



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η Επίδραση της Άρδευσης με Επεξεργασμένα Αστικά Απόβλητα
στη Συγκέντρωση Ολικών Φαινολικών Ουσιών και Προλίνης στα
Φύλλα Δενδρυλλίων Ελιάς Ποικιλίας 'Κονσερβολιά Άρτας'**

ΒΑΛΛΙΑΝΑΤΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Επιβλέπων: Στουρνάρας Βασίλειος

Επίκουρος Καθηγητής

Άρτα, Οκτώβριος 2022

**THE EFFECT OF IRRIGATION WITH TREATED MUNICIPAL
WASTEWATER ON THE CONTENT OF TOTAL PHENOLIC
COMPOUNDS AND PROLINE IN CULTIVAR 'KONSERVOLIA
ARTAS' LEAVES OF YOUNG OLIVE TREES**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 17 Οκτωβρίου 2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής:
Στουρνάρας Βασίλειος
2. Μέλος επιτροπής:
Τσιρογιάννης Ιωάννης
3. Μέλος επιτροπής:
Μπέζα Παρασκευή

© Βαλλιανάτου, Αικατερίνη, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Βαλλιανάτου Αικατερίνη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα στη συγκέντρωση ολικών φαινολικών ουσιών και προλίνης στα φύλλα δενδρυλλίων ελιάς ποικιλίας Κονσερβολιά Άρτας» πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο πτυχιακής εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας (πρώην Τεχνολόγων Γεωπόνων) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, το έτος 2022.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αποτέλεσμα μιας σειράς συνεργασιών με διάφορα άτομα, που καθένα από αυτά συνέβαλε στην ολοκλήρωσή της. Για αυτό λοιπόν θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άτομα αυτά για τη βοήθειά τους.

Πρωτίστως θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα Καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας, Δρ. Βασίλειο Στουρνάρα για την συνεχή καθοδήγηση, τις συμβουλές και την υποστήριξη που μου παρείχε αυτό το χρονικό διάστημα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Τσιρογιάννη Ιωάννη, Αναπλ. Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας, ο οποίος σε συνεργασία με τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου εμπιστεύτηκε το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ πολύ την Δρ. Μπέζα Παρασκευή, Επίκουρη Καθηγήτρια, για την πολύτιμη βοήθεια κατά την εκπόνηση του πειραματικού μέρους της πτυχιακής εργασίας με συμβουλές και υποδείξεις για τη σωστή χρήση του εργαστηρίου καθώς και των μηχανημάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την κα Κωνσταντίνα Φωτιά, Υποψήφια Διδάκτορα, όπου από την αρχή έως την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής ήταν δίπλα μου σε κάθε απορία, πάντα με μια συμβουλή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό είναι ένας από τους πιο περιοριστικούς παράγοντες στη γεωργία, ιδιαίτερα σε άνυδρες περιοχές. Η μείωση των υδατικών αποθεμάτων στον πλανήτη λόγω της εκτεταμένης και αλόγιστης χρήσης του νερού αλλά και των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής υπογραμμίζουν την ανάγκη για διαχείριση των υδάτων παγκοσμίως καθώς και την ανάπτυξη πρακτικών ορθολογικής χρήσης αλλά και εναλλακτικών πηγών νερού. Η χρήση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών κερδίζει έδαφος τις τελευταίες δεκαετίες. Στο πλαίσιο αυτό, η πτυχιακή εργασία μελέτησε την επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα στη συγκέντρωση ολικών φαινολικών και προλίνης στα φύλλα της ελιάς, ποικιλίας 'Κονσερβολιά Άρτας'. Πιο συγκεκριμένα, νεαρά δενδρύλλια ελιάς αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα και με νερό δικτύου για να προσδιοριστεί αντίστοιχα σε κάθε μεταχείριση η συγκέντρωση των φαινολικών ουσιών και της προλίνης, που αποτελούν σημαντικούς δείκτες υδατικής καταπόνησης. Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι η άρδευση των νεαρών δενδρυλλίων ελιάς για διάστημα 5 μηνών με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα δεν αύξησε τη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών και της προλίνης στα φύλλα των φυτών σε σύγκριση με την άρδευση με νερό δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι η άρδευση νεαρών δενδρυλλίων ελιάς με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα τουλάχιστον για ένα μικρό διάστημα πέντε μηνών δεν επέφερε κάποια επιπλέον καταπόνηση στα φυτά.

Λέξεις- κλειδιά: φύλλα ελιάς, επεξεργασμένα αστικά απόβλητα, φαινολικές ουσίες, προλίνη

ABSTRACT

Water is one of the most limiting factors in agriculture, particularly in arid regions. The reduction of water reserves on the planet due to the extensive and reckless use of water and the effects of climate change underline the need for global water management as well as the development of rational use practices and alternative water sources. The use of treated municipal waste for crop irrigation has been gaining ground in recent decades. In this context, the thesis studied the effect of irrigation with treated urban waste on the concentration of total phenolics and proline in the leaves of the olive variety 'Konservolia Artas'. More specifically, young olive seedlings were irrigated with treated urban waste and with network water to determine, respectively, in each treatment the concentration of phenolic substances and proline, which are important indicators of water stress. The results of the work showed that irrigation of young olive seedling for a period five months with treated municipal waste didn't increase the concentration of total phenolics and proline in plant compared to irrigation with mains water. This means that the irrigation of young olive seedling with treated municipal waste at least for a short period of five months didn't cause any additional stress to the plant.

Keywords: olive tree leaves, treated municipal wastewater, phenolic compounds, proline

1 Πίνακας περιεχομένων

Η Επίδραση της Άρδευσης με Επεξεργασμένα Αστικά Απόβλητα στη Συγκέντρωση Ολικών Φαινολικών Ουσιών και Προλίνης στα Φύλλα Δενδρυλλίων Ελιάς Ποικιλίας ‘Κονσερβολιά Άρτας’.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xiv
1. Η ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	1
1.1 Ιστορική Ανασκόπηση της Καλλιέργειας της Ελιάς στην Ελλάδα.....	1
1.2 Βοτανική ταξινόμηση.....	2
1.3 Περιγραφή δέντρου ελιάς.....	2
1.4 Ποικιλίες επιτραπέζιας Ελιάς.....	3
1.4.1 Περιγραφή Κονσερβολιάς.....	4
1.5 Λίπανση Ελιάς.....	4
2 ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ.....	5
2.1 Ορθολογική Άρδευση.....	5
2.2 Άρδευση Ελαιώνων.....	6
2.3 Στρατηγικές Άρδευσης.....	8
2.4 Προγραμματισμός Άρδευσης.....	10
2.5 Παγκόσμια Υδατικά Αποθέματα.....	12
2.6 Ζήτηση Νερού έως το 2050.....	13
2.7 Υδατικοί Πόροι έως το 2050.....	14
2.8 Ποιότητα Νερού έως το 2050.....	16
3.ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	19
3.1 Η Χρήση (επεξεργασμένων) Οικιακών Λυμάτων για Άρδευση.....	19
3.2 Οφέλη και Κίνδυνοι από την Άρδευση Λυμάτων.....	21
4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ.....	24
4.1 Φαινολικές Ουσίες.....	24
4.2 Προλίνη.....	25
5 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	27
5.1 Σκοπός του πειράματος.....	27
5.2 Υλικά και μέθοδοι.....	27
5.2.1 Φυτικό υλικό.....	27
5.2.2 Μεταχειρίσεις.....	27

5.3 Μέτρηση ολικών φαινολικών ουσιών στους φυτικούς ιστούς.....	28
5.4 Μέτρηση της προλίνης στους φυτικούς ιστούς.....	30
5.4.1 Διαδικασία εκχύλισης (παραλαβή εκχυλίσματος από φυτικό ιστό).....	31
5.4.2 Διαδικασία προσδιορισμού προλίνης στα δείγματα.....	32
5.4.3 Διαδικασία σχηματισμού πρότυπης καμπύλης.....	32
5.5 Στατιστική ανάλυση.....	34
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	35
6.1 Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα.....	35
6.2 Συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα.....	36
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 5.3.1 Φούρνος αποξήρανσης φύλλων.....	29
Εικόνα 5.3.2 Λειοτριβήση φύλλων Ελιάς.....	29
Εικόνα 5.3.3 Διαδικασία εκχύλισης.....	30
Εικόνα 5.4.2 Διαδικασία παρασκευής διαλυμάτων για τη μέτρηση της προλίνης	31
Εικόνα 5.4.3.2 Διαδικασία ολοκλήρωσης τελικού διαλύματος προλίνης.....	33
Εικόνα 5.4.3.3 Αποτέλεσμα χρώματος δειγμάτων μετά το φασματοφωτόμετρο...	33
Εικόνα 5.4.3.4 Φασματοφωτόμετρο.....	34
Διάγραμμα 6.1 Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα φυτών που δέχτηκαν δύο διαφορετικές μεταχειρίσεις.....	35
Διάγραμμα 6.2 Συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα φυτών που δέχτηκαν δύο διαφορετικές μεταχειρίσεις.....	36

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.4.1 Ποσότητες διαλυμάτων για την παρασκευή διαλύματος προλίνης	31
Πίνακας 5.4.3.1 Παρασκευή τελικού διαλύματος προλίνης.....	32
Πίνακας 6.1 Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα φυτών που δέχτηκαν δύο διαφορετικές μεταχειρίσεις	35
Πίνακας 6.2 Συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα των φυτών που δέχτηκαν δύο διαφορετικές μεταχειρίσεις.....	36

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ/ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

OHE: Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

WWDR: World Water Assessment Program

TWW: Επεξεργασμένα λύματα

FW: Γλυκό νερό

FAO: Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας

WP: Παραγωγικότητα νερού

FI: Πλήρης άρδευση

IA: Ποσότητα άρδευσης

DI: Ελλειμματική άρδευση

IN: Ανάγκες άρδευσης

ET: Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

SHD: Υψηλή πυκνότητα

SDI: Ελλειμματική άρδευση

Es: Εξάτμιση εδάφους

Kp: Διαπνοή δέντρων

SF: Μέτρηση ροής χυμών

TDV: Διακυμάνσεις διαμέτρου κορμού

LTP: Πίεση στρέψης φύλλων

RUS: Είδη οξυγόνου

RDI: Ρυθμιζόμενη ελλειμματικής άρδευσης

APX: Ασκορβική υπεροξειδάση

ASC-GSH: Ασκορβική γλουταθειόνη

A. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων (TWW) για άρδευση μπορεί να θεωρηθεί στις μέρες μας ως πραγματική εναλλακτική λύση στη φθίνουσα διαθεσιμότητα ποιοτικού νερού που πλήττεται από πολλές χώρες σε άνυδρες και ημίξηρες περιοχές. Τα επεξεργασμένα λύματα μπορεί να επηρεάσουν τη γονιμότητα του εδάφους μέσω της βελτίωσης των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του (Mohammad et al., 2003). Το TWW αποτελεί αξιόπιστη πηγή νερού και θρεπτικών συστατικών για πολλές καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένων των ελιών και η χρήση του για άρδευση μειώνει τις ποσότητες των πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά νερών που επιστρέφουν στα ποτάμια ή η θάλασσα. Ωστόσο, η άρδευση με TWW μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις, ειδικά λόγω του πιθανού κινδύνου βαρέων μετάλλων για την ανάπτυξη των φυτών, τα γεωργικά προϊόντα (για τον άνθρωπο και τα ζώα) και τη ρύπανση του εδάφους και του νερού (Yadav, 2002).

Η ελιά (*Olea europaea* L.) είναι ένα είδος δέντρου ανθεκτικό στην ξηρασία. Τα χημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως η ποικιλία, η ηλικία του δέντρου, το κλίμα, το έδαφος και οι τεχνολογικές πρακτικές. Μεταξύ όλων αυτών των παραγόντων, η άρδευση παίζει σημαντικό ρόλο που επηρεάζει τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα (Bedbabis et al., 2009). Λίγες μελέτες έχουν εξετάσει τις επιπτώσεις της άρδευσης με TWW τόσο στις παραμέτρους ποιότητάς της όσο και την περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία στα φύλλα (Bedbabis et al., 2009, 2017). Μέχρι στιγμής, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τις επιπτώσεις της άρδευσης με TWW σε αυτές τις παραμέτρους. Έτσι, ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να διερευνήσει την επίδραση της άρδευσης με TWW στη συγκέντρωση ολικών φαινολικών ουσών και προλίνης στα φύλλα ελιάς, ποικιλίας ‘Κονσερβολιά Άρτας’.

1. Η ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

1.1 Ιστορική Ανασκόπηση της Καλλιέργειας της Ελιάς στην Ελλάδα

Η ιστορία της ξεκίνησε περίπου πριν από 7000 χρόνια πιθανότατα κατάγεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Η καλλιέργεια της ελιάς στη λεκάνη της Μεσογείου χρονολογείται από την αρχαιότητα. Σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία, ο «μόριος» Δίας ήταν αρχικά ο προστάτης της ιερής ελιάς, της «μωρίας ελαία» (μπολιασμένη ελιά). Η θεά Αθηνά την πρόσφερε στην πόλη της Αθήνας ως δώρο με τη φύτευση της πρώτης ελιάς στην Ακρόπολη (Ακρόπολη). Το δέντρο αυτό φυλασσόταν και παρουσιάστηκε στο ναό του Ερεχθείου. Η ίδια θεά δίδαξε στους ανθρώπους την καλλιέργεια του δέντρου και τη θεραπεία του καρπού και έγινε προστάτιδα της ελαιοκαλλιέργειας (Κακριδής, 1986).

Η καλλιέργεια της ελιάς εξαπλώθηκε γρήγορα σε ολόκληρο τον ελληνόφωνο κόσμο, καθώς και σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου. Υπάρχουν μαρτυρίες ελαιοκαλλιέργειας στην Ελλάδα που χρονολογούνται πριν από 3.500 χρόνια, ενώ οι μνήμες του «Ελαίου» της Αθήνας χάνονται στα βάθη των αιώνων. Οι Έλληνες είχαν χρησιμοποιήσει το ελαιόλαδο ως μέσο συναλλαγής και μάρκετινγκ από τα μινωικά χρόνια (Romero, 1998). Αυτό μάλιστα ενισχύει την άποψη ότι η ελαιοκαλλιέργεια πολλαπλασιαζόταν από αυτούς. Οι εκτάσεις που καλλιεργούνταν με ελιές αυξάνονταν σταθερά στην Ελλάδα και με την υποστήριξη των Ρωμαίων, σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου. Με την πάροδο του χρόνου, οι απαιτήσεις της αγοράς και η σημασία της γαιοκτησίας στο παρελθόν έκαναν την ελιά κυρίαρχη καλλιέργεια (Braudel, 1979). Στη Μασσαλία και στο Λανγκεντόκ υπάρχουν αποδείξεις ελαιοκαλλιέργειας από τον 4ο αιώνα π.Χ. (García, 1992).

Σήμερα, η ελιά καλλιεργείται σε πολλές χώρες, κυρίως στις παραμεσόγειες. Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια της επιτραπέζιας ελιάς είναι πολύ σημαντική τόσο στη γεωργία όσο και την οικονομία. Η καλλιέργεια της αντιπροσωπεύει περίπου 17,1% και 8,25% τόσο στην Ευρωπαϊκή όσο και στην Παγκόσμια αγορά, αντίστοιχα. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται περίπου 8.000.000 στρέμματα ελιών και η μέση ετήσια παραγωγή

ελαιόκαρπου (επιτραπέζιας χρήσης και για ελαιοποίηση) φθάνει περίπου τους 3.200.000 τόνους (ΕΛΣΤΑΤ, 2019). Η καλλιέργεια της επιτραπέζιας ελιάς συναντάται σε όλη την Ελλάδα, κυρίως όμως στη Στερεά Ελλάδα (56%), Ήπειρο (10%), Θεσσαλία (12%), Πελοπόννησο (16%) και τη Μακεδονία (9%).

1.2 Βοτανική Ταξινόμηση

Η ελιά κατατάσσεται στην οικογένεια των ελαιωδών (Oleaceae) και περιλαμβάνει περίπου 30 είδη. Το γένος *Olea* χαρακτηρίζεται από μακροζωία καθώς και διατήρηση της παραγωγικότητας. Στην περιοχή της Μεσογείου υπάρχουν δέντρα εκατοντάδων χρόνων που ακόμα υπάρχουν και αποδίδουν καρπό. Το ελαιόδεντρο ευδοκμεί κυρίως σε ξηροθερμικές περιοχές, πετρώδη και άγονα εδάφη, όπου σε τέτοια εδάφη το ριζικό σύστημα απλώνεται τόσο σε μεγάλη έκταση όσο και σε μεγάλο βάθος. Το ελαιόδεντρο σε περιοχές γόνιμες και αρδευόμενες εμφανίζει γρήγορη ανάπτυξη (Στεφανάκη – Νικηφοράκη, 1999).

Παρακάτω ακολουθεί η βοτανική ταξινόμηση της ελιάς:

Κλάση	<i>Magnoliopsida</i>
Υποκλάση	<i>Asteridae</i>
Τάξη	<i>Lamiales</i>
Οικογένεια	<i>Oleaceae</i>
Υποοικογένεια	<i>Oleoideae</i>
Γένος	<i>Olea</i>
Είδος	<i>europaea</i>

1.3 Περιγραφή δέντρου ελιάς

Η ελιά, που είναι δέντρο αειθαλές, αναπτύσσεται αργά ως δέντρο ή θάμνος. Ο κορμός της είναι λείος, έχει χρώμα σταχτοπράσινο, και η διάμετρός του συχνά περνά το ένα μέτρο κυρίως στα δέντρα μεγαλύτερης ηλικίας. Τα φύλλα της είναι επιμήκη, λογχοειδή, δερματώδη, βραχύμισχα, σκουρόχρωμα στη επάνω επιφάνεια και σταχτίγκρι στην κάτω επιφάνεια. Τα άνθη της είναι μικρά κιτρινοπράσινα, εμφανίζονται σε ταξιανθία βότρυος, περίπου 10-60 ανά ταξιανθία ανάλογα την ποικιλία. Τέλος, ο

καρπός της ελιάς είναι δρύπη και το μέγεθός του διαμορφώνεται ανάλογα την ποικιλία και την καρποφορία της (Ποντίκης, 2000).

1.4 Ποικιλίες επιτραπέζιας Ελιάς

Η ελιά παρουσιάζει μεγάλο αριθμό ποικιλιών γεγονός που δυσκολεύει την ταξινόμησή τους. Ωστόσο οι διάφορες ποικιλίες ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του καρπού, σε ποικιλίες επιτραπέζιες, ελαιοποιήσιμες και διπλής χρήσης. Ανάλογα με το βάρος του καρπού, διακρίνονται σε μικρόκαρπες (βάρος καρπού έως 2,5g), μεσόκαρπες (βάρος 2,7-4,2 g) και μεγαλόκαρπες (βάρος 4,3 γραμμάρια και άνω). Οι κυριότερες επιτραπέζιες ποικιλίες είναι (Fooks, 1995) :

- Κονσερβολιά
- Καλαμών
- Χαλκιδικής
- Γαϊδουρολιά
- Θρουμπολιά
- Μεγαρείτικη
- Μανάκι
- Καρυδολιά

1.3.1 Περιγραφή Κονσερβολιάς

Η ποικιλία Κονσερβολιά, που ασχοληθήκαμε στην παρούσα εργασία, είναι η πιο διαδεδομένη ποικιλία επιτραπέζιας χρήσης. Καλλιεργείται στη Στερεά Ελλάδα (Φθιώτιδα, Φωκίδα), στη Θεσσαλία (Πιερία), στην Ήπειρο (Άρτα, Ηγουμενίτσα) και στη Δυτική Ελλάδα (Αχαΐα, Ηλεία Αιτωλοακαρνανία). Θεωρείται ως μια μεγαλόκαρπη ποικιλία, με καρπό σφαιρικού ή ωοειδούς σχήματος, πάχους 2-2,5 cm, βάρους 4-10 g και μήκους 2-3 cm. Ο καρπός της έχει λεία και λεπτή επιδερμίδα και το χρώμα του μεταβάλλεται σταδιακά από πράσινο σε ερυθροειδές και τελικά σε ιώδες έως μαύρο. Τέλος, ωριμάζει από μέσα Νοεμβρίου, δίνοντας αρχικά πράσινες και στη συνέχεια μαύρες επιτραπέζιες ελιές (Fooks, 1995).

1.4 Λίπανση Ελιάς

Η σωστή χρήση των λιπασμάτων έχει ως σκοπό τόσο την καλή ανάπτυξη των δέντρων όσο και την πλούσια παραγωγή. Σε πολλές περιπτώσεις, οι αγρότες εφαρμόζουν πολύ περισσότερο λίπασμα από αυτό που πραγματικά χρειάζεται μια καλλιέργεια. Το νιτρικό αμμώνιο, είναι ένα από τα πιο κοινά λιπάσματα (περιέχει έως 33-34% άζωτο) που χρησιμοποιείται στην ελαιοκαλλιέργεια. Εκτός από άζωτο, η ελιά λιπαίνεται κυρίως με φώσφορο, κάλιο και βόριο. Ειδικότερα, το κάλιο χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην καλλιέργεια των ελαιόδεντρων και ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλής απόδοσης για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της ποιότητας του καρπού. Η βασική λίπανση της ελιάς συνήθως γίνεται τον Δεκέμβριο – Φεβρουάριο ανάλογα το είδος του ελαιώνα (ξηρικοί ή ποτιστικοί) (Rallo et al., 2016).

2 ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

2.1 Ορθολογική Άρδευση

Η παγκόσμια γεωργική παραγωγή έχει αυξηθεί μεταξύ 2,5 και 3 φορές τα τελευταία 50 χρόνια για να καλύψει τις αυξανόμενες απαιτήσεις για τρόφιμα και φυτικές ίνες. Την περίοδο αυτή, ωστόσο, η καλλιεργούμενη έκταση αυξήθηκε μόνο κατά 12%. Νέες, επιλεγμένες ποικιλίες και βελτιώσεις στη χρήση αγροχημικών, της μηχανοποίησης και της άρδευσης συνέβαλαν σε αυτή την αύξηση της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας γης. Από τα 1600 Mha που καλλιεργήθηκαν παγκοσμίως το 2006 (11% της παγκόσμιας επιφάνειας γης), τα 301 Mha ήταν εξοπλισμένα για άρδευση. Αυτό το 20% της καλλιεργούμενης έκτασης υπό άρδευση απέδωσε το 45% της παραγωγής τροφίμων, αλλά κατανάλωνε κατά μέσο όρο το 70% της συνολικής απόσυρσης νερού (2.710 km³ ανά έτος από μια συνολική απόσυρση νερού 3.862 km³ ανά έτος) (FAO, 2011). Σε πολλές ημίξηρες και άνυδρες χώρες, το ποσοστό αυτό είναι πάνω από 80%. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) έχει προβλέψει ότι το 2050 η έκταση που είναι εξοπλισμένη για άρδευση θα είναι περίπου 318 Mha, που αντιπροσωπεύει αύξηση περίπου 6%. Αυτή η αύξηση είναι πολύ πιο αργή από ό,τι τις προηγούμενες δεκαετίες (μεταξύ 1961 και 2009 η αρδευόμενη έκταση παγκοσμίως αυξήθηκε κατά 1,6% ετησίως), αλλά μπορεί να είναι κρίσιμο να αντιμετωπίσουμε την πρόκληση της σίτισης του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού (FAO, 2011). Αυτό αναμένεται να αυξηθεί από τα σημερινά 7,4 δισεκατομμύρια άτομα σε περίπου 9,1 δισεκατομμύρια το 2050, κάτι που θα απαιτήσει αύξηση 70% στη συνολική παραγωγή τροφίμων σε σύγκριση με τα έτη 2005/07 (FAO, 2009). Αυτά τα δεδομένα οδηγούν σε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στις γεωργικές χρήσεις του νερού.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1900 έχουν επιτευχθεί τρεις κύριες προόδους για τη βελτιστοποίηση της γεωργικής χρήσης του νερού. Η πρώτη ήταν η τοπική άρδευση, η οποία έγινε δημοφιλής μετά τις προόδους που έγιναν στο Ισραήλ τη δεκαετία του 1950.

Αν και τα πρώτα βήματα για την τοπική άρδευση έγιναν στη Γερμανία στα τέλη του 19ου αιώνα, μόνο μετά την ανάπτυξη της βιομηχανίας πλαστικών τα εξαρτήματα για τοπική άρδευση έγιναν αξιόπιστα και αρκετά φθηνά ώστε να χρησιμοποιηθούν

ευρέως. Η δεύτερη βασίστηκε στην εξαγωγή στρατηγικών αποτελεσματικής ελλειμματικής άρδευσης (DI), σχεδιασμένες κυρίως σε ξηρές και ημίξηρες χώρες από τη δεκαετία του 1980. Αυτά βασίζονται στην παροχή ποσοτήτων άρδευσης (IA) κάτω από τις ανάγκες άρδευσης (IN) για τη μέγιστη δυνατή εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ETc), αλλά παρέχονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο αντίκτυπος της μειωμένης άρδευσης στην απόδοση της καλλιέργειας. Η τρίτη μεγάλη πρόοδος στην άρδευση οφείλεται σε νέες μεθόδους και συστήματα για την ακριβή εκτίμηση της υδατικής πίεσης των καλλιεργειών και για τον προγραμματισμό της άρδευσης. Από τις αρχές αυτού του αιώνα, η ανάπτυξη νέων αισθητήρων και συναφών συστημάτων για τη συνεχή και αυτόματη καταγραφή των κύριων μεταβλητών που σχετίζονται με την καταπόνηση του νερού, μαζί με την παραγωγή φθηνών αλλά ισχυρών και αξιόπιστων συσκευών για την καταγραφή και μετάδοση δεδομένων και την πρόοδο στις δορυφορικές εικόνες, κατέστησαν δυνατή την ανάπτυξη της άρδευσης ακριβείας. Αυτή είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση άρδευσης που χρησιμοποιείται σε ελαιόκαρπους, όπως περιγράφεται παρακάτω.

2.2 Άρδευση Ελαιώνων

Η διαχείριση της άρδευσης στην ελιά και τα οφέλη της για την ανάπτυξη και την παραγωγή καλλιεργειών έχουν εξεταστεί σε διάφορες ανασκοπήσεις τόσο σε βιολογικές όσο και σε φυσιολογικές πτυχές της ελιάς (Rapport et al., 2016) και σχετικά με τη χρήση του νερού και την άρδευση των ελαιώνων. Από τα σημερινά 10,3 Mha που προορίζονται για ελαιόκαρπους, περίπου το 22% είναι υπό άρδευση. Περίπου το 98% βρίσκεται στη λεκάνη της Μεσογείου, δηλαδή σε ξηρές ή ημιάνυδρες περιοχές. Νέες φυτείες, τόσο στη λεκάνη της Μεσογείου και σε νέες ελαιοπαραγωγικές χώρες όπως η Αυστραλία και η Αργεντινή, είναι ως επί το πλείστον αρδευόμενα και πολλά από αυτά αντιστοιχούν σε υψηλής πυκνότητας, μηχανικά συγκομιδή οπωρώνων (Rallo et al., 2016). Μερικοί από αυτούς τους νέους ελαιώνες έχουν πυκνότητες φυτών που κυμαίνονται από 450 έως 800 δέντρα το εκτάριο (υψηλής πυκνότητας) ή πάνω από 1500 δέντρα το εκτάριο (υπερ-υψηλής πυκνότητας [SHD]) (Rius & Lacarte, 2010). Και στις δύο περιπτώσεις, απαιτείται άρδευση για αποδεκτά επίπεδα παραγωγής, καθώς οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν όταν η πυκνότητα των φυτών είναι τόσο υψηλή. Στις περισσότερες περιοχές με ελαιώνες, το νερό για άρδευση είναι σπάνιο και η διακύμανση των βροχοπτώσεων από έτος σε έτος

είναι υψηλή (Rallo et al., 2016). Αυτό εξηγεί γιατί, στους περισσότερους νέους ελαιώνες, οι στρατηγικές άρδευσης ακριβείας και ελλειμματικής άρδευσης είναι κοινές.

Η τοπική άρδευση σήμαινε ένα μεγάλο βήμα προς τα εμπρός για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της άρδευσης, δηλαδή την αναλογία του όγκου του νερού που προσλαμβάνεται από την καλλιέργεια προς τον όγκο του νερού άρδευσης που εφαρμόζεται. Ωστόσο, η μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού στη γεωργία δεν προέρχεται συνήθως από μια βελτιστοποιημένη αποδοτικότητα άρδευσης, αλλά από τη βελτίωση της παραγωγικότητας του νερού (WP), η οποία είναι η αναλογία της απόδοσης (εμπορεύσιμο προϊόν ή καθαρό εισόδημα) προς το νερό που χρησιμοποιείται από την καλλιέργεια. Σε καλλιέργειες για τις οποίες ο στόχος παραγωγής είναι η παραγωγή βιομάζας, π.χ. ζαχαροκάλαμο, οι μεγαλύτερες τιμές WP συνήθως επιτυγχάνονται με πλήρη άρδευση (FI), δηλαδή όταν παρέχεται αρκετό νερό για να αντικαταστήσει το ET. Για τις ξυλώδεις καλλιέργειες, ωστόσο, η ελλειμματική άρδευση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική προσέγγιση για την αύξηση της WP, για διάφορους λόγους. Πρώτον, η ελλειμματική άρδευση (DI) μειώνει τη διαπνοή των φυτών (E_p) μέσω του κλεισίματος των στοματίων πιο αποτελεσματικά σε οπωροφόρα δέντρα και αμπέλια από ό,τι σε ποώδεις καλλιέργειες. Δεύτερον, για τις περισσότερες ξυλώδεις καλλιέργειες, τα καθαρά εισοδήματα δεν σχετίζονται γραμμικά με τη συσσώρευση βιομάζας, αλλά με την απόδοση και την ποιότητα των καρπών (Feres and Soriano, 2007). Το DI βελτιώνει κανονικά την ποιότητα των φρούτων και των παράγωγων προϊόντων. Τέλος, η ελλειμματική άρδευση αυξάνει επίσης την παραγωγικότητα του νερού μέσω του ελέγχου της υπερβολικής ανάπτυξης. Ο έλεγχος της ευρωστίας των φυτών είναι ιδιαίτερα σημαντικός στους οπωρώνες SHD. Στην πραγματικότητα, το DI μπορεί να αυξήσει την παραγωγική ζωή των οπωρώνων SHD μειώνοντας τα προβλήματα που προκύπτουν από την ικανότητα μεταξύ των δέντρων για το φως (Connor et al., 2014). Αυτό εξηγεί την ευρεία χρήση τόσο της τοπικής άρδευσης όσο και των στρατηγικών ελλειμματικής άρδευσης σε οπωροφόρα δέντρα και αμπελώνες.

Οι περισσότερες περιοχές με ελαιώνες παρουσιάζουν υψηλές τιμές σε χωροχρονική μεταβλητότητα των φυτών και των εδαφών, η οποία, εάν δεν ληφθεί υπόψη κατά τη διαχείριση της άρδευσης, μειώνει σημαντικά την παραγωγικότητα του νερού. Έτσι, ορισμένες ζώνες μέσα σε έναν οπωρώνα θα μπορούσαν να λάβουν πάρα πολύ νερό, με

τις επακόλουθες αυξήσεις της απορροής και της αποστράγγισης, ενώ σε άλλες οι ίδιες παροχές νερού μπορεί να μην επαρκούν για να αποφευχθεί η υπερβολική πίεση νερού στην καλλιέργεια. Η άρδευση ακριβείας έχει μεγάλες δυνατότητες για τους ελαιώνες επειδή είναι μια ολιστική προσέγγιση που έχει σχεδιαστεί για την αποτελεσματική διαχείριση της άρδευσης κάτω από αυτές τις περιοριστικές συνθήκες υψηλής μεταβλητότητας και μειωμένο διαθέσιμο νερό. Βασίζεται στη σωστή επιλογή του συστήματος άρδευσης, στη στρατηγική άρδευσης και στη μέθοδο προγραμματισμού της άρδευσης και συνεπάγεται λεπτομερή και συνεχή καταγραφή της καλλιέργειας και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Τόσο η τρέχουσα γνώση της ανταπόκρισης της ελιάς στις υδατικές συνθήκες όσο και μια ποικιλία αισθητήρων και σχετικών συστημάτων για την παρακολούθηση της υδατικής κατάστασης των δέντρων και για τη μετάδοση δεδομένων, σε συνδυασμό με δορυφορικές εικόνες, επιτρέπουν την άρδευση με ακρίβεια στους ελαιώνες.

2.3 Στρατηγικές Άρδευσης

Σε μεσογειακές περιοχές με ετήσιες μέσες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (ET₀) και βροχοπτώσης περίπου 1200-1400 mm και 500-600 mm, αντίστοιχα, περίπου 700 mm, δηλαδή 7000 m³ ha⁻¹, υποχρεούνται να αντικαταστήσουν το ET_c των ελαιώνων με 100-300 δέντρα εκτάρια. Από αυτά, περίπου 3000-4000 m³ ha⁻¹ είναι οι ανάγκες που απαιτείται για την πλήρη άρδευση του οπωρώνα, ενώ το υπόλοιπο παρέχεται από τις βροχοπτώσεις (Gucci et al., 2012). Για οπωρώνες SHD με 1500-2000 δέντρα ανά εκτάριο, το IN είναι περίπου 5000 m³ha⁻¹ (Grattan et al., 2006, Padilla-Diaz et al., 2016). Στις περισσότερες περιοχές με ελαιώνες, ωστόσο, το νερό που διατίθεται για άρδευση είναι κάτω από αυτά τα ποσά. Ως εκ τούτου, πλήρη άρδευση δύσκολα μπορεί να εφαρμοστεί σε ελαιώνες. Από την άλλη πλευρά, η πλήρη άρδευση ενδέχεται να μην οδηγήσει στην επίτευξη των μεγαλύτερων καθαρών εσόδων από την εκμετάλλευση οπωρώνων. Στην πραγματικότητα, για τα περισσότερα είδη οπωροφόρων δέντρων, το FI είναι σκόπιμο μόνο για τα πρώτα χρόνια μετά τη φύτευση, ώστε ο οπωρώνας να δημιουργηθεί το συντομότερο δυνατό. Αργότερα, η άρδευση πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την ανταπόκριση του είδους στο DI.

Όταν το νερό για άρδευση είναι πολύ σπάνιο ή σε εύκρατες περιοχές με χαμηλή ετήσια μέση τιμή δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ή υψηλές βροχοπτώσεις, η συμπληρωματική άρδευση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αυξήσεις στην απόδοση

των καλλιεργειών, σε σύγκριση με την ξηρή γεωργία (Abdel-Rahman 1974, Proietti et al., 2012). Αυτή η στρατηγική άρδευσης συνίσταται στην εφαρμογή ενός μόνο γεγονότος άρδευσης όταν επιτυγχάνεται ένα σταθερό όριο για την υδατική καταπόνηση. Δεν εφαρμόζονται περισσότερες από δύο ή τρεις αρδεύσεις κατά την αρδευτική περίοδο. Η επιτυχία αυτής της στρατηγικής DI εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις αρδεύσεις που εφαρμόζονται την κατάλληλη στιγμή του κύκλου ανάπτυξης. Μια άλλη στρατηγική DI, που ονομάζεται ελλειμματική άρδευση χαμηλής συχνότητας συνίσταται στην αναστολή της άρδευσης μέχρι να καταναλωθεί το άμεσα διαθέσιμο νερό. Για την ελιά, το άμεσα διαθέσιμο νερό θεωρείται συχνά ότι είναι το 75% της ικανότητας συγκράτησης νερού του εδάφους, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό του εδάφους στην χωρητικότητα του αγρού και σε αυτό στο σημείο μαρασμού.

Όταν καταναλωθεί το άμεσα διαθέσιμο νερό, εφαρμόζεται άρδευση μέχρι να επιτευχθεί η χωρητικότητα του αγρού. Αυτό επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται κατά την περίοδο άρδευσης. Άλλες στρατηγικές που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ελαιώνες υψηλής πυκνότητας και SHD είναι η συνεχής ελλειμματική άρδευση (SDI) και η ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI). Το SDI συνίσταται στην παροχή ενός σταθερού κλάσματος του IN για FI καθ' όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Η άρδευση εφαρμόζεται καθημερινά ή 2-4 φορές την εβδομάδα (Goldhamer et.al., 1994; Grattan et.al., 2006). Μια παραλλαγή αυτής της στρατηγικής είναι η μερική ξήρανση στη ριζική ζώνη, στην οποία το νερό εφαρμόζεται στη μισή ζώνη της ρίζας, αλλάζει στην άλλη μισή κάθε 2-3 εβδομάδες. Η RDI συνίσταται στην άρδευση καθημερινά, ή κάθε 2-3 ημέρες, στα φαινολογικά στάδια που είναι πιο ευαίσθητα στην ξηρασία, με αρκετό νερό για να αντικαταστήσει το 80%-100% του ETc. Για το υπόλοιπο του κύκλου της καλλιέργειας, η άρδευση μειώνεται δραστικά σε μία ή δύο αρδεύσεις μόνο την εβδομάδα ή ακόμα και παρακρατείται (Goldhamer, 1999; Padilla-Díaz et al., 2016). Τόσο το SDI όσο και το RDI έχουν δοκιμαστεί σε διαφορετικούς τύπους ελαιώνων χωρίς σαφή στοιχεία ως προς το ποιος είναι καλύτερος.

2.4 Προγραμματισμός Άρδευσης

Ο σκοπός του προγραμματισμού της άρδευσης είναι να προσδιοριστεί τόσο η συχνότητα της άρδευσης όσο και η ποσότητα του νερού που πρέπει να παρέχεται σε κάθε αρδευτικό γεγονός.

Αυτό μπορεί να γίνει είτε από το νερό του εδάφους είτε από μετεωρολογικές μετρήσεις, από μετρήσεις στο φυτό ή από συνδυασμό αυτών. Η σωστή μέθοδος θα είναι αυτή που επιτρέπει καλύτερα την επίτευξη του στόχου παραγωγής με το χαμηλότερο κόστος σε χρόνο, κόπο και χρήμα.

Οι μετρήσεις του εδαφικού νερού είναι εύκολο να γίνουν και να ερμηνευτούν, αλλά η μεγάλη χωροχρονική μεταβλητότητα που συναντάται συνήθως στα καλλιεργημένα εδάφη περιορίζει τη χρησιμότητά τους για τον προγραμματισμό της άρδευσης. Η προσέγγιση του συντελεστή καλλιέργειας, που βασίζεται σε μετεωρολογικές μετρήσεις, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον προγραμματισμό της άρδευσης σε ελαιώνες (Grattan et al., 2006). Αυτή η μέθοδος απαιτεί αξιόπιστες τιμές συντελεστών που σχετίζονται με την καλλιέργεια και με το κλάσμα του εδάφους. Οι τιμές και των δύο συντελεστών έχουν δημοσιευθεί, αλλά η εμπειρική τους φύση καθιστά επικίνδυνη τη χρήση τους σε οπωρώνες με διαφορετικά χαρακτηριστικά ή σε διαφορετικές τοποθεσίες. Αυτό το θέμα έχει αντιμετωπιστεί από αρκετούς συγγραφείς. Οι Testi et al. (2006) και Orgaz et al. (2006) πρότειναν ένα μοντέλο απαιτήσεων σε νερό ελιάς, το οποίο εκτιμά την διαπνοή των φυτών και την εξάτμιση του εδάφους (E_s) ξεχωριστά και ένας νέος καλλιεργητικός συντελεστής που υπολογίζεται ως το άθροισμα τριών κύριων συστατικών, που σχετίζονται με τη διαπνοή των δέντρων (K_p), την εξάτμιση από ξηρές περιοχές της επιφάνειας του εδάφους (K_{s1}) και την εξάτμιση από τις περιοχές εδάφους που βρέχονται από τις εκροές του νερού (K_{s2}). Μπορεί να προστεθεί ένα τέταρτο συστατικό, το οποίο αντιπροσωπεύει την εξάτμιση του νερού που παρεμποδίζεται από την κόμη (K_{pd}). Το μοντέλο της Testi et al. (2006) λαμβάνει υπόψη τις κύριες συνθήκες του εδάφους, του καιρού και των φυτών, έτσι ώστε να είναι πιο μηχανιστική από την προσέγγιση του συντελεστή καλλιέργειας από τους Allen et al. (1998). Η μέθοδος των Orgaz et al. (2006) έχει σκοπό να βελτιώσει την ακρίβεια της υπολογισμένης ποσότητας άρδευσης. Οι μέσες τιμές IA μπορούν να διορθωθούν εφαρμόζοντας εκ νέου τη μέθοδο στο τέλος του μήνα, αφού γνωρίζουμε την πραγματική βροχόπτωση και τις τιμές ET. Επίσης η προσέγγιση του διπλού

συντελεστή καλλιέργειας είναι μια τροποποιημένη εκδοχή της προσέγγισης του τυπικού συντελεστή καλλιέργειας που επιτρέπει μια πιο ακριβή εκτίμηση της διαπνοής σε καλλιέργειες με μερική κάλυψη του εδάφους. Η προσέγγιση του συντελεστή καλλιέργειας και οι παραλλαγές του είναι σίγουρα ενδιαφέρουσες για τον προγραμματισμό της άρδευσης σε ελαιόκαρπους.

Ωστόσο, τόσο η εμπειρική του φύση όσο και το γεγονός ότι δεν επιτρέπει την εκτίμηση των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας σε πραγματικό χρόνο (οι μετεωρολογικές μεταβλητές πρέπει να καταγράφονται για συγκεκριμένο χρόνο πριν τον υπολογισμό του ET) περιορίζουν τις δυνατότητές του για άρδευση ακριβείας. Επιπρόσθετα οι περιορισμοί των μεθόδων για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης των καλλιεργειών και τις ανάγκες σε νερό από εδαφικές και μετεωρολογικές μετρήσεις έχουν ευνοήσει την ανάπτυξη μεθόδων που βασίζονται σε φυτικές μετρήσεις. Αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι ενσωματώνουν την απόκριση του φυτού στην κατάσταση της υγρασίας τόσο του εδάφους όσο και της γύρω ατμόσφαιρας. Επίσης ορισμένες φυτικές μέθοδοι επιτρέπουν τη συνεχή και αυτόματη εγγραφή και μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν με συστήματα μετάδοσης δεδομένων. Αυτή είναι η περίπτωση μεθόδων που βασίζονται σε μετρήσεις ροής χυμών (SF), διακυμάνσεις διαμέτρου κορμού (TDV) και πίεση στρέψης των φύλλων (LTP) .

Η χρήση μετρήσεων που σχετίζονται με τη μέτρηση ροής χυμών για την παρακολούθηση της καταπόνησης του νερού της ελιάς και για τον προγραμματισμό της άρδευσης σε ελαιόκαρπους διερευνήθηκε. Ο Cuevas et al. (2013) συνδύασε μετρήσεις που σχετίζονται με τη μέτρηση ροής χυμών και τις διακυμάνσεις διαμέτρου κορμών για να βελτιώσουν περαιτέρω τον προγραμματισμό άρδευσης. Οι Rodriguez-Dominguez (2012) συνδύασαν μετρήσεις ροής χυμών και πίεση στρέψης των φύλλων για να κατανοήσουν τις σχέσεις νερού των φύλλων στο είδος. Οι Fernández and Cuevas (2010) επανεξέτασαν τη χρήση μετρήσεων που σχετίζονται με το TDV στην ελιά και σε άλλα είδη και ανέλυσαν την απόδοση διαφορετικών δεικτών υδατικής καταπόνησης που προέρχονται από μετρήσεις που σχετίζονται με το TDV για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης στην ελιά. Οι Egea et.al. (2017a) ανέλυσαν τις οικονομικές πτυχές της υιοθέτησης μεθόδων που βασίζονται σε μετρήσεις που σχετίζονται με SF-, TDV- ή LTP για τον προγραμματισμό της άρδευσης σε ελαιώνες SHD. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να συνδυαστούν

με απομακρυσμένες εικόνες για τον εντοπισμό της μεταβλητότητας των καλλιεργειών εντός του οπωρώνα, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για άρδευση ακριβείας. Αυτό έχει αντιμετωπιστεί για την ελιά από τους Fernández (2014b, 2017) και Egea et. al. (2017).

Υπάρχει επομένως ένας σημαντικός όγκος βιβλιογραφίας σχετικά με τις θεμελιώδεις αρχές και τις δυνατότητες αυτών των μεθόδων τόσο για την εκτίμηση της καταπόνησης του νερού όσο και για τον προγραμματισμό της άρδευσης σε ελαιώνες διαφορετικών τύπων. Επιπλέον, η θεωρία ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει περαιτέρω τον προγραμματισμό άρδευσης από οποιαδήποτε μεταβλητή από το έδαφος, το φυτό ή την ατμόσφαιρα.

2.5 Παγκόσμια Υδατικά Αποθέματα

Η έκδοση του 2018 της Έκθεσης των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) για την Παγκόσμια Ανάπτυξη του Νερού (WWDR) (World Water Assessment Programme, 2018) παρέχει μια ενημέρωση σχετικά με τις τρέχουσες τάσεις της διαθεσιμότητας καθαρού νερού και τις μελλοντικές προσδοκίες. Η ασφάλεια του νερού, η ικανότητα ενός πληθυσμού να διαφυλάξει τη βιώσιμη πρόσβαση σε επαρκείς ποσότητες νερού αποδεκτής ποιότητας, βρίσκεται ήδη σε κίνδυνο για πολλούς και η κατάσταση θα χειροτερέψει τις επόμενες δεκαετίες (Burek, 2016). Η λειψυδρία είναι ένα μείζον ζήτημα στη σημερινή εποχή σε κόσμο των 7,7 δισεκατομμυρίων ανθρώπων. Η πίεση στο σύστημα νερού θα αυξηθεί έως το 2050, όταν ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φτάσει μεταξύ 9,4 και 10,2 δισεκατομμύρια, μια αύξηση 22 έως 34%. Το στέλεχος θα επιδεινωθεί από την άνοση πληθυσμιακή αύξηση σε διάφορες περιοχές που δεν σχετίζονται με τους τοπικούς πόρους. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αύξησης του πληθυσμού αναμένεται στις αναπτυσσόμενες χώρες, πρώτα στην Αφρική και μετά στην Ασία, όπου η έλλειψη καθαρού νερού είναι ήδη μείζον ζήτημα.

Επί του παρόντος, λίγο λιγότερο από το μισό του παγκόσμιου πληθυσμού, 3,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι ή το 47%, ζει σε περιοχές που υποφέρουν από λειψυδρία τουλάχιστον 1 μήνα κάθε χρόνο (World Water Assessment Programme 2018). Σύμφωνα με, (Mekonnen, M. M, 2016) ο αριθμός είναι ακόμη μεγαλύτερος, 4,0 δισεκατομμύρια άνθρωποι ή 52% του παγκόσμιου πληθυσμού. Μέχρι το 2050, περισσότερο από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού (57%) θα ζει σε περιοχές που

υποφέρουν από λειψυδρία τουλάχιστον ένα μήνα κάθε χρόνο (World Water Assessment Programme, 2018). Η πρόβλεψη της ζήτησης νερού, των υδάτινων πόρων και της ποιότητας του νερού κατά εξαρτάται από πολλούς γεωπολιτικούς παράγοντες που είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

2.6 Ζήτηση Νερού έως το 2050

Η αυξανόμενη ζήτηση νερού ακολουθεί την αύξηση του πληθυσμού, την οικονομική ανάπτυξη και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα κατανάλωσης (World Water Assessment Programme 2018). Η παγκόσμια ζήτηση νερού έχει αυξηθεί κατά 600% τα τελευταία 100 χρόνια (Wada, Y 2016). Αυτό αντιστοιχεί σε ετήσιο ρυθμό αύξησης 1,8%. Σύμφωνα με τον FAO (2018) ο σημερινός ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης είναι μικρότερος, μόνο 1%, αλλά το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι αισιόδοξο. Η παγκόσμια ζήτηση νερού θα αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δύο δεκαετίες και στις τρεις συνιστώσες, βιομηχανία, οικιακή και γεωργία (World Water Assessment Programme 2018). Η βιομηχανική και η εγχώρια ζήτηση θα αυξηθεί ταχύτερα από τη γεωργική ζήτηση, αλλά η ζήτηση για τη γεωργία θα παραμείνει η μεγαλύτερη (World Water Assessment Programme 2018). Η αύξηση των μη γεωργικών η ζήτηση θα υπερβεί την αύξηση της γεωργικής ζήτησης (Rosegrant, M. W 2002).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η χρήση νερού για τη γεωργία αντιπροσωπεύει επί του παρόντος το 70% του συνόλου. Τα περισσότερα χρησιμοποιούνται για άρδευση. Οι παγκόσμιες εκτιμήσεις και προβλέψεις είναι αβέβαιες. Η ζήτηση τροφίμων έως το 2050 θα αυξηθεί κατά 60%, (World Water Assessment Programme 2018) και αυτή η αύξηση θα απαιτήσει περισσότερη καλλιεργήσιμη γη και εντατικοποίηση της παραγωγής. Αυτό θα μεταφραστεί σε αυξημένη χρήση νερού (Leadley, P. W 2014). Η παγκόσμια χρήση νερού για τη βιομηχανία αντιπροσωπεύει επί του παρόντος το 20% του συνόλου. Η παραγωγή ενέργειας αντιπροσωπεύει το 75% του συνόλου της βιομηχανίας και η μεταποίηση το υπόλοιπο 25% (WWAP 2014). Η ζήτηση νερού για τη βιομηχανία έως το 2050 θα αυξηθεί παντού σε όλο τον κόσμο, με πιθανές εξαιρέσεις της Βόρειας Αμερικής και της Δυτικής Ευρώπης (Wada, Y.2016). Η ζήτηση νερού για τη βιομηχανία θα προκαλέσει αύξηση κατά 800% στην Αφρική, όπου η σημερινή χρήση της βιομηχανίας είναι αμελητέα. Η ζήτηση νερού για τη βιομηχανία θα αυξηθεί κατά 250% στην Ασία. Η παγκόσμια ζήτηση νερού για τη μεταποίηση θα αυξηθεί κατά 400%.

Η παγκόσμια χρήση νερού για ενέργεια θα αυξηθεί κατά 20% την περίοδο 2010–2035, (Wada, Y 2016) και έως το 2050 θα αυξηθεί κατά 85% (IEA 2012). Η εγχώρια παγκόσμια χρήση νερού αντιπροσωπεύει επί του παρόντος το 10% του συνόλου. Η εγχώρια ζήτηση νερού αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά την περίοδο 2010–2050 σε όλες τις περιοχές του κόσμου εκτός από τη Δυτική Ευρώπη. Η μεγαλύτερη αύξηση, 300%, θα σημειωθεί στην Αφρική και την Ασία. Η αύξηση θα είναι 200% στην Κεντρική και Νότια Αμερική. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στην αύξηση των υπηρεσιών παροχής νερού σε αστικούς οικισμούς (Wada, Y 2016).

Σαφώς, η ζήτηση για νερό έως το 2050 θα αυξηθεί δραματικά, αλλά άνισα, σε όλες τις ηπείρους. Οι ποσοτικές εκτιμήσεις είναι δύσκολο να παρασχεθούν με ακρίβεια. Οι εκτιμήσεις του WWDR δεν αναμένεται να είναι πολύ ακριβείς και πιθανότατα αισιόδοξες.

2.7 Υδατικοί Πόροι έως το 2050

Η ζήτηση νερού δεν μπορεί να υπερβαίνει τη διαθεσιμότητα νερού. Ενώ η ζήτηση νερού αυξάνεται, η διαθεσιμότητα νερού συρρικνώνεται, λόγω της συρρίκνωσης των πόρων και, όπως συζητείται στην επόμενη παράγραφο, της ρύπανσης. Οι διαθέσιμοι πόροι επιφανειακών υδάτων προβλέπεται να παραμείνουν περίπου σταθεροί σε ηπειρωτικό επίπεδο, αν και η ποιότητα θα επιδεινωθεί και η χωρική και χρονική κατανομή θα αλλάξει. Το πιθανότερο είναι ότι οι υδροφόροι θα συρρικνωθούν και η διείσδυση αλατιού στις παράκτιες περιοχές θα είναι πολύ δραματική. Αντίθετα, η αύξηση του πληθυσμού, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) και η ζήτηση νερού θα αυξηθούν παγκοσμίως και άνισα. Οι αλλαγές θα είναι πολύ πιο έντονες σε υποπεριφερειακό επίπεδο από ό,τι σε επίπεδο χώρας και στον παγκόσμιο μέσο όρο (Wada, Y 2016).

Πολλές χώρες αντιμετωπίζουν ήδη συνθήκες λειψυδρίας (IEA 2012). Πολλές ακόμη χώρες θα αντιμετωπίσουν μειωμένη διαθεσιμότητα επιφανειακών υδάτινων πόρων έως το 2050 (Veldkamp et al., 2017). Στις αρχές έως τα μέσα της δεκαετίας του 2010, 1,9 δισεκατομμύρια άνθρωποι, ή το 27% του παγκόσμιου πληθυσμού, ζούσαν σε δυνητικά σοβαρά υδάτινα περιβάλλοντα (Veldkamp et al., 2017). Αυτός ο αριθμός θα αυξηθεί από 33 σε 58% σε 4,8 με 5,7 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050 . Περίπου το 73% των

ανθρώπων που πλήττονται από τη λειψυδρία ζουν επί του παρόντος στην Ασία (World Water Assessment Programme 2018).

Στη δεκαετία του 2010, η χρήση των υπόγειων υδάτων ανερχόταν παγκοσμίως σε 800 km³ ετησίως. Η Ινδία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα, το Ιράν και το Πακιστάν αντιπροσώπευαν το 67% των παγκόσμιων εξορύξεων. Οι αντλήσεις νερού για άρδευση είναι η κύρια κινητήρια δύναμη της εξάντλησης των υπόγειων υδάτων παγκοσμίως. Η αύξηση της εξόρυξης υπόγειων υδάτων έως το 2050 θα είναι 1.100 km³ ετησίως (Wada, Y. 2016).

Περισσότερο από το 30% των μεγαλύτερων συστημάτων υπόγειων υδάτων στον κόσμο βρίσκονται τώρα σε κίνδυνο. Οι μεγαλύτερες λεκάνες υπόγειων υδάτων εξαντλούνται γρήγορα. Σε πολλά μέρη, δεν υπάρχει ακριβής γνώση για το πόσο νερό παραμένει σε αυτές τις λεκάνες (Scanlon, B. R. 2016, Richey, A. S 2015). Οι άνθρωποι καταναλώνουν τα υπόγεια ύδατα γρήγορα χωρίς να γνωρίζουν πότε θα εξαντληθούν (Richey, A. S 2016). Σύμφωνα με, (Ferguson, G., 2018) η παγκόσμια παροχή γλυκού νερού μπορεί να είναι πολύ πιο περιορισμένο από ό,τι πιστεύεται επειδή θεωρήθηκε απεριόριστα υπόγεια ύδατα. Προκλήσεις πιο σοβαρές από τις παγκόσμιες αναμένονται σε περιφερειακή και τοπική κλίμακα (Richey, A. S, 2015).

Οι παράκτιες ζώνες έχουν ιδιαίτερα προβλήματα. Είναι πιο πυκνοκατοικημένα από την ενδοχώρα και παρουσιάζουν υψηλότερους ρυθμούς πληθυσμιακής αύξησης και αστικοποίησης. Η απόσυρση νερού προκαλεί ήδη σημαντική καθίζηση, η οποία σε συνδυασμό με τη θερμοστατική άνοδο της στάθμης της θάλασσας, μεταφράζεται σε σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές και αλάτωση των υδροφόρων (Werner, A 2009, Ferguson, G 2012, Adepelumi, A. 2009, Lee, C. H 1974). Καταβύθιση που προκαλείται από την απόσυρση νερού αναφέρεται σε πολλές παράκτιες περιοχές του κόσμου, από τη Βόρεια Αμερική, (Galloway, D. L 1999, Davis, G. H 1987, Holzer, T. L 2005) έως την Ανατολική Ασία, (Xue, Y. Q 2005, Wang, H 2012, Erban, L. E, 2014, Minderhoud, P. S. J 2017, Phi, T. H 2015). Οι ρυθμοί αύξησης του πληθυσμού και η αστικοποίηση στις παράκτιες περιοχές αναμένεται να αυξηθούν περαιτέρω στο μέλλον (Neumann, B 2015, Creel, L. 2003). Η σχετική άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω καθίζησης θα μειώσει επίσης τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις κατά μήκος της ακτής και εντός των εκβολών των ποταμών (Erban, L. E., 2014, Minderhoud, P. S. J., 2017) και θα αναδιαμορφώσει τις παράκτιες

περιοχές. Ειδικά οι παράκτιες περιοχές, που φιλοξενούν ένα μεγάλο και αυξανόμενο μερίδιο του παγκόσμιου πληθυσμού, υφίστανται περιβαλλοντική πτώση (Creel, L.2003) επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα νερού. Οι παραμελημένες δραματικές αλλαγές των παράκτιων περιοχών, λόγω της σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας από την καθίζηση, επηρεάζουν άμεσα και έμμεσα τη διαθεσιμότητα του νερού.

Εκτός από την ανακάλυψη νέων υδροφόρων, η αφαλάτωση είναι το πιο αποτελεσματικό μέτρο για την αύξηση των υδάτινων πόρων. Ωστόσο, είναι ακριβό και απαιτεί σημαντικές εισροές ενέργειας. Επί του παρόντος, περίπου το 1% του παγκόσμιου πληθυσμού που ζει σε παράκτιες περιοχές εξαρτάται από την αφαλάτωση. Η πρόοδος της αφαλάτωσης έως το 2050 είναι δύσκολο να προβλεφθεί, ανάλογα με τα οικονομικά και ενεργειακά ζητήματα.

2.8 Ποιότητα Νερού έως το 2050

Το πρόβλημα της ρύπανσης των υδάτων είναι ένα αδύναμο μέρος του WWDR. Η ρύπανση γίνεται χειρότερη, ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες, αλλά φαίνεται να αναφέρεται ανεπαρκώς. Η ρύπανση του νερού συσχετίζεται με την πυκνότητα του πληθυσμού και την οικονομική ανάπτυξη. Επί του παρόντος, το 12% του παγκόσμιου πληθυσμού πίνει νερό από μη βελτιωμένες και μη ασφαλείς πηγές. Περισσότερο από το 30% του παγκόσμιου πληθυσμού, ή 2,4 δισεκατομμύρια άνθρωποι, ζουν χωρίς καμία μορφή υγιεινής (Unicef, W. H. O 2015). Η έλλειψη υγιεινής συμβάλλει στη ρύπανση των υδάτων. Το 90% των λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες απορρίπτεται στο νερό χωρίς επεξεργασία (World Health Organization 2015). Κάθε χρόνο 730 εκατομμύρια τόνοι λυμάτων και άλλα λύματα απορρίπτονται στο νερό (Connor, R. 2017). Η βιομηχανία απορρίπτει 300 έως 400 μεγατόνους απορριμμάτων στο νερό κάθε χρόνο.

Η ρύπανση από τη γεωργία και τις αστικές περιοχές και η ρύπανση από σημειακές πηγές της βιομηχανίας συμβάλλουν στο ρυπογόνο φορτίο. Περισσότερο από το 30% της παγκόσμιας βιοποικιλότητας έχει χαθεί λόγω της υποβάθμισης των οικοσυστημάτων γλυκού νερού λόγω της ρύπανσης των υδάτινων πόρων και των υδάτινων οικοσυστημάτων (United Nations 2015). Η ανακύκλωση των λυμάτων στη γεωργία, που είναι σημαντική για τα προς το ζην, εγκυμονεί επίσης σοβαρούς

κινδύνους για την υγεία. Τις τελευταίες 3 δεκαετίες, η ρύπανση των υδάτων έχει επιδεινωθεί, επηρεάζοντας σχεδόν κάθε ποτάμι στην Αφρική, την Ασία και τη Λατινική Αμερική (UNEP 2016).

Η ρύπανση των υδάτων θα ενταθεί τις επόμενες δεκαετίες και θα γίνει σοβαρή απειλή για την αειφόρο ανάπτυξη (Veolia/IFPRI 2016). Επί του παρόντος, το 80% των βιομηχανικών και αστικών λυμάτων απελευθερώνεται χωρίς επεξεργασία (Sebastian, F. P 1974). Τα απόβλητα από τα λύματα αναμένεται να αυξηθούν λόγω της ταχείας αστικοποίησης και του υψηλού κόστους των λυμάτων για να γίνει επεξεργασία (European Environment Agency 2015). Η φόρτωση θρεπτικών ουσιών είναι η πιο επικίνδυνη απειλή για την ποιότητα του νερού, η οποία συχνά συνδέεται με τη φόρτωση παθογόνων οργανισμών (Rockström, J.2009). Η παγκόσμια χρήση λιπασμάτων προβλέπεται να αυξηθεί από περίπου 90 εκατομμύρια τόνους το 2000 σε περισσότερους από 150 εκατομμύρια τόνους έως το 2050 (Kray, H. A 2012). Η εντατική παραγωγή βιοκαυσίμων θα οδηγήσει σε υψηλή κατανάλωση αζωτούχων λιπασμάτων (Winiwarter, W 2013). Τα απόβλητα αζώτου και φωσφόρου θα αυξηθούν έως το 2050 αντίστοιχα (OECD 2012). Άλλες χημικές ουσίες επηρεάζουν επίσης την ποιότητα του νερού. Οι παγκόσμιες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τη γεωργία ανέρχονται σήμερα σε 2 εκατομμύρια τόνους ετησίως, με ζιζανιοκτόνα 47,5%, εντομοκτόνα 29,5%, μυκητοκτόνα 17,5% και άλλες χημικές ουσίες 5,5% (De, A., 2014).

Ο κατάλογος των προσμείξεων που προκαλούν ανησυχία αυξάνεται, καθώς χρησιμοποιούνται νέοι ή ποικίλοι μολυσματικοί παράγοντες, οι οποίοι συχνά ανιχνεύονται ξαφνικά σε συγκεντρώσεις πολύ υψηλότερες από τις αναμενόμενες (Sauvé, S 2014). Οι νέοι ρυπαντές περιλαμβάνουν φαρμακευτικά προϊόντα, ορμόνες, βιομηχανικές χημικές ουσίες, προϊόντα προσωπικής φροντίδας, επιβραδυντικά φλόγας, απορρυπαντικά, υπερφθοριούχες ενώσεις, καφεΐνη, αρώματα, κυανοτοξίνες, νανοϋλικά και καθαριστικά (Sauvé, S 2014). Η έκθεση σε ρύπους θα αυξηθεί δραματικά σε χώρες χαμηλού εισοδήματος και χαμηλότερου μεσαίου εισοδήματος. Η ρύπανση θα οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού και της οικονομικής ανάπτυξης σε αυτές τις χώρες και στην έλλειψη της επεξεργασίας των λυμάτων. Η ρύπανση θα είναι ιδιαίτερα έντονη στην Αφρική (UNEP 2016).

Εν συντομία, η ζήτηση για νερό θα αυξηθεί μέχρι το 2050 αλλά η διαθεσιμότητα νερού θα μειωθεί. Οι υδατικοί πόροι θα μειωθούν. Η ρύπανση θα μειώσει περαιτέρω την ποσότητα του καθαρού γλυκού νερού. Αυτή η πτυχή συνυπολογίζεται οριακά στο WWDR (World Water Assessment Programme 2018).

3.ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΩΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

3.1 Η Χρήση (επεξεργασμένων) Οικιακών Λυμάτων για Άρδευση

Η άρδευση με επεξεργασμένα, κακώς επεξεργασμένα, αραιωμένα, ακόμη και ακατέργαστα οικιακά λύματα είναι μια ευρέως διαδεδομένη πρακτική στις αστικές και περιαστικές περιοχές στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Σε ορισμένες περιοχές, λόγω της ξηρασίας και της οξείας λειψυδρίας, η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων γίνεται γρήγορα λόγω αναγκαιότητας. Η λειψυδρία δεν είναι η μόνη κινητήρια δύναμη αυτής της πρακτικής.

Η ανάκτηση θρεπτικών συστατικών, η αξιοπιστία της πηγής νερού και η εγγύτητα με (περι)αστικούς αγρότες, η συμβολή στην διατροφική ασφάλεια και του νερού, η βελτίωση των μέσων διαβίωσης των φτωχών αγροτών και μια σειρά περιβαλλοντικών πτυχών είναι επίσης σημαντικά κίνητρα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού (Van der Bruggen B 2010). Η επαναχρησιμοποίηση του νερού μπορεί επίσης να βοηθήσει στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, στις αποδόσεις των καλλιεργειών και στη μείωση των υδάτινων πόρων. Η άρδευση τοπίου, η αναπλήρωση υπόγειων υδάτων και οι βιομηχανικές εφαρμογές, μεταξύ άλλων δραστηριοτήτων, εκτελούνται επίσης με επεξεργασμένα λύματα.

Έχουν εντοπιστεί διαφορετικοί τύποι επαναχρησιμοποίησης νερού. Η ταξινόμηση ορίζει την άρδευση των λυμάτων ως: i) άμεση, στην οποία τα λύματα χρησιμοποιούνται ως έχουν στον τομέα ή ii) έμμεσα, στα οποία τα λύματα απορρίπτονται πρώτα σε ένα υδάτινο σώμα από το οποίο αργότερα λαμβάνεται νερό για άρδευση. Η άρδευση των λυμάτων μπορεί επίσης να είναι προγραμματισμένη ή μη προγραμματισμένη, που αναφέρεται επίσης ως επίσημη ή άτυπη, ανάλογα με τη διαθέσιμη αρδευτική υποδομή, τον βαθμό κοινωνικής αποδοχής και το επίπεδο ελέγχου από τις κρατικές υπηρεσίες (Huibers FP 2005). Όροι όπως «ανακυκλωμένα» ή «ανακτημένα» λύματα αναφέρονται συνήθως σε πλήρως ή μερικώς επεξεργασμένα λύματα (όχι σε ακατέργαστα λύματα).

Οι όροι «οικιακά λύματα» και «λύματα» θα χρησιμοποιηθούν ως συνώνυμοι σε αυτή την εργασία. Τα λύματα από νοικοκυριά και κτίρια που συνδέονται με συστήματα

αποχέτευσης είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στα οικιακά λύματα, αλλά οι ακατέργαστες ή επεξεργασμένες απορρίψεις από βιομηχανίες και αστική απορροή μπορούν επίσης να έχουν σημαντική και συνήθως μη καθορισμένη συνεισφορά. Τα αστικά ύδατα διασφαλίζουν τη συνεχή διαθεσιμότητα λυμάτων, καθώς το κλάσμα του μη συλλεγόμενου νερού οικιακής χρήσης και οικιακής χρήσης είναι μόνο 15 έως 25% και το υπόλοιπο επιστρέφει στα αστικά συστήματα ύδρευσης. Υπάρχουν πολλές τεχνολογικές επιλογές για την επεξεργασία λυμάτων, που κυμαίνονται από παραδοσιακές λίμνες σταθεροποίησης αποβλήτων (WSP) και συμβατικά αερόβια συστήματα (όπως φίλτρα με ροή ή ενεργοποιημένη λάσπη) και άλλα, πιο πολύπλοκα ολοκληρωμένα συστήματα.

Δεδομένου ότι σχεδόν το 70% όλων των οικιακών λυμάτων που παράγονται παγκοσμίως απελευθερώνεται χωρίς επεξεργασία στο περιβάλλον, εκ των οποίων περίπου το 90% στις αναπτυσσόμενες χώρες, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι περισσότερες δραστηριότητες άμεσης επαναχρησιμοποίησης εκτελούνται με ακατέργαστα λύματα. Αυτό είναι κρίσιμο για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας της επαναχρησιμοποίησης του νερού, καθώς ο ρυθμός ροής και η σύνθεση των λυμάτων διαφέρουν από τόπο σε τόπο σε σχέση με τη διαθεσιμότητα. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού εξαρτάται επίσης από οικονομικές πτυχές, κοινωνική συμπεριφορά, τοπικές βιομηχανίες, κλιματικές συνθήκες και κατανάλωση νερού, μεταξύ άλλων παραγόντων. Οι κύριοι ρύποι στα λύματα είναι: (α) αιωρούμενα στερεά, (β) διαλυτές οργανικές ενώσεις, (γ) οργανικά θρεπτικά συστατικά και (δ) παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι τύποι των παθογόνων παραγόντων, για παράδειγμα, διαφέρουν σημαντικά στις βιομηχανικές και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Το ίδιο θα μπορούσε να ειπωθεί για τη συγκέντρωση μιας ποικιλίας χημικών ουσιών όπως βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία, απορρυπαντικά, διαλύτες, φυτοφάρμακα και άλλες ενώσεις όπως φαρμακευτικά προϊόντα, αντιβιοτικά και ορμόνες, που μπορεί να κάνουν τα λύματα ακατάλληλα για άρδευση. Τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων επιλέγονται συνήθως με βάση τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, όπως η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης συγκεκριμένων ρύπων, το κόστος κατασκευής, αλλά σπάνια με βάση την καταλληλότητά τους για πιθανή επαναχρησιμοποίηση. Ωστόσο, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση επηρεάζουν ολόκληρη την «αλυσίδα νερού», από την προμήθεια έως την τελική διάθεση. Επομένως, αυτές οι πρακτικές θα επηρεάσουν αναγκαστικά τον τρόπο που σχεδιάζουμε, κατασκευάζουμε και λειτουργούμε τις υποδομές ύδρευσης και

αποχέτευσης. Θα επιβάλουν επίσης νέες προκλήσεις στους υπάρχοντες θεσμούς, τις κυβερνητικές πολιτικές και τους τρέχοντες τρόπους διακυβέρνησης των υδάτων. Για να αντιμετωπίσουν αυτήν την κατάσταση, οι περισσότεροι φορείς διαχείρισης ύδρευσης άρδευσης πρέπει να προσαρμόσουν και να ενσωματώσουν νέες έννοιες διαχείρισης. Μεταξύ αυτών των εννοιών, θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε μια ποικιλία εναλλακτικών επιλογών μη επεξεργασίας που θα μπορούσαν να αποτελούν μέρος των προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης του νερού, εφόσον οι κίνδυνοι αξιολογούνται και αντιμετωπίζονται κατάλληλα.

3.2 Οφέλη και Κίνδυνοι από την Άρδευση Λυμάτων

Τα κύρια πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης οικιακού νερού είναι: (α) παροχή θρεπτικών ουσιών, (β) αξιοπιστία στην παροχή νερού, γ) συνεισφορά στον αστικό εφοδιασμό τροφίμων, (δ) δημιουργία εισοδήματος και (ε) βιοποριστική συντήρηση. Αυτές οι πτυχές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τους αγρότες μικρής κλίμακας που μπορούν να αποκτήσουν ενισχυμένη ασφάλεια νερού και τροφίμων χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένα ή ακόμα και ακατέργαστα λύματα για άρδευση (FAO 2013). Από περιβαλλοντική άποψη, η χρήση μιας νέας πηγής νερού άρδευσης θα επηρεάσει θετικά το συνολικό υδατικό ισοζύγιο και θα μειώσει ελαφρώς το υδάτινο «αποτύπωμα» της γεωργίας, αν και ο αντίκτυπος είναι απλώς κοντά σε αστικές περιοχές. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού μπορεί επίσης να συμβάλει στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας μέσω της άρδευσης ενεργειακών καλλιεργειών. Η χρήση των ανακτημένων λυμάτων λέγεται επίσης ότι ανταγωνίζεται καλά το αφαλατωμένο νερό σε χώρες όπως η Σαουδική Αραβία (Al-A'ama MS, 1995) και με το κόστος μεταφοράς γλυκού νερού για οικιακούς σκοπούς από απομακρυσμένες τοποθεσίες στη Ναμίμπια.

Πέρα από ορισμένα από τα άυλα οφέλη που μπορεί να είναι δύσκολο να αξιολογηθούν, η επαναχρησιμοποίηση του νερού μπορεί επίσης να αποφέρει οικονομικά κέρδη. Από την άλλη πλευρά, τα κοινά αναφερόμενα μειονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης του νερού είναι κυρίως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι κίνδυνοι για την υγεία. Αυτά τα μειονεκτήματα συνδέονται κυρίως με την ανεξέλεγκτη χρήση λυμάτων που προάγει την εξάπλωση παθογόνων παραγόντων, χημικών ουσιών και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών που σχετίζονται με τα περιττώματα. Οι αρνητικές επιπτώσεις που αναφέρονται συχνά στα εδάφη είναι η αλάτωση, η νατρίωση

και η συσσώρευση βαρέων μετάλλων και διαφόρων άγνωστων ενώσεων που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη γεωργική παραγωγή μακροπρόθεσμα. Ορισμένες μελέτες εξετάζουν την επίδραση που μπορεί να έχει η άρδευση των λυμάτων στη μικροβιακή κοινότητα του εδάφους.

Τα λύματα περιέχουν μια ποικιλία διαφορετικών οργανισμών που μπορούν να επιβιώσουν στην επεξεργασία λυμάτων συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, πρωτόζωων, ελμίνθους, η συγκέντρωση των οποίων ποικίλλει ανάλογα, μεταξύ άλλων παραγόντων, από την υγειονομική κατάσταση του πληθυσμού. Οι οδοί έκθεσης είναι ως επί το πλείστον επαφή με τα λύματα (αγρότες, εργαζόμενοι στον αγρό και κοντινές κοινότητες) και η κατανάλωση προϊόντων που καλλιεργούνται στα λύματα, όπως καλλιέργειες, κρέας και γάλα (γενικοί καταναλωτές). Οι περισσότεροι παθογόνοι οργανισμοί είναι ικανοί να παραμείνουν στο περιβάλλον (στα λύματα, στις καλλιέργειες ή στο έδαφος) αρκετό καιρό ώστε να μεταδοθούν στον άνθρωπο. Οι περίοδοι επιβίωσης ποικίλλουν από μερικές ημέρες έως ένα έτος για τα εξαιρετικά ανθεκτικά αυγά ελμινθών. Γι' αυτό οι ελμινθιάσεις (προσβολή από παρασιτικά σκουλήκια) αναγνωρίζονται ως ο μεγαλύτερος κίνδυνος για την υγεία από τη χρήση λυμάτων για άρδευση. Η πιο κοινή ελμινθίαση είναι η ασκαρίαση, η οποία είναι ενδημική στη Λατινική Αμερική, την Αφρική και την Άπω Ανατολή (Vander Bruggen B 2010). Άλλες ασθένειες που σχετίζονται με τη χρήση λυμάτων περιλαμβάνουν τη χολέρα, τον τυφοειδή πυρετό, τη σιγκέλλωση, τα γαστρικά έλκη, τη γιαρδιάση, την αμβίαση και τα δερματικά προβλήματα. Αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία από τη χρήση ακατέργαστων ή ελλιπώς επεξεργασμένων λυμάτων έχουν τεκμηριωθεί σε πολλές μελέτες (Shuval HI 1990). Οι βιολογικοί κίνδυνοι για την υγεία έχουν μάλλον άμεσο αποτέλεσμα, ενώ οι χημικοί κίνδυνοι μεταφράζονται σε χρονική καθυστέρηση ασθενειών, όπως χρόνιες τοξικές επιδράσεις ή διαφορετικοί τύποι καρκίνου. Δευτερεύοντες κίνδυνοι μπορεί επίσης να προκύψουν από τη δημιουργία οικοτόπων που διευκολύνουν την επιβίωση και την αναπαραγωγή των φορέων και την επακόλουθη αύξηση της μετάδοσης ασθενειών που μεταδίδονται από φορείς σε αρδευόμενες περιοχές.

Από τη δημοσίευση των κατευθυντήριων γραμμών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για τη μικροβιολογική ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων που χρησιμοποιούνται στη γεωργία (WHO 1989), οι κίνδυνοι για την υγεία έχουν

διερευνηθεί μέσω επιδημιολογικών μελετών αλλά και με την εφαρμογή της ποσοτικής ανάλυσης μικροβιακού κινδύνου (QMRA).

Η τελευταία προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον προσδιορισμό των κινδύνων για την υγεία σχετίζεται με την επαναχρησιμοποίηση του νερού σε ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες υπό διαφορετικά σενάρια, συμπεριλαμβανομένης της απεριόριστης και περιορισμένης άρδευσης των καλλιεργειών. Η παρουσία ενδοκρινικών διαταρακτών και φαρμακευτικών προϊόντων στα λύματα είναι επίσης μια αναδυόμενη ανησυχία, παρά το γεγονός ότι η εκτίμηση κινδύνου είναι δύσκολη για αυτές τις ενώσεις. Ο Shuval (1991) τόνισε τον πιθανό κίνδυνο για μολυσματικές ασθένειες σε ζώα που βόσκουν βοσκοτόπια που αρδεύονται με λύματα. Ωστόσο, έχει επίσης αναφερθεί ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, ζώα εκτίθενται σε υψηλά φορτία παθογόνων σε λύματα που αρδεύονται σε κτηνοτροφικές καλλιέργειες και δεν παρουσιάζουν συμπτώματα μόλυνσης.

Συνολικά, φαίνεται ξεκάθαρο ότι τα οφέλη και οι κίνδυνοι της άρδευσης των υγρών αποβλήτων πρέπει να αξιολογούνται σε συγκεκριμένη βάση, δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά των λυμάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες, όπως επίσης και η ευπάθεια τόσο του περιβάλλοντος όσο και του κοινωνία στην οποία εφαρμόζεται η επαναχρησιμοποίηση του νερού. Αυτό είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην περίπτωση των κινδύνων για την υγεία, οι οποίοι δεν πρέπει να εξετάζονται μεμονωμένα αλλά να αντιμετωπίζονται στο γενικό πλαίσιο της ύδρευσης και της αποχέτευσης.

4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

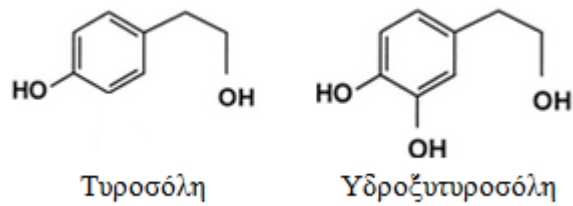
4.1 Φαινολικές Ουσίες.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι κύριες σημαντικές κατηγορίες φαινολικών στα φύλλα της ελιάς περιλαμβάνουν φαινολικές αλκοόλες, φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, παράγωγα υδροξυκιναμωμικού οξέος και λιγνάνη (Petridis et.al., 2012). Μελέτες έχουν διερευνήσει την παρουσία μεγάλου αριθμού φαινολικών ενώσεων στα φύλλα της ελιάς, ιδιαίτερα: υδροξυτυροσόλη, τυροσόλη, π-υδροξυβενζοϊκό οξύ, λουτεολίνη 7-O-ρουτινοσίδη, λουτεολίνη 7-O-γλυκοσίδη, απιγενίνη 7-O-γλυκοζίτη, κατεχίνη, απιγενίνη, βερμπασκοσίδη, ελαιοροσινόλη. Οι φαινολικές ενώσεις έχουν σημαντική μορφολογική και φυσιολογική σημασία για τα φυτά, καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και την αντοχή τους σε αβιοτικούς παράγοντες (Talhoui et.al., 2015).

Τα πιο σημαντικά φαινολικά παράγωγα είναι η ελαιοευρωπαϊνή και η υδροξυτυροσόλη. Η δεύτερη κιάλας αποτελεί ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ελιάς. Στο συνολικό εκχύλισμα των φύλλων της ελιάς, προσδίδει μεγάλη αντιοξειδωτική ικανότητα εξαιτίας των δύο αυτών συστατικών.

Φαινολικά οξέα: αναφέρονται οι φαινόλες που έχουν ένα καρβοξύλιο. Ο ρόλος τους αναφέρεται κυρίως στις λειτουργίες διαδικασίες του φυτού κυρίως στη φωτοσύνθεση και τη θρέψη. Η συγκέντρωσή τους στο φυτό διαφέρει ανάλογα τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Τα φαινολικά οξέα βρίσκονται σε μορφή εστέρων, αιθέρων ή γλυκοσίδων. Τα πιο διαδεδομένα είναι το γαλλικό, συριγγικό οξύ, βανιλλικό οξύ, βανιλίνη και π-υδροξυβενζοϊκό οξύ.

Φαινολικές αλκοόλες: αποτελούνται από μια ομάδα υδροξυλίου, σ' αυτή ανήκουν η υδροξυτυροσόλη και η τυροσόλη, οι οποίες συναντάται κυρίως στα φύλλα της ελιάς και τον καρπό. Η πρώτη είναι υπεύθυνη κυρίως για τη γεύση και το άρωμα.



Φλαβονοειδή: Αποτελούν χρωστικές όπου απεικονίζουν δύο αρωματικούς δακτυλίους συνδεδεμένους με ένα ετεροκυκλικό πυρηνικό δακτύλιο διαφορετικού βαθμού οξείδωσης. Διαιρούνται σε υποομάδες όπως ανθοκυανίνες, φλαβόνες, προανθοκυανίνες, ισοφλαβονοειδή. Τα πιο συχνά που συναντώνται στα φύλλα της ελιάς είναι ρουτίνη, 7-O ,4'-O γλυκοζίτες λουτεολίνης.

Έχει προταθεί ότι η συσσώρευση φαινολικών ενώσεων αποτελεί ένα προσαρμοστικό μηχανισμό στην ελιά έναντι στην έλλειψη νερού. Οι επιδράσεις των συνθηκών στρες της ξηρασίας των φύλλων μειώνουν τη διαθεσιμότητα CO₂ που προκαλείται από περιορισμό διάχυσης μέσω της μεσοφυλλικής και των στοματίων. Με αποτέλεσμα την μείωση αλυσίδα φωτοσυνθετικών ηλεκτρονίων, όπου είναι και η κύρια πηγή αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS) υπό περιβαλλοντικές πιέσεις. Ωστόσο τα ROS επιφέρουν αρνητικά αποτελέσματα σχετικά με το μεταβολισμό των φυτών προκαλώντας οξειδωτική βλάβη. Οι φαινολικές ενώσεις είναι πολύ δραστικές εξαιτίας του όξινου χαρακτήρα των υδροξυλικών ομάδων και απενεργοποιούν τις ελεύθερες λιπιδιακές ρίζες, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δέσμευση οξυγόνου, μετάλλων, ελεύθερων ριζών που οδηγούν σε γήρανση των φύλλων.

4.2 Προλίνη

Η ελιά καλλιεργείται σε πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο, από εύκρατα έως υποτροπικά κλίματα. Η ελιά είναι ένα είδος που είναι καλά προσαρμοσμένο σε ημίξηρες περιοχές του μεσογειακού κλίματος και παραδοσιακά καλλιεργείται σε συνθήκες ξηρασίας. Στις περισσότερες μεσογειακές παράκτιες περιοχές με υψηλές φυτείες ελιάς, η αυξημένη ανάγκη για καλής ποιότητας νερό για αστική χρήση περιορίζει τη χρήση γλυκού νερού για άρδευση.

Από την άλλη πλευρά, σε αυτές τις περιοχές είναι διαθέσιμες μεγάλες ποσότητες νερού χαμηλής ποιότητας (κυρίως αλατούχου), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση της ελιάς (Χαρτζουλάκης, 2005). Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν μέτρια αλατοποιημένες εκτάσεις για ελαιόδεντρα, είναι απαραίτητο να βρεθεί μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη βελτίωση της ανοχής των καλλιεργειών στην καταπόνηση της αλατότητας.

Οι αποκρίσεις των φυτών στην καταπόνηση από αλατότητα κυμαίνονται από επιβράδυνση της ανάπτυξης και επιταχυνόμενη γήρανση των φύλλων, υπό μέτρια πίεση, έως μόνιμο μαρασμό των βλαστών με επακόλουθο θάνατο των φυτών, υπό ακραίες συνθήκες καταπόνησης αλατιού. Η έκθεση σε στρες αλατιού θα είχε ως αποτέλεσμα ένα ευρύ φάσμα φυσιολογικών αλλαγών στα φυτά. Μεταξύ αυτών, η συσσώρευση διαλυμένων ουσιών χαμηλού μοριακού βάρους όπως η προλίνη (Pro) και οι βεταΐνες που συνήθως τις αναφέρουν ως συμβατές διαλυμένες ουσίες.

Η συσσώρευση προλίνης στο φύλλο είναι μια από τις πιο σημαντικές προσαρμογές των φυτών σε συνθήκες στρες. Η προλίνη λειτουργεί ως ωσμοπροστατευτικό και ως αποθηκευτική ένωση για μειωμένο άνθρακα και άζωτο στην περίπτωση συνθηκών καταπόνησης. Μπορεί να λειτουργήσει ως υπόστρωμα για την αναπνοή, η οποία μπορεί να παρέχει ενέργεια που απαιτείται για την αποκατάσταση από το στρες. Επίσης, μπορεί να αυξήσει την ικανότητα του φυτού να επιβιώσει κάτω από διαταραγμένες συνθήκες ισορροπίας νερού, να λειτουργήσει ως αντιοξειδωτικό για τη ρύθμιση των οξειδοαναγωγικών δυνατοτήτων (Serraj and Sinclair, 2002). Η συσσώρευση προλίνης έχει αποδειχθεί ότι είναι μια όψιμη προσαρμοστική απόκριση στους φυτικούς ιστούς υπό στρες αλατότητας. Η συσσώρευση της προλίνης στο φύλλο βοηθά το φυτό να αντιμετωπίσει τις συνθήκες αβιοτικού στρες. Η συγκέντρωση προλίνης είναι γενικά υψηλότερη σε φυτά ανθεκτικά στην αλατότητα. Η συσσώρευση της προλίνης και άλλων ωσμολυτών μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών και της κυτταρικής λειτουργίας υπό συνθήκες αβιοτικού στρες. Σε πολλά είδη φυτών υπό διάφορες αβιοτικές καταπονήσεις, η συγκέντρωση της προλίνης μπορεί να αυξηθεί έως και το 80% της δεξαμενής αμινοξέων.

B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του πειράματος ήταν η αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για την άρδευση δενδρυλλίων ποικιλίας ‘Κονσερβολιά Άρτας’. Για την αξιολόγηση αυτή, έγινε εκτίμηση της επίδρασης της άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα στη φυσιολογική κατάσταση των δενδρυλλίων ελιάς μέσω του προσδιορισμού της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών και της προλίνης στα φύλλα τους.

5.2 Υλικά και μέθοδοι

5.2.1 Φυτικό υλικό

Το φυτικό πειραματικό υλικό ήταν νεαρά δενδρύλλια ποικιλίας Κονσερβολιά Άρτας (*Olea europaea* L.). Τα δενδρύλλια ήταν μονόκλωνα, είχαν ένα μέσο ύψος περίπου 70 cm και ήταν εμβολιασμένα σε υποκείμενο από σπορόφυτο αγριελιάς.

Συνολικά λήφθηκαν 53 δείγματα φύλλων εκ των οποίων τα 24 δείγματα για τον προσδιορισμό των φαινολικών ουσιών (με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu) και τα υπόλοιπα 29 για τον προσδιορισμό της προλίνης.

5.2.2 Μεταχειρίσεις

Μετά την εγκατάστασή τους στο θερμοκήπιο τα φυτά δέχθηκαν τις ακόλουθες μεταχειρίσεις:

1. Άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα.
2. Άρδευση με νερό δικτύου.

Το πείραμα διήρκησε περίπου 5 μήνες από τέλη Μαΐου έως αρχές Νοεμβρίου και από κάθε δέντρο πήραμε αρκετά φύλλα για επαναλήψεις.

5.3 Μέτρηση ολικών φαινολικών ουσιών στους φυτικούς ιστούς

Αρχικά τα φύλλα ελιάς που συλλέχθηκαν από τα δενδρύλλια, αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 50° βαθμούς για 3-4 ημέρες για ξήρανση. Στη συνέχεια, τα φύλλα εκχυλίστηκαν με διάλυμα αιθανόλης 80%. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 3000 στροφές για 15 λεπτά. Από κάθε δείγμα λαμβάνεται με μια πιπέτα 250μL και μετακινείται σε καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα, όπου εκεί προστίθενται 9,750ml απιονισμένου νερού. Από το διάλυμα που δημιουργήθηκε συλλέγεται 1mL και τοποθετείται σε καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα, όπου και προστίθενται 0,5 ml αντιδραστηρίου Folin Ciocalteu 2N, 4,5 mL απιονισμένου νερού και στη συνέχεια αφήνονται για 3-5 λεπτά με σκοπό να προστεθούν ακόμη 4mL ανθρακικού νατρίου 7,5% βάρος κατά όγκο και το διάλυμα να παραμείνει σε ήρεμη κατάσταση.

Κατά τη διάρκεια παρασκευής όλων αυτών των διαλυμάτων απαραίτητη κρίνεται η παρασκευή ενός τυφλού διαλύματος αραιώνοντας 250 μL του διαλύτη εκχύλισης σε 10mL απιονισμένο νερό. Ακολούθως από το διάλυμα αυτό λαμβάνεται 1mL μεταφέρεται σε καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα όπου προστίθενται με την ίδια σειρά όπως τα δείγματα, 0,5 ml αντιδραστηρίου Folin Ciocalteu 2N, 4,5ml απιονισμένου νερού και 4ml ανθρακικού νατρίου 7,5% βάρος κατά όγκο. Τα άγνωστα διαλύματα μαζί με το τυφλό, καθώς και τα πρότυπα διαλύματα τοποθετούνται σε υδατόλουτρο στους 40 βαθμούς για 20 λεπτά και αφήνονται στο σκοτάδι για 30 λεπτά ώσπου αλλάξουν χρώμα σε ελαφρύ μπλε.

Για την ποσοτικοποίηση των δειγμάτων παρασκευάζεται καμπύλη αναφοράς με πρότυπα διαλύματα γαλλικού οξέος σε υδατοαιθανολικό μίγμα 80:20 αιθανόλη:νερό, συγκέντρωσης 20-200 ppm με γραμμική εξίσωση $y=0,0026x+0,0606$, $R^2=0,9786$. Τα πρότυπα συγκέντρωσης 20-200 ppm παρασκευάζονται με αραιώση αντίστοιχων όγκων λαμβανόμενων από πυκνό υδατοαιθανολικού διαλύματος 1000ppm γαλλικού οξέος σε απιονισμένο νερό. Από τα αραιωμένα πρότυπα λαμβάνεται όγκος 1mL μεταφέρεται σε ογκομετρικές φιάλες των 10 ml όπου και προστίθενται διαδοχικά τα αντιδραστήρια της μέτρησης, δηλαδή 0,5 ml αντιδραστηρίου Folin Ciocalteu 2N, 4,5ml απιονισμένου νερού και 4ml ανθρακικού νατρίου 7,5% βάρος κατά όγκο. Τέλος, με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου μετρήθηκε η απορροφητικότητα που έχουν τα διαλύματα στα

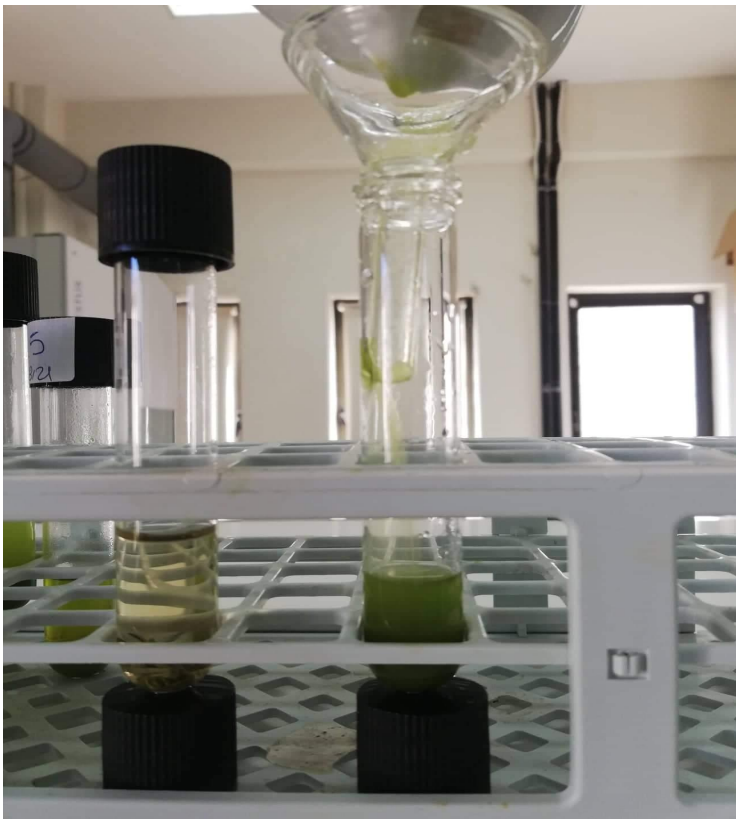
765nm. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος ανά g ξηρού βάρους φύλλου (mg GAE g⁻¹ ξ. β. φύλλου).



Εικόνα 5.3.1 Φούρνος αποξήρανσης φύλλων στους 50 βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 5.3.2 Λειοτριβήση φύλλων ελιάς



Εικόνα 5.3.3 Διαδικασία εκχύλισης

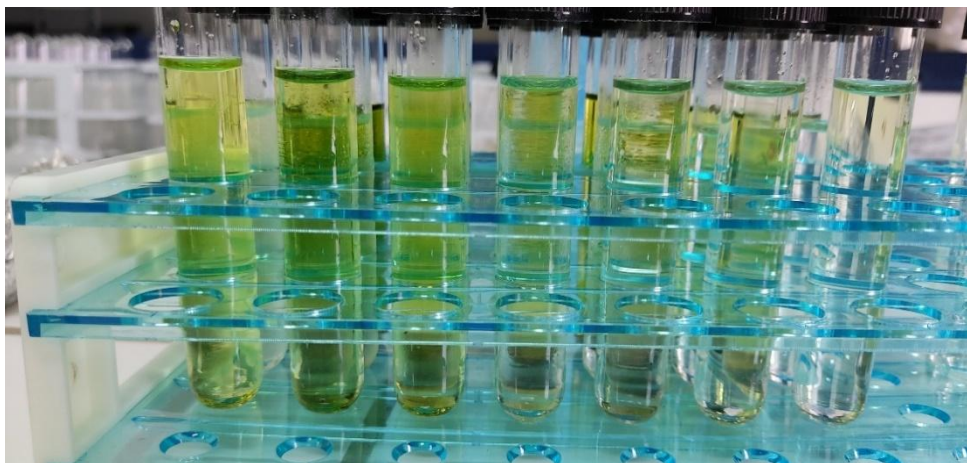
5.4 Μέτρηση της προλίνης στους φυτικούς ιστούς

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός της προλίνης στους φυτικούς ιστούς χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι διαλύματα:

1. Διάλυμα (Α) αιθανόλης:νερό 70% όγκο κατά όγκο. Για την παρασκευή διαλύματος όγκου 250 ml, αναμιγνύονται 175ml αιθανόλης και 75 ml απιονισμένο H₂O.
2. Διάλυμα (Β) αιθανόλη 40% για την πρότυπη καμπύλη (δηλαδή 10ml αιθανόλης και 15ml d.H₂O, τελικός όγκος διαλύματος 25ml).
3. Διάλυμα (Γ) νινυδρίνης: 0,25g μεταφέρονται σε διάλυμα που περιέχει 30ml οξικό οξύ και 10ml αιθανόλης. Η διάλυση πραγματοποιείται χωρίς θέρμανση, υπό συνεχή ανάδευση.
4. Διάλυμα προλίνης 1mM: δηλαδή 28,78 mg L-proline διαλύονται στο διάλυμα των 25ml διαλύματος 70% αιθανόλης (Α διάλυμα). Από αυτό λαμβάνουμε διαφορετικούς όγκους που συνδυάζονται με το διάλυμα των 70% αιθανόλης ώστε να δημιουργηθούν σε διαφορετικούς σωλήνες falcon των 15ml διαλύματα των (0, 0,025, 0,05, 0,1, 0,2,0,4, 0,8 mM προλίνης).

Όγκος Διαλύματος Προλίνης 1mM	Όγκος Διαλύματος A (70% αιθανόλη)	Παρασκευαζόμενο διάλυμα προλίνης mM
0	10,0ml	0
250μl (0.25ml)	9,75ml	0,25
500μl (0.50ml)	9,50ml	0,05
1000μl (1.0ml)	9,00ml	0,1
2000μl (2.0ml)	8,00ml	0,2
4000μl (4.0ml)	6,00ml	0,4
8000μl (8ml)	2,00ml	0,8

Πίνακας 5.4.1. Ποσότητες διαλύματος για την παρασκευή διαλύματος προλίνης.



Εικόνα 5.4.2. Διαδικασία παρασκευής διαλυμάτων για τη μέτρηση της προλίνης.

5.4.1 Διαδικασία εκχύλισης (παραλαβή εκχυλίσματος από φυτικό ιστό)

Εφόσον έχουμε ζυγίσει 100 mgr φυτικού ιστού σε ένα γουδί τοποθετείται ελάχιστη ποσότητα άμμου και 2 ml διαλύματος A (70% αιθανόλη). Τεμαχίζουμε τον φυτικό ιστό και τον προσθέτουμε στο γουδί με την άμμο. Ακολουθεί λειοτρίβηση του φυτικού ιστού και πρόσθεση 2ml ακόμα από το A διάλυμα. Μετά την ολοκλήρωση της λειοτρίβησης, μεταφέρεται το εκχύλισμα στο κατάλληλα αριθμημένο falcon των 15ml. Ο τελικός όγκος του διαλύματος εκχύλισης είναι 10 mL. Έπειτα τοποθετούνται στο ψυγείο για λιγότερο από μια ώρα, αφότου γίνει αυτό και βγουν από το ψυγείο γίνεται η φυγοκέντρηση τους στις 4.000 στροφές για 10 λεπτά. Τέλος, το υπερκείμενο κάθε δείγματος μεταφέρετε σε καθαρό αριθμημένο falcon των 15ml , όπου το υπερκείμενο αυτό θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της προλίνης.

5.4.2 Διαδικασία προσδιορισμού προλίνης στα δείγματα

Σε αριθμημένα falcon των 15 ml τοποθετούνται :

- 2000μl (2 mL) διαλύματος νινυδρίνης
- 1000μl (1 ml) εκχυλίσματος φυτικού ιστού

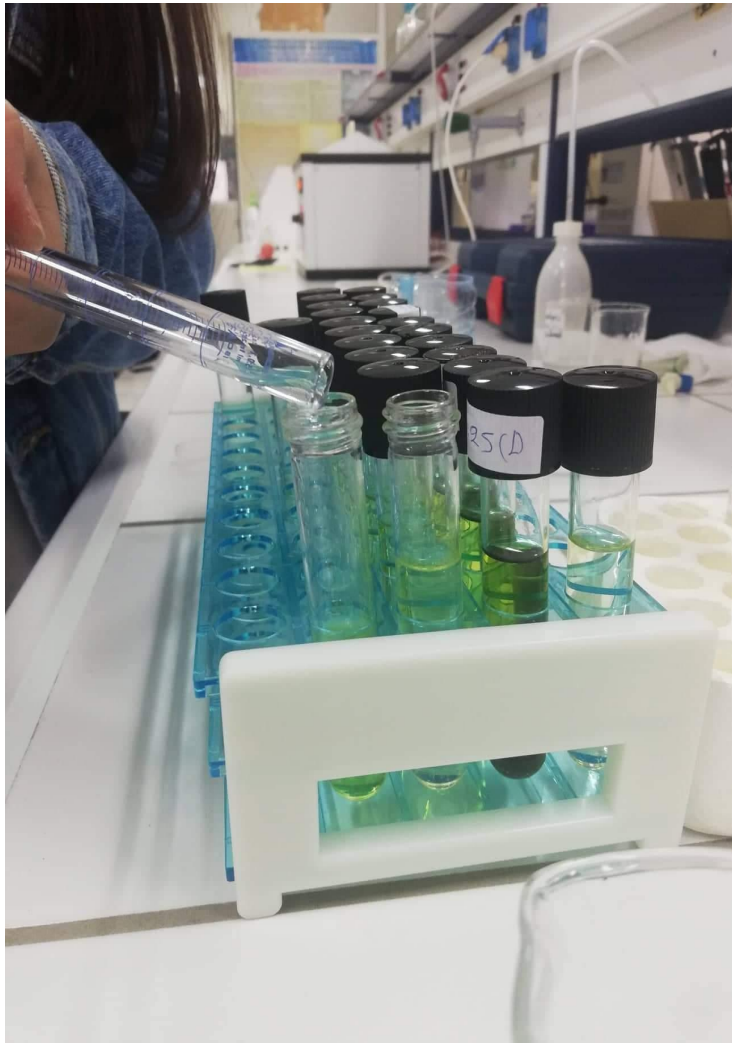
Οι σωλήνες αυτοί αφότου περάσουν από το vortex για δέκα λεπτά μεταφέρονται στο υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 95°C, που παραμένουν για 25 λεπτά. Έπειτα μεταφέρονται στο παγόλουτρο και σε φυγόκεντρο στις 4000 στροφές για 5 λεπτά και αφού προηγηθούν αυτά το υπερκείμενο μεταφέρεται σε κυψελίδα με ένδειξη στο φωτόμετρο 520 nm. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg προλίνης ανά g νωπού βάρους φύλλου (mg προλίνης g⁻¹ ν. β. φύλλου).

5.4.3 Διαδικασία σχηματισμού πρότυπης καμπύλης

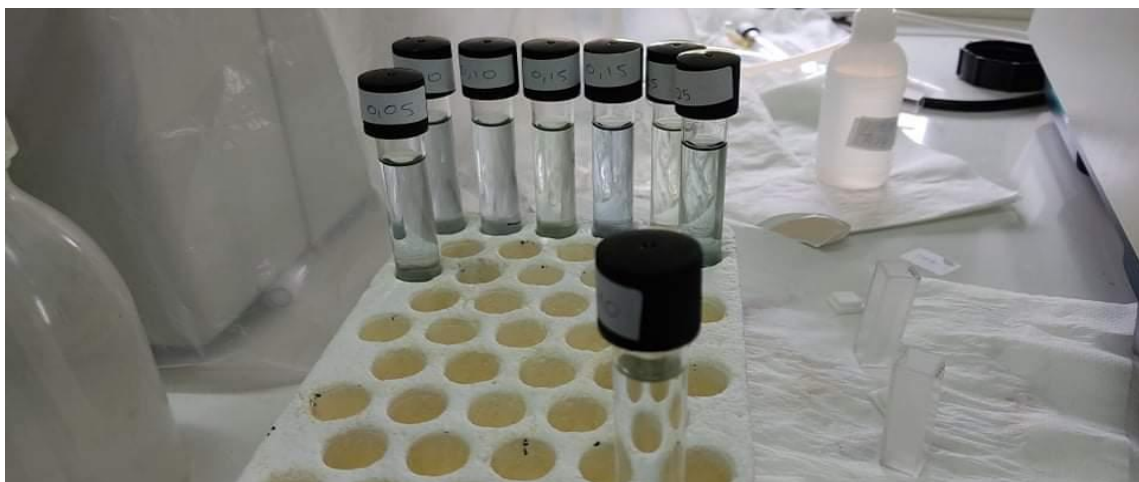
Σε καθένα από τα αριθμημένα falcon των 15ml τοποθετούνται 2ml διαλύματος νινυδρίνης (Γ διάλυμα).

Πίνακας 5.4.3.1 Παρασκευή τελικού διαλύματος προλίνης

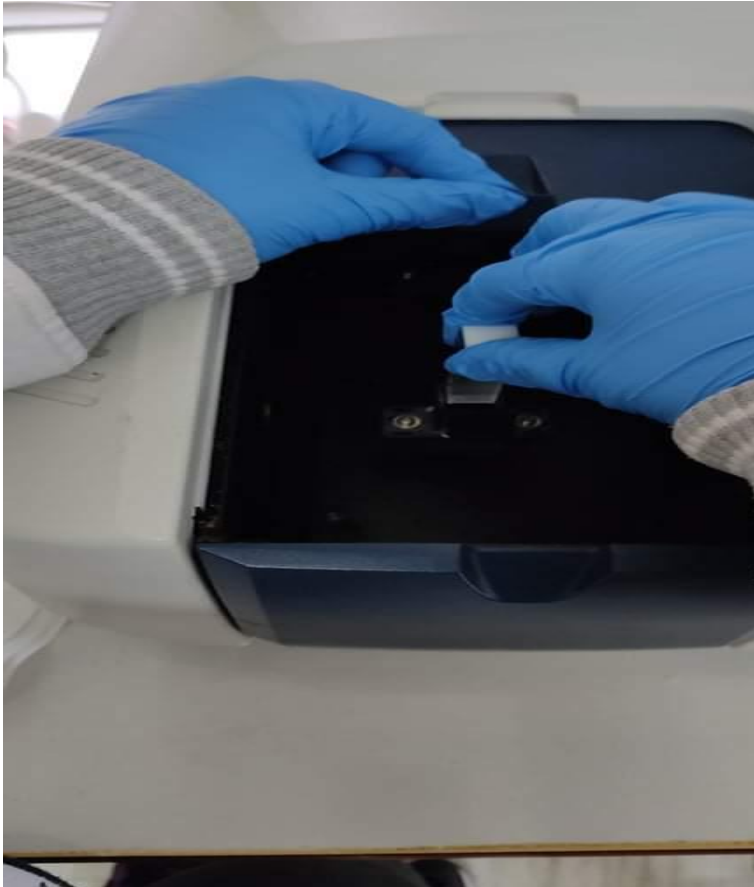
Πυκνό διάλυμα προλίνης	Όγκος Διαλύματος	Όγκος Διαλύματος Β (40% αιθανόλη)	Τελικό διάλυμα προλίνη mM
0	0		0
0,025	200μl(0.2 ml)	1000μl(1ml)	0,05
0,05	200μl(0.2ml)	800μl(0.8ml)	0,01
0,1	200μl(0.2ml)	800μl(0.8ml)	0,02
0,2	200μl(0.2ml)	800μl(0.8ml)	0,04
0,4	200μl(0.2ml)	800μl(0.8ml)	0,08
0,8	200μl(0.2ml)	800μl(0.8ml)	0,16



Εικόνα 5.4.3.2 Διαδικασία ολοκλήρωσης τελικού διαλύματος προλίνης



Εικόνα 5.4.3.3 Αποτέλεσμα χρώματος δειγμάτων μετά τη μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο.



Εικόνα 5.4.3.4 Φασματοφωτόμετρο.

5.5 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού SPSS 20.0 (SPSS 20.0, IBM Corp. 2011). Εφαρμόστηκε η ανάλυση διασποράς (ANOVA) και οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων για όλες τις παραμέτρους προσδιορίστηκε με το LSD test ($p \leq 0.05$).

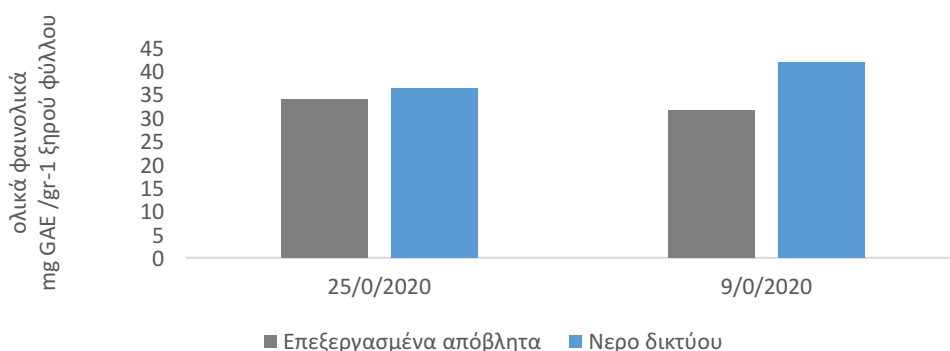
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών στις δυο δειγματοληψίες. Στην πρώτη δειγματοληψία οι τιμές στη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στα φύλλα των δενδρυλλίων ελιάς δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (επεξεργασμένα αστικά απόβλητα και καθαρό νερό). Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία οι τιμές στη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στα φύλλα των δενδρυλλίων ελιάς διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Πιο συγκεκριμένα, τα φύλλα των δενδρυλλίων που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό επιδεικνύουν μεγαλύτερη συγκέντρωση ολικών φαινολικών σε σύγκριση με τα αντίστοιχα της μεταχείρισης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα.

Πίνακας 6.1. Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα των φυτών που δέχτηκαν τις δυο διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Μεταχείριση	Ολικά φαινολικά (mg GAE gr ⁻¹ ξ. β. φύλλου)	
	25/8/2020	9/11/2020
Επεξεργασμένα απόβλητα	33,84a	31,6b
Νερό δικτύου	36,33a	41,89a



Διάγραμμα 6.1 Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα των φυτών που δέχτηκαν τις δυο διαφορετικές μεταχειρίσεις. Τα διαφορετικά γράμματα του λατινικού αλφαβήτου υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των φαινολικών ουσιών αποτελεί μηχανισμό άμυνας του φυτού σε κάποια βιοτική ή αβιοτική καταπόνηση (Petridis et al., 2012). Τα

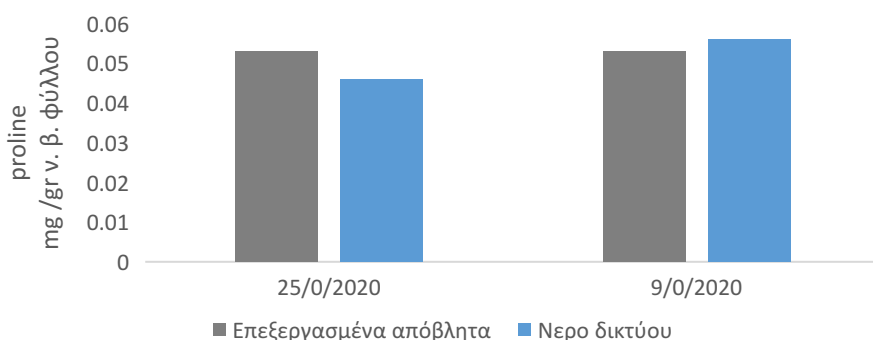
αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι η άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα δεν αύξησε τη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στα φύλλα των φυτών, γεγονός που φανερώνει ότι τα φυτά που δέχτηκαν ως πηγή άρδευσης τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα δεν επέδειξαν κάποια καταπόνηση λόγω της συγκεκριμένης μεταχείρισης.

6.2 Συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης της προλίνης στις δυο δειγματοληψίες. Παρατηρούμε ότι κατά την πρώτη δειγματοληψία η συγκέντρωση προλίνης στα φυτά που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη των φυτών που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό, γεγονός που σημαίνει ότι εκείνη την περίοδο τα φυτά υπέστησαν κάποια καταπόνηση. Όμως κατά τη δεύτερη δειγματοληψία οι τιμές στη συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα των δενδρυλλίων ελιάς δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τη συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα των φυτών που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό, γεγονός που επιδεικνύει ότι στο τέλος του πειράματος τα φυτά δεν υπέστησαν κάποια καταπόνηση.

Πίνακας 6.2. Συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα των φυτών που δέχτηκαν τις δυο διαφορετικές μεταχειρίσεις.

Μεταχείριση	Συγκέντρωση προλίνης (mg gr ⁻¹ v. β. φύλλου) 25/8/2020	Συγκέντρωση προλίνης (mg gr ⁻¹ v. β. φύλλου) 9/11/2020
Επεξεργασμένα απόβλητα	0,053a	0,053a
Νερό δικτύου	0,046b	0,056a



Διάγραμμα 6.2 Συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα των φυτών που δέχτηκαν τις δυο διαφορετικές μεταχειρίσεις. Τα διαφορετικά γράμματα του λατινικού αλφαβήτου υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$.

Συσσώρευση προλίνης σε περιπτώσεις νεαρών δενδρυλλίων ελιάς που υφίσταντο υδατική καταπόνηση έχει παρατηρηθεί από πολλούς ερευνητές (Petridis et al., 2012, Ahmadipor et al., 2018, Arji et al., 2021). Στην παρούσα εργασία, ενώ στην αρχή παρουσιάστηκε αύξηση στη συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα των φυτών που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα, στη συνέχεια μέχρι το τέλος του πειράματος δε σημειώθηκε αύξηση στη συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα των φυτών που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μέχρι το τέλος του πειράματος η συγκεκριμένη πηγή άρδευσης δεν επέφερε κάποια καταπόνηση στα φυτά.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο πληθυσμός και η οικονομική ανάπτυξη έως το 2050 είναι πιθανόν να είναι ισχυρή, με τους μεγαλύτερους ρυθμούς ανάπτυξης να αναμένονται σε χώρες του τρίτου κόσμου. Η ζήτηση νερού έως το 2050 θα αυξηθεί ακόμη περισσότερο από το πληθυσμό και την οικονομία, όπως και η μείωση της ποιότητας του νερού και των πόρων.

Η αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών άρδευσης έχει προταθεί ως μια αποτελεσματική στρατηγική εξοικονόμησης των υδάτινων πόρων. Η άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα ως μια εναλλακτική πηγή νερού εφαρμόζεται σε πολλές περιοχές του

πλανήτη όπου τα αποθέματα νερού είναι περιορισμένα. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης πηγής άρδευσης παρουσιάζει πλεονεκτήματα που συνδέονται όχι μόνο με την εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων αλλά και την βελτίωση της ανάπτυξης και της φυσιολογικής κατάστασης των φυτών λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων σε θρεπτικά συστατικά που τα καθιστούν και ως πηγή λίπανσης. Από την άλλη, η αυξημένη αυτή συγκέντρωση σε μακρο και μικροστοιχεία είναι δυνατόν, εφόσον αυτή υπερβεί ένα ανώτατο όριο ανοχής κάθε φυτού, να σημειώνει αρνητικές επιδράσεις στην ανάπτυξη και φυσιολογική κατάσταση των φυτών που συνδέονται με φαινόμενα τοξικότητας και αυξημένης αλατότητας.

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκε η καταλληλότητα των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων ως πηγή άρδευσης. Νεαρά δενδρύλλια της επιτραπέζιας ποικιλίας ελιάς ‘Κονσερβολιά Άρτας’, δέχτηκαν για περιορισμένο χρονικό διάστημα πέντε μηνών, άρδευση με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα και έγινε σύγκριση της επίδρασης της άρδευσης αυτής στη φυσιολογική κατάσταση των φυτών με την αντίστοιχη σε δενδρύλλια που δέχτηκαν άρδευση με καθαρό νερό (νερό δικτύου). Ως δείκτες της φυσιολογικής κατάστασης των φυτών επιλέχθηκαν τα ολικά φαινολικά και η προλίνη καθώς η συγκέντρωση των ενώσεων αυτών στα φύλλα των φυτών αυξάνεται όταν τα φυτά υφίστανται κάποια βιοτική ή αβιοτική καταπόνηση. Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι η άρδευση των νεαρών δενδρυλλίων ελιάς για διάστημα 5 μηνών με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα δεν αύξησε τη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών και της προλίνης στα φύλλα των φυτών σε σύγκριση με την άρδευση με νερό δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι η άρδευση νεαρών δενδρυλλίων ελιάς με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα τουλάχιστον για ένα μικρό διάστημα πέντε μηνών δεν επέφερε κάποια επιπλέον καταπόνηση στα φυτά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ). 2019. <http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/>
- Κακριδής, Ι.Θ. (1986). Ελληνική Μυθολογία, Τόμος ΙΙ. Αθήνα: Εκδόσεις Εκδοτική Αθηνών
- Μπουραζάνης Θ. Γεώργιος (2017). Άρδευση ελαιώνα με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Ισοζύγιο νερού και αλάτων στην κατανομή και μελέτη υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνα, 2017.

- Ποντίκης, Κ., 2000. Ειδική Δενδροκομία- Ελαιοκομία , Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Στεφανάκη- Νικηφοράκη, Μ. (1999). Συστηματική Βοτανική, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Αγγλική

- Abdel-Rahman, A.A., El-Sharkawi, H.M. Response of olive and almond orchards to partial irrigation under dry-farming practices in semi-arid regions:. *Plant Soil* **41**, 13–31 (1974). <https://doi.org/10.1007/BF00017940>
- Adepelumi, A. A., Ako, B. D., Ajayi, T. R., Afolabi, O. & Omotoso, E. J. Delineation of saltwater intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria. *Environ. Geol.* **56**, 927–933 (2009).
- Al-A'ama MS, 1995, Wastewater reuse in Jubail, Saudi Arabia 1995, From the journal ,Water Research (Oxford) (United Kingdom)
- Bedbabis et al. 2009.Effects of long term irrigation with treated wastewater on leaf mineral element contents and oil quality in Olive cv. Chemlali. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **93**(2):1-8 Pages 216-223
- Bedbabis et al. 2017. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. Article
- Bedbabis, S., Ben Rouina, B., & Boukhris, M. (2010). The effect of waste water irrigation on the extra virgin olive oil quality from the Tunisian cultivar Chemlali. *Scientia Horticulturae*, **125**, 556–561. doi: 10.1016/j.scienta.2010.04.032
- Bedbabis, S., Ben Rouina, B., Boukhris, M., & Ferrara, G. (2014b). Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, **133**, 45–50. doi:10.1016/j.jenvman.2013.11.007 [[Crossref](#)].
- Braudel, F. (1979). *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, tome premier, tome deuxième, 4th edn. Paris: Librairie Armand Colin [Greek translation, 1997].
- Burek, P. et al. Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper (International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria, 2016).
- Chartzoulakis K (2005). Salinity and olive: growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. *Agricultural Water Management* **78**(1):108- 121
- Connor, R. et al. The United Nations world water development report 2017. Wastewater: The untapped resource. The United Nations World Water Development Report (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, New York, United States, 2014,2017).
- Creel, L. *Ripple Effects: Population and Coastal Regions (1-7)* (Population Reference Bureau, Washington, DC, 2003).
- Gucci et al., 2012, Soil ecosystem functions in a high-density olive orchard managed by different soil conservation practices, *Applied Soil Ecology*, Volume 134, February 2019, Pages 64-76.
- Das and Roychoudhury, 2014 Krieger-Liszkay et al., 2008. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2014.00053/full>

- Davis, G. H. Land subsidence and sea level rise on the Atlantic Coastal Plain of the United States. *Environ. Geol. Water Sci.* 10, 67–80 (1987).
- De, A., Bose, R., Kumar, A. & Mozumdar, S., Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles (Springer Briefs in Molecular Science, India, 2014).
- Egea et.al. (2017a) European contribution to the study of ROS: A summary of the findings and prospects for the future from the COST action BM1203 (EU-ROS). *Redox Biology*. Volume 13, October 2017, Pages 94-162.
- Egea et. al. (2017b). Chapter 9 - Precision Irrigation in Olive (*Olea europaea* L.) Tree Orchards, Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment Tools, Strategies, and Challenges for Woody Crops Pages 179-217
- Erban, L. E., Gorelick, S. M. & Zebker, H. A. Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* 9, 084010 (2014).
- European Environment Agency, Increasing Environmental Pollution (GMT 10) www.eea.europa.eu/soer-2015/global/pollution (2015).
- Fereres & Soriano, 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, Volume 58, Issue 2, January 2007, Pages 147–159
- Ferguson, G. & Gleeson, T. Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nat. Clim. Change* 2, 342 (2012).
- Ferguson, G., McIntosh, J. C., Perrone, D. & Jasechko, S. Competition for shrinking window of low salinity groundwater. *Environ. Res. Lett.* 13, article114013 (2018).
- Fernández & Cuevas (2010), Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 150, Issue 2, 15 February 2010, Pages 135-151
- Fernández (2014b) Plant-based sensing to monitor water stress: Applicability to commercial orchards, *Agricultural Water Management* ,Volume 142, August 2014, Pages 99-109.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations/Intergovernmental Technical Panel on Soils (AO/ITPS). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. (FAO, Rome, 2015). www.fao.org/3/a-i5199e.pdf.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Global Forest Resources Assessment 2015: How are the World's Forests Changing? Second edition (FAO, Rome, 2016). www.fao.org/3/a-i4793e.pdf.
- Food And Agriculture Organization of the United Nations (FAO), AQUASTAT www.fao.org/nr/aquastat/. (2018).
- Fooks, R (1995), The book of olive.
- Galloway, D. L., Jones, D. R. & Ingebritsen, S. E. Land Subsidence in the United States Vol. 1182, (US Geological Survey, Denver, United States, 1999).
- Garcia, D. (1992). “Les elements de pressoir de Lattes et l’oleiculture antique en Languedoc, Lattara 5.” Lattes: 327–358.
- Goldhamer etal., 1994. Influence of irrigation rate on the rehydration of olive tree plantlets, *Agricultural Water Management*, Volume 95, Issue 10, Pages 1161-1166
- Goldhamer, 1999. Long-term growth and yield responses of olive trees to different irrigation regimes, *Agricultural Water Management* Volume 95, , Pages 968-972
- Grattanel., 2006, Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural Water Management* 85 pages133-140

- Gill & Tuteja, 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants, *Plant Physiology and Biochemistry* Volume 48, Issue 12, December 2010, Pages 909-930
- Holzer, T. L. & Galloway, D. L. Impacts of land subsidence caused by withdrawal of underground fluids in the United States. *Hum. Geol. agents* 16, 87 (2005)
- Huibers FP 2005, Use of wastewater in agriculture: the water chain approach, *Irrigation and Drainage*, Volume 54, Issue S1 Supplement: Wastewater Irrigation July 2005, Pages S3-S9
- International Energy Agency (IEA). *Water for Energy: Is Energy Becoming a Thirstier Resource?* Ch. 17 (World Energy Outlook 2012. Paris, IEA, 2012). www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf.
- Kray, H. A. *Farming for the Future. The Environmental Sustainability of Agriculture in a Changing World* pubdocs.worldbank.org/en/862271433768092396/Holger-Kray-RO-SustainableAg-hk-ray-ENG.pdf. (2012).
- Leadley, P. W. et al. *Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An Assessment of Biodiversity Trends, Policy Scenarios and Key Actions*. CBD Technical Series No. 78. (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, PQ, 2014). www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf.
- Lee, C. H. & Cheng, R. T. S. On seawater encroachment in coastal aquifers. *Water Resour. Res.* 10, 1039–1043 (1974).
- Luan S (2002). Signalling drought in guard cells. *Plant, Cell and Environment* 25(2):229-237
- Maas E, Hoffman G (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 103(2):115-134.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.* 2, e1500323 (2016).
- Minderhoud, P. S. J. et al. Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environ. Res. Lett.* 12, 064006 (2017).
- Mohammad Mazahreh, Xu, Wu., 2003. Effects of long term irrigation with treated wastewater on leaf mineral element contents and oil quality in Olive cv. Chemlali. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* Volume 93, Issue 2, Pages 216-223
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J. & Nicholls, R. J. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. *PLoS ONE* 10, e0118571 (2015).
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). *OECD Environmental Outlook to 2050 (Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 2012)*. www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/oecdenvironmentaloutlookto2050theconsequencesofinaction-keyfactsandfigures.htm.
- Padilla-Diaz et al. (2016). Water status, gas exchange and crop performance in a super high density olive orchard under deficit irrigation scheduled from leaf turgor measurements. *Agricultural Water Management* Volume 202 1 April 2018, Pages 241-252
- Petridis et. Al. 2012. Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea*

- europaea* L.) cultivars, *Plant Physiology and Biochemistry* ,Volume 60, November 2012, Pages 1-11
- Phi, T. H. & Strokova, L. A. Prediction maps of land subsidence caused by groundwater exploitation in Hanoi, Vietnam. *Resour.-Effic. Technol.* 1, 80–89 (2015).
 - Proietti et al., 2012. Sustainability of olive growing in the Mediterranean area under future climate scenarios: Exploring the effects of intensification and deficit irrigation, *European Journal of Agronomy*, Volume 129, September 2021, pages 126-319
 - Rallo et al., 2016. Predicting soil and plant water status dynamic in olive orchards under different irrigation systems with Hydrus-2D: Model performance and scenario analysis. *Agricultural Water Management* .Volume 203, 30 April 2018, Pages 225-235
 - Ramanjulu S, Sudhakar C (2000). Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. *Journal of Plant Physiology* 157(1):81-85
 - Rapoport H., Fabbri A., Sebastiani L. (2016). Olive biology. *The Olive Tree Genome* pages 13–25
 - Richey, A. S. et al. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resour. Res.* 51, 5217–5238 (2015).
 - Rius - Lacarte, 2010. Effect of progressive irrigation water reductions on super – high-density olive orchards according to different scarcity scenarios. *Agricultural Water Management*. Volume 262, 31 March 2022, 107-399
 - Rockström, J. et al. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475 (2009).
 - Romero, L. R. (1998). “Olive farming in the age of science and innovation.” *Olivae* 72: 42–51.
 - Rosegrant, M. W., Cai, X. & Cline, S. A. *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity* (International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC, 2002).
 - Sauvé, S. & Desrosiers, M. A review of what is an emerging contaminant. *Chem. Cent. J.* 8, 15 (2014).
 - Sebastian, F. P. Purified Wastewater: The Untapped Water Resource. *J. Water Pollut. Control Fed.* 46, 239–246 (1974).
 - Scanlon, B. R. et al. Global evaluation of new GRACE mascon products for hydrologic applications. *Water Resour. Res.* 52, 9412–9429 (2016).
 - Serraj R, Sinclair T (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell and Environment* 25(2):333-341
 - Shuval HI 1990. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture, *Water Science and Technology*, Volume 35, Issues 11–12, 1997, Pages 15-20
 - Shuval(1991). *The Development of Health Guidelines for Wastewater Reclamation* , *Water Science & Technology* (1991) 24 pages.149–155.
 - Talhaoui, N., Taamalli, A., Gómez-Caravaca, A.M., Fernández-Gutiérrez, A., Segura-Carretero, A., 2015. Phenolic compounds in olive leaves: Analytical determination, biotic and abiotic influence, and health benefits. *Food Res. Int.* 77, 92–108.
 - Unicef, W. H. O. 2015 Progress on Sanitation and Drinking Water–2015 Update and MDG Assessment (JM Program, Geneva, Switzerland, 2016).

- United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), World Population Prospects: Key Findings and Advance Tables – The 2017 Revision. Working Paper No. ESA/P/WP/248 (UNDESA, Population Division, New York, 2017). www.esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf.
- Unicef, W. H. O. 2015 Progress on Sanitation and Drinking Water–2015 Update and MDG Assessment (JM Program, Geneva, Switzerland, 2016).
- United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). The United Nations World Water Development Report 2014 (Water and Energy. Paris, UNESCO, 2014). unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf.
- United Nations Environment Programme (UNEP). A Snapshot of the World’s Water Quality: Towards a Global Assessment (UNEP, Nairobi, 2016). uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf.
- United Nations, UN Water. Wastewater Management-A UN-Water Analytical Brief 1–52 (World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2015). www.unwater.org/publications/wastewater-management-un-water-analytical-brief/.
- vander Bruggen B 2010. Causes of Water Supply Problems in Urbanised Regions in Developing Countries, *Water Resources Management* volume 24, pages1885–1902 (2010).
- Vazquez-Montiel O,1996. "Management of domestic wastewater for reuse in irrigation, 23 ref. Wastewater reclamation and reuse 1995. Selected proceedings of the IAWQ 2nd International Symposium, Iraklio, Crete, Greece, 17-20 October 1995." *Water-Science-and-Technology* (United Kingdom). (1996). v. 33(10/11) p. 355 -36
- Veldkamp, T. I. E. et al. Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. *Nat. Commun.* 8, 15697 (2017).
- Veolia/IFPRI (International Food Policy Research Institute), The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality (IFPRI/Veolia, Washington DC/Chicago, Ill., 2016) www.ifpri.org/publication/murky-future-global-water-quality-new-global-study-projects-rapid-deterioration-water (2016).
- Wada, Y. et al. Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geosci. Model Dev.* 9, 175–222 (2016).
- Wang, H. et al. InSAR reveals coastal subsidence in the Pearl River Delta, China. *Geophys. J. Int.* 191, 1119–1128 (2012).
- Werner, A. D. & Simmons, C. T. Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Groundwater* 47, 197–204 (2009).
- WHO 1989. World Health: the magazine of the World Health Organization: October 1989 [full issue]: a worldwide effort will stop it! *World Health*, (October), 3 - 30. World Health Organization.
- Winiwarter, W., Erisman, J. W., Galloway, J. N., Klimont, Z. & Sutton, M. A. Estimating environmentally relevant fixed nitrogen demand in the 21st century. *Clim. Change* 120, 889–901 (2013).
- World Health Organization, WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme. Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG assessment (World Health Organization, New York, United States, 2015).

- World Water Assessment Programme (Nations Unies), The United Nations World Water Development Report 2018 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, New York, United States) www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/. (2018).
- Xue, Y. Q., Zhang, Y., Ye, S. J., Wu, J. C. & Li, Q. F. Land subsidence in China. *Environ. Geol.* 48, 713–720 (2005).
- Yadav, Goyal, Sharma, Dubey, & Minhas, 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—A case study. *Environmental International*, December 2002, Pages 481-486