Α.Π. (στήριξη της αγροτικής ανάπτυξης). Η ενίσχυση της αγροτικής ανάπτυξης θα περιλαμβάνει και εθελοντικά βήματα για την βελτίωση του περιβάλλοντος την μείωση της κλιματικής κρίσης μέσω ευρέων και ποικίλων επιχειρήσεων που θα συνταχθούν από τα Κράτη-Μέλη. Παράλληλα θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες που σχετίζονται με την βιοποικιλότητα, την υψηλής φυσικής αξίας γεωργική γη, τα εκτεταμένα μόνιμα βοσκοτόπια. Θα ενισχυθούν χρηματοδοτικά σχέδια που θα στοχεύουν την προστασία συγκεκριμένων ειδών, την ευημερία των ζώων, όπως και η διατήρηση και βιώσιμη χρήση γενετικών πόρων στη γεωργία και την δασοκομία. Επί προσθέτως, ο προϋπολογισμός για την αγροτική ανάπτυξη διαθέτει πόρους για επενδύσεις που σχετίζονται με την βιωσιμότητα των υποδομών, την ανταλλαγή γνώσης και καινοτομιών, αλλά και υποστήριξης της δασοκομίας και της αγρο-δασοκομίας ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Τα μελλοντικά στρατηγικά σχέδια της Κ.Α.Π. μπορούν να στηρίξουν την μεταστροφή στις βιολογικές καλλιέργειες αλλά και την συντήρησή τους μέσω των οικολογικών σχεδίων, την διαχείριση του προϋπολογισμού στο πλαίσιο της αγροτικής ανάπτυξης και προγραμμάτων. Για να πραγματοποιηθεί μια ισορροπημένη ανάπτυξη στον βιολογικό τομέα, είναι απαραίτητο η προώθηση των βιολογικών προϊόντων στην αγορά ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Οι αλλαγές που θα προκύψουν από την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στον αγροτικό τομέα σε όλη την καλλιεργήσιμη έκταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όχι μόνο θα βελτιώσουν την καθοδική τάση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του αγροτικού τομέα αλλά ουσιαστικά θα μετατρέψουν το γεωργικό χώμα σε δεξαμενές άνθρακα. Αναγνωρίζοντας νέες μεθόδους αποδέσμευσης άνθρακα από τον αγροτικό τομέα είναι το πρώτο βήμα για την παροχή πληρωμής των αγροτών για την ανθρακική αποδέσμευση που παρέχουν. Σε μελλοντικά στρατηγικά πλάνα της Κ.Α.Π. τα Κράτη Μέλη θα μπορούν να ενσωματώσουν αυτούς τους κανόνες για να σχεδιάσουν τις πληρωμές από την εφαρμογή της Κ.Α.Π., ενώ ιδιωτικές εταιρείες θα στέφονται στην αγορά πιστοποιητικών για την ενίσχυση της κλιματικής δράσης δίνοντας επιπλέον εισοδήματα στους αγρότες για την ανθρακική αποδέσμευση ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Ένας από τους στόχους της Κ.Α.Π. είναι η προώθηση της βιο-οικονομίας. Τα στρατηγικά σχέδια της Κ.Α.Π. περιέχουν παρεμβάσεις που να συντονίζουν τους αγρότες προς μια οικονομία ελεύθερη από τον άνθρακα που παράλληλα θα τους προσδίδει έσοδα. Μέσω της χρήσης υπολειμμάτων τροφών και ζωοτροφών, αγροτικών απορριμμάτων και οποιουδήποτε άλλου είδους βιολογικών πόρων για την παραγωγή υφασμάτων, φυσικών συσκευασιών ακόμη και υλικών δόμησης ή την παραγωγή καθαρής ενέργειας δίνεται η δυνατότητα να διαφοροποιήσουν τα εισοδήματά τους αλλά και να συμβάλλουν έντονα στην επίτευξη των στόχων της «Πράσινης» Συμφωνίας ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Πρωτότυπες προσεγγίσεις για μια Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Παράσιτων (Integrated Pest Management) πρέπει να προωθηθούν σε συνδυασμό με τις αρχές για τη βιώσιμη χρήση των παρασιτοκτόνων και τη χρήση έξυπνων συστημάτων για τον συντονισμό και εντοπισμό των παράσιτων και των ασθενειών που πλήττουν τον αγροτικό τομέα. Ενημερωμένη γνώση συνδεδεμένη με τα έξυπνα συστήματα θα ενισχύσει τις προσπάθειες για μείωση των θρεπτικών και των αντιβιοτικών, εντάσσοντας ένα πλαίσιο προς αγρο-οικολογικές προσεγγίσεις, μηδενικής παραγωγής απορριμμάτων και χαμηλής ενέργειας αγροτικό τομέα, την διατήρηση και αποκατάσταση των αγροτικών οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

Η Ευρωπαϊκή «Πράσινη» Συμφωνία δεν στοχεύει μόνο στην βιωσιμότητα των παραγωγικών μεθόδων του αγροτικού τομέα. Σε συνδυασμό με τους περιβαλλοντικούς και κλιματικούς στόχους, η Κ.Α.Π. παρέχει ένα εύρος εργαλείων που υποβοηθούν την ενίσχυση αυτών των στόχων καθιστώντας τον ευρωπαϊκό αγροτικό τομέα ανταγωνιστικό και ισχυροποιώντας την θέση των αγροτών στην επισιτιστική αλυσίδα ([https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en)).

## Εφαρμογή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Ενέργειας-Τροφής σε Αγροτικό Συνεταιρισμό στο Θεσσαλικό κάμπο.

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει αναλυτική περιγραφή του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής του αγροτικού συνεταιρισμού. Για την εκτίμηση και τον υπολογισμό των

συνιστώσων του Δεσμού χρησιμοποιήθηκαν οι ορισμοί του ενεργειακού, υδατικού και ανθρακικού αποτυπώματος αλλά και η Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι να βρεθούν οι κύριες κρίσιμες διασυνδέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των Συστημάτων Νερού-Ενέργειας-Τροφής και ο αντίκτυπός τους στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης μελετήθηκαν και σενάρια αλλαγής καλλιεργειών σε καλλιέργειας οσπρίων, ώστε να εξακριβωθεί εάν τα όσπρια αποτελούν κατάλληλη επιλογή για τον Δεσμό.

### Περιγραφή περίπτωσης μελέτης.

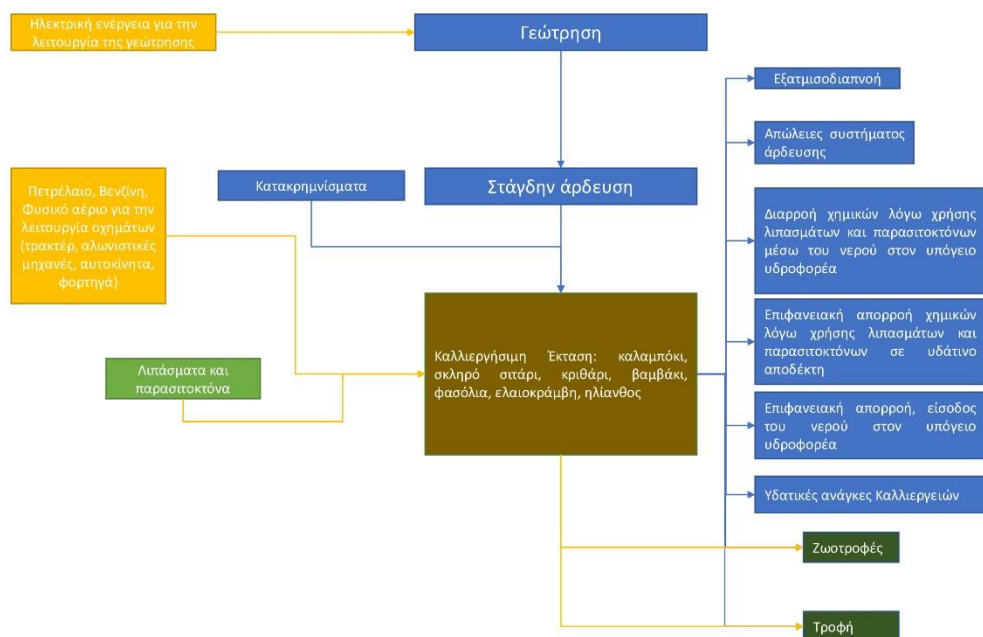
Ο Συνεταιρισμός που θα μελετηθεί στη παρούσα εργασία ιδρύθηκε το 2013 και η έδρα του βρίσκεται στη Λάρισα. Απαριθμεί 54 μέλη αγρότες με συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις άνω των 20.000 στρεμμάτων. Οι γεωργικές δραστηριότητες του συνεταιρισμού εκτείνονται σε όλη την γεωγραφική περιοχή της Θεσσαλίας. Στις καλλιέργειες περιλαμβάνονται τα δημητριακά (καλαμπόκι, σκληρό σιτάρι και κριθάρι), το βαμβάκι, τα ψυχανθή (φασόλια) και τα ενεργειακά φυτά (ελαιοκράμβη και ηλίανθος) (<https://www.thesgi.gr/el/sunetairismos>).

### Υλικά και Μέθοδοι

Η σύλληψη και ο σχεδιασμός ενός εννοιολογικού μοντέλου που θα περιγράφει με σαφήνεια τις διασυνδέσεις μεταξύ των συστημάτων του Νερού, της Ενέργειας και της Τροφής, προηγήθηκε των υπολογισμών ποσοτικοποίησης των διασυνδέσεων. Βάση του εννοιολογικού μοντέλου αποτέλεσε το υδατικό ισοζύγιο του γεωργικού συστήματος. Εισροές στο σύστημα θεωρήθηκαν η παροχέτευση νερού από τα υδάτινα σώματα (ταμιευτήρες, υπόγειος υδροφορέας κ.α.) και τα κατακρημνίσματα. Η διανομή του νερού στο χωράφι πραγματοποιείται μέσω αρδευτικού συστήματος, ενώ ως εκροές χαρακτηρίζονται οι απώλειες λόγω του συστήματος άρδευσης, η απορροή, η διήθηση του νερού στον υπόγειο υδροφορέα και η εξατμισοδιαπνοή. Πάνω στο υδατικό ισοζύγιο και τις γεωργικές εργασίες στηρίχθηκε ο σχεδιασμός του συστήματος της Ενέργειας του εννοιολογικού μοντέλου. Ως ενεργειακές εισροές εντοπίστηκαν η ενέργεια που απαιτείται για την είσοδο του νερού στο αρδευτικό σύστημα, η κατανάλωση καυσίμου των μηχανημάτων για την διεκπεραίωση των εργασιών στο χωράφι, η ενέργεια για την κατασκευή, συντήρηση και αποσύνθεση των μηχανημάτων, η ενέργεια που είναι ενσωματωμένη στα λιπάσματα και τα παρασιτοκτόνα. Το σύστημα της Τροφής αποτελούν οι τελικές σοδιές των καλλιεργειών. Η οριστικοποίηση του εννοιολογικού μοντέλου επιτεύχθηκε μέσω ποσοτικών δεδομένων που παρείχε ο συνεταιρισμός από ερωτηματολόγιο που διανεμήθηκε στο προσωπικό του. Οι πληροφορίες του ερωτηματολογίου αφορούσαν τα είδη των καλλιεργειών, την έκταση κάθε καλλιέργειας, την έναρξη της σποράς και του θερισμού, τον τρόπο προμήθειας νερού, την μορφή ενέργειας για την προμήθεια νερού, τα συστήματα άρδευσης, τον μηχανολογικό εξοπλισμό, τη θρέψη των καλλιεργειών και την φυτοπροστασία.

Συγκεκριμένα ο αγροτικός συνεταιρισμός καλλιεργεί καλαμπόκι, σιτάρι, κριθάρι, φασόλια, βαμβάκι, ελαιοκράμβη και ηλίανθο με συνολική έκταση 20.300 στρέμματα. Το νερό για άρδευση αντλείται από γεωτρήσεις που φθάνουν σε βάθος 150 m και λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιούν κυρίως αζωτούχα λιπάσματα όπως ουρία και νιτρική αμμωνία, ενώ για την φυτοπροστασία χρησιμοποιούν ζιζανιοκτόνα και εντομοκτόνα. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός τους αποτελείται από αγροτικούς ελκυστήρες για την ολοκλήρωση των διάφορων γεωργικών εργασιών και αλωνιστικές μηχανές. Η άρδευση στο

χωράφι πραγματοποιείται με σύστημα στάγδην άρδευσης. Το οριστικοποιημένο εννοιολογικό μοντέλο του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής παρουσιάζεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25. Εννοιολογικό μοντέλο του Δεσμού Νερού-Ενέργειας-Τροφής του Αγροτικού Συνεταιρισμού "ΘΕΣγη".

Καλλιέργησιμη Έκταση (στρέμματα)						
Καλαμπόκι	Σκληρό Σιτάρι	Κριθάρι	Βαμβάκι	Όσπρια	Ελαιοκράμβη	Ηλιάνθος
1000	10000	5000	2500	500	500	800

Πίνακας 2. Οι εκτάσεις που καταλαμβάνει η κάθε καλλιέργεια.

Πίνακας 3. Οι γεωργικές εργασίες κάθε καλλιέργειας κατά τη διάρκεια του έτους.

	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλιάνθος
ΙΑΝ		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ				
ΦΕΒ	ΟΡΓΩΜΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ				
ΜΑΡ	ΛΙΠΑΝΣΗ/ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΛΙΠΑΝΣΗ/ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ		ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ	ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ
ΑΠΡ	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)			ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ		ΣΠΟΡΑ/ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ / ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΣΠΟΡΑ/ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ/ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ/ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)
ΜΑΪ	ΛΙΠΑΝΣΗ/ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	ΟΡΓΩΜΑ	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)
ΙΟΥΝ	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΘΕΡΙΣΜΟΣ		ΘΕΡΙΣΜΟΣ/ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	ΣΠΟΡΑ/ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)
ΙΟΥΛ	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)				ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)
ΑΥΓ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ/ ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)				ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ/ ΑΡΔΕΥΣΗ (ΣΤΑΓΔΗΝ)	ΘΕΡΙΣΜΟΣ
ΣΕΠ					ΘΕΡΙΣΜΟΣ/ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ/ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ
ΟΚΤ		ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ	ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ	ΟΡΓΩΜΑ		ΘΕΡΙΣΜΟΣ	
ΝΟΕ		ΣΠΟΡΑ	ΣΠΟΡΑ	ΛΙΠΑΝΣΗ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ			
ΔΕΚ							

### Συνιστώσα του Νερού

Ο αγροτικός τομέας αποτελεί αδιαμφισβήτητο το μεγαλύτερο καταναλωτή νερού παγκοσμίως. Λόγω των απαιτήσεων για την κάλυψη των επισιτιστικών αναγκών εκτιμάται πως για να ανταπεξέλθει ο αγροτικός τομέας θα πρέπει να καταναλώσει 55% περισσότερο νερό. Είναι επιρρεπής στα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής, με τις συνεχόμενες μεταβολές στη συχνότητα των βροχοπτώσεων, την αύξηση της θερμοκρασίας και τις περιόδους ξηρασίας να θέτουν σε κίνδυνο την παραγωγή. Τα ακραία αυτά φαινόμενα αποτελούν τους κύριους παράγοντες της λειψυδρίας. Η άρδευση παρέχει τις απαραίτητες ποσότητες νερού ακόμη και σε περιόδους ξηρασίας, ωστόσο παρατηρείται η αλόγιστη χρήση της (Vanessa Novoa, 2018).

Η V. Novoa et al. (2018) αναφέρουν πως για να επιτευχθεί η βιώσιμη διαχείριση της κατανάλωσης νερού στον αγροτικό τομέα, θα πρέπει η χρήση του νερού να μην ξεπερνά το ρυθμό με τον οποίο ανανεώνεται. Για να καταστεί βιώσιμη η χρήση του νερού θα πρέπει να γίνει και ανάλυση υδατικού ισοζυγίου της περιοχής ενδιαφέροντος (Vanessa Novoa, 2018). Η T.M. Jackson et al. (2010) προτείνουν την αντικατάσταση μεθόδων άρδευσης που παροχετεύουν νερό με βαρύτητα, με συστήματα που λειτουργούν με πίεση καθώς έτσι αυξάνεται η αποδοτικότητα του αρδευτικού συστήματος και μειώνεται η ποσότητα του νερού που αρδεύεται.

Στην περίπτωση του αγροτικού συνεταιρισμού που μελετάται σε αυτή την εργασία, το σύστημα άρδευσης των χωραφιών είναι στάγδην. Χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως η παροχή, εκτιμήθηκαν μέσω των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών και της υετόπτωσης καθώς και από δεδομένα της βιβλιογραφίας. Ποσοτικά δεδομένα για τον όγκο νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη των καλλιεργειών παρείχε η βάση δεδομένων του Nexus\_SDM των Laspidou et al. (2020). Η βάση δεδομένων δεν διέθετε πληροφορίες για τις υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας ελαιοκράμβης. Από έκθεση των F. Ludwig et al. (2011) έγινε σύγκριση των ποσοτήτων νερού που αναφέρουν για καλλιέργειες ηλίανθου και ελαιοκράμβης στην Ελλάδα. Με εκτίμηση του λόγου του όγκου νερού της ελαιοκράμβης και του όγκου νερού του ηλίανθου, υπολογίστηκαν οι υδατικές ανάγκες της ελαιοκράμβης. Επίσης στον Πίνακα 4 οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών του σιταριού και του κριθαριού είναι μηδενικές καθώς θεωρούνται ξηρικές καλλιέργειες.

Ο υπολογισμός του πραγματικού νερού που απαιτείται για άντληση προκύπτει ως αφαίρεση της υετόπτωσης από τις υδατικές ανάγκες. Από τον ιστότοπο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας υπολογίστηκε η συνολική υετόπτωση κάθε μήνα για το υδρολογικό έτος Οκτώβριο του 2019 έως Σεπτέμβριο του 2020. Η μετατροπή του υετού σε όγκο νερού πραγματοποιήθηκε με πολλαπλασιασμό του μηνιαίου υετού με την έκταση της κάθε καλλιέργειας. Με την αφαίρεση πλέον του υετού εκφρασμένο σε όγκο υπολογίστηκαν οι τελικές ποσότητες νερού που πρέπει να αντληθούν.

Πίνακας 4. Οι Υδατικές Ανάγκες κάθε καλλιέργειας εκφρασμένες σε m<sup>3</sup>.

	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλίανθος
ΙΑΝ	0	0	0	0	0	0	0
ΦΕΒ	0	0	0	0	0	0	0
ΜΑΡ	0	0	0	0	0	0	0
ΑΠΡ	13750	0	0	9397	0	185578	29328
ΜΑΪ	38718	0	0	34738	0	246734	108411
ΙΟΥΝ	188066	0	0	57088	0	280476	178161
ΙΟΥΛ	235119	0	0	23857	34290	301564	74454
ΑΥΓ	71388	0	0	0	47596	286802	0
ΣΕΠ	0	0	0	0	64092	231972	0
ΟΚΤ	0	0	0	0	59878	0	0
ΝΟΕ	0	0	0	0	0	0	0
ΔΕΚ	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5. Δεδομένα Υετόπτωσης (mm) από την Ε.Μ.Υ. για κάθε δεκαήμερο κάθε μήνα από τον Οκτώβριο του 2019 έως το Σεπτέμβριο του 2020. Στη στήλη SUM αναγράφεται το σύνολο της υετόπτωσης κάθε μήνα.

	1 <sup>ο</sup> ΔΕΚΑΗΜΕΡΟ	2 <sup>ο</sup> ΔΕΚΑΗΜΕΡΟ	3 <sup>ο</sup> ΔΕΚΑΗΜΕΡΟ	SUM
ΙΑΝ	0	0	1	1
ΦΕΒ	9,6	9,8	0	19,4
ΜΑΡ	19,2	7,2	7,2	33,6
ΑΠΡ	53,7	0	3,8	57,5
ΜΑΪ	0,2	0	7,8	8
ΙΟΥΝ	4,5	4,6	2,2	11,3
ΙΟΥΛ	2,4	0	0	2,4
ΑΥΓ	23,1	4,1	1	28,2
ΣΕΠ	0	28	14,4	42,4
ΟΚΤ	23,7	0,3	0	24
ΝΟΕ	16,1	18,9	40	75
ΔΕΚ	20	91,2	23,5	134,7

Πίνακας 6. Η συνολική υετόπτωση κάθε μήνα για κάθε καλλιέργειας εκφρασμένη σε m<sup>3</sup>.

	Καλαμπόκι	Σκληρό Σιτάρι	Κριθάρι	Βαμβάκι	Όσπρια	Ελαιοκράμβη	Ηλίανθος
ΙΑΝ	1000	10000	5000	2500	500	500	800
ΦΕΒ	19400	194000	97000	48500	9700	9700	15520
ΜΑΡ	33600	336000	168000	84000	16800	16800	26880
ΑΠΡ	57500	575000	287500	143750	28750	28750	46000
ΜΑΪ	8000	80000	40000	20000	4000	4000	6400
ΙΟΥΝ	11300	113000	56500	28250	5650	5650	9040
ΙΟΥΛ	2400	24000	12000	6000	1200	1200	1920
ΑΥΓ	28200	282000	141000	70500	14100	14100	22560
ΣΕΠ	42400	424000	212000	106000	21200	21200	33920
ΟΚΤ	24000	240000	120000	60000	12000	12000	19200
ΝΟΕ	75000	750000	375000	187500	37500	37500	60000
ΔΕΚ	134700	1347000	673500	336750	67350	67350	107760



Πίνακας 7. Οι απαιτούμενες ποσότητες νερού για άντληση όπως προέκυψαν από την αφαίρεση της υετόπτωσης από τις υδατικές ανάγκες, εκφρασμένες σε m<sup>3</sup>.

	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλιάνθος
ΙΑΝ	0	0	0	0	0	0	0
ΦΕΒ	0	0	0	0	0	0	0
ΜΑΡ	0	0	0	0	0	0	0
ΑΠΡ	13750	0	0	9397	0	41828	29328
ΜΑΪ	30718	0	0	30738	0	226734	102011
ΙΟΥΝ	176766	0	0	51438	0	252226	169121
ΙΟΥΛ	232719	0	0	22657	33090	295564	72534
ΑΥΓ	43188	0	0	0	33496	216302	0
ΣΕΠ	0	0	0	0	42892	125972	0
ΟΚΤ	0	0	0	0	47878	0	0
ΝΟΕ	0	0	0	0	0	0	0
ΔΕΚ	0	0	0	0	0	0	0

Σε επόμενη φάση εκτιμήθηκε η παροχή στο χωράφι για κάθε καλλιέργεια. Πληροφορίες σχετικά με το πλήθος των γεωτρήσεων, τον χρόνο λειτουργίας τους και της παροχής τους δεν ήταν διαθέσιμα. Ο υπολογισμός της παροχής των γεωτρήσεων έγινε έπειτα από μια υποτυπώδη σχεδίαση του στάγδην αρδευτικού συστήματος. Τα συστατικά ενός τέτοιου συστήματος που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη αποτελούν οι ψεκαστήρες και οι σωληνώσεις διανομής του νερού. Οι ψεκαστήρες μπορεί να είναι ενσωματωμένοι στις σωληνώσεις (in-line emitters) ή να τοποθετούνται στις σωληνώσεις (on-line emitters). Αναφορικά υπάρχουν και αγωγοί, κυρίως από PVC για να αποφευχθεί η διάβρωσή τους, που τοποθετούνται υπόγεια και παροχετεύουν με νερό τους επιφανειακούς αγωγούς. Για τον υπολογισμό της παροχής των γεωτρήσεων απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της παροχής του αρδευτικού συστήματος κάθε καλλιέργειας. Από τους Daniel Dasberg και Darin Or (1999) επιλέχθηκε μια τυπική παροχή ενός ψεκαστήρα νερού ίση με  $3,64 \frac{l}{h}$ . Από την εξίσωση

$$r_s = \sqrt{\left(\frac{4}{\alpha^2 \cdot \pi^2} + \frac{q}{\pi \cdot K_s}\right)} - \frac{2}{\alpha \cdot \pi} \quad (1)$$

βρέθηκε η ακτίνα της επιφάνειας που βρέχει ένας ψεκαστήρας. Στον υπολογισμό της παραπάνω εξίσωσης, οι μεταβλητές  $\alpha$  και  $K_s$  αφορούν το είδος του εδάφους τις κάθε καλλιέργειας, με την δεύτερη μεταβλητή να εκφράζει την διαπερατότητα του εδάφους. Για λόγους υπολογιστικής απλούστευσης θεωρήθηκε ότι όλες οι καλλιέργειες καλλιεργούνται σε ίδιου τύπου έδαφος, το οποίο χαρακτηρίζεται ανάμεσα στα αργιλικά και αμμώδη εδάφη. Οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων μαζί με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του εδάφους παρουσιάζονται στον πίνακα .

Η ελάχιστη απόσταση ώστε να μην αλληλοκαλύπτονται δύο ψεκαστήρες ισούται με  $2r_s$ . Το μέγιστο μήκος ενός αγωγού στην αγορά είναι τα 60 m. Με διαίρεση του συνολικού μήκους του αγωγού με την απόσταση μεταξύ δύο ψεκαστήρων υπολογίστηκε το πλήθος των ψεκαστήρων κάθε αγωγού. Η απόστασης μεταξύ δύο αγωγών υπολογίστηκε από την σχέση

$$x_s = \frac{1}{2} \left( \frac{q_l}{K_s} - \frac{3}{4\alpha} \right) \quad (2)$$

Η παροχή  $q_l$  εκφράζει την παροχή όλου του αγωγού ανά μονάδα μήκους του αγωγού. Ουσιαστικά ισούται με το γινόμενο της παροχής ενός ψεκαστήρα με το πλήθος των ψεκαστήρων του αγωγού διαιρεμένο με το μήκος του αγωγού. Η παροχή  $q_l$  πρέπει να είναι μικρότερη της ποσότητας  $3K_s/4\alpha$ . Το πλήθος αγωγών για την άρδευση κάθε καλλιέργειας υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\eta = \frac{E_c}{E_l} + 1 \quad (3)$$

Με  $E_l$  συμβολίζεται το εμβαδόν που σχηματίζουν δύο αγωγοί μεταξύ τους, ενώ με  $E_c$  συμβολίζεται η έκταση της κάθε καλλιέργειας. Ο πολλαπλασιασμός του πλήθους των αγωγών με το πλήθος των ψεκαστήρων και της παροχής του ενός ψεκαστήρα δίνει την τιμή της παροχής που χρειάζεται να αντλήσουν ταυτόχρονα όλες οι γεωτρήσεις κάθε καλλιέργειας. Εκτός από το νερό για άρδευση των καλλιεργειών, έγινε και εκτίμηση του υδατικού αποτύπωμα των μηχανημάτων και συγκεκριμένα του αγροτικού ελκυστήρα. Το υδατικό αποτύπωμα του αγροτικού ελκυστήρα υπολογίστηκε σε  $33,6 \text{ m}^3$ . Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκε είναι ίδιος με τον τρόπο που υπολογίζεται το ενεργειακό και ανθρακικό αποτύπωμα του αγροτικού ελκυστήρα που θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην ενότητα *Συνιστώσα την Ενέργειας*.

Πίνακας 8. Δείκτες που αφορούν την ποσότητα νερού που απαιτείται για την παραγωγή των υλικών για την κατασκευή του αγροτικού ελκυστήρα (Edemilson J. Mantoam, 2016).

Υλικά	Δείκτης που αφορά την ποσότητα νερού για την παραγωγή του υλικού (l/kg)
Carbon steel (hot rolled)	2,9
Stainless steel	2,965
Steel wire	2,97
Ductile iron	1,2
<b>Average</b>	<b>2,50875</b>
Nylon 6.6	162
Polyethylene high density	1,5
Polypropylene	1,2
Polyurethane	0,45
Polyurethane foam	0,004
PVC (Poly Vinyl Chloride)	1
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	
<b>Average</b>	<b>23,73628571</b>
Plate glass	12,9
Inorganic fibreglass	12
<b>Average</b>	<b>12,45</b>
Rubber	6,32
Grease	35,4
Lubricating oil	8,5
Paint	
<b>Average</b>	<b>14,63333333</b>
Anticorrosive fluid	
Cellulose film	
Chemical powder ABC	
Cotton synthetic fiber	657
Fibreglass & aluminium	
Fibreglass & polyester	94,5
Sulphuric acid	
Aluminium	13
Brass	2
Copper	93,2
Lead	
<b>Average</b>	<b>78,15454545</b>
Mantoam et al. (2016)	

Πίνακας 9. Γενικά χαρακτηριστικά του στάγδην αρδευτικού συστήματος.

a (cm <sup>-1</sup> )	0,513
Ks (cm/s)	0,0001
q (l/h)	3,64
μήκος αγωγού (m)	60
απόσταση μεταξύ δύο ψεκαστήρων (cm)	111
πλήθος ψεκαστήρων ανά αγωγό	54
συνολική παροχή αγωγού ανά μήκος αγωγού (l/h/m)	3,279035
απόσταση μεταξύ δύο αγωγών (m)	0,4
εμβαδόν μεταξύ δύο σωλήνων αρδευσης	25,47849

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας του πλήθους των συστατικών του αρδευτικού συστήματος κάθε καλλιέργειας, καθώς και της συνολικής παροχής της κάθε καλλιέργειας.

	Καλαμπόκι	Σκληρό Σιτάρι	Κριθάρι	Βαμβάκι	Όσπρια	Ελαιοκράμβη	Ηλιανθος
σύνολο σωλήνων για άρδευση	39249	0	0	98122	19625	19625	31400
συνολικός αριθμός ψεκαστήρων	2121409	0	0	5303497	1060731	1060731	1697171
συνολική παροχή (l/h)	7721928,76	0	0	19304729	3861061	3861060,84	6177702,4
συνολική παροχή (m <sup>3</sup> /h)	7721,92876	0	0	19304,729	3861,061	3861,06084	6177,7024

### Συνιστώσα της Ενέργειας

Η χρήση της Ενέργειας στον αγροτικό τομέα χαρακτηρίζεται ως άμεση ή έμμεση. Ως άμεση εισροή ενέργειας στα αγροτικά συστήματα θεωρούνται τα ορυκτά καύσιμα για την λειτουργία των μηχανημάτων για την διεκπεραίωση των γεωργικών εργασιών (προετοιμασία εδάφους για καλλιέργεια, εφαρμογή λιπασμάτων, φυτοπροστασίας κ.α.) και η ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία άλλου είδους μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλία γεωτρήσεων). Η έμμεση εισροή ενέργειας καταναλώνεται έξω από τα σύνορα των γεωργικών συστημάτων κυρίως για την παραγωγή λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων (Schnerpf, 2004). Η ολοκλήρωση των γεωργικών εργασιών και της παραγωγής σε μεγάλη κλίμακα οφείλεται στην μηχανοποίηση του αγροτικού τομέα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στη γεωργία μπορεί να εξοικονομήσει για την ολοκλήρωση των παραγωγικών διαδικασιών, ωστόσο αυξάνεται η ενεργειακή κατανάλωση, η χρήση νερού και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Edemilson J. Mantoam, 2020). Στην συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν οι κύριες εισροές ενέργειας σε ένα αγροτικό σύστημα, δηλαδή την ενέργεια που οφείλεται στα γεωργικά μηχανήματα, στα λιπάσματα, στα παρασιτοκτόνα και στην άντληση νερού.

Η ενέργεια που οφείλεται στα γεωργικά μηχανήματα υπολογίστηκε ως η ενέργεια που καταναλώνεται από τα μηχανήματα κατά την εκτέλεση των γεωργικών μηχανημάτων. Ειδικότερα για τους αγροτικούς ελκυστήρες υπολογίστηκε και η ενέργεια που καταναλώνεται στις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής τους. Τα μηχανήματα που έχει στη διάθεσή του ο συνεταιρισμός είναι αγροτικοί ελκυστήρες και αλωνιστικές μηχανές. Δεν υπήρξαν δεδομένα για τον τύπο του καυσίμου, τη μάζα τους, την ισχύ της μηχανής τους και το πλήθος τους. Ο υπολογισμός της ενέργειας βασίστηκε κυρίως στη βιβλιογραφία. Από έρευνα στο διαδίκτυο επιλέχθηκαν αγροτικοί ελκυστήρες με ισχύ μηχανής από 50hp έως 130hp. Οι ελκυστήρες αυτοί ανήκουν στην κατηγορία μεσαίας ισχύς και χρησιμοποιούνται ευρέως από τους Έλληνες γεωργούς (Parageorgiou, 2015). Συνολικά καταμετρήθηκαν 258 μοντέλα αγροτικών ελκυστήρων που κυκλοφόρησαν στην αγορά από το 2011 έως σήμερα. Ταυτόχρονα έγινε και η καταγραφή της μάζας τους. Ως ενδεικτικός αγροτικός ελκυστήρας για τις γεωργικές εργασίες επιλέχθηκε ο μέσος όρος των αγροτικών ελκυστήρων. Ο συγκεκριμένος ελκυστήρας ζυγίζει 3620,83 kg με ισχύ PTO να ισούται με 59,09 kW. Έγινε η παραδοχή πως κάθε παραγωγός διαθέτει κατά ελάχιστο έναν αγροτικό ελκυστήρα και μια αλωνιστική μηχανή. Η ισχύς PTO (power take-off) αναφέρεται στην ισχύ του εξαρτήματος που διαθέτουν οι ελκυστήρες για να μεταφέρεται η ισχύς της μηχανής τους σε μηχανήματα ή εξαρτήματα που δεν διαθέτουν δική τους μηχανή. Χωρίς μια συσκευή PTO ο αγροτικός ελκυστήρας δεν μπορεί να πραγματοποιήσει τις γεωργικές εργασίες. Η ισχύς PTO θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς για την κατανάλωση καυσίμου του ελκυστήρα.



Εικόνα 26. Συσκευή PTO αγροτικού ελκυστήρα (<https://www.scintex.com.au/products/tractor-pt-generator>).

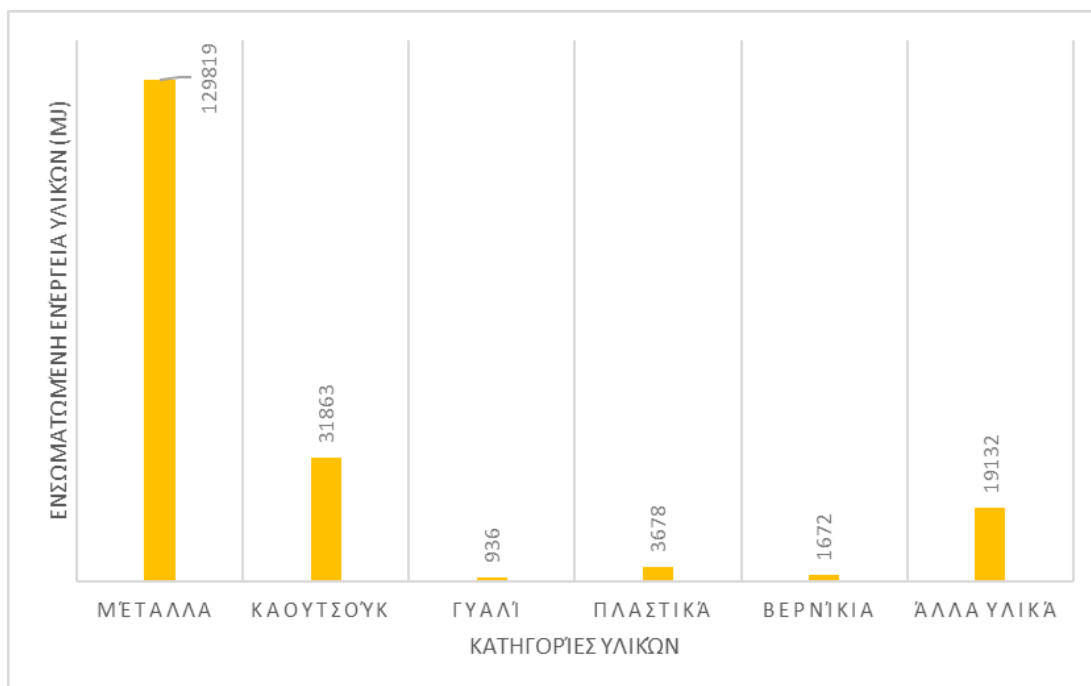
Η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός ελκυστήρα περιλαμβάνει τις φάσεις συναρμολόγησης, συντήρησης και αποσυναρμολόγησης. Για κάθε μία από αυτές τις φάσεις υπολογίστηκε η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την ολοκλήρωσή τους. Στον υπολογισμό της ενέργειας στη φάση της συναρμολόγησης γίνεται η καταγραφή όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται. Οι κύριες κατηγορίες στις οποίες ανήκουν τα επιμέρους υλικά είναι τα μεταλλικά υλικά, το καουτσούκ, το γυαλί, τα πλαστικά, τα διάφορα είδη βερνικιών (συμπεριλαμβάνονται και οι μπογιές) και διάφορα άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται σε μικρότερο ποσοστό. Η κατηγοριοποίηση αυτή έγινε βάσει των Nemecek και Kägi (2007). Τα υλικά που ανήκουν σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες θεωρήθηκε ότι καταλαμβάνουν ισόποσα το ποσοστό της μάζας της κατηγορίας που ανήκουν. Τα επιμέρους υλικά θεωρήθηκαν ίδια με τα υλικά που αναφέρουν ο Mantoam et al. (2016), όπως και οι δείκτες ενέργειας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του κάθε υλικού. Για κάθε κατηγορία υλικών υπολογίστηκε ένας ενιαίος δείκτης ως μέσος όρος των επιμέρους δεικτών. Μια τέτοια προσέγγιση ακολουθήθηκε διότι δεν υπήρξε αναλυτική κατανομή της μάζας του μηχανήματος.

Πίνακας 11. Κατανομή μάζας αγροτικού ελκυστήρα όπως αναφέρεται από τους Nemecek et al. (2007)

Κατηγορίες υλικών	Ποσοστό επί της συνολικής μάζας του μηχανήματος
Μέταλλα	77,5
Καουτσούκ	10
Γυαλί, Πλαστικά, Βερνίκια	5
Άλλου είδους υλικά που απαντώνται σε μικρά ποσοστά	7,5
Άθροισμα	100
Nemecek et al. (2007)	

Πίνακας 12. Οι δείκτες ενσωματωμένης ενέργειας κάθε υλικού που απαιτείται για την συναρμολόγηση ενός αγροτικού ελκυστήρα.

Υλικά	Δείκτης ενσωματωμένης ενέργειας υλικών (MJ*kg <sup>-1</sup> )
Carbon steel (hot rolled)	51,52
Stainless steel	81,77
Steel wire	19,1
Ductile iron	32,66
<b>Average</b>	<b>46,2625</b>
Nylon 6.6	31,8
Polyethylene high density	52,45
Polypropylene	110,16
Polyurethane	110,16
Polyurethane foam	110,16
PVC (Poly Vinyl Chloride)	10,64
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	1,24
<b>Average</b>	<b>60,94428571</b>
Plate glass	30,22
Inorganic fibreglass	0,79
<b>Average</b>	<b>15,505</b>
Rubber	88
Grease	43,38
Lubricating oil	37,28
Paint	2,48
<b>Average</b>	<b>27,71333333</b>
Anticorrosive fluid	2,29
Cellulose film	192,53
Chemical powder ABC	2,48
Cotton synthetic fiber	45,29
Fibreglass & aluminium	0,79
Fiberglass & polyester	0,79
Sulphuric acid	2,48
Aluminium	231
Brass	140
Copper	140
Lead	17,31
<b>Average</b>	<b>70,45090909</b>
Mantoam et al. (2016)	



Σχήμα 1. Η Ενέργεια που καταναλώνει η κάθε κατηγορία υλικών στη φάση Συναρμολόγησης του κύκλου ζωής του αγροτικού ελκυστήρα.

Η ποσότητα της ενέργειας που συμβάλλει η κάθε κατηγορία υλικών για την συναρμολόγηση του αγροτικού ελκυστήρα προέκυψε με πολλαπλασιασμό της συνολικής μάζας της κάθε κατηγορίας με τον δείκτη ενέργειας της αντίστοιχης κατηγορίας. Με άθροισμα των επιμέρους κατηγοριών εκφρασμένες πλέον σε μονάδες ενέργειας (MJ) προέκυψε η συνολική ενέργεια για την συναρμολόγηση του αγροτικού ελκυστήρα. Η συνολική ενέργεια συναρμολόγησης του ελκυστήρα είναι ίση με 187100 (MJ).

Η ενέργεια που απαιτείται για τις επισκευές και τη συντήρηση του μηχανήματος ισούται με 0,55 φορές την ενέργεια που καταναλώνεται στη φάση της συναρμολόγησης (Tsatsarelis, 1991), ενώ για την αποσυναρμολόγησή του καταναλώνονται 0,5 MJ ανά kg του μηχανήματος (Thomas Nemecek, 2007). Οι συνολικές τιμές της ενέργειας της κάθε φάσης του κύκλου ζωής του αγροτικού ελκυστήρα βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 13. Η συνολική Ενέργεια που καταναλώνεται για κάθε φάση του κύκλου ζωής του αγροτικού ελκυστήρα.

Φάσεις του Κύκλου Ζωής ενός αγροτικού ελκυστήρα	Συνολική Ενέργεια που καταναλώνεται σε κάθε φάση (MJ)
Συναρμολόγηση	187100
Επισκευές και Συντήρηση	102905
Αποσυναρμολόγηση	1810

Στον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας του γεωργικού συστήματος, οι παραπάνω τιμές αφού πολλαπλασιάστηκαν με το πλήθος των ελκυστήρων κατανεμήθηκαν ισόποσα στα 12 χρόνια ζωής του κάθε μηχανήματος.

Εκτός από την ενέργεια που καταναλώνεται για την κατασκευή των μηχανημάτων (έμμεση εισροή ενέργειας) σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η κατανάλωση καυσίμων των μηχανημάτων κατά τη διάρκεια των γεωργικών εργασιών. Θεωρήθηκαν στον υπολογισμό της

κατανάλωσης καυσίμου, πως το καύσιμο που χρησιμοποιούν τα γεωργικά μηχανήματα είναι diesel. Η εξίσωση που εκφράζει τη μέση κατανάλωση καυσίμου diesel ενός ελκυστήρα είναι:

$$Q_{avg} = 0,223 * PTO \quad (4)$$

όπου  $Q_{avg}$  η μέση κατανάλωση diesel σε l/h και PTO η ισχύς σε kW (R. D. Grisso, 2004). Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως η τιμή που προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης (4) δίνει τιμές κατά 15% μεγαλύτερες όπως υποδεικνύει η ASAE, λόγω των απωλειών της αποδοτικότητας λόγω των συνθηκών που επικρατούν κατά τη διάρκεια των εργασιών στο χωράφι (M. Safa, 2010).

Πίνακας 14. Συντελεστές Ενεργειακής πυκνότητας και Ειδικής Ενέργειας για διάφορα είδη ορυκτών καυσίμων (Michael Fischer, 2009).

Fuel	Density (kg/L)	Specific Energy (MJ/kg)	Density Energy (MJ/L)
Gasoline	0,716	47,3	33,867
Kerosene	0,83	46,2	38,346
Diesel fuel	0,83	44,8	37,134
Ethanol	0,784	29,7	23,278
Coal (Anthracite)	1,35	27	36,45
Methanol	0,787	22,7	17,855
Wood	0,6	15	9
Coal (Lignite)	0,801	15	12,015

Πίνακας 15. Η μέση κατανάλωση καυσίμου diesel και η αντίστοιχη ενέργεια που καταναλώνεται.

PTO (kW)	59,0879845
$Q_{avg}$ (L/h)	13,17662054
Energy (MJ/h)	489,3006272

Από την βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής ενεργειακής πυκνότητας του καυσίμου diesel, ώστε να μετατραπεί η κατανάλωση καυσίμου σε ενέργεια. Οι Nemecek και Kägi (2007) έχουν καταγράψει τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της κάθε δραστηριότητας ανά εκτάριο. Με μετατροπή αυτών των συντελεστών σε h/στρέμμα και αφού πολλαπλασιαστούν με την μέση ενεργειακή κατανάλωση την ώρα, προκύπτει η ενέργεια που πρέπει να καταναλωθεί για την ολοκλήρωσης της δραστηριότητας ανά στρέμμα. Με τον πολλαπλασιασμό αυτής της ποσότητας ενέργειας και της συνολικής έκτασης της κάθε καλλιέργειας καταλήγουμε στην συνολική ενέργεια που καταναλώνει η κάθε εργασία κάθε καλλιέργειας.

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου diesel της αλωνιστικής μηχανής παρείχαν οι Nemecek και Kägi (2007). Η εξίσωση που δίνει την κατανάλωση καυσίμου του μηχανήματος είναι:

$$FC = mFC * operation\ time * \delta_{diesel} \quad (5)$$

όπου FC είναι η κατανάλωση καυσίμου σε kg/ha που καταναλώνει για τον θερισμό η αλωνιστική μηχανή, mFC η μέση κατανάλωση σε l/h, operation time είναι ο χρόνος που



απαιτείται για τον θερισμό έκτασης 1 ha (Πίνακας 17) και  $d_{diesel}$  είναι η πυκνότητα του καυσίμου. Με μετατροπή της κατανάλωσης σε kg/στρέμμα και πολλαπλασιάζοντάς την με την συνολική έκταση που καταλαμβάνει η κάθε καλλιέργεια προκύπτει η κατανάλωση της αλωνιστικής μηχανής σε kg για κάθε καλλιέργεια. Με χρήση του συντελεστή ειδικής ενέργειας του καυσίμου diesel (Πίνακας 14) προκύπτει η ενέργεια εκφρασμένη σε MJ που καταναλώνει η αλωνιστική μηχανή για τον θερισμό της κάθε καλλιέργειας.

Πίνακας 16. Συνολική Ενέργεια που καταναλώνει η αλωνιστική μηχανή για κάθε καλλιέργεια.

Ενεργειακή κατανάλωση αλωνιστικής μηχανής για κάθε καλλιέργεια (MJ)						
Καλαμπόκι	Σκληρό Σιτάρι	Κριθάρι	Βαμβάκι	Όσπρια	Ελαιοκράμβη	Ηλιανθος
149210,88	1492108,8	746054,4	373027,2	74605,44	74605,44	119368,7

Πίνακας 17. Συντελεστές που εκφράζουν την ώρα που απαιτείται για την αντίστοιχη εργασία ανά έκταση (Thomas Nemecek, 2007).

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΧΩΡΑΦΙ	ΩΡΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ ΠΑ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ (h/ha)	ΩΡΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ ΠΑ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ (h/στρέμμα)
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ		0,7
ΑΛΩΝΙΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ		1,3
ΛΙΠΑΝΣΗ		1,5
ΣΠΟΡΑ		1,3
ΟΡΓΩΜΑ		1,5

Πίνακας 18. Χρονοδιάγραμμα των εργασιών της κάθε καλλιέργειας.

	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλιανθος
ΙΑΝ		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ				
ΦΕΒ	ΟΡΓΩΜΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ				
ΜΑΡ	ΣΠΟΡΑ/ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ		ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ	ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ
ΑΠΡ						ΣΠΟΡΑ/ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΣΠΟΡΑ/ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ
ΜΑΪ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ		ΟΡΓΩΜΑ		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ
ΙΟΥΝ		ΘΕΡΙΣΜΟΣ		ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΣΠΟΡΑ/ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ	
ΙΟΥΛ							
ΑΥΓ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ					ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΟ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ
ΣΕΠ					ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΙΣΜΟΣ
ΟΚΤ		ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ	ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΟΡΓΩΜΑ	ΟΡΓΩΜΑ		ΘΕΡΙΣΜΟΣ	
ΝΟΕ		ΣΠΟΡΑ	ΣΠΟΡΑ	ΣΠΟΡΑ/ΒΑΣΙΚΗ ΛΙΠΑΝΣΗ/ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ			
ΔΕΚ							

Πίνακας 19. Συνολική Ενέργεια (MJ) που καταναλώνεται συνολικά κάθε μήνα για τις γεωργικές εργασίες της κάθε καλλιέργειας.

	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλίανθος
ΙΑΝ		733950,94	366975,5				
ΦΕΒ	73395,09408	733950,94	366975,5				
ΜΑΡ	171255,2195	342510,44	171255,2	53823,069		366975,4704	117432,151
ΑΠΡ						428138,0488	105688,935
ΜΑΪ	73395,09408	1492108,8	746054,4		36697,547		58716,0753
ΙΟΥΝ		1492108,8		74605,44	85627,61	183487,7352	
ΙΟΥΛ							
ΑΥΓ	149210,88					85627,60977	119368,704
ΣΕΠ					74605,44	373027,2	119368,704
ΟΚΤ		1467901,9	733950,9	36697,54704		373027,2	
ΝΟΕ		636090,82	318045,4	85627,60977			
ΔΕΚ							

Η επόμενη εισροή ενέργειας στο γεωργικό σύστημα που μελετήθηκε ήταν η χρήση λιπασμάτων. Τα λιπάσματα είναι ουσίες που περιέχουν απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών και κατά συνέπεια καθιστούν πιο αποδοτική την παραγωγή. Στον αγροτικό τομέα συνήθως συναντώνται λιπάσματα που περιέχουν άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K). Ο λόγος που χρησιμοποιούνται τα λιπάσματα είναι για την αναπλήρωση των παραπάνω στοιχείων στο έδαφος, είτε επειδή η περιεκτικότητα των στοιχείων στο έδαφος είναι χαμηλή είτε επειδή έχουν απομακρυνθεί από το έδαφος από προηγούμενες καλλιέργειες. Παρατηρούνται δύο φάσεις εναπόθεσης λιπασμάτων η βασική λίπανση και η επιφανειακή. Ως βασική λίπανση ορίζεται η προσθήκη βασικών θρεπτικών συστατικών στο έδαφος πριν την καλλιεργητική περίοδο. Το άζωτο, συνήθως, χορηγείται σε μικρές επαναλαμβανόμενες δόσεις. Επιφανειακή λίπανση είναι η χορήγηση θρεπτικών στοιχείων στα φυτά κατά την περίοδο της ανάπτυξής τους. Συχνά από πολλούς παραγωγούς θεωρείται πως η έντονη χρήση λιπασμάτων θα τους αποφέρει τη μέγιστη δυνατή σοδιά. Τέτοιες πρακτικές έχει αποδειχθεί ότι ελλοχεύουν σοβαρούς κινδύνους για το περιβάλλον. Μερικές από τις επιδράσεις της αλόγιστης χρήσης λιπασμάτων αποτελούν ο ευτροφισμός, η αύξηση της οξύτητας του εδάφους, η ανικανότητα απορρόφησης άλλων θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ανεπιθύμητη αύξηση παρασιτικών οργανισμών και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Ο αγροτικός συνεταιρισμός χρησιμοποιεί κυρίως αζωτούχα λιπάσματα όπως ουρία (46-0-0) και νιτρική αμμωνία (33,5-0-0). Οι αριθμοί που αναγράφονται στις παρενθέσεις δίπλα από τα λιπάσματα εκφράζουν την περιεκτικότητα των θρεπτικών στο λίπασμα. Με τον συμβολισμό ουρία (46-0-0) εννοείται πως στα 100g λιπάσματος ουρίας τα 46g είναι άζωτο, ενώ η περιεκτικότητα σε φώσφορο και κάλιο είναι μηδενική. Η κατανάλωση του αζώτου από την ουρία συμβαίνει μετά την μετατροπή της σε αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ) και νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ). Τα φυτά είναι ικανά να απορροφήσουν την ουρία, αλλά δεν συντελεί ενεργό ρόλο στην θρέψη τους μέχρι τη στιγμή της υδρόλυσής της σε αμμώνιο από το ένζυμο ουρεάση. Κατά τη διαδικασία

της νιτροποίησης η αμμώνιο μετατρέπεται σε  $\text{NO}_2^-$  και έπειτα σε  $\text{NO}_3^-$  (Mujtahid Kaavessina, 2021). Ωστόσο, όπως αναφέρεται από τους M. Kaavessina et al. (2021), υπάρχει ο κίνδυνος απονιτροποίησης των νιτρικών που παράγονται στο έδαφος και μετατροπής τους σε υποξείδια του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), μονοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}$ ) ή άζωτο ( $\text{N}_2$ ). Όλες οι προαναφερθείσες ενώσεις εμφανίζονται με μορφή αερίων. Ο αντίκτυπός στο περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου είναι επιβλαβής κυρίως λόγω της τοξικότητάς τους.

Στη συγκεκριμένη μελέτη ως λίπασμα θεωρήθηκε η ουρία, καθώς έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε άζωτο. Οι ποσότητες λιπασμάτων που χρησιμοποιεί ο συνεταιρισμός ήταν διαθέσιμες μόνο για τις καλλιέργειες σιταριού, κριθαριού και καλαμποκιού. Για τις υπόλοιπες καλλιέργειες αξιοποιήθηκαν δεδομένα από ποσότητες που αναφέρουν ιστότοποι που εμπορεύονται λιπάσματα ή έχουν αγροτικό περιεχόμενο.

Πίνακας 20. Ποσότητες λιπασμάτων για κάθε καλλιέργεια εκφρασμένες σε kg/στρέμμα (<https://www.yara.gr/>), (<https://agropost.gr/2021/01/04/syntomos-odigos-kalliergitikon-epem/>).

Καλλιέργεια	Βασική λίπανση με ουρία (kg/στρέμμα)	Επιφανειακή λίπανση με ουρία (kg/στρέμμα)
Καλαμπόκι	40	40
Σιτάρι	25	25
Κριθάρι	25	25
Ελαιοκράμβη	15	15
Φασόλια	15	15
Βαμβάκι	60	40
Ηλίανθος	40	25

Με πολλαπλασιασμό των ποσοτήτων του λιπάσματος για την κάθε καλλιέργεια προκύπτει η συνολική ποσότητα λιπάσματος που πρέπει να προστεθεί συνολικά για την κάθε καλλιέργεια. Ο ισοδύναμος δείκτης ενέργειας του Αζώτου στα λιπάσματα είναι ίσος με 66,4MJ/kg (G. Unakitan, 2010). Στη μελέτη θεωρήθηκε πως όλο το προϊόν περιέχει άζωτο ώστε να καλυφθεί το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης των λιπασμάτων. Η ενέργεια που απαιτείται για την λίπανση των καλλιεργειών εξαιτίας των λιπασμάτων βρίσκεται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21. Ενέργεια από τη χρήση λιπάσματος ουρίας στον αγροτικό συνεταιρισμό, στη γραμμή SUM καταγράφεται η συνολική ενέργεια από τη χρήση λιπάσματος για κάθε καλλιέργεια.

Ενέργεια από τη χρήση λιπάσματος ουρίας (MJ)	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλίανθος
ΙΑΝ		16535000	8267500				
ΦΕΒ		16535000	8267500				
ΜΑΡ	2645600			496050		9921000	2116480
ΑΠΡ						9921000	
ΜΑΪ	2645600						1322800
ΙΟΥΝ					496050	6614000	
ΙΟΥΛ							
ΑΥΓ							
ΣΕΠ							
ΟΚΤ		16535000	8267500				
ΝΟΕ				496050			
ΔΕΚ							
SUM	5291200	49605000	24802500	992100	496050	26456000	3439280

Σε παγκόσμια κλίμακα τα παράσιτα (έντομα, μύκητες, ζιζάνια) ευθύνονται για την καταστροφή των καλλιεργειών σε ποσοστό 42-48%, πριν και μετά την συγκομιδή. Παρασιτοκτόνα και μη χημικοί βιολογικοί έλεγχοι αξιοποιούνται για την φυτοπροστασία των καλλιεργειών (εναλλαγή καλλιεργειών, καλλιέργεια διαφορετικών ειδών της ίδιας καλλιέργειας) (Pimentel, 1986). Εξαιτίας του αυξανόμενου ενδιαφέροντος του προσδιορισμού αερίων του θερμοκηπίου, πολλές έρευνες εστιάζουν στις εκπομπές αερίων για την κατασκευή παρασιτοκτόνων. Λόγω έλλειψης πρωτότυπων δεδομένων, εξαιτίας του εμπορικού απορρήτου, πολλές από τις έρευνες παρουσιάζουν ασυμφωνίες στα συστατικά των παρασιτοκτόνων. Το πρόβλημα εντείνεται και από τη ραγδαία αλλαγή της σύστασής τους με τον χρόνο. Χρειάζεται η παγκόσμια βιομηχανία παραγωγής παρασιτοκτόνων να παρέχει αξιόπιστα νούμερα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθολικά (E. Audsley, 2009).

Η εκτίμηση της ενέργειας που συνεισφέρουν τα παρασιτοκτόνα έγινε βάσει των στοιχείων που παραθέτουν οι Audsley et al.(2009). Τα στοιχεία αυτά αφορούν την ποσότητα ενέργειας (MJ) ανά εκτάριο που απαιτείται για την φυτοπροστασία της κάθε καλλιέργειας. Τα στοιχεία για την φυτοπροστασία της καλλιέργειας βαμβακιού παρείχε ο Tsatsarelis (1991). Στον Πίνακα 22 φαίνεται συγκεντρωτικά η ποσότητα της ενέργειας του κάθε παρασιτοκτόνου για την κάθε καλλιέργεια.

Πίνακας 22. Η Ενέργεια που απαιτείται για την φυτοπροστασία ενός στρέμματος καλλιέργειας (E. Audsley, 2009).

Ενέργεια παρασιτοκτόνων (MJ/στρέμμα)		
Καλλιέργεια	Ζιζανιοκτόνα	Εντομοκτόνα
Καλαμπόκι	54	0,4
Σιτάρι	79,2	2,8
Κριθάρι	80,2	1
Ελαιοκράμβη	75,2	1,7
Φασόλια	64,5	1,5
Βαμβάκι	83,6	29,088
Ηλίανθος	75,2	1,7

Η συνολική ενέργεια από τη χρήση παρασιτοκτόνων για κάθε καλλιέργεια παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Ενέργεια παρασιτοκτόνων (MJ)		
Καλλιέργεια	Ζιζανιοκτόνα	Εντομοκτόνα
Καλαμπόκι	54000	400
Σιτάρι	792000	28000
Κριθάρι	401000	5000
Ελαιοκράμβη	37600	850
Φασόλια	32250	750
Βαμβάκι	209000	72720
Ηλίανθος	60160	1360

Η τελευταία εισροή ενέργειας που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την άντληση νερού για άρδευση των καλλιεργειών μέσω γεωτρήσεων. Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιήθηκε αφότου έγινε ο προσδιορισμός της ισχύος των αντλιών. Η ισχύς μιας αντλίας δίνεται από την εξίσωση:

$$P = \frac{h_A * \gamma * Q}{1000 * n * Dr} \quad (6)$$

Όπου P η ισχύς της αντλίας σε kW,  $h_A$  το συνολικό ύψος πίεσης σε m,  $\gamma$  το ειδικό βάρος του νερού που θεωρείται ίσο με  $9810 \text{ N/m}^3$ , Q η παροχή που αντλείται, n η αποδοτικότητα της αντλίας και Dr συντελεστής μείωσης του κινητήρα. Το n θεωρήθηκε 75% και το Dr 80% διότι η αντλία λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια (Tamara M. Jackson, 2010). Στην εξίσωση (6) ως παροχή χρησιμοποιήθηκε η συνολική παροχή που απαιτείται για την άρδευση όλης της έκτασης μιας καλλιέργειας, όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς στην ενότητα *Συνιστώσα του Νερού*. Ως ύψος πίεσης χρησιμοποιήθηκε το βάθος της γεώτρησης δηλαδή τα 150 m.

Με διαίρεση του συνολικού όγκου νερού που απαιτεί η κάθε καλλιέργεια με την αντίστοιχη συνολική παροχή άντλησης προκύπτει ένας χρόνος άντλησης εκφρασμένος σε ώρες. Πολλαπλασιάζοντας αυτό το χρόνο με την ισχύ προκύπτει η ενέργεια των γεωτρήσεων εκφρασμένες σε kWh. Οι T.M. Jackson et al. (2010) προτείνουν έναν συντελεστή μετατροπής των kWh σε MJ ίσο με 11,9 MJ/kWh. Με αυτό τον τρόπο εκφράζεται η ηλεκτρική ενέργεια των γεωτρήσεων σε MJ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται πως διαμοιράζεται η ηλεκτρική ενέργεια των γεωτρήσεων ανά μήνα.

Πίνακας 23. Ενέργεια λόγω άντλησης για την άρδευση της κάθε καλλιέργειας.

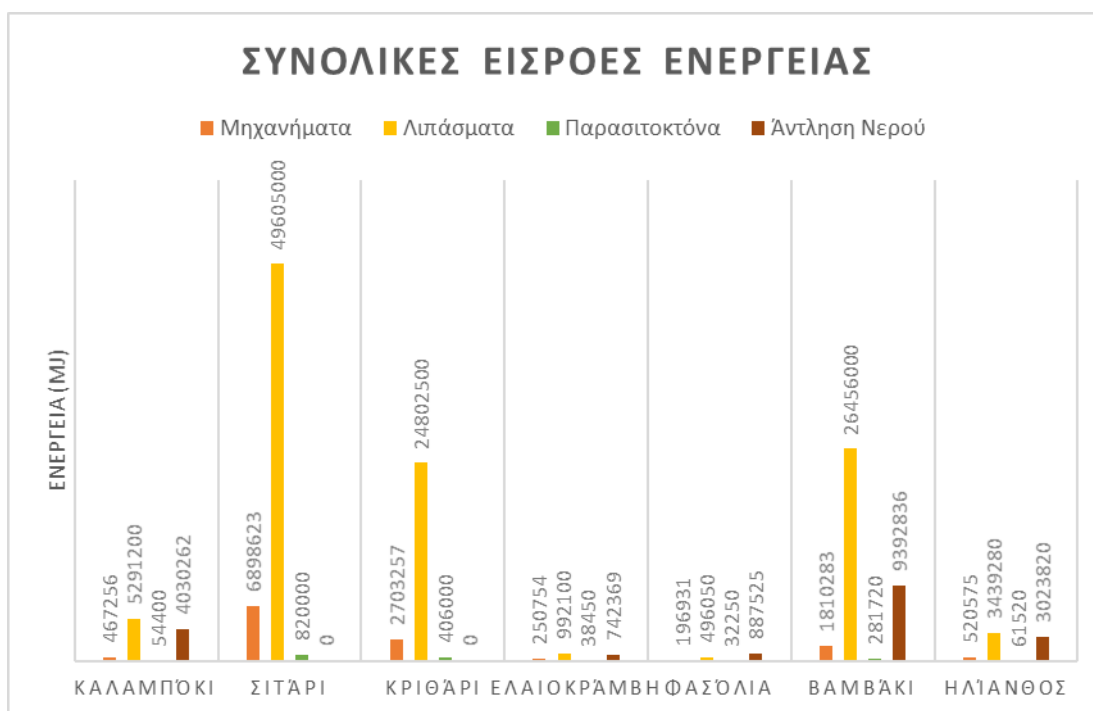
Ηλεκτρική Ενέργεια γεωτρήσεων (MJ)							
	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλίανθος
ΙΑΝ							
ΦΕΒ							
ΜΑΡ							
ΑΠΡ	111466,5393			76184,03968		339093,1	237758,8
ΜΑΪ	249029,3039			249186,9955		1838106	826992,1
ΙΟΥΝ	1433022,063			416997,5441		2044761	1371047
ΙΟΥΛ	1886621,322				268254,3	2396100	588022,7
ΑΥΓ	350123,1324				271551,9	1753534	
ΣΕΠ					347718,8	1021242	
ΟΚΤ							
ΝΟΕ							
ΔΕΚ							
SUM	4030262,361	0	0	742368,5793	887524,9	9392836	3023820

Με την ολοκλήρωση της ενέργειας που οφείλεται στις γεωτρήσεις ολοκληρώνεται και ο υπολογισμός όλων των εισροών ενέργειας στο γεωργικό σύστημα. Στον Πίνακα 24 παρουσιάζεται η κατανομή όλων των εισροών ενέργειας του συστήματος για κάθε εργασία που πραγματοποιείται στο χωράφι κάθε μήνα.

Πίνακας 24. Κατανομή της ενέργειας στο γεωργικό σύστημα βάσει των εργασιών που εμφανίζονται στον Πίνακα 3

Ενέργεια που απαιτείται για τις διάφορες εργασίες στο χωράφι (MJ)							
	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλίανθος
ΙΑΝ		17268950,94	8634475,47				
ΦΕΒ	73395,09408	17268950,94	8634475,47				
ΜΑΡ	2871255,22	1162510,439	577255,22	550723,069		10287975,47	2233912,151
ΑΠΡ	111466,5393			76184,0397		10897231,13	404967,7477
ΜΑΪ	2968024,398	1492108,8	746054,4	249186,996	36697,54704	1838105,613	2208508,126
ΙΟΥΝ	1433022,063	1492108,8		491602,984	613927,6098	8842249,15	1371046,662
ΙΟΥΛ	1886621,322				268254,2545	2396100,333	588022,6911
ΑΥΓ	499334,0124				271551,9263	1911881,84	119368,704
ΣΕΠ					422324,2088	1394268,898	119368,704
ΟΚΤ		18002901,88	9001450,94	36697,547		373027,2	
ΝΟΕ		636090,8154	318045,408	619277,61			
ΔΕΚ							
SUM	9843118,649	57323622,62	27911756,9	2023672,25	1612755,546	37940839,63	7045194,785

Οι τιμές του παραπάνω πίνακα προέκυψαν με πρόσθεση των ποσοτήτων ενέργειας από κάθε δραστηριότητα που εκτελείτε τον εκάστοτε μήνα στο χωράφι για μία καλλιέργεια. Παραδείγματος χάριν η συνολική ενέργεια του μήνα Μάιου για την καλλιέργεια καλαμποκιού προέκυψε με πρόσθεση της ενέργειας που απαιτείται από το μηχάνημα για λίπανση συν την ενέργεια λόγω του λιπάσματος συν την ενέργεια για άντληση. Να σημειωθεί πως στον παραπάνω πίνακα δεν έχει προστεθεί η ενέργεια από τον κύκλο ζωής του αγροτικού ελκυστήρα. Στο παρακάτω σχήμα η ποσότητα της ενέργειας των παρασιτοκτόνων και των λιπασμάτων δεν καταναλώνεται ολόκληρη εντός του συνεταιρισμού, διότι οι συντελεστές για τον υπολογισμό τους εκφράζουν όλη την ενέργεια του κύκλου ζωής τους.



Σχήμα 2. Συνολικές εισροές ενέργειας για κάθε καλλιέργεια του αγροτικού συνεταιρισμού.

### Συνεισφορά της συνιστώσας της Ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Η κάθε εισροή ενέργειας που μελετήθηκε στην προηγούμενη ενότητα συμβάλει στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η συμβολή της κάθε κατηγορίας ενέργειας εκφράζεται ως ισοδύναμη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στον αγροτικό συνεταιρισμό έγινε μέσω του ανθρακικού αποτυπώματος του κύκλου ζωής των μηχανημάτων, των λιπασμάτων και των παρασιτοκτόνων αλλά και μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων για την λειτουργία των μηχανημάτων και των γεωτρήσεων.

Ο τρόπος υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος του αγροτικού ελκυστήρα είναι πανομοιότυπος με την μεθοδολογία που πραγματοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ενεργειακού αποτυπώματος του με τη διαφορά πως υπολογίστηκαν μόνο οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη φάση της συναρμολόγησης. Στη φάση συναρμολόγησης εκτιμήθηκε η ροή μάζας των υλικών για την κατασκευή του και πολλαπλασιάστηκε με τους δείκτες που προτείνουν οι Mantoam et al. (2016) και εκφράζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που απαιτούνται για την κατασκευή του κάθε υλικού εκφρασμένες ως ισοδύναμες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του αγροτικού ελκυστήρα στη φάση συναρμολόγησης είναι 8999 kg CO<sub>2</sub>.

Πίνακας 25. Δείκτες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για κάθε υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός αγροτικού ελκυστήρα (Edemilson J. Mantoam, 2016).

Υλικά	Δείκτης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εκφρασμένος ως ισοδύναμη εκπομπή CO <sub>2</sub> (kg*(CO <sub>2</sub> eq)*kg <sup>-1</sup> )
Carbon steel (hot rolled)	3,19
Stainless steel	2,2
Steel wire	2,83
Ductile iron	0,75
<b>Average</b>	<b>2,2425</b>
Nylon 6.6	6,5
Polyethylene high density	1,6
Polypropylene	1,65
Polyurethane	3
Polyurethane foam	14,5
PVC (Poly Vinyl Chloride)	3
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	3,1
<b>Average</b>	<b>4,764285714</b>
Plate glass	0,85
Inorganic fibreglass	1,53
<b>Average</b>	<b>1,19</b>
Rubber	3,18
Grease	5,3
Lubricating oil	2,54
Paint	3,56
<b>Average</b>	<b>2,592857143</b>
Anticorrosive fluid	2,26
Cellulose film	1,6
Chemical powder ABC	0,12
Cotton synthetic fiber	1,28
Fibreglass & aluminium	1,53
Fiberglass & polyester	8,1
Sulphuric acid	2,26
Aluminium	15
Brass	2,82
Copper	6
Lead	1,13
<b>Average</b>	<b>3,827272727</b>
Mantoam et al. (2016)	

Ο προσδιορισμός των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την κατανάλωση του καυσίμου diesel έγινε μέσω συντελεστή που προτείνει η EPA. Η κατανάλωση καυσίμου που είναι εκφρασμένη σε l/h πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 2,697 kg CO<sub>2</sub>/ l diesel, ώστε να προκύψει η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται κατά την λειτουργία του. Η ποσότητα αυτή ισούται με 35,54 kg CO<sub>2</sub>/h. Η συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται κατά την λειτουργία του αγροτικού ελκυστήρα για την ολοκλήρωση μιας γεωργικής εργασίας ισούται με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη μέση κατανάλωση καυσίμου, πολλαπλασιασμένη με το χρόνο ανά έκταση που απαιτείται για την



ολοκλήρωση της εργασίας επί τη συνολική έκταση της καλλιέργειας. Η ίδια συλλογιστική πορεία ακολουθήθηκε και για τον εντοπισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα εξαιτίας της λειτουργίας της αλωνιστικής μηχανής. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται κατά τις γεωργικές εργασίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 26. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από τις γεωργικές εργασίες για την κάθε καλλιέργεια βάσει των εργασιών του Πίνακας 3.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> )							
	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλιάνθος
ΙΑΝ		53309,90533	26654,95266				
ΦΕΒ	5330,990533	53309,90533	26654,95266				
ΜΑΡ	12438,97791	24877,95582	12438,97791	3909,393057		26654,95266	8529,584852
ΑΠΡ						31097,44477	7676,626367
ΜΑΪ	5330,990533	108232,3276	54116,16378		2665,495266		4264,792426
ΙΟΥΝ		108232,3276		5411,616378	6219,488955	13327,47633	
ΙΟΥΛ							
ΑΥΓ	10823,23276					6219,488955	8658,586205
ΣΕΠ					5411,616378	27058,08189	8658,586205
ΟΚΤ		106619,8107	53309,90533	2665,495266		27058,08189	
ΝΟΕ		46201,91795	23100,95897	6219,488955			
ΔΕΚ							
SUM	33924,19173	500784,1502	196275,9113	18205,99366	14296,6006	131415,5265	37788,17605

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα λόγω της χρήσης λιπασμάτων προσδιορίστηκαν από την τιμή του ανθρακικού αποτυπώματος που προτείνουν οι Antione Hoxha και Bjarne Christensen (2018) για την ουρία. Η συνολική μάζα της ουρίας που χρησιμοποιείται για την λίπανση κάθε καλλιέργειας πολλαπλασιάστηκε με την τιμή 1,611 kg CO<sub>2</sub>/kg ουρίας, ώστε να υπολογιστούν οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη λίπανση της κάθε καλλιέργειας.

Πίνακας 27. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα λόγω εφαρμογής λιπάσματος ουρίας ανά καλλιέργεια.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> eq)							
	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλιάνθος
ΙΑΝ		402750	201375				
ΦΕΒ		402750	201375				
ΜΑΡ	64440			12082,5		241650	51552
ΑΠΡ						241650	
ΜΑΪ	64440						32220
ΙΟΥΝ					12082,5	161100	
ΙΟΥΛ							
ΑΥΓ							
ΣΕΠ							
ΟΚΤ		402750	201375				
ΝΟΕ				12082,5			
ΔΕΚ							
SUM	128880	1208250	604125	24165	12082,5	644400	83772

Οι Audsley et al. (2009) για τον υπολογισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αναφέρουν πως 1 MJ παρασιτοκτόνου ισούται με 0,069 kg CO<sub>2</sub>. Με αυτή τη συσχέτιση

ενέργειας και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα υπολογίστηκαν οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση παρασιτοκτόνων.

Πίνακας 28. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση παρασιτοκτόνων για κάθε καλλιέργεια.

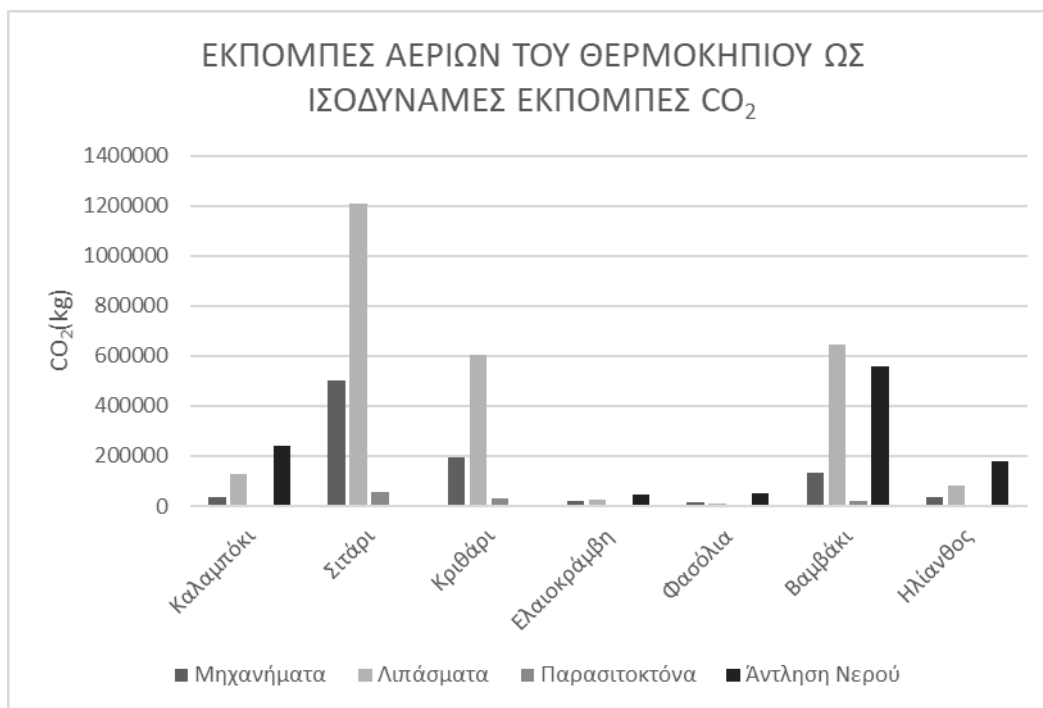
Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> )		
Καλλιέργεια	Ζιζανιοκτόνα	Εντομοκτόνα
Καλαμπόκι	3726	27,6
Σιτάρι	54648	1932
Κριθάρι	27669	345
Ελαιοκράμβη	2594,4	58,65
Φασόλια	2225,25	51,75
Βαμβάκι	14421	5017,68
Ηλίανθος	4151,04	93,84

Ο προσδιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία των γεωτρήσεων βασίστηκε στους υπολογισμούς της EPA. Αναφέρεται πως 1kWh παράγει 0,709 kg CO<sub>2</sub>, ενώ από τα στοιχεία που δίνουν οι T.M. Jackson et al (2010) προκύπτει πως 1 MJ ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί σε 0,0595 kg CO<sub>2</sub>. Στον Πίνακα 29 παρατίθενται οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη λειτουργία των γεωτρήσεων.

Πίνακας 29. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στη λειτουργία των γεωτρήσεων.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> )							
	Καλαμπόκι	Σιτάρι	Κριθάρι	Ελαιοκράμβη	Φασόλια	Βαμβάκι	Ηλίανθος
ΙΑΝ							
ΦΕΒ							
ΜΑΡ							
ΑΠΡ	6641,1577			4539,03228		20203,11	14165,63
ΜΑΪ	14837,124			14846,51931		109514	49272,05
ΙΟΥΝ	85379,214			24844,64359		121826,5	81686,73
ΙΟΥΛ	112404,58			10943,4351	15982,54	142759,3	35034,29
ΑΥΓ	20860,277				16179,02	104475,3	
ΣΕΠ					20717,03	60845,41	
ΟΚΤ					23125,56		
ΝΟΕ							
ΔΕΚ							
SUM	240122,35	0	0	44230,19519	52878,59	559623,6	180158,7

Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγει ο αγροτικός συνεταιρισμός φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Θα πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό πως οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στα λιπάσματα και στα παρασιτοκτόνα δεν παράγονται εξολοκλήρου εντός των συνόρων του αγροτικού συστήματος, καθώς αυτές οι εκπομπές εκφράζουν τις εκπομπές του κύκλου ζωής τους.



Σχήμα 3. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκφρασμένες ως ισοδύναμες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στις διάφορες δραστηριότητες του αγροτικού συνεταιρισμού.

### Συνιστώσα της Τροφής

Ο υπολογισμός της συνολικής παραγωγής του συνεταιρισμού βασίστηκε στα στατιστικά δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ για την περιφέρεια Θεσσαλίας το έτος 2018. Η συνολική παραγωγή που παρέχει η ΕΛΣΤΑΤ για κάθε μια από τις καλλιέργειες που μελετήθηκαν διαιρέθηκε με την συνολική έκταση που καλύπτουν. Η παραγωγή εκφρασμένη σε μάζα ανά στρέμμα πολλαπλασιάζεται με τις διαθέσιμες εκτάσεις του συνεταιρισμού για κάθε καλλιέργεια. Στον παρουσιάζεται η παραγωγή της κάθε καλλιέργειας.

Πίνακας 30. Συνολική ποσότητα που παράγεται από κάθε καλλιέργεια εκφρασμένη σε τόνους.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΕΚΤΑΣΗ (στρέμμα)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (τόνοι)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	1000	1228,0
ΒΑΜΒΑΚΙ	2500	885,8
ΣΙΤΑΡΙ	10000	3462,8
ΚΡΙΘΑΡΙ	5000	1652,3
ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ	500	100,1
ΗΛΙΑΝΘΟΣ	800	290,1
ΦΑΣΟΛΙΑ	500	97,6

### Δεσμός Νερού Ενέργειας Τροφής του αγροτικού συνεταιρισμού.

Έχοντας ολοκληρωθεί οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των συνιστωσών του νερού, της ενέργειας και της τροφής παρατίθενται σχετικά διαγράμματα που εκφράζουν τις συνολικές ποσότητες των συνιστωσών του Δεσμού και των αντίστοιχων καλλιεργειών. Γενικά προτείνεται η παρουσίαση του Δεσμού να εκφράζεται μέσα από διαγράμματα χορδών, όπως

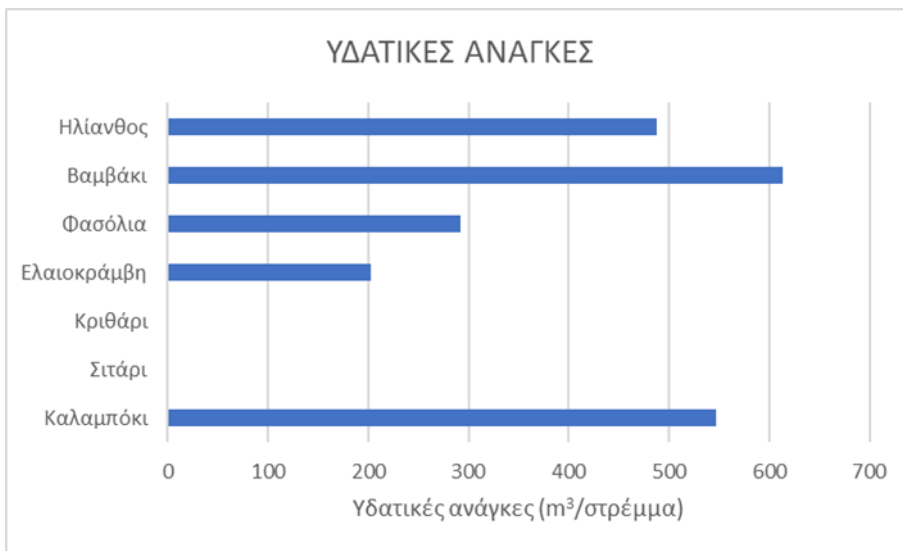
αυτά παρουσιάστηκαν στην ενότητα *Μοντελοποίηση του Δεσμού Νερού Ενέργειας Τροφής: χαρτογράφηση και ποσοτικοποίηση των διασυνδέσεων*.

Τα τεράστια ποσά ενέργειας που παρατηρούνται στον τομέα της ενέργειας οφείλονται κατά κύριο λόγο στις έμμεσες εισροές ενέργειας των λιπασμάτων. Όπως αναφέρθηκε και πριν, δεν καταναλώνεται όλο το ποσό ενέργειας εντός των ορίων του συνεταιρισμού καθώς στους υπολογισμούς περιλαμβάνεται, μέσω των δεικτών, όλος ο κύκλος ζωής των λιπασμάτων. Η συνολική Ενέργεια που απαιτείται για την καλλιέργεια 23000 στρεμμάτων είναι ίση με 145014 GJ, ενώ η συνολική ποσότητα νερού για άρδευση ανέρχεται στα 2229812 m<sup>3</sup>. Η συνολική παραγωγή ανέρχεται σε 7717 τόνους.

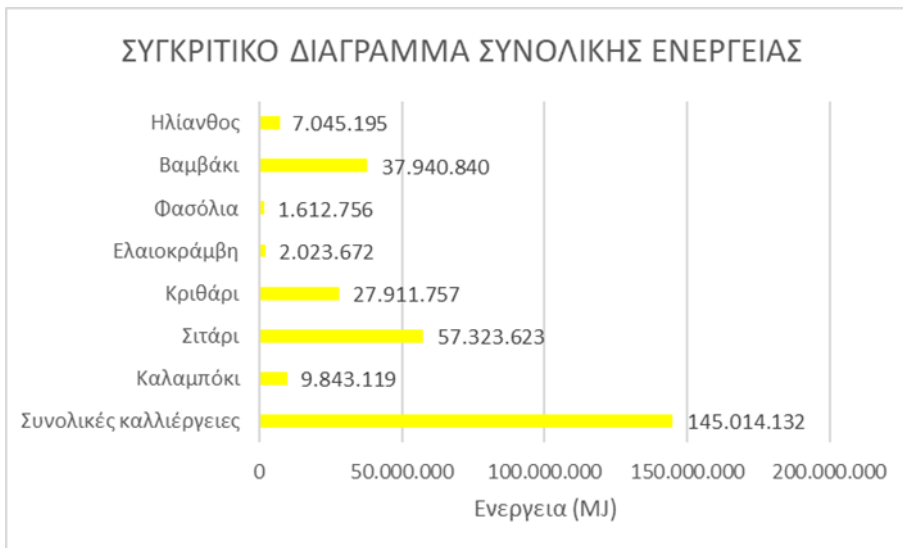


Σχήμα 4. Συγκριτικό διάγραμμα της αρδευόμενης ποσότητας νερού των καλλιεργειών του συνεταιρισμού.

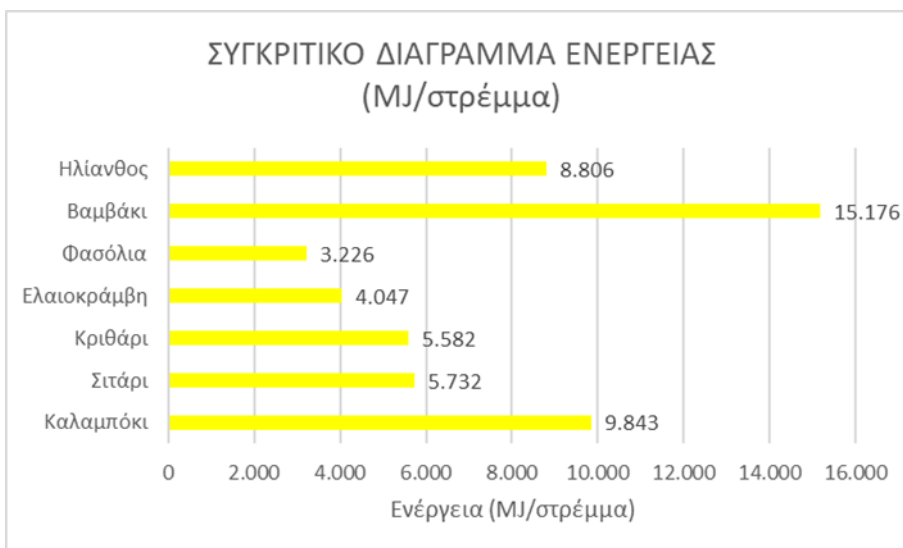
Από το Σχήμα 4 παρατηρείται πως το βαμβάκι αποτελεί την πιο υδροβόρα καλλιέργεια του συνεταιρισμού με το καλαμπόκι να βρίσκεται στη δεύτερη θέση. Η ποσότητα νερού για τις καλλιέργειες του σιταριού και του κριθαριού είναι μηδενικές, διότι αποτελούν ξηρικές καλλιέργειες. Όλη η απαραίτητη ποσότητα νερού για την ανάπτυξή τους καλύπτεται μέσω των βροχών. Τα τεράστια ποσά ενέργειας σε αυτές τις δύο καλλιέργειες οφείλονται σε τεράστιο ποσοστό στο ενεργειακό αποτύπωμα των λιπασμάτων. Εξαιρώντας αυτές τις δύο καλλιέργειες, το βαμβάκι αποτελεί την κυρίαρχη καλλιέργεια κατανάλωσης ενέργειας λόγω της χρήσης λιπασμάτων, ενώ καταναλώνει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας για την άρδευση μέσω γεωτρήσεων. Τα φασόλια και η ελαιοκράμβη αποτελούν τις καλλιέργειες με την λιγότερη κατανάλωση νερού και ενέργειας. Ασφαλέστερα αποτελέσματα για την τάση των καλλιεργειών να καταναλώνουν νερό και ενέργεια μπορούν να προκύψουν, αν αναχθούν οι παραπάνω ποσότητες ανά στρέμμα καλλιέργειας.



Σχήμα 5. Συγκριτικό διάγραμμα του αρδευόμενου νερού κάθε καλλιέργειας εκφρασμένο ανά στρέμμα καλλιέργειας.

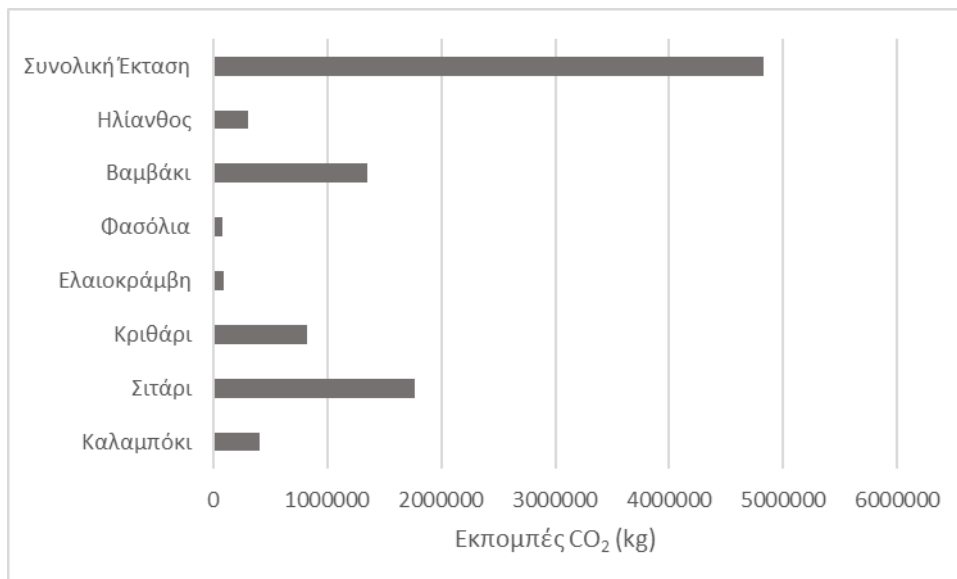


Σχήμα 6. Συγκριτικό διάγραμμα της συνολικής Ενέργειας του συστήματος και των επιμέρους καλλιέργειών.

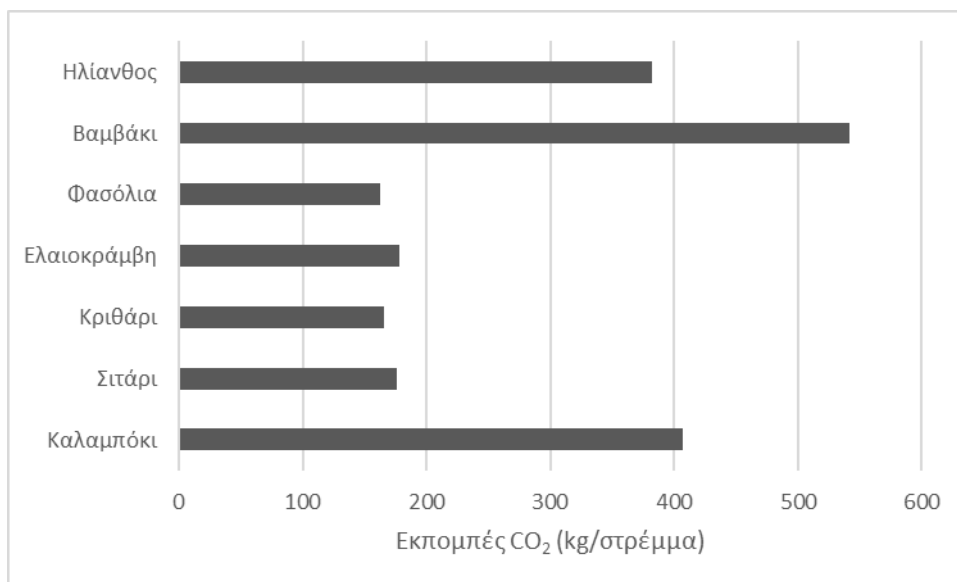


Σχήμα 7. Συγκριτικό διάγραμμα της ενέργειας των επιμέρους καλλιέργειών ανά στρέμμα.

Απαλείφοντας την επιρροή που έχει η έκταση των καλλιεργειών στο Δεσμό Νερού Ενέργειας Τροφής παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των Σχήμα 4 και Σχήμα 6 και των Σχήμα 5 Σχήμα 7. Η ενέργεια που καταναλώνεται για την καλλιέργεια του κριθαριού και του σιταριού είναι πολύ μικρότερη από την ενέργεια για την καλλιέργεια του βαμβακιού, του καλαμποκιού και του ηλίανθου. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει εξαιτίας της επιρροής της ενέργειας που απαιτείται για την άρδευση των καλλιεργειών του βαμβακιού, του καλαμποκιού και του ηλίανθου. Η ενέργεια που αποτυπώνεται στο κριθάρι και στο σιτάρι δεν καταναλώνεται όλη στο χωράφι, αλλά οφείλεται στη λίπανση και ως εκ τούτου η ενέργεια που καταναλώνεται στο χωράφι άμεσα είναι πολύ μικρότερη από τις υπόλοιπες αρδευόμενες καλλιέργειες. Οι ποσότητες νερού που φαίνονται στο σχήμα εκφράζουν τις καθαρές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών. Συνεκτίμηση του νερού των βροχοπτώσεων μπορεί να επιφέρει εσφαλμένα αποτελέσματα σχετικά με την κατανάλωση νερού των καλλιεργειών καθώς η συχνότητα των βροχοπτώσεων μεταβάλλεται συνεχώς. Τα φασόλια χαρακτηρίζονται από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και νερού όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 8. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που συνεισφέρουν οι καλλιέργειες του συνεταιρισμού.



Σχήμα 9. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά στρέμμα καλλιέργειας.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τις γεωργικές δραστηριότητες κάθε καλλιέργειας. Παρατηρείται πως τα φασόλια και η ελαιοκράμβη συμβάλουν ελάχιστα στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με το σιτάρι και το βαμβάκι να είναι οι κυριότεροι ρυπαντές. Στο Σχήμα 9 αποτυπώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται ανά στρέμμα καλλιέργειας. Το βαμβάκι έχει το μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα με το καλαμπόκι και τον ηλίανθο να ακολουθούν. Τα φασόλια το κριθάρι και το σιτάρι είναι οι καλλιέργειες με την χαμηλότερη συνεισφορά εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

#### Εφαρμογή σεναρίων

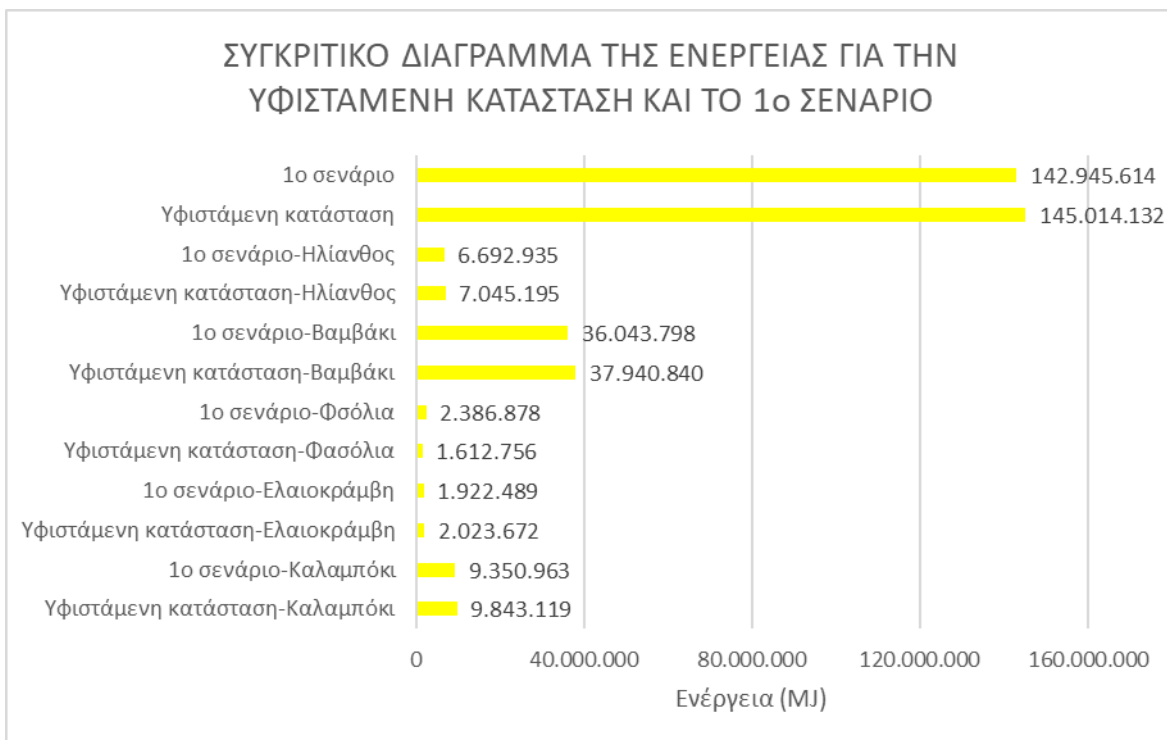
Έχοντας οδηγό τα αποτελέσματα της υφιστάμενης κατάστασης του Δεσμού Νερού Ενέργειας Τροφής αλλά και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που συνεισφέρει η κάθε καλλιέργεια, επιλέχθηκε να μελετηθούν σεναρία που να εστιάζουν στην αλλαγή των καλλιεργειών. Επιλέχθηκε η αντικατάσταση μέρος της έκτασης των αρδευόμενων καλλιεργειών, δηλαδή του βαμβακιού, του καλαμποκιού, της ελαιοκράμβης και του ηλίανθου με καλλιέργεια φασολιών. Στόχος εφαρμογής των σεναρίων είναι να αποδειχθεί κατά πόσο μια καλλιέργεια οσπρίων, εδώ φασολιών, αποτελεί έξυπνη λύση Δεσμού. Τα φασόλια, όπως διακρίνεται εύκολα από τα σχήματα 15 και 17, αποτελούν την καλλιέργεια με την ελάχιστη κατανάλωση νερού, ενέργειας και παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Αλλαγές στις καλλιέργειες σιταριού και κριθαριού δεν πραγματοποιήθηκαν, διότι δεν καταναλώνουν νερό για άρδευση.

Στο πρώτο σενάριο έγινε μείωση των αρδευόμενων καλλιεργειών της τάξης του 5% και αντικατάστασής τους με φασόλια. Στο δεύτερο σενάριο έγινε αντικατάσταση της έκτασής τους σε ποσοστό 20% και στο τρίτο σενάριο σε ποσοστό 60%.

#### Σενάριο 1<sup>ο</sup>:

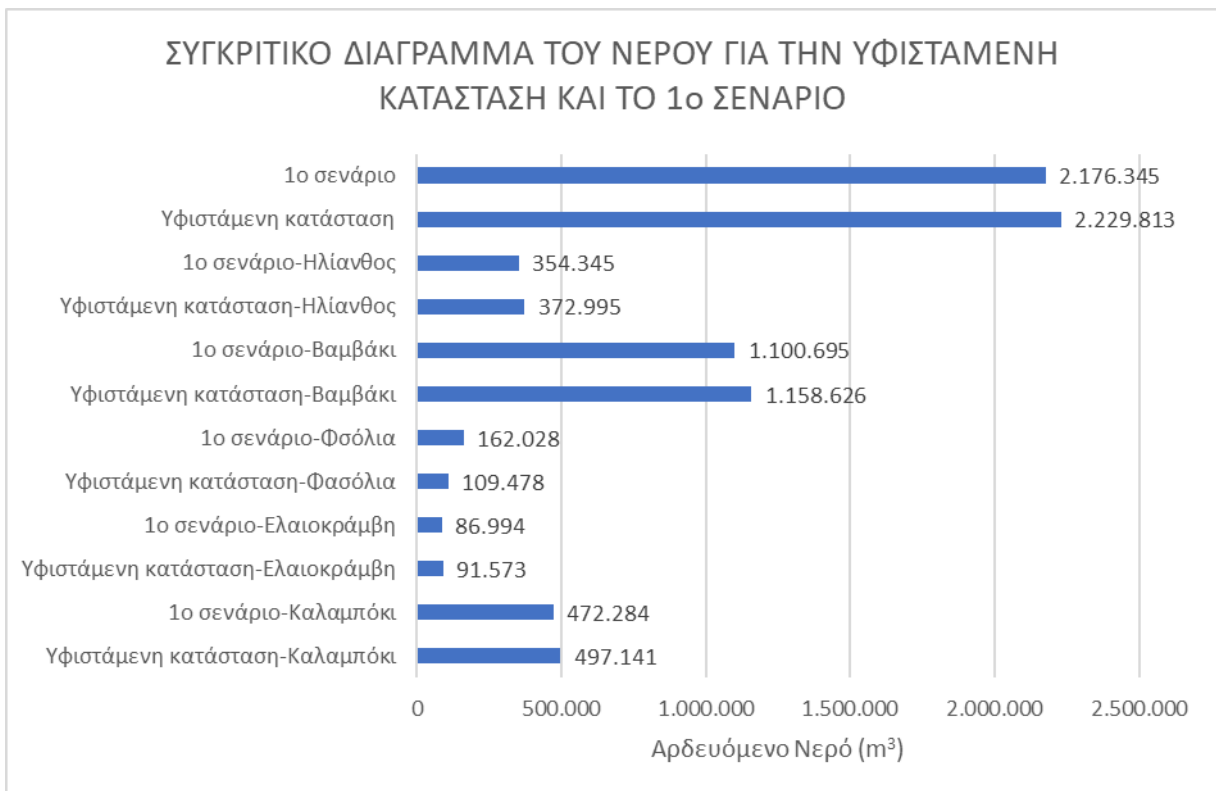
Πίνακας 31. Αλλαγές στην έκταση των καλλιεργειών σύμφωνα με τις υποδείξεις του 1ου σεναρίου.

Καλλιέργειες	Υφιστάμενη κατάσταση	Σενάριο 1ο
Καλαμπόκι	1000	950
Ελαιοκράμβη	500	475
Φασόλια	500	740
Βαμβάκι	2500	2375
Ηλίανθος	800	760

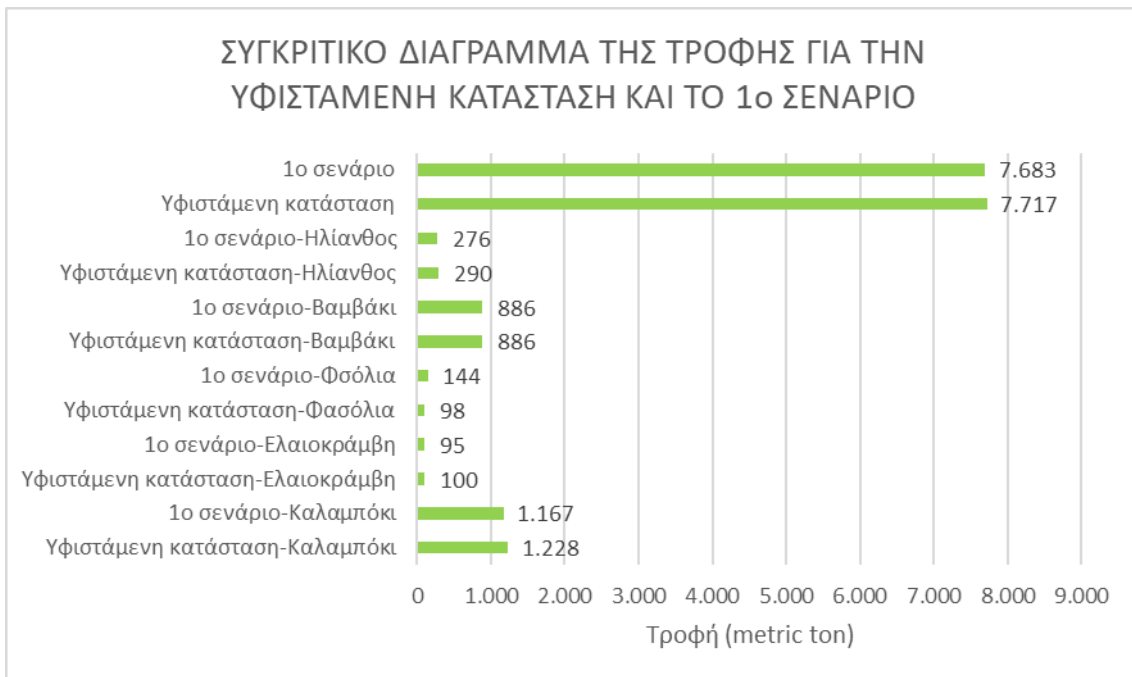


Σχήμα 10. Συγκριτικό διάγραμμα της Ενέργειας για την υφιστάμενη κατάσταση και το 1ο σενάριο.





Σχήμα 11. Συγκριτικό διάγραμμα του Νερού για την υφιστάμενη κατάσταση και το 1ο σενάριο.

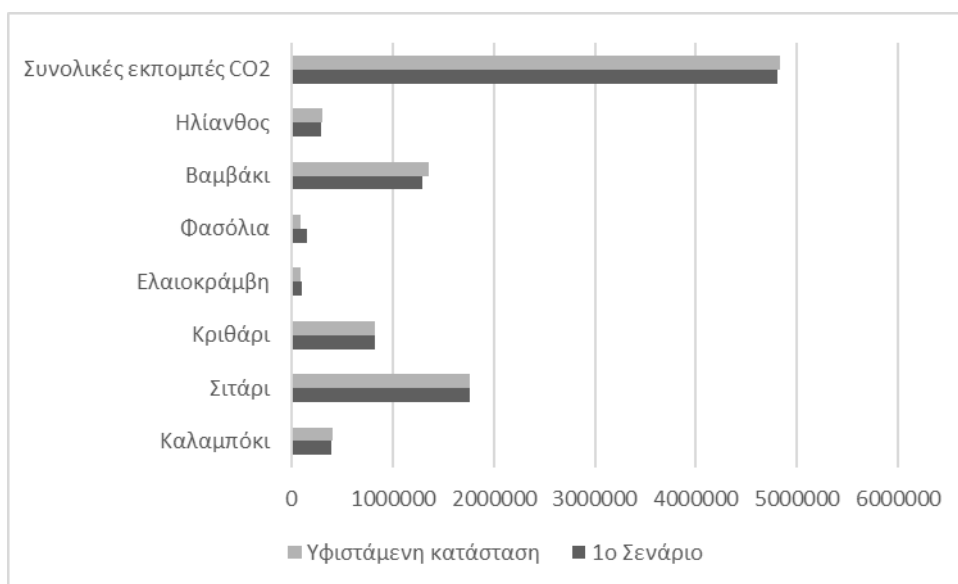


Σχήμα 12. Συγκριτικό διάγραμμα της Τροφής για την υφιστάμενη κατάσταση και το 1ο σενάριο.

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα, η μείωση των καλλιεργειών κατά 5% δεν επιφέρει ουσιώδεις αλλαγές στις συνιστώσες του Δεσμού. Παρατηρείται όμως μια μειωτική τάση.

Σύγκριση σε επίπεδο καλλιέργειας μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και του 1<sup>ου</sup> σεναρίου δίνει ποιο ευκρινή αποτελέσματα για τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται οι συνιστώσες του Δεσμού. Η μεγαλύτερη μείωση των συστατικών του Δεσμού παρατηρείται στην

καλλιέργεια βαμβακιού. Αυτό συμβαίνει διότι αποτελεί την καλλιέργεια με την μεγαλύτερη έκταση και συμβάλλει περισσότερο στο δεσμό από τις υπόλοιπες καλλιέργειες.



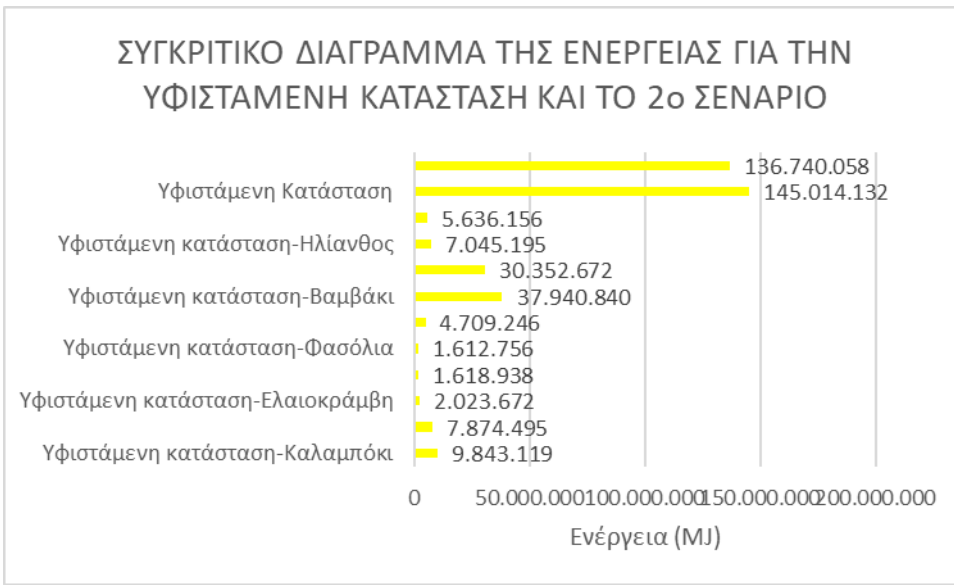
Σχήμα 13. Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και 1ου σεναρίου.

Ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται στην υφιστάμενη κατάσταση και την εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> σεναρίου, παρουσιάζεται μείωση των εκπομπών των καλλιεργειών των οποίων οι εκτάσεις μειώθηκαν και αύξηση των εκπομπών στην καλλιέργεια φασολιών λόγω αύξησης της έκτασής τους. Η επίδραση στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται στον συνεταιρισμό με την εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> σεναρίου είναι ελάχιστη.

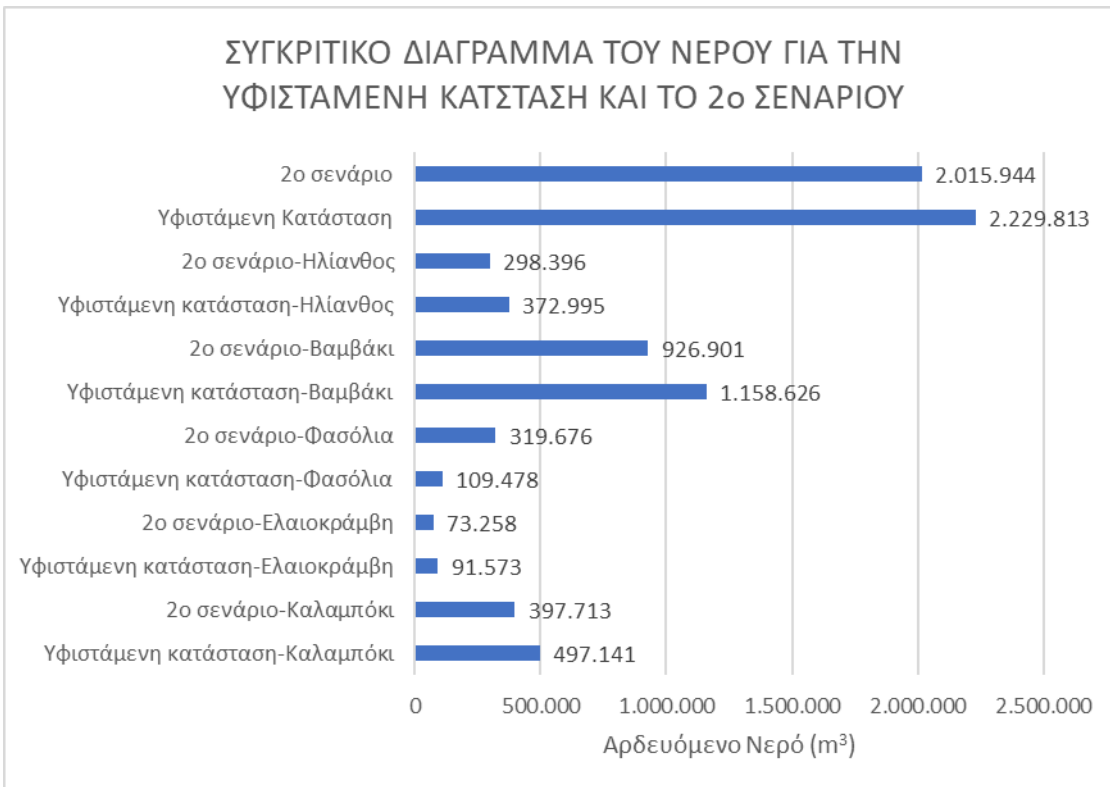
### Σενάριο 2<sup>ο</sup>:

Πίνακας 32. . Αλλαγές στην έκταση των καλλιεργειών σύμφωνα με τις υποδείξεις του 2ου σεναρίου

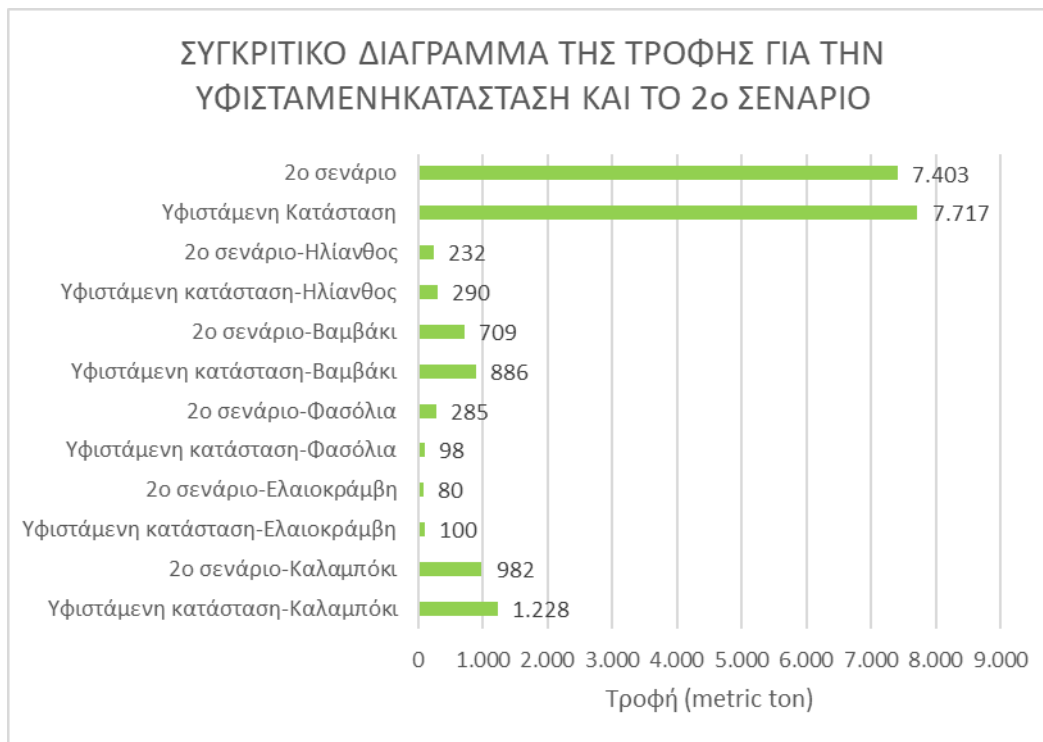
	Υφιστάμενη κατάσταση	2ο σενάριο
Καλαμπόκι	1000	800
Ελαιοκράμβη	500	400
Φασόλια	500	1460
Βαμβάκι	2500	2000
Ηλίανθος	800	640



Σχήμα 14. Συγκριτικό διάγραμμα της Ενέργειας για την υφιστάμενη κατάσταση και το 2ο σενάριο.



Σχήμα 15. Συγκριτικό διάγραμμα του Νερού για την υφιστάμενη κατάσταση και το 2ο σενάριο.

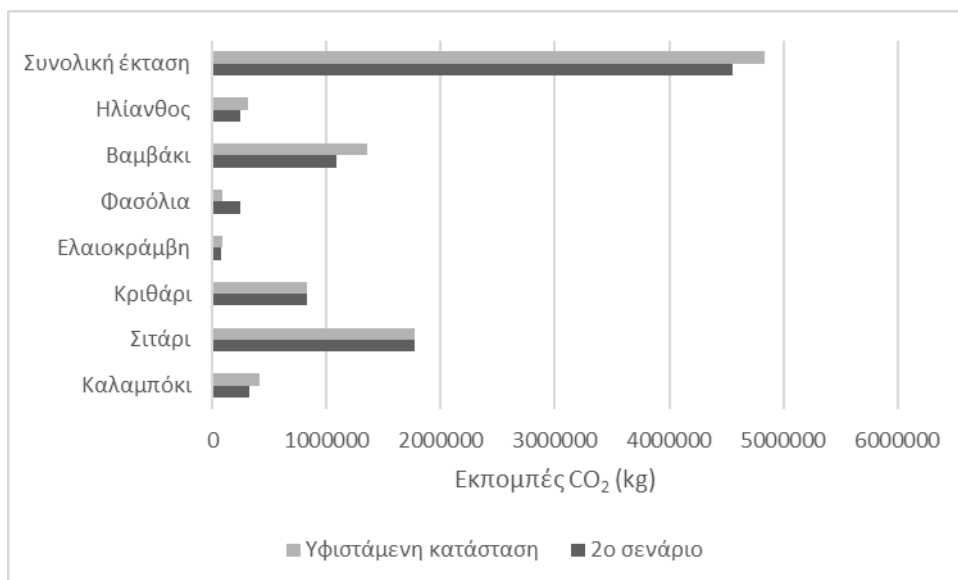


Σχήμα 16. Συγκριτικό διάγραμμα της Τροφής για την υφιστάμενη κατάσταση και το 2ο σενάριο.

Η μείωση των αρδευόμενων καλλιεργειών κατά 20% επιφέρει ταυτόχρονη μείωση στις συνιστώσες της ενέργειας και του νερού σε ποσοστό 5,6% και 9,7% αντίστοιχα. Το 2<sup>ο</sup> σενάριο επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον Δεσμό Νερού Ενέργειας Τροφής του αγροτικού συνεταιρισμού.

Η εφαρμογή του 2<sup>ου</sup> σεναρίου προκαλεί μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την καλλιέργεια βαμβακιού σε ποσοστό 20%. Ίδια τάξης μεγέθους μείωση παρατηρείται και στη ποσότητα νερού που απαιτείται για την άρδευση του βαμβακιού. Γενικά παρατηρείται σε όλες τις καλλιέργειες μείωση 20% των συνιστωσών της ενέργειας, του νερού και της τροφής.

Η αύξηση της έκτασης της καλλιέργειας φασολιού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται για την ανάπτυξή του σε ποσοστό 52%, ενώ η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την κάλυψη των υδατικών του αναγκών σε ποσοστό 66 %. Στο ίδιο ποσοστό κυμαίνεται και η αύξηση της παραγωγής του. Ωστόσο οι επιμέρους αλλαγές στις συνιστώσες του Δεσμού κάθε καλλιέργειας δεν επιφέρουν αλλαγές της ίδιας τάξης μεγέθους όπως παρατηρήθηκε και στο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**



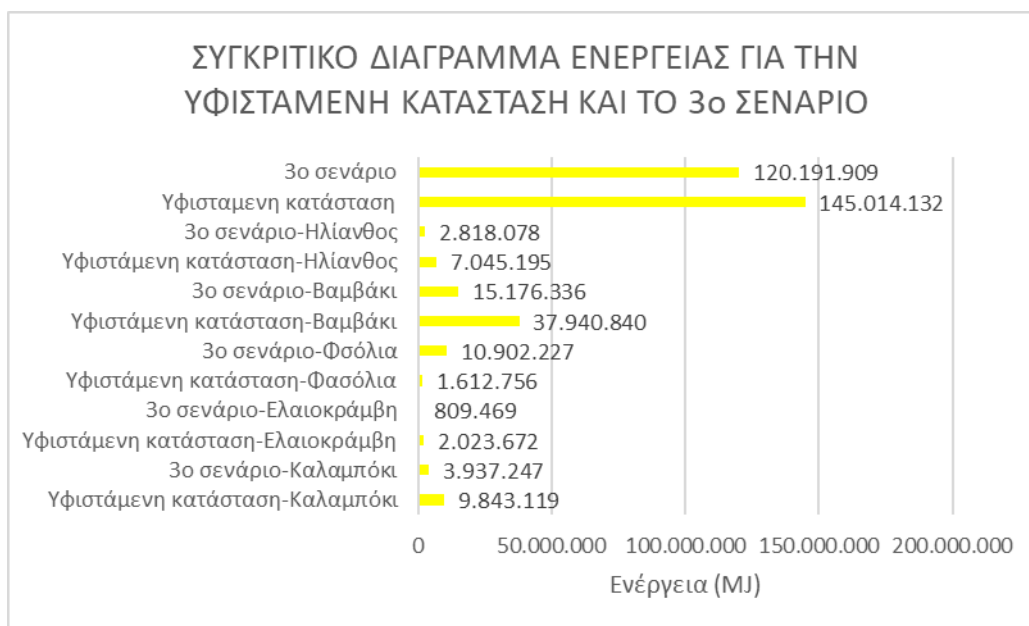
Σχήμα 17. Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ υφιστάμενης κατάστασης και 2ου σεναρίου.

Από το Σχήμα 17 διαπιστώνεται πως η ελάττωση των εκτάσεων των καλλιεργειών κατά 20% συνεπάγεται συνολική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται στον συνεταιρισμό κατά 5,7%.

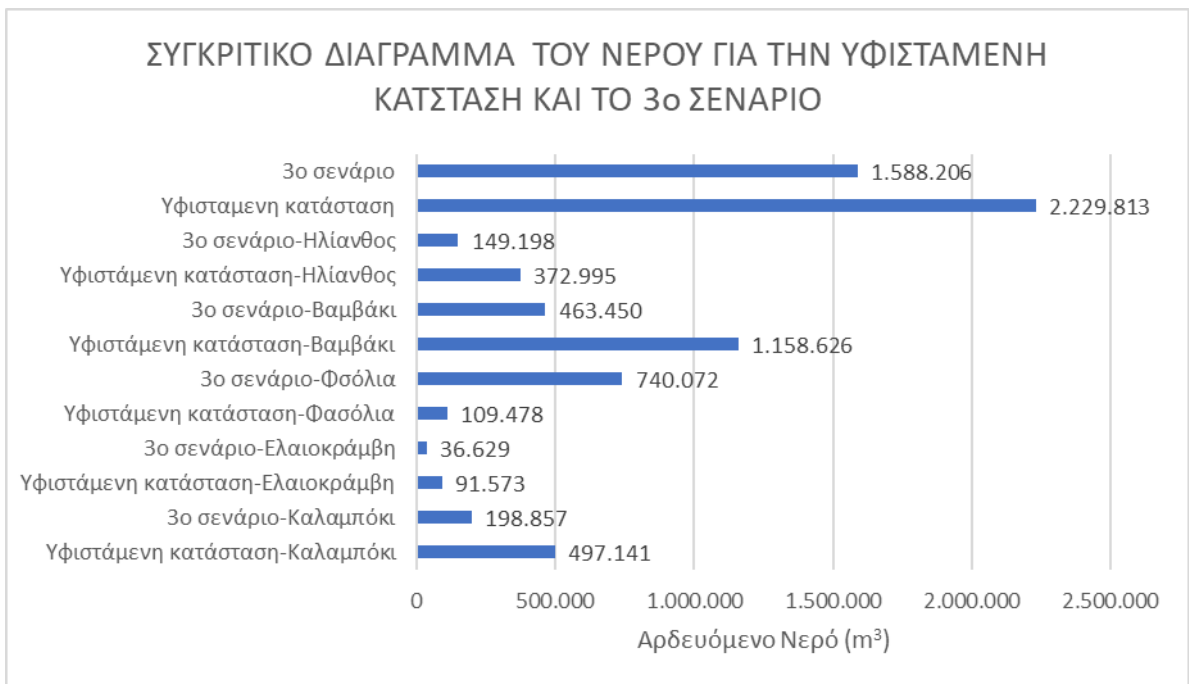
### Σενάριο 3<sup>ο</sup>:

Πίνακας 33. Αλλαγές στην έκταση των καλλιεργειών σύμφωνα με τις υποδείξεις του 3ου σεναρίου.

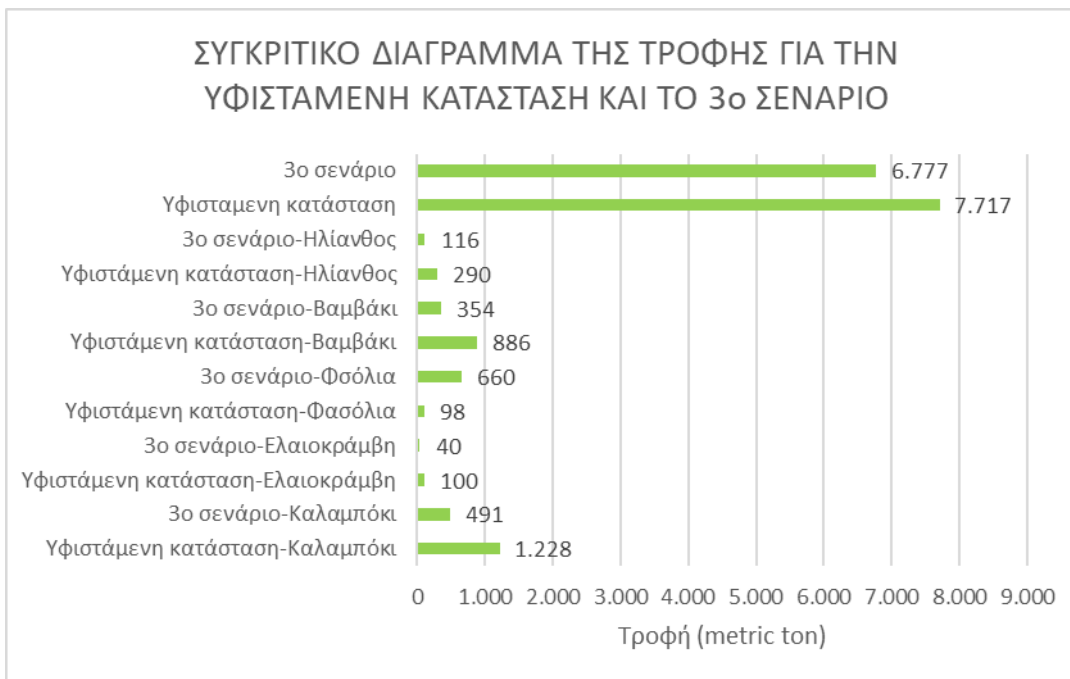
Καλλιέργειες	Υφιστάμενη κατάσταση	Σενάριο 1ο
Καλαμπόκι	1000	400
Ελαιοκράμβη	500	200
Φασόλια	500	3380
Βαμβάκι	2500	1000
Ηλίανθος	800	320



Σχήμα 18. Συγκριτικό διάγραμμα της Ενέργειας για την υφιστάμενη κατάσταση και το 3ο σενάριο.

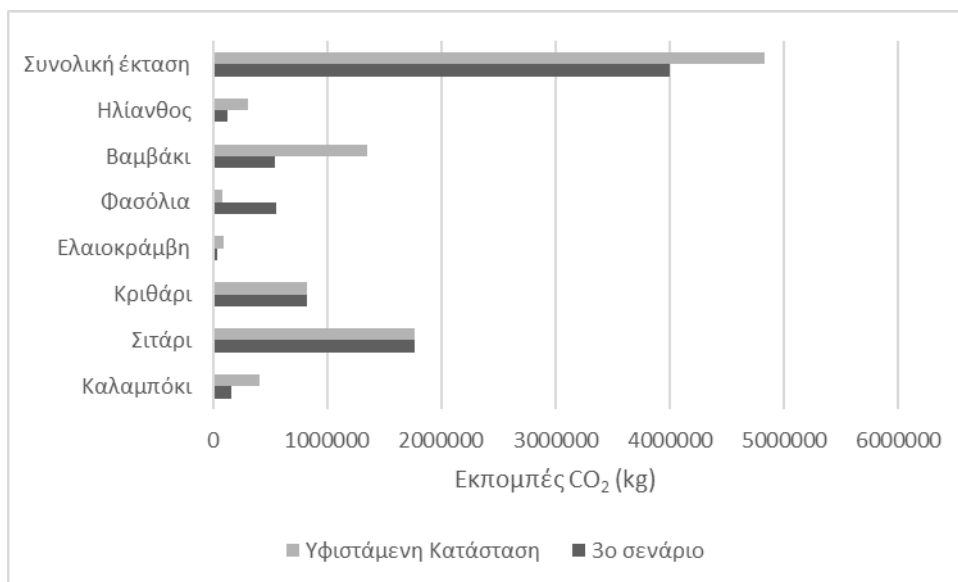


Σχήμα 19. Συγκριτικό διάγραμμα του Νερού για την υφιστάμενη κατάσταση και το 3ο σενάριο.



Σχήμα 20. Συγκριτικό διάγραμμα της Τροφής για την υφιστάμενη κατάσταση και το 3ο σενάριο.

Η μείωση των αρδευόμενων καλλιεργειών κατά 60% επιφέρει μείωση στις συνιστώσες του Δεσμού τους κατά 60%. Αύξηση σε ποσοστό 85% παρατηρείται στις συνιστώσες του Δεσμού της καλλιέργειας φασολιών. Η εφαρμογή του 3<sup>ου</sup> σεναρίου ελαττώνει την συνιστώσα της Ενέργειας του αγροτικού συνεταιρισμού κατά 17%, την συνιστώσα του Νερού κατά 29% και τη συνιστώσα της Τροφής κατά 12%.



Σχήμα 21. Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από τις γεωργικές δραστηριότητες κάθε καλλιέργειας μεταξύ Υφιστάμενης κατάστασης και του 3ου σεναρίου.

Στο Σχήμα 21 παρατηρείται μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 60% σε όλες τις αρδευόμενες καλλιέργειες των οποίων η έκτασή τους ελαττώθηκε, ενώ η αύξηση της καλλιέργειας φασολιών αύξησε την παραγωγή αυτών των εκπομπών κατά 85%. Η επίδραση αυτών των μεταβολών συνολικά σε όλο τον συνεταιρισμό συνεπάγεται μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 17 %.

### Συμπεράσματα

Οι κύριες πηγές εισροών ενέργειας του αγροτικού συνεταιρισμού προέρχονται από την χρήση των αγροτικών μηχανημάτων, λιπασμάτων, παρασιτοκτόνων και ηλεκτρικής ενέργειας για άντληση των καλλιεργειών. Από αυτές τις εισροές ενέργειας άμεσα από τον συνεταιρισμό καταναλώνονται τα ορυκτά καύσιμα και η ηλεκτρική ενέργεια, ενώ μεγάλο μέρος της ενέργειας των λιπασμάτων και των παρασιτοκτόνων καταναλώνεται εκτός των ορίων του συνεταιρισμού. Όπως παρατηρείται και από το Σχήμα 2, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας περιέχεται στα λιπάσματα, ενώ καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας για την άρδευση των καλλιεργειών. Τα παρασιτοκτόνα, συγκριτικά με τις υπόλοιπες επιμέρους συνιστώσες της ενέργειας περιέχουν τα μικρότερα ποσά ενέργειας. Το γεγονός αυτό δεν υποδηλώνει ότι υπάρχουν βιώσιμα περιθώρια για περεταίρω χρήση παρασιτοκτόνων, καθώς τα μέτρα της Ε.Ε. περί χρήσης χημικών στις καλλιέργειες είναι πολύ αυστηρά. Το βαμβάκι αποτελεί την πιο υδροβόρα καλλιέργεια του συνεταιρισμού με συνολική κατανάλωση νερού 1.158.626 m<sup>3</sup>. Ακολουθούν το καλαμπόκι και ο ηλίανθος με τα φασόλια να καταναλώνουν την λιγότερη ποσότητα νερού. Βάσει του Σχήμα 9 το βαμβάκι και το καλαμπόκι αποτελούν τις καλλιέργειες που συνεισφέρουν περισσότερο στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, ωστόσο η παραγωγή αυτών των αερίων εξαρτάται και από την έκταση της κάθε καλλιέργειας. Στον αγροτικό συνεταιρισμό παρατηρείται πως οι καλλιέργειες σιταριού και βαμβακιού συνεισφέρουν περισσότερο στην παραγωγή αυτών των αερίων.

Με εφαρμογή των τριών σεναρίων, εμφανείς μεταβολές παρατηρούνται στις 3 συνιστώσες του Δεσμού κατά την μείωση των εκτάσεων των αρδευόμενων καλλιεργειών κατά 60% και αύξηση της καλλιέργειας φασολιών. Η εφαρμογή του 3<sup>ου</sup> σεναρίου επιφέρει εξοικονόμηση

νερού σε ποσοστό 29% και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 17%. Η αναλογική σχέση που προκύπτει μεταξύ των συνιστωσών του Δεσμού κάθε καλλιέργειας και της μείωσης της έκτασης τους κατά την εφαρμογή των σεναρίων, οφείλεται στην γραμμική τους εξάρτηση (όλες οι ποσότητες των συνιστωσών του Δεσμού εκφράζονται επί του συνόλου των εκτάσεων των καλλιεργειών).

Τα σενάρια που εφαρμόστηκαν αποτυπώνουν την τάση πως μια αλλαγή των καλλιεργειών σε όσπρια αποτελεί μια έξυπνη λύση Δεσμού. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να επιφέρουν θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις στην υφιστάμενη κατάσταση του συνεταιρισμού, ωστόσο η εφαρμογή ενός τέτοιου σεναρίου χωρίς τη σύνταξη μιας οικονομοτεχνικής μελέτης μπορεί να καταστεί για τον συνεταιρισμό μη οικονομικά βιώσιμη.

Σχετικά με τις καταναλώσεις καυσίμων των μηχανημάτων και της ηλεκτρικής ενέργειας των γεωτρήσεων, οι τιμές κατανάλωσης βασίστηκαν στην βιβλιογραφία και μπορεί να διαφέρουν από τις πραγματικές τιμές που καταναλώνουν τα μηχανήματα του συνεταιρισμού. Ο ορθότερος τρόπος για την εύρεση της κατανάλωσης καυσίμου για την ολοκλήρωση της κάθε εργασίας θα έπρεπε να προκύψει με αφαίρεση της ποσότητας καυσίμου στην λήξη της εργασίας από την ποσότητα καυσίμου στην έναρξη της εργασίας και διαίρεση αυτού του ποσού με το συνολικό χρόνο αποπεράτωσης της εργασίας.

Μερικά από τα ερωτήματα που μείνανε αναπάντητα και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω εργασίας είναι η οικονομική διάσταση του προβλήματος και η έκφραση της παραγωγής των καλλιεργειών σε χρηματικές μονάδες, έτσι ώστε να εντοπιστεί και η οικονομική βιωσιμότητα των εναλλακτικών σεναρίων που εφαρμόστηκαν σε αυτή τη μελέτη.

## Επίλογος

Το σύμπλεγμα των πιέσεων που ασκείται στα διεθνή συστήματα των πόρων επιτάσσει την ανάγκη εφαρμογής μιας ολοκληρωμένης και ολιστικής προσέγγισης διαχείρισής τους. Ο Δεσμός Νερού-Ενέργειας-Τροφής εξετάζει την αλληλεπίδραση των συστημάτων των πόρων και αποσαφηνίζει τους τρόπους αλληλεξάρτησής τους. Η εφαρμογή της προσέγγισης Δεσμού στη συγκεκριμένη εργασία, κατάφερε να επεξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρούν τα συστήματα των πόρων στον αγροτικό τομέα. Εντόπισε τις πιο ενεργοβόρες και υδροβόρες καλλιέργειες της περίπτωσης μελέτης και έδωσε την δυνατότητα να εφαρμοστούν σενάρια που θα την καταστήσουν περιβαλλοντικά βιώσιμη.

## Βιβλιογραφία

- Anik Bhaduri, Claudia Ringler, Ines Dombrowski, Rabi Mohtar, Waltina Scheuman. 2015.** Sustainability in the water-energy-food nexus. *Water International*. 2015, Τόμ. 40, 5-6, σσ. 723-732.
- Antione Hoxha, Bjarne Christensen. 2019.** THE CARBON FOOTPRINT OF FERTILISER PRODUCTION: REGIONAL REFERENCE VALUES. *Proceedings-International Fertiliser Society*. 2019, σσ. 1-20.
- Bassel Daher, Bryce Hannibal, Rabi H. Mohtar, Kent Portney. 2019.** Toward understanding the convergence of researcher and stakeholder perspectives related to water-energy-food (WEF)



- challenges: The case of San Antonio, Texas. *Environmental Science and Policy*. 2019, Τόμ. 104, σσ. 20-35.
- C. Hoolohan, A. Larkin, C McLachlan, R. Falconer, I. Soutar, J Suckling, L. Varga, I. Haltas, A Druckman, D. Lumbroso, M. Scott, D. Gilmour, R. Ledbetter, S. McGrane, C. Mitchell, D. Yu. 2018.** Engaging stakeholders in research to address Water-Energy- Food (WEF) nexus challenges. *Sustainability Science*. 2018, Τόμ. 13, 5, σσ. 1415-1426.
- Chrysaída-Aliki Papadopoulou, Maria P. Papadopoulou, Chrysi Laspidou, Stefania Munaretto, Floor Brouwer. 2020.** Towards a Low Carbon Economy: A Nexus-Oriented Policy Coherence Analysis in Greece. *Sustainability*. 2020, Τόμ. 12:1, 373.
- Chrysi S. Laspidou, Dimitrios T. Kofinas, Nikolaos K. Mellios, Maria Witmer. 2018.** Modelling the Water-Energy-Food-Land Use-Climate Nexus: The Nexus Tree Approach. *Multidisciplinary digital publishing institute proceedings*. August 2018, Vol. 2, 11, p. 617.
- Chrysi S. Laspidou, Nikolaos Mellios, Spyropoulou Alexandra, Dimitrios Kofinas, Maria P. Papadopoulou. 2020.** Systems thinking on the resource nexus: Modeling and visualisation tools to identify critical interlinkages for resilient and sustainable societies and institutions. *Science of the Total Environment*. 2020, Τόμ. 717, 137264.
- E. Audsley, K. Stacey, D.J. Parsons, A.G. Williams. 2009.** *Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use*. 2009.
- Edemilson J. Mantoam, Graciele Angnes, Mesfin M. Mekonnen, Thiago L. Romanelli. 2020.** Energy, carbon and water footprints on agricultural machinery. *Biosystems Engineering*. 198, 2020, σσ. 304-322.
- Edemilson J. Mantoam, Thiago L. Romanelli, Leandro M. Gimenez. 2016.** Energy demand and greenhouse gases emissions in the life cycle of tractors. *Biosystems Engineering*. 151, 2016, σσ. 158-170.
- El-Gafy, Inas. 2017.** Water-food-energy nexus index: analysis of water-energy food nexus of crop's production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*. 2017, Τόμ. 7:6, σσ. 2857-2868.
- Fulco Ludwig, Hester Biemans, Claire Jacobs, Iwan Supit, Kees van Diepen and John Fawell. 2011.** *Water Use of Oil Crops: Current Water Use and Future Outlooks*. s.l. : ILSI Europe aisbl, 2011.
- G. Unakitan, H. Hurma, F. Yilmaz. 2010.** An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy*. 35, 2010, Τόμ. 9, σσ. 3623-3627.
- Hamdi Abdi, Maryam Shahbazitabar and Behnam Mohammadi-Ivatloo. 2020.** Food, Energy and Water Nexus: A Brief Review of Definitions, Research, and Challenges. *Inventions*. 5, 2020, Τόμ. 4, 56.
- Hoff, H. 2011.** *Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*. 2011.
- Hoff, Holger. 2018.** Integrated SDG Implementation-How a Cross-Scale (Vertical) and Cross-Regional Nexus Approach Can Complement Cross-Sectoral (Horizontal) Integration. *Managing Water, Soil and Waste Resources to Achieve Sustainable Development Goals*. 2018, σσ. 149-163.

**Holger Hoff, Ivonne Lobos Alva. 2017.** *How the Planetary Boundaries framework can support national implementation of the 2030 Agenda.* s.l. : Stockholm Environment Institute, 2017.

<https://agropost.gr/2021/01/04/syntomos-odigos-kalliergitikon-epem/>. Agropost.gr.  
<https://agropost.gr/2021/01/04/syntomos-odigos-kalliergitikon-epem/>. [Ηλεκτρονικό]

[https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-may-20_en). The CAP reform's compatibility with the Green Deal's ambition. [Ηλεκτρονικό]

[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_el). Από το αγρόκτημα στο πιάτο. [Ηλεκτρονικό]

[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_el](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el). Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. [Ηλεκτρονικό]

<https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>.

<https://www.scintex.com.au/products/tractor-pt-generator>. SCINTEX. [Ηλεκτρονικό]

<https://www.sim4nexus.eu>. SIM4NEXUS. *SCIENTIFIC INVENTORY OF THE NEXUS*. [Ηλεκτρονικό]  
<https://www.sim4nexus.eu>.

<https://www.statistics.gr/>. ΕΛΣΤΑΤ. *Ελληνική Στατιστική Αρχή*. [Ηλεκτρονικό]

<https://www.thesgi.gr/el/sunetairismos>. [Ηλεκτρονικό] <https://www.thesgi.gr/el/sunetairismos>.

<https://www.yara.gr/>. Yara. <https://www.yara.gr/>. [Ηλεκτρονικό]

**Huang Daohan, Li Guijun, Sun Chengshuang, Liu Qian. 2019.** Exploring interactions in the local water-energy-food-nexus (WEF-NEXUS) using a simultaneous equations model. *Science of the Total Environment*. 2019, Τόμ. 703, 135034.

**J. Liu, H. Yang, C. Cudennec, A.K. Gain, H. Hoff, R. Lawford, J. Qi, L. de Strasser, P.T. Yillia & C.Zheng. 2017.** Challenges in operationalizing the water-energy-food nexus. *Hydrological Sciences Journal*. 2017, Τόμ. 62, 11, σσ. 1714-1720.

**Jianguo Liu, Vanessa Hull, H.Charles J. Godfray, David Tilman, Peter Gleick, Holger Hoff, Claudia Pahl-Wostl, Zhenci Xu, MinGon Chung, Jing Sun and Shuxin Li. 2018.** Nexus approaches to global sustainable development. *nature sustainability*. 2018, σσ. 466-476.

**M. Safa, S. Samarasinghe, M. Mohssen. 2010.** Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy*. 2010, Τόμ. 35, 12, σσ. 5400-5405.

**Michael Fischer, Mathew Werber, Peter V. Schwartz. 2009.** Batteries: Higher energy density than gasoline? *Energy Policy*. 2009, Τόμ. 37, 7, σσ. 2639-2641.

**Mujtahid Kaavessina, Sperisa Distantina and Esa Nur Shohih. 2021.** A Slow-Release Fertilizer of Urea Prepared via Melt Blending with Degradable Poly(lactic acid): Formulation and Release Mechanisms. *Polymers*. 2021, Τόμ. 13, 11, σσ. 1856-1870.

- Papageorgiou, Athanassios. 2015.** Agricultural equipment in Greece: Farm machinery management in the era of economic crisis. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015, Τόμ. 7, σσ. 198-202.
- Pimentel, David. 1986.** Pesticides: Energy Use in Chemical Agriculture. *Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology*. 1986, Τόμ. 19, σσ. 157-175.
- R. D. Grisso, M. F. Kocher, D. H. Vaughan. 2004.** PREDICTING TRACTOR FUEL CONSUMPTION. *Applied Engineering in Agriculture*. 2004, Τόμ. 20, 5, σσ. 533-561.
- Rhett B. Larson, Cameron Holley & Diana M. Bowman. 2018.** The Water/Energy/Food Nexus—An Introduction. *Jurimetr. J. Lawscience Technol.* 2018, Τόμ. 59, σσ. 1-14.
- Samuel Dasberg, Dani Or. 1999.** Drip System Design. *Drip Irrigation*. 1999, 4, σσ. 70-99.
- Schnepf, Randy. 2004.** *Energy Use in Agriculture: Background and Issues*. s.l. : Congressional Research Service - The Library of Congress, 2004.
- Tamara M. Jackson, Shahbaz Khan, Mohsin Hafeez. 2010.** A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management*. 2010, Τόμ. 97, 10, σσ. 1477-1485.
- Tamee R. Albrecht, Arica Crootof, Christopher A. Scott. 2018.** The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. *Environmental Research Letters*. 2018, Τόμ. 13, 4, σ. 043002.
- Thomas Nemecek, Thomas Kägi. 2007.** *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems*. s.l. : Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, CH, 2007.
- Tsatsarelis, C.A. 1991.** Energy Requirements for Cotton Production in Central Greece. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1991, Τόμ. 50, σσ. 239-246.
- Vanessa Novoa, Ramon Ahumada-Rudolph, Octavio Rojas, Juan Munizaga, Katia Saez, Jose Luis Arumi. 2018.** Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*. 2018, Τόμ. 98, σσ. 19-28.