



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

ΘΕΜΑ:

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΓΡΩΝ
ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΑΡΑΝΤΖΑ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ Μ.

ΒΟΛΟΣ 2017

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

ΑΡΑΝΤΖΑ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

- 1. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία**, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Αρδεύσεις-Στραγγίσεις, Υδραυλική», Επιβλέπουσα της Πτυχιακής Διατριβής.
- 2. Αγγελάκη Αναστασία**, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.) Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Γεωργική Υδραυλική με έμφαση στη Φυσική Εδάφους».
- 3. Παπανικολάου Χρήστος**, Διδάσκων Π.Δ. 407/80 Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Αρδεύσεις».

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κυρία Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη για την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση κατά την πορεία ολοκλήρωσης αυτής της πτυχιακής διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Α. Αγγελάκη, Ε.ΔΙ.Π του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ως μέλος της τριμελούς επιτροπής αλλά και για τις εύστοχες παρατηρήσεις της κατά την διόρθωση της παρούσας διατριβής.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον Δρ. Χ. Παπανικολάου, Διδάσκοντα Π.Δ. 407/80 του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ως μέλος της τριμελούς επιτροπής για τον χρόνο που αφιέρωσε, για τις ουσιαστικές του υποδείξεις και τις χρήσιμες συμβουλές που μου παρείχε στα διάφορα στάδια της διατριβής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους εκείνους που βρίσκονταν κοντά μου κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της διατριβής, για την ηθική υποστήριξη και συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Υπάρχουν διαρκείς αποδείξεις ότι η κατανάλωση ωμής φρέσκιας τροφής είναι ο βασικός παράγοντας που συμβάλλει σε γαστρεντερικές παθήσεις για τον άνθρωπο. Μια μεγάλη ποικιλία παθογόνων μικροοργανισμών που υπάρχουν στις τροφές συμβάλλουν στην ανάπτυξη ασθενειών, όπως βακτήρια (π.χ., *Salmonella*, *Escherichia coli*), πρωτόζωα (π.χ. *Cryptosporidium*, *Giardia*), ιοί (π.χ. *noroviruses*). Μεγάλο εύρος της παραγωγής προϊόντων τυπικά απαιτεί κάποια μορφή άρδευσης κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Υπάρχουν πολλές έρευνες που αποδεικνύουν την μόλυνση της παραγωγής από παθογόνους παράγοντες που γεννιούνται στο νερό. Ο σκοπός αυτής της ανασκόπησης είναι να παρέχει μια λεπτομερή προσέγγιση σε αυτό το ζήτημα, συμπεριλαμβανομένης και της πιο πρόσφατης έρευνας. Τα θέματα που καλύπτονται περιλαμβάνουν χρονικές και χωρικές μεταβλητές, και διαφορές ανά περιοχή, σε συγκεντρώσεις παθογόνων οργανισμών σε συστήματα άρδευσης, άμεση και ουσιαστική απόδειξη για το νερό ως πηγή μόλυνσης των προϊόντων, μεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών στα συστήματα άρδευσης και τον ρόλο των περιβαλλοντικών μικροβιακών αποθεμάτων, καθώς επίσης και τα τωρινά δεδομένα για τα αρδευτικά νερά και το ρίσκο που εγκυμονεί η άρδευση με μολυσμένο νερό. Μια συγκροτημένη προσπάθεια από ερευνητές και εμπειρογνώμονες απαιτείται για να διασφαλίσουμε την διατροφική ασφάλεια σε ένα αυξανόμενο έντονο σύστημα παραγωγής προϊόντων και περιορισμένων και μειωμένων πηγών αρδευτικού νερού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	3
1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	5
1.3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	12
2.1.1. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ	12
2.1.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	13
2.1.2.1. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	13
2.1.2.2. ΔΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	14
2.1.2.3. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΙΟΝΤΩΝ	15
2.1.2.4. ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ	15
2.1.2.5. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	16
2.1.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	16
2.2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	17
2.3. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ	22
2.4. ΔΙΕΘΝΗ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ/ΝΟΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	24
2.5. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΧΩΡΕΣ	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΝΕΡΟ	34
3.2. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	36
3.3. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	38
3.4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΣΕ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΠΟΥ ΑΡΔΕΥΤΗΚΑΝ ΜΕ ΜΟΛΥΣΜΕΝΟ ΝΕΡΟ	41
4.2. ΤΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΤΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΠΡΟΣ ΤΑ ΦΥΤΑ	41
4.3. ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΗ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	42
4.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ	43
4.5. ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΝΕΡΟ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ	44

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ανά τον κόσμο πλέον ότι η κατανάλωση νοπής, φρέσκιας τροφής είναι ο βασικός παράγοντας για τις ανθρώπινες γαστρεντερικές παθήσεις, εξαιτίας της πιθανής μόλυνσής της από παθογόνους μικροοργανισμούς. Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί για να καθορίσουν την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στα φρούτα και τα λαχανικά. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών συνοψίζονται σε διάφορα επιστημονικά άρθρα και δημοσιεύσεις (Fan et al., 2009; Sapers et al., 2009; Warriner et al., 2009). Η λίστα των παθογόνων οργανισμών περιλαμβάνει καμπυλοβακτηρίδια (*Campylobacter* spp., enterohemorrhagic *Escherichia coli* (π.χ., *E. coli* O157:H7), enterotoxigenic *Staphylococcus aureus*, enterotoxigenic *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Yersinia enterocolitica*), πρωτόζωα (*Cryptosporidium* spp., *Cyclospora cayetanensis*, *Giardia* spp., *Entamoeba histolytica*, helminths (όπως *Ascaris* spp.)) και ιούς (adenoviruses, enteroviruses, noroviruses, και rotaviruses). Οι περιπτώσεις εύρεσης παθογόνων μικροοργανισμών σε φρούτα και λαχανικά ποικίλλουν ανά περιοχή και μπορεί να είναι εξαιρετικά υψηλές σε κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο, εξάρσεις διαρκώς προκύπτουν και σε αναπτυγμένες χώρες. Οι παθήσεις που σχετίζονται με την τροφή κοστίζουν στις Ηνωμένες Πολιτείες πάνω από \$39 δισεκατομμύρια ετησίως (Scharff, 2009).

Η μεγάλης κλίμακας παραγωγή προϊόντων τυπικά απαιτεί κάποια μορφή άρδευσης κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Συνεπώς, υπάρχει μια αυξανόμενη συλλογή ερευνών που αποδεικνύει την μόλυνση των προϊόντων που αρδεύονται από παθογόνους παράγοντες που βρίσκονται στο νερό. Εξαιρετικές μελέτες έχουν διεξαχθεί από τους Steele and Odumeru (2004) and Gerba (2009). Προσφάτως, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Αγροτικών Προϊόντων και Τροφίμων και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, χρηματοδότησαν εργαστήρια που κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ρόλος του μολυσμένου νερού που χρησιμοποιείται στην παραγωγή λαχανικών, ως παράγοντας μετάδοσης αυτών των παθογόνων στους ανθρώπους, δεν είναι ξεκάθαρος (FAO/WHO, 2008).

Δεν υπάρχουν δεδομένα για την μικροβιακή ποιότητα του αρδευτικού νερού ως και σήμερα. Οι πηγές αρδευτικού νερού μπορεί γενικά να συνδέονται με τον κίνδυνο

μικροβιακής μόλυνσης (Leifert et al., 2008). Μεγαλύτερος κίνδυνος παρατηρείται στο νερό της βροχής, στο νερό του εδάφους από υπόγεια πηγάδια, στο νερό από αβαθή πηγάδια, στο επιφανειακό νερό και στο νερό των αποβλήτων που δεν υφίσταται επεξεργασία.

Οι μέθοδοι άρδευσης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ποικίλλουν (USDA-NASS, 2008). Ωστόσο, είναι συνήθως αρκετά περίπλοκη η διαδικασία για να δημιουργήσουν ένα οικολογικό περιβάλλον με πιθανές πολλαπλές πηγές παθογόνων οργανισμών, για μια συγκεκριμένη πηγή νερού, και με πιθανά αποθέματα μικροοργανισμών που περιλαμβάνουν παθογόνα είδη. Όλα τα είδη μικροοργανισμών επηρεάζουν την ποιότητα του νερού στις πηγές άρδευσης. Οι περισσότερες πηγές επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, την παρουσία ζώων, την διαχείριση του νερού και τις εφαρμογές της γεωργίας. Οι διαφορές ανά τόπο στην ύπαρξη και μεταφορά παθογόνων οργανισμών στα αρδευτικά νερά, καθιστά επιτακτικό να αναγνωρίσουμε τον κίνδυνο της μόλυνσης της παραγωγής για την συγκεκριμένη τοποθεσία, συγκρινόμενη με το συγκεκριμένο πρότυπο παραγωγής και τη συγκεκριμένη μέθοδο άρδευσης. Η πληροφόρηση είναι το κλειδί για να διασφαλίσουμε ρεαλιστικές και ουσιαστικές οδηγίες για την μικροβιακή ποιότητα του νερού άρδευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για άρδευση καλλιεργειών, εφαρμόζεται στην πράξη επί αιώνες και φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς (Angelakis and Spyridakis, 1996; Angelakis et al., 2005). Παρόλο, που η άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων, είναι παράλληλα και ένας αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας (με μηδενική εκροή για τελική διάθεση), η εφαρμογή ενός ελαχίστου επιπέδου επεξεργασίας πριν την εφαρμογή τους στο έδαφος κρίνεται αναγκαία, ακόμη και στην περίπτωση άρδευσης κτηνοτροφικών, δασικών ή άλλων εκτάσεων με μηδενική ανθρώπινη επαφή. Η προεπεξεργασία αυτή επιβάλλεται για λόγους προστασίας της δημόσιας υγείας, την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την πρόληψη ζημιών στις καλλιέργειες και την απρόσκοπτη λειτουργία των αγωγών μεταφοράς και εφαρμογής (Asano, 1985).

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχετικά έργα, σε αυξημένο μάλιστα αριθμό και έκταση, προγραμματίζονται και υλοποιούνται κάθε έτος σε αρκετές χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, την Αυστραλία, το Ισραήλ, στην Ιαπωνία, στις χώρες του Μαγκρέμπ και της Νοτίου Αφρικής. Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της και των υφιστάμενων διαφορών μεταξύ των χωρών-μελών, η Ε.Ε. δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα μέχρι σήμερα με αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού. Οι ξηρασίες των τελευταίων ετών στην Ισπανία, στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες, θέτουν επιτακτικά το θέμα της ανακύκλωσης του νερού. Εξάλλου, η έλλειψη νερού τοπικά και η διάχυτη ρύπανση σε όλη την Ευρώπη που επιτείνουν περιβαλλοντικά προβλήματα, έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον σε τέτοια αντικείμενα. Επομένως, η πρακτική αυτή αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον, εξαιτίας της μείωσης της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων που προβλέπεται λόγω της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου, παγκοσμίως, καθώς και της αύξησης της θερμοκρασίας. Όπως προαναφέρεται δεσπόζουσα κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και χώρων πρασίνου και αναψυχής, καθώς τα θέματα της

ποιότητας που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι ευκολότερο να αντιμετωπισθούν στην άρδευση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Για κάθε ωφέλιμη χρήση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού. Έτσι ελαχιστοποιούνται οι πιθανοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια.

Στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται. Τα κριτήρια αυτά κυρίως αφορούν τους παθογόνους οργανισμούς και το ερώτημα που τίθεται είναι πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και την προοριζόμενη χρήση της αρδευόμενης καλλιέργειας (Asano and Levine, 1996). Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο δαπανηρές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρή έλλειψη νερού και έλλειψη πόρων, επιδιώκουν με την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών να υπερασπιστούν και να υιοθετήσουν τις ισχύουσες, λιγότερο αυστηρές, οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) (WHO, 1989). Οι οδηγίες αυτές βασίστηκαν στις επικρατούσες τάσεις σε αναπτυσσόμενες χώρες και ουσιαστικά θεωρούν όρια για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια ($1000 \text{ FC}/100 \text{ cm}^3$) και τους εντερικούς νηματώδης (αυγά $< 1/\text{L}$). Παρόλο που οι οδηγίες αυτές δεν εξειδικεύονται σε επιμέρους χρήσεις και παραμέτρους, αποτελούν ωστόσο ένα θετικό βήμα για περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων ή πλημμελώς επεξεργασμένων εκροών. Η κύρια φιλοσοφία τους εστιάζεται στα όρια που θέτουν, ως εγγύηση για την ασφάλεια του νερού, που χρησιμοποιείται για άρδευση. Επίσης, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι προκειμένου να έχουμε απευθείας επαναχρησιμοποίηση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, οι προδιαγραφές του WHO αποτελούν ένα αρχικό θετικό βήμα. Οι οδηγίες αυτές σήμερα τελούν υπό αναθεώρηση. Όμως η βασική φιλοσοφία τους δεν φαίνεται να μεταβάλλεται (Blumenthal et al., 2000). Επίσης, ο WHO εξέδωσε οδηγίες που αφορούν τα όρια επικίνδυνων οργανικών ενώσεων για την δημόσια υγεία που

απορρέουν από την γεωργική χρήση εκροών και ιλύος υγρών αποβλήτων (Chang et al., 1995).

Εξαιτίας των κινδύνων, που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν ξεκινήσει τις απαραίτητες διαδικασίες θέσπισης κριτηρίων επαναχρησιμοποίησής (Asano and Mujeriego, 1988). Οι κανονισμοί/οδηγίες διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των διαφόρων χωρών ή και περιοχών ακόμη (Asano, 1998). Ορισμένες υπηρεσίες, όπως το Συμβούλιο Νερού τον Ισραήλ και το τοπικό Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνιας, έχουν θεσπίσει κανονισμούς ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση σχετικά αυστηρούς. Όμως, στις αναπτυσσόμενες χώρες τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί για την προστασία της δημόσιας υγείας από κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση ανακτημένων υγρών αποβλήτων, συχνά συνδέονται με τις δυνατότητες ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδατικών πόρων. Σε αρκετές από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης, αποτελούν ουσιαστικά, πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων. Σε άλλες περισσότερο αναπτυγμένες χώρες, το κύριο πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιεχομένων στα ανεπεξέργαστα ή πλημμελώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα παθογόνα, όπως είναι οι εντερικοί νηματώδης (IN), κυρίως η ταινία των αγελάδων, τα παράσιτα της οικ. *Ancylostomatidae* και τα ασκάρια (*Ascaris iumbricoides*). Αυτοί οι μολυσματικοί οργανισμοί είναι επικίνδυνοι για την υγεία των καλλιεργητών καθώς και των καταναλωτών των γεωργικών προϊόντων (Aertgeerts and Angelakis, 2003; Pescod, 1990; Shuval et al., 1986, WHO,1980).

1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Τα αστικά λύματα αποτελούνται κυρίως από νερό (99,9%) και από σχετικά μικρές συγκεντρώσεις αιωρούμενων και διαλυμένων οργανικών και ανόργανων στερεών. Στις οργανικές ουσίες των λυμάτων εντοπίζονται υδρογονάνθρακες, λιγνίνη, λίπη, σάπωνες, συνθετικά απορρυπαντικά, πρωτεΐνες και τα αποικοδομημένα προϊόντα τους, καθώς και μεγάλο εύρος φυσικών και συνθετικών οργανικών χημικών ουσιών που προέρχονται από τη βιομηχανία.

Τα αστικά λύματα περιέχουν επίσης ποικιλία ανόργανων ουσιών. Αυτές προέρχονται από αστικές και βιομηχανικές πηγές, ανάμεσα στις οποίες απαντώνται και τοξικά στοιχεία όπως αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, ψευδάργυρος κλπ.. Ακόμα και αν η συγκέντρωση των τοξικών στοιχείων δεν ενέχει κίνδυνο για τον άνθρωπο, ωστόσο μπορεί να απαντάται σε φυτοτοξικά επίπεδα, που περιορίζουν τη χρήση των λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς.

Παθογόνοι ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα και ελμινθοσπόρια, που επιβιώνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον, είναι δυνατόν να απαντώνται στα αστικά λύματα. Τα παθογόνα βακτήρια βρίσκονται σε μικρότερους πληθυσμούς από τα κολοβακτηρίδια στα λύματα. Τα τελευταία δε, είναι ευκολότερο να εντοπιστούν και να μετρηθούν (σύνολο κολοβακτηρίδιων/100ml). Η παρουσία του *Escherichia coli* (κολοβακτηρίδιο που ενδημεί στο κατώτερο μέρος του πεπτικού συστήματος του ανθρώπου και των ζώων) αποτελεί την καλύτερη μαρτυρία της μόλυνσης του νερού από ανθρώπινα εκκρίματα και της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών. Είναι δυνατό να αναγνωριστεί, να απομονωθεί και να μετρηθεί σε εντερόκοκκους/100ml λυμάτων.

Πίνακας 1.2.1. Τυπική σύσταση ανεπεξεργαστων υγρών αστικών αποβλήτων.

Συστατικά	Όρια συγκέντρωσης			Μέσες τιμές Η.Π.Α.
	Μεγάλη	Μέση	Μικρή	
Ολικά στερεά (mg/l)	1200	720	350	-
Διαλυμένα (mg/l)	850	500	250	-
Αιωρούμενα (mg/l)	350	220	100	192.0
Καθιζάνοντα στερεά (ml/l)	20	10	5	-
Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (B.O.D. ₅ , (mg/l), 20°C)	400	220	110	181.0
Ολικός οργανικός άνθρακας (T.O.C., (mg/l))	290	160	80	102.0
Χημική απαίτηση οξυγόνου (C.O.D., (mg/l))	1000	500	250	417.0
Άζωτο ολικό(ως N, (mg/l))	85	40	20	34.0
Οργ.-N (mg/l)	35	15	8	13.0
NH ₄ -N (mg/l)	50	25	12	20.0
NO ₂ -N (mg/l)	0	0	0	-
NO ₃ -N (mg/l)	0	0	0	0.6
Φώσφορος ολικός (ως P, (mg/l))	15	8	4	9.4
Οργανικός Φώσφορος(mg/l)	5	3	1	2.6
Ανόργανος Φώσφορος(mg/l)	10	5	3	6.8
Χλωριόντα(mg/l)	100	50	30	-
Βόριο(mg/l)				0.7-1.7
Διαλυτό Na (%)				50-70
EC (dS/m)				2.0-3.0
SAR (meq/l) ^{1/2}				3.0-9.0
Σκληρότητα (CaCO ₃)				200-300
Αλκαλικότητα (ως CaCO ₃)	200	100	50	211
Λίπη-Έλαια (mg/l)	150	100	50	-
Ολικά κολοβακτηρίδια, MPN/100 ml	-	-	-	22*10 ⁶
Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, MPN/100 ml	-	-	-	8*10 ⁶
Ιοί, PFU/100 ml	-	-	-	3.6

Πηγή: Asano et al. (1985); U.N.D.T.C.D. (1985); Asano (1994).

1.3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του νερού είναι απαραίτητος για την αξιολόγηση της βιολογικής και χημικής επικινδυνότητας κατά τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων σε διάφορες εφαρμογές, καθώς και της αποτελεσματικότητας των μεθόδων

επεξεργασίας των λυμάτων. Οι παράμετροι ποιότητας που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των επεξεργασμένων λυμάτων, βασίζονται στις σύγχρονες τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων. Στον Πίνακα 1.3.1 παρουσιάζονται οι σχετικές με την ποιότητα του νερού παράμετροι. Τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων είναι σχεδιασμένα ώστε να ανταποκρίνονται στα κριτήρια ποιότητας του νερού σε βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), ολική συγκέντρωση εντεροκόκκων, επίπεδα θρεπτικών ουσιών (άζωτο και φώσφορος) και υπολειμματικό χλώριο.

Πίνακας 1.3.1. Φυσικοχημικές παράμετροι, η σημασία τους και επίπεδα συγκεντρώσεων στα επεξεργασμένα λύματα (Asano, 1998).

Παράμετρος	Σημασία	Προσεγγιστικά επίπεδα συγκεντρώσεων στα επεξεργασμένα λύματα
Ολικά Αιωρούμενα στερεά (TSS)	Τα TSS μπορούν να οδηγήσουν σε αποθέσεις λάσπης και αναερόβιες συνθήκες. Μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν έμφραξη των αρδευτικών συστημάτων. Η παρουσία στερεών στα λύματα μπορεί να συσχετισθεί με την μικροβιακή μόλυνση, και τη θολότητα και με την αποτελεσματικότητα απολύμανσης.	< 1 έως 30 mg/l
Οργανικοί δείκτες (TOC) Διασπώμενες οργανικές ουσίες (COD, BOD)	Μέτρηση του οργανικού άνθρακα Η βιολογική τους αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε έλλειμμα οξυγόνου. Στην άρδευση μόνο μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν προβλήματα. Μικρές έως μέσες συγκεντρώσεις είναι επωφελείς.	1 - 20 mg/l 10 - 30 mg/l
Θρεπτικά στοιχεία N, P, K	Στα επιφανειακά υδατικά συστήματα οδηγούν σε ευτροφισμό. Στην άρδευση αποτελούν ωφέλιμη πηγή θρεπτικών. Τα νιτρικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση των υπόγειων νερών.	N: 10 έως 30 mg/l P: 0.1 έως 30 mg/l
Σταθερές οργανικές ουσίες (π.χ. φαινόλες, εντομοκτόνα, χλωράνθρακες)	Κάποιες είναι τοξικές για το περιβάλλον, στο έδαφος συσσωρεύονται.	
PH	Επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων, την αλκαλικότητα, τη δομή του εδάφους και την ανάπτυξη των φυτών.	
Βαρέα μέταλλα (Cd, Zn, Ni, etc.)	Διαδικασίες συσσώρευσης στο έδαφος, τοξικά στα φυτά.	
Παθογόνοι οργανισμοί	Μέτρηση των κινδύνων για την υγεία εξαιτίας της παρουσίας των εντερικών ιών, των παθογόνων βακτηρίων και των πρωτόζωων.	κολοβακτηρίδια < 1 έως 10 ⁴ /100 ml Άλλα παθογόνα ελέγχονται από την τεχνολογία της επεξεργασίας
Διαλυτά ανόργανα στοιχεία (TDS, EC, SAR)	Υπερβολική αλατότητα μπορεί να βλάψει τις καλλιέργειες. Το βόριο, το νάτριο και το χλώριο είναι τοξικά σε ορισμένες καλλιέργειες, υπερβολική συγκέντρωση νατρίου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διηθητικότητας.	

Παραδοσιακά το αρδευτικό νερό κατατάσσεται με βάση διάφορα συστήματα ταξινόμησης ποιότητας με σκοπό την ενημέρωση του χρήστη για τα πλεονεκτήματα ή για τους κινδύνους που σχετίζονται με την χρήση του, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή παραγωγή. Τα συστήματα ταξινόμησης της ποιότητας του νερού αποτελούν μόνο ενδεικτικές κατευθυντήριες γραμμές και η εφαρμογή τους θα πρέπει να

προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στον αγρό, όταν το νερό προορίζεται για αρδευτικούς σκοπούς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συνθήκες στον αγρό επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες και είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξαρτάται κάθε φορά από τις κλιματικές συνθήκες, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, την ανθεκτικότητα σε άλατα των καλλιεργειών και από τις πρακτικές διαχείρισης. Έτσι η κατάταξη του νερού για άρδευση είναι πάντα γενική και εφαρμόσιμη για μέσες συνθήκες.

Πίνακας 1.3.2. Κατευθυντήριες γραμμές για αξιολόγηση της ποιότητας νερού για άρδευση (Ayers and Westcott, 1985).

Παράμετρος	Μονάδες	Επίπεδο περιορισμού χρήσης		
		Ασήμαντο	Μέτριο	Απαγορευτικό
Αλατότητα (EC_w)	dS/m	< 0.7	0.7 - 3	> 3
Ολικά διαλυτά στερεά (TDS)	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)	mg/l	< 50	50 - 100	> 100
Όξινο ανθρακικό (HCO_3^-)	mg/l	< 90	90 - 500	> 500
Βόριο (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3	> 3
Χλώριο (Cl^-), ευαίσθητες καλλιέργειες	mg/l	< 140	140 - 350	> 350
Χλώριο (Cl^-), ψεκαστίρες	mg/l	< 100	> 100	> 100
Χλώριο (Cl_2), υπολειμματικό	mg/l	< 1.0	1 - 5	> 5
Υδρόθειο (H_2S)	mg/l	< 0.5	0.5 - 2	> 2
Σίδηρος (Fe), στάγδην άρδευση	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Μαγγάνιο (Mn), στάγδην άρδευση	mg/l	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Αζωτο (N), ολικό	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Νάτριο (Na^+), ευαίσθητες καλλιέργειες	mg/l	< 100	> 100	> 100
Νάτριο (Na^+), ψεκαστίρες	mg/l	< 70	> 70	> 70
SAR	mg/l	< 3	3-9	> 9

Έχουν προταθεί πολλά συστήματα κατάταξης του αρδευτικού νερού (Αντωνόπουλος, 2003). Οι Ayers και Westcott (1985) κατατάσσουν το αρδευτικό νερό σε τέσσερις ομάδες βασισμένες αντίστοιχα στην αλατότητα, την διηθητικότητα, την τοξικότητα και τους υπόλοιπους κινδύνους. Αυτή η γενική ποιοτική κατάταξη βοηθά στην αναγνώριση πιθανών προβλημάτων στην παραγωγή των καλλιεργειών που σχετίζονται με τη χρήση συμβατικών πηγών νερού. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να εφαρμοσθούν για την εκτίμηση της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς, όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε χημικές ουσίες, όπως είναι τα διαλυμένα άλατα, η σχετική αναλογία νατρίου και τα τοξικά ιόντα. Ο Πίνακας 1.3.2 παρέχει τιμές της ποιότητας του νερού ως γενικά πρότυπα για την

εκτίμηση της ποιότητας νερού για άρδευση, ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας (περιορισμού χρήσης).

Κατά τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση, πρέπει να γίνει εκτίμηση των πλεονεκτημάτων, μειονεκτημάτων και των πιθανών κινδύνων της χρήσης αυτής. Ο Πίνακας 1.3.3 συνοψίζει τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και τους πιθανούς κινδύνους όσον αφορά τη αποθήκευση των λυμάτων, τις διάφορες ουσίες που περιέχουν και τις επιδράσεις τους στο έδαφος.

Πίνακας 1.3.3. Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και πιθανοί κίνδυνοι της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Κίνδυνοι
Βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας της επένδυσης όσον αφορά την διάθεση των λυμάτων και την άρδευση. Διατήρηση των καθαρών πηγών. Επαναπλήρωση των υδροφορέων μέσω βαθιάς διήθησης (φυσική επεξεργασία).	Τα λύματα παράγονται συνεχώς κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ οι απαιτήσεις της άρδευσης σε νερό περιορίζονται στην καλλιεργητική περίοδο	Πιθανή ρύπανση των υπογείων νερών εξαιτίας των βαρέων μετάλλων και οργανικών ουσιών.
Χρήση των θρεπτικών των λυμάτων (π.χ. άζωτο και φωσφορικά). Μείωση της χρήσης των συνθετικών λιπασμάτων. Βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους (γονιμότητα, υψηλότερες αποδόσεις).	Η παρουσία κάποιας ουσίας στα λύματα ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τοξική για τα φυτά ή επιβλαβής για το περιβάλλον.	Ρύπανση υπόγειων νερών από νιτρικά Συσσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα. Τοξικότητα ορισμένων στοιχείων στα φυτά.
Μείωση της επίδρασης των λυμάτων στο περιβάλλον (ευτροφισμός και ελάχιστες απαιτήσεις απόρριψης).		

Συνοψίζοντας τις θετικές και αρνητικές πλευρές, μπορεί να ειπωθεί ότι τα λύματα, ακόμη και επεξεργασμένα, σχετίζονται με κινδύνους στην υγεία και το περιβάλλον. Επιπρόσθετα υπάρχει συχνά μία χρονική ασυμφωνία μεταξύ της παροχής με λύματα και των απαιτήσεων από την αρδευόμενη γεωργία, που οδηγεί στην ανάγκη δαπανηρών εγκαταστάσεων αποθήκευσης τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

2.1.1. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

Οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία από την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων σχετίζονται με δύο παράγοντες. Το βαθμό άμεσης έκθεσης στα επεξεργασμένα λύματα και την καταλληλότητα, την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία του συστήματος επεξεργασίας. Ο σκοπός κάθε προγράμματος επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι να προστατέψει τη δημόσια υγεία, χωρίς όμως περιορισμούς που να αποθαρρύνουν τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων. Κανονισμοί καθορίζουν τα πρότυπα της ποιότητας του νερού σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις επεξεργασίας, δειγματοληψίας και ελέγχου. Για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων στην υγεία και των προβλημάτων αισθητικής, εντατικοί έλεγχοι γίνονται κατά τη μεταφορά και χρήση των λυμάτων, αφού αυτά απομακρυνθούν από την εγκατάσταση επεξεργασίας. Επειδή η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων συνδέεται κυρίως με την υγεία, οι περισσότερες έρευνες των επιπτώσεών τους έχουν στραφεί στην κατεύθυνση της προστασίας της δημόσιας υγείας.

Οργανικές χημικές ουσίες συνήθως εντοπίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα. Η συσσώρευσή τους μετά από συνεχή χρήση για μεγάλη χρονική περίοδο θα μπορούσε να προκαλέσει επιβλαβή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Το παραπάνω δεν πρόκειται να συμβεί με τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων στη γεωργία ή στην υδροπονία, εκτός αν σημειωθεί διαρροή σε πόσιμο νερό από λανθασμένες συνδέσεις στους αγωγούς μεταφοράς ή εάν οι αγρότες και άλλοι εργαζόμενοι δεν διαθέτουν τις απαραίτητες γνώσεις για την προφύλαξή τους. Συνεπώς οι κύριοι κίνδυνοι για την υγεία από τις χημικές ουσίες των επεξεργασμένων λυμάτων, προέρχονται από μόλυνση των καλλιεργειών ή των υπόγειων νερών.

2.1.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι μεγάλης σημασίας. Ειδικά σε ξηρές περιοχές όπου υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή σχετική υγρασία έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλή εξάτμιση, με επακόλουθη απόθεση αλάτων που τείνουν να συσσωρεύονται στο εδαφικό προφίλ. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η διασπορά των τεμαχιδίων, η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, η δομή του εδάφους και η αγωγιμότητα, είναι χαρακτηριστικά ευαίσθητα στο είδος των ανταλλάξιμων ιόντων που εντοπίζονται στο αρδευτικό νερό. Έτσι όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν επεξεργασμένα λύματα, πολλοί είναι οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Οι σημαντικές παράμετροι ποιότητας νερού για τη γεωργία περιλαμβάνουν ένα αριθμό συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του νερού, τα οποία είναι σχετικά με την απόδοση της καλλιέργειας, τη διατήρηση της παραγωγικότητας του εδάφους και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βασικές παράμετροι ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων από αγρονομική σκοπιά είναι: η αλατότητα, η διηθητικότητα, η τοξικότητα των ιόντων, συγκέντρωση ιχνοστοιχείων και θρεπτικών στοιχείων.

2.1.2.1. ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Η αλατότητα, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο νερό και με τα πιθανά προβλήματα που προκαλούν τα άλατα του νερού άρδευσης στα εδάφη και τα φυτά. Οι ζημιές που προκαλούνται στα φυτά, τόσο από το συνολικό ποσό των διαλυμένων αλάτων στο νερό όσο και από συγκεκριμένα ιόντα, συνδέονται στενά με την αυξημένη αλατότητα.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων φτάσουν σε επίπεδα που είναι βλαπτικά για το έδαφος, ή/και για τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων εξαρτάται από το ρυθμό απόθεσής τους στο έδαφος με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους με έκπλυση. Για μακρές χρονικές περιόδους, η

ποσότητα των αλάτων που εισέρχεται στο έδαφος πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα που απομακρύνεται. Τα περισσότερα άλατα είναι διαλυτά και μετακινούνται εύκολα με το εφαρμοζόμενο νερό. Η μόνη διαδικασία που μπορεί να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα είναι η έκπλυση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή περισσότερου νερού από αυτό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να καταναλώσουν τα φυτά. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητη η καλή έως άριστη στράγγιση του εδάφους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω.

2.1.2.2. ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Τα άλατα του νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τις άμεσες δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά, μπορεί να επηρεάσουν και την εδαφική δομή. Μειώνουν τόσο το ρυθμό με το οποίο το νερό διεισδύει στο έδαφος όσο και τον αερισμό του εδάφους. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Επακόλουθο της καταστροφής της εδαφικής δομής είναι το επιφανειακό λίμνασμα του νερού, η δημιουργία κρούστας, η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και η έλλειψη επαρκούς αερισμού του εδάφους. Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα εφαρμόζεται συχνά σε ήδη υποβαθμισμένα εδάφη, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα ακόμη μεγαλύτερο.

Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους. Σχετίζονται κυρίως με υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από άρδευση με νερά πολύ μικρής αλατότητας, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους ή με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου στο έδαφος σε σχέση με το ασβέστιο. Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς (Rhoades, 1977; Oster and Schroer, 1979), αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR (sodium adsorption ratio). Για δεδομένο SAR, η διηθητικότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται η αλατότητα του νερού άρδευσης και μειώνεται όσο μειώνεται η αλατότητα του. Για το λόγο αυτό

το SAR και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού, EC_w , πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνδυασμένα για την εκτίμηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων διηθητικότητας.

2.1.2.3. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΙΟΝΤΩΝ

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από φυτά, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στο φυτό και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων παρουσιάζονται συχνά μαζί με εκείνα της αλατότητας κάνοντάς τα πιο πολύπλοκα, παρόλα που μερικές φορές προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την άρδευση με υγρά απόβλητα είναι το βόριο, το νάτριο και το χλώριο (Πανώρας και Ηλίας, 1999). Η συγκέντρωση των δύο τελευταίων είναι αυξημένη όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά νερού.

2.1.2.4. ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο νερό άρδευσης αλλά και στα εδαφικά διαλύματα υπάρχουν διάφορα στοιχεία που βρίσκονται είτε σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις είτε σε συγκεντρώσεις μικρότερες από μερικά mg/l με συνήθεις τιμές μικρότερες από 100 μg/l (ιχνοστοιχεία). Μερικά από αυτά σε μικρές συγκεντρώσεις είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των φυτών, ενώ με την αύξηση των συγκεντρώσεων δρουν τοξικά.

Η ύπαρξη ιχνοστοιχείων στα υγρά αστικά απόβλητα σχετίζεται με την προέλευση των νερών και τις δραστηριότητες της αστικής περιοχής από την οποία προέρχονται τα απόβλητα. Η χρήση των ιχνοστοιχείων είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιομηχανία και στη μεταποίηση καταναλωτικών αγαθών. Επίσης, η παλαίωση και η σταδιακή διάβρωση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης συνεισφέρει στην παρουσία ιχνοστοιχείων στα υγρά απόβλητα. Για τους λόγους αυτούς, έστω και μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων βρίσκονται πάντοτε στα υγρά αστικά απόβλητα. Κάποια αποχετευτικά δίκτυα δέχονται και βιομηχανικές εκροές με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα απόβλητα. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα

ανεπεξέργαστα απόβλητα μειώνονται κατά 70 έως 90% μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία (Πανώρας και Ηλίας, 1999).

2.1.2.5. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν πλεονέκτημα της άρδευσης με τέτοιο νερό, επειδή μειώνουν την ανάγκη προσθήκης θρεπτικών στοιχείων με χημικά λιπάσματα. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η περίσσεια θρεπτικών στοιχείων στα υγρά απόβλητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε κάποιες καλλιέργειες. Η γενική αρχή είναι να γίνονται περιοδικοί έλεγχοι για την εκτίμηση των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στα απόβλητα, έτσι ώστε να υπολογίζονται οι ποσότητες που δίνονται στο έδαφος και φυσικά στην καλλιέργεια μέσω των αρδεύσεων. Τα θρεπτικά στοιχεία που συνήθως υπάρχουν στα υγρά αστικά απόβλητα περιλαμβάνουν το άζωτο, το φώσφορο και περιστασιακά το κάλιο, τον ψευδάργυρο, το βόριο και το θείο.

2.1.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Υπό κανονικές συνθήκες, το σύστημα άρδευσης που θα επιλεγεί θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες. Όπως είναι η διαθεσιμότητα νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος των καλλιεργειών, το κόστος της αρδευτικής μεθόδου και την ικανότητα διαχείρισης του συστήματος. Πάντως, όταν χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα λύματα ως πηγή αρδευτικού νερού, ο παράγοντας της μόλυνσης των φυτών, των συγκομιζόμενων προϊόντων, των εργατών και του περιβάλλοντος πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Στον Πίνακα 2.1.3.1 παρουσιάζονται οι κίνδυνοι από την εφαρμογή επεξεργασμένων λυμάτων με διάφορες μεθόδους άρδευσης.

Πίνακας 2.1.3.1. Αξιολόγηση κοινών μεθόδων αρδεύσεων σε σχέση με τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων (Kandiah, 1990).

Παράμετρος αξιολόγησης	Μέθοδος άρδευσης			
	Αυλάκια	Λωοίδες	Καταιονισμός	Σπιάνες
Διαβροχή φύλλων και επακόλουθη ζημιά στα φύλλα με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής	Δεν προκαλείται ζημιές στα φύλλα γιατί τα φυτά βρίσκονται στον αυχένα των αυλακίων και δεν έρχονται σε επαφή με το νερό	Κάποια από τα κατώτερα φύλλα μπορεί να διαβραχούν, αλλά η ζημιά δεν μειώνει την παραγωγή	Μπορεί να προκληθούν μεγάλες ζημιές στα φύλλα με αποτέλεσμα σημαντική μείωση της παραγωγής	Δεν συμβαίνει καμία ζημιά στα φύλλα.
Συσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα με τη συνεχή εφαρμογή	Συσώρευση αλάτων στον αυχένα των φυτών με πιθανή πρόκληση ζημιών	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δεν συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δεν συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα	Η κίνηση των αλάτων είναι ακτινική κατά μήκος της κατεύθυνσης του νερού. Άλατα συσσωρεύονται μεταξύ των σημείων ενστάλαξης
Ικανότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλή διαθεσιμότητα για τα φυτά	Τα φυτά μπορεί να υποστούν στρες από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων	Τα φυτά μπορεί να υποστούν στρες από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων	Δεν μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου	Μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα νερού σε όλη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και να μειώσει την επίδραση της αλατότητας
Καταλληλότητα χειρισμού μερικά αλατούχων λυμάτων χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση του νερού και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις	Μέτρια έως ανεπαρκής. Οι περισσότερες καλλιέργειες υποφέρουν από ζημιές στα φύλλα με συνέπεια μειωμένη παραγωγή	Άριστη έως καλή. Σχεδόν όλες οι καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν με πολύ μικρή μείωση της παραγωγής

2.2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Ένας μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών έχει προταθεί και ταυτοποιηθεί ως δείκτες (Ashbolt et al., 2001), αν και μόνο ένας μικρός αριθμός από αυτούς έχει υιοθετηθεί στην πράξη (Πίνακας 2.2.1). Τα νεότερα δεδομένα χρησιμοποιούσαν “TC” ενδεικτικό οργανισμό (USEPA, 1973). Τα δεδομένα βασίζονται στα θερμοανθεκτικά “FC”, μια υποδιαίρεση του “TC” που έχει την ικανότητα να καλλιεργεί την λακτόζη και να παράγει οξύ και αέριο στους 44,5°C. Πιο πρόσφατα, ως δείκτες επιλογής χρησιμοποιείται ο E.coli και σε μερικές περιπτώσεις ο streptococci (Πίνακας 2.2.1). Επιπρόσθετα δεδομένα έχουν υιοθετηθεί για να συμπεριλάβουμε και τα αυγά από νηματώδεις και/ή ελμινθοσπόρια (Blumenthal et al., 2000).

Τα δεδομένα της μικροβιακής ποιότητας του νερού για το νερό άρδευσης θα πρέπει να περιλαμβάνει διαχωρισμούς ανάμεσα στις πηγές νερού άρδευσης, την μέθοδο άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας και την διαχείριση της γης (Πίνακας 2.2.1). Για

το νερό αποβλήτων, μια σημαντική διάκριση προτάθηκε ανάμεσα στην περιορισμένη άρδευση (π.χ. για χρήσεις που να περιλαμβάνουν καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων θα φαγωθούν ωμά) και στην μη περιορισμένη άρδευση για προϊόντα που θα υποστούν επεξεργασία (Blumenthal et al., 2000).

Μερικές πολιτείες δεν επιτρέπουν την άρδευση καλλιέργειας με νερό αποβλήτων οποιουδήποτε τύπου. Για παράδειγμα, η Φλόριντα δεν επιτρέπει την άρδευση με μολυσμένο νερό καλλιεργειών βρώσιμων προϊόντων που δεν θα ξεφλουδιστούν, μαγειρευτούν ή επεξεργαστούν θερμικά πριν την κατανάλωση (USEPA, 2004), αν και η άρδευση με σταγόνες ή υπόγεια επιτρέπονται (O'Connor et al., 2008).

Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι οι προϋποθέσεις για το επεξεργασμένο νερό αποβλήτων είναι πιο περιορισμένες, σε κάποιες περιπτώσεις, παρά στο πόσιμο νερό (O'Connor et al., 2008). Το Εθνικό Συμβούλιο Ερευνών (NRC, 1996) ανέφερε ότι η ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων για τις περισσότερες παραμέτρους είναι γενικά πολύ κάτω από τα επίπεδα που μετρήθηκαν στον ποταμό Κολοράντο και τα προτεινόμενα ελάχιστα ποιοτικά κριτήρια νερού άρδευσης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παθογόνων είναι ανεκτικές στα νερά επιφάνειας όταν το νερό άρδευσης δεν έρχεται σε επαφή με τα βρώσιμα μέρη του φυτού.

Μεγάλη ανησυχία για την χρήση του νερού αποβλήτων για άρδευση είναι η πιθανότητα αυτών των υδάτων να περιέχουν οργανικούς ρύπους (π.χ. αντιβιοτικά, ενδοκρινικές συνθέσεις, υπολείμματα παρασιτοκτόνων). Οι συγκεντρώσεις αυτών είναι ακόμη ακανόνιστες και οι επιδράσεις τους στην δημόσια και περιβαλλοντική υγεία δεν είναι πλήρως κατανοητές (Metcalf and Eddy, 2007).

Οι τοπικές διαφορές ανάμεσα στα δεδομένα ποιότητας του νερού μπορεί να είναι μεγάλες. Ένα παράδειγμα βρίσκεται στον Πίνακα 2.2.1 όπου παρουσιάζονται τα δεδομένα για τέσσερις επαρχίες του Καναδά: Αλμπέρτα (Alberta Environment, Environmental Service, 1999), Βρετανική Κολούμπια (Warrington, 1988), Μανιτόμπα (Williamson, 2002), και Σασκατσέουαν (Anonymous, 2006). Ένα άλλο παράδειγμα περιγράφεται στον Πίνακα 2.2.2 όπου τα δεδομένα της μικροβιακής ποιότητας του νερού αποβλήτων συλλέχθηκαν για τις ΗΠΑ που έχουν τέτοια δεδομένα, και επιτρέπουν το νερό αποβλήτων να χρησιμοποιείται για άρδευση παραγωγής φρέσκων προϊόντων.

Πίνακας 2.2.1. Παραδείγματα των δεδομένων της μικροβιακής ποιότητας του νερού που εφαρμόζονται σε νερά που χρησιμοποιούνται για την άρδευση παραγωγής.

Πηγή	Τύπος Νερού	Μέθοδος Άρδευσης	Χρήση Γης	Τύπος Καλλιέργειας	Όρια Συγκέντρωσης				
					TC (σύνολο κολοβακτηριδίων, κύτταρο/100mL)	FC (κολοβακτηρίδια κοπράνων, κύτταρο/100 mL)	EC (E. coli, κύτταρο/100mL)	FS (enterococci, κύτταρο/100mL)	NE (αυγά νηματώδη/L)
USERA (1973)	Επιφανειακό	-	-	-	-	1000 ^a	-	-	-
Canadian Council... (1999)	-	-	-	-	1000 ^a	100 ^a	-	-	-
Alberta Environment... (1999)	Επιφανειακό	-	-	-	1000 ^b 1000 ^c 2400 ^a	100 ^b 200 ^a	-	-	-
Warrington (1988) ^d	-	-	-	Ωμή κατανάλωση	1000 ^c 2400 ^a	200 ^b 200 ^a	77 ^b	20 ^b	-
Warrington (1988)	-	-	Ανοιχτή στο κοινό και τη βόσκηση	Ωμή και άλλου τύπου κατανάλωση	1000 ^c 2400 ^a	-	385 ^a	100 ^a	-
Williamson (2002)	-	-	-	-	-	200 ^a	200 ^a	-	-
Anonymous (2006)	Επιφανειακό	-	-	Ωμή κατανάλωση	1000 ^a	100 ^a	-	-	-
Blumenthal et al. (2000)	Λύματα	-	-	Ωμή κατανάλωση	-	1000 ^a	-	-	1 ^a
Blumenthal et al. (2000)	Λύματα	-	-	Κατανάλωση αφού έχουν υποστεί επεξεργασία	-	100000 ^a	-	-	-
CSFSGLLGSC ^f (2009)	-	Καταιονισμός	-	Ωμή κατανάλωση	-	-	126 ^b 235 ^a	-	-
CSFSGLLGSC ^f (2009)	-	Στάγδην/ Αυλάκια	-	Ωμή κατανάλωση	-	-	126 ^b 576 ^a	-	-
Vermont Water Agency (2009)	-	-	-	-	-	200 ^a	77 ^a	-	-
Johnson (2009)	-	Καταιονισμός	-	-	-	200 ^a	126	-	-
Johnson (2009)	-	Στάγδην	-	-	-	576 ^a	-	-	-
Bahri and Brissaud (2004)	Λύματα	Καταιονισμός/ Επιφανειακή	-	Λαχανικά	1000 ^e	1000 ^e	-	-	-

⁻, δεν έχει καθοριστεί

^a, οποιαδήποτε μεμονωμένη μέτρηση

^b, γεωμετρικός μέσος 5 εβδομαδιαίων μετρήσεων

^c, οποιαδήποτε από τις 5 διαδοχικές εβδομαδιαίες μετρήσεις

^d, η *P. aeruginosa* είναι επίσης περιορισμένη

^e, τουλάχιστον στο 80% διαδοχικών μετρήσεων

^f, Ειδικές κατευθυντήριες γραμμές της Ασφάλειας Τροφίμων για τα μαρούλια και τα φυλλώδη πράσινα λαχανικά.

Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις εγκρίνονται για το επιφανειακό νερό ανάλογα με την μέθοδο άρδευσης που θα χρησιμοποιηθεί (άρδευση με σταγόνες). Πιθανόν συσχετίζονται με ευρήματα σχετικά με το γεγονός ότι οι πληθυσμοί που εκτίθενται σε άρδευση με τεχνητή βροχή μπορεί να έχουν αυξημένο κίνδυνο βακτηριακής μόλυνσης (Blumenthal and Peasey, 2002). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο αυξημένος κίνδυνος ήταν προφανής μόνο για το νερό άρδευσης που περιείχε 10⁵ TC/100mL περισσότερο από τα επιτρεπτά επίπεδα (Πίνακας 2.2.2). Δεν είναι ξεκάθαρο ποια είναι η επιστημονική ή επιδημιολογική λογική πίσω από οποιοδήποτε τοπικό δεδομένο.

Εξαιτίας της έλλειψης πληροφοριών για το πώς η ποιότητα του νερού επηρεάζει τις συγκεντρώσεις παθογόνων στην παραγωγή και συνεπώς στην υγεία του καταναλωτή, μερικά τοπικά δεδομένα για την ποιότητα του νερού έχουν βασιστεί στα μικροβιολογικά δεδομένα του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση χώρων αναψυχής (Soderstrom et al., 2008). Τα δεδομένα για την χρήση του νερού για άρδευση χώρων αναψυχής θεωρούνται προβληματικά επειδή καθιερώθηκαν με βάση την επικινδυνότητα για την ανθρώπινη υγεία εκθέτοντας το σώμα σε πλήρη επαφή κατά την διάρκεια της κολύμβησης, και έτσι δεν λαμβάνει υπόψη την εξόντωση τους στα κενά ανάμεσα στις αρδεύσεις και στην έκθεσή τους σε περιβαλλοντικούς παράγοντες που σχετίζονται με την παραγωγή προϊόντων (Suslow, 2010).

Πίνακας 2.2.2. Αξιοποιημένα δεδομένα νερού αποβλήτων για άρδευση παραγωγής που τρώγεται ωμή στις ΗΠΑ όπου τέτοια άρδευση επιτρέπεται. Οι αριθμοί είναι συγκεντρώσεις των TC ή FC, κύτταρο/100 Μl.

Πολιτεία	Μέθοδος Άρδευσης	TC ή FC	Μέσος όρος	Σε κάθε μεμονωμένο δείγμα	Συχνότητα δειγματοληψίας
Αριζόνα	Καταιονισμός	FC	0 ^a	23	Καθημερινά
Αριζόνα	Επιφανειακή	FC	200 ^a	800	Καθημερινά
Καλιφόρνια	Καταιονισμός	TC	2.2 ^a	23	Καθημερινά
Κολοράντο	Καταιονισμός	TC	2.2 ^b	-	Καθημερινά
Χαβάη	Μόνο Επιφανειακή	FC	2.2 ^b	23	Καθημερινά
Ιντάχο	-	TC	2.2 ^b	-	Καθημερινά
Νιου Τζέρσεϊ	Μόνο Επιφανειακή	FC	2.2 ^a	14	Καθημερινά
Νέο Μεξικό	Μόνο Επιφανειακή	FC	1000	-	-
Όρεγκον	Μόνο Επιφανειακή	TC	2.2 ^b	23	Καθημερινά
Τέξας	Μόνο Επιφανειακή	FC	20 ^c	75	Δύο φορές την εβδομάδα
Γιούτα	Καταιονισμός	FC	0 ^a	14	Καθημερινά
Ουάσινγκτον	Μόνο Επιφανειακή	TC	2.2 ^b	23	Καθημερινά

-, δεν έχει καθοριστεί

a, εντοπίστηκε στα 4 από τα 7 τελευταία ημερήσια δείγματα

b, μέσος όρος 7 ημερών

c, μέσος όρος από δείγματα δύο φορές την εβδομάδα

Πηγή: USEPA (2004).

Με δεδομένο ότι αποφυγή άρδευσης με τεχνητή βροχή θεωρείται σημαντική πρακτική διαχείρισης για να αυξήσουμε την ασφάλεια της παραγωγής (Barker-Reid et al., 2009), το καθεστώς άρδευσης πριν την συγκομιδή θα πρέπει να γίνεται με βάση τα δεδομένα αυτά. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο California Leafy Greens Marketing Agreement (LGMA) απαιτεί ένα διάστημα 24 ωρών ανάμεσα στην άρδευση και την συγκομιδή.

Ανάλογα με την περιοχή, έχουν γίνει διαφοροποιήσεις στα δεδομένα ανάμεσα στις πηγές νερού άρδευσης, την μέθοδο άρδευσης, το είδος του καλλιεργούμενου φυτού και την διαχείριση της γης (Πίνακας 2.2.1). Οι επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις παθογόνων είναι συνήθως πολύ υψηλότερες στην περίπτωση μεθόδου άρδευσης στην οποία το νερό επιφάνειας δεν έρχεται σε επαφή με τα βρώσιμα μέρη του φυτού. Αυτή η υπόθεση απαιτεί περισσότερη διερεύνηση καθώς (1) οι παθογόνοι μπορούν να εισέρθουν στο φυτό μέσα από τις ρίζες (Bernstein et al., 2007a, 2007b; Solomon et al., 2002a, 2002b) και (2) το πιτσίλισμα νερού μέσα στο χωράφι μπορεί να μεταφέρει μικροοργανισμούς από την επιφάνεια του εδάφους αρκετά μακριά (Boyer, 2008).

Διατυπώνονται δύο μεγάλες ενστάσεις. Πρώτον, η συχνότητα δειγματοληψίας του νερού δεν έχει διευκρινιστεί και δεύτερον οι συγκεντρώσεις των ενδεικτικών οργανισμών δεν συσχετίζονται με τις συγκεντρώσεις των παθογόνων. Οι συστάσεις για την συχνότητα δειγματοληψίας κυμαίνονται από ετήσια δειγματοληψία (Anonymous, 2010b) και εύρος δειγματοληψίας όχι μεγαλύτερο από ένα μήνα (Gombas, 2007; Strang, 2010), πέντε φορές τον μήνα (Jamieson et al., 2002), έως και καθημερινά (π.χ. Πίνακας 2.2.2). Μια κοινή πρακτική είναι να χρησιμοποιηθεί ο γεωμετρικός μέσος των τιμών των μετρήσεων 5 εβδομάδων (Πίνακας 2.2.1). Το πρόβλημα προκύπτει από τις υψηλές προσωρινές μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ενδεικτικών οργανισμών που έχουν παρατηρηθεί στις πηγές νερού άρδευσης. Οι μεταβλητότητες στις συγκεντρώσεις των ενδεικτικών οργανισμών από τους γεωμετρικούς μέσους για τέσσερις μετρήσεις το μέγιστο μια φορά την εβδομάδα δεν έχουν καταγραφεί, ούτε η συσχέτιση τους με την μόλυνση της παραγωγής είναι αποδεδειγμένη.

Τα δεδομένα όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των ενδεικτικών οργανισμών και των παθογόνων ή των πιθανών παθογόνων είναι αποσπασματικές. Διάφορες μελέτες πραγματοποιήθηκαν για να βρεθεί μία τέτοια συσχέτιση αλλά τελικά δεν βρέθηκε καμία (Duris et al., 2009; Harwood et al., 2005; Jjemba et al., 2010; Kramer et al., 1996; Shelton et al., 2011). Οι διαφορές στους ενδεικτικούς οργανισμούς χάρη στις ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες για επιβίωση ή ακόμη και στην ικανότητα τους να πολλαπλασιάζονται στο περιβάλλον, επηρεάζουν την χρησιμότητα των ενδεικτικών οργανισμών (Ashbolt et al., 2001). Συνεπώς, ιογενείς, βακτηριακοί, παρασιτικοί πρωτοζωικοί και ελμινθοσποριακοί παθογόνοι είναι απίθανο να συμπεριφέρονται όλοι με τον ίδιο τρόπο σαν μία μόνο ομάδα, και σίγουρα όχι σε όλες τις περιπτώσεις.

2.3. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ

Είναι γνωστό ότι τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα που προορίζονται για γεωργική χρήση ανεξάρτητα από την κατεργασία στην οποία θα υποβληθούν, δεν παύουν να εγκυμονούν κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Στην προσπάθεια να εξαλείψουν στο ελάχιστο τους κινδύνους αυτούς, πολλές χώρες και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει κριτήρια και οδηγίες όσον αφορά την καταλληλότητα των προς διάθεση αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς.

Επειδή όμως τα μικροβιακά είδη στα αστικά απόβλητα είναι πάρα πολλά και πρακτικά αδύνατο να μελετηθούν χωριστά, επινοήθηκαν οι λεγόμενοι μικροβιακοί δείκτες. Αυτοί συνίστανται σε ομάδες μικροβιακών ειδών με παραπλήσιες ιδιότητες και σε μεμονωμένα μικρόβια. Σκοπός των δεικτών είναι η εξερεύνηση της ύπαρξης ή μη μιας ευρύτερης ομάδας μικροβίων.

Ανάμεσα στους διεθνείς οργανισμούς ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) έχει θεσπίσει μικροβιολογικά κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στον αρδευτικό τομέα. Σύμφωνα με αυτά οι καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στον Πίνακα 2.2.1. στην κατηγορία Α

περιλαμβάνονται οι καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται νωπά (φρούτα, ωμά λαχανικά), καθώς επίσης και κοινόχρηστοι χώροι οι οποίοι έχουν άμεση και συνεχή επαφή με το κοινό (γήπεδα, πάρκα αναψυχής). Κύριους συντελεστές της Β κατηγορίας αποτελούν τα βιομηχανικά φυτά, τα δημητριακά, εδώδιμες καλλιέργειες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, χορτοδοτικά φυτά, βοσκότοποι και κάποιες δασικές και δενδρώδεις καλλιέργειες. Επίσης και οι δύο κατηγορίες δίνουν έμφαση στην προστασία των αγροτών ως εκτεθειμένες ομάδες, με τη διαφορά ότι στην κατηγορία Α ως άμεσα εκτεθειμένοι εντάσσονται και οι καταναλωτές.

Πίνακας 2.2.1. Συνιστώμενα κριτήρια χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων σύμφωνα με τον W.H.O. (World Health Organisation).

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδης σκόληκες (Μ.Ο. αριθμού αυγών / lt)	Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης (γεωμετρικός Μ.Ο. ανά 100 ml)	Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα
A	Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γηπέδων, πάρκων αναψυχής.	Αγρότες, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤1000	Σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης για να πετύχουν την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα.
B	Άρδευση δημητριακών, βιομ. φυτών, βοσκών, δέντρων .	Αγρότες	≤1	Δεν τίθεται όριο	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8-10 μέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση παρασίτων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης.
Γ	Άρδευση καλλιεργειών της Β κατηγορίας με επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση όταν δεν εκτίθενται αγρότες και κοινό.	Καμία	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης, αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση.

2.4. ΔΙΕΘΝΗ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ/ΝΟΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ

Από την δεκαετία του 70, όταν άρχισε η συστηματική επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, γίνονται προσπάθειες για τον καθορισμό κριτηρίων ποιότητας για την χρήση αυτή, με σκοπό την προστασία της δημοσίας υγείας, των καλλιεργειών, του εδάφους και το περιβάλλοντος. Αυτές οι προσπάθειες αναφέρονται στους:

- FAO (1985): Ποιοτικά κριτήρια που καθορίζουν το βαθμό καταλληλότητας του νερού για άρδευση (Ayers and Westcot, 1985).
- WHO (1989): Κατευθυντήριες γραμμές υγείας για την χρήση λυμάτων στη γεωργία και την υδροπονία. Λαμβάνεται υπόψη η μέθοδος επεξεργασίας, το σύστημα άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας που πρόκειται να αρδευτεί.
- EPA (1992): Κατευθυντήριες γραμμές για επαναχρησιμοποίηση νερού. Πέρα από τις κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα επεξεργασμένου νερού, προτείνονται έλεγχοι και μέτρα ασφαλείας.

Μια σύγκριση των διεθνών προτύπων μπορεί να βοηθήσει να αναπτυχθούν κατευθυντήριες γραμμές για κάθε συγκεκριμένο πρόγραμμα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων. Ορισμένες χώρες δεν έχουν ακόμη θεσπίσει προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, όμως εφαρμόζουν ακατέργαστα ή μερικώς επεξεργασμένα λύματα (Carr, 2005), ενώ κάποιες άλλες χώρες έχουν εφαρμόσει είτε δικούς τους κανονισμούς/οδηγίες, ή έχουν θεσπίσει ποιοτικά κριτήρια με βάση τους διεθνείς κανονισμούς. Η συντριπτική πλειοψηφία των χωρών τείνει να υιοθετεί και να προσαρμόζει τις όχι και τόσο αυστηρές προδιαγραφές που έχει εκδώσει ο Π.Ο.Υ. (WHO, 1989) ή τα συντηρητικά Κριτήρια Ανακύκλωσης του Νερού της Καλιφόρνια (State of California, 2000; Brissaud, 2008). Στην Ελλάδα, η κυβέρνηση εξέδωσε τα πρώτα κριτήρια ανακύκλωσης του νερού το 2008, επιτρέποντας την χρήση μόνο εξαιρετικά επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για απεριόριστη άρδευση γεωργικών καλλιεργειών (Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2008). Τα νέα κριτήρια ανακύκλωσης του νερού, τα οποία έχουν πρόσφατα εκδοθεί (Επίσημη Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2011), αν και φαίνεται να

είναι μάλλον ελπιδοφόρα, δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί σε συστήματα ανακύκλωσης του νερού.

2.5.ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΧΩΡΕΣ

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και στη γεωργία στις Μεσογειακές χώρες παρουσιάζει ίδια χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το κλίμα, τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους καθώς και τις κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες. Αυτές πιο συγκεκριμένα αντιστοιχούν σε ένα σχετικά μακρύ καλοκαίρι και μια μάλλον σύντομη περίοδο βροχών κατά τη διάρκεια του χειμώνα και τις αρχές της Άνοιξης. Επιπρόσθετα σημαντική είναι η έλλειψη νερού, που σχετίζεται με την ξηρασία, την εντατική γεωργία και τον τουρισμό, που είναι οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες, την έλλειψη οικονομικών πόρων για επενδύσεις κεφαλαίων και το λειτουργικό κόστος στο δημόσιο τομέα (Salinity Engineering Laboratory, 2000).

Η χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση έχει σταδιακά υιοθετηθεί ουσιαστικά από όλες τις μεσογειακές χώρες (Marecos do Monte et al., 1996). Το Ισραήλ υπήρξε πρωτόπορος σε αυτόν τον τομέα, και σύντομα ακολούθησαν η Τυνησία, η Κύπρος και η Ιορδανία. Η Αίγυπτος, η Παλαιστίνη, το Μαρόκο και η Συρία ανήκουν στην ομάδα χωρών, οι οποίες έχουν μεγάλη ανάγκη για την ανάπτυξη πρακτικών επαναχρησιμοποίησης του νερού. Αυτές οι πρακτικές, όμως, πρέπει να είναι εφικτές σύμφωνα με τις κρατούσες κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες, δηλαδή την έλλειψη κεφαλαίου, την περιορισμένη εμπειρία, τόσο στην κατασκευή όσο και στη λειτουργία πολύπλοκων συστημάτων διαχείρισης, καθώς και την ακατάλληλη υποδομή συμπεριλαμβανομένων των υπονόμων και των σταθμών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αυστηρά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης, όπως αυτά που προτάθηκαν από την Καλιφόρνια και από την EPA (1992), καθώς και από βιομηχανικές χώρες, δεν μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα στις προαναφερθείσες χώρες, λόγω των συνθηκών που επικρατούν στην οικονομία, την τεχνολογία και τη βιομηχανία τους. Οι οδηγίες του WHO (1989) είναι πολύ λιγότερο αυστηρές, έχοντας ως σκοπό να συστήσουν ορισμένους τρόπους επεξεργασίας των αποβλήτων που

προηγούνται της άρδευσης των καλλιεργειών, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (Andreadakis et al., 2001). Οι οδηγίες του WHO είναι, επομένως, πιο κοντά για αυτές τις χώρες.

Τα τελευταία χρόνια, οι Ευρωπαϊκές Μεσογειακές χώρες άρχισαν να μελετούν την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς (Lazarova, 2000). Μέχρι στιγμής, μόνο σε λίγες χώρες παγκοσμίως (Αυστραλία, Ισραήλ, Νότια Αφρική, Ηνωμένες Πολιτείες), η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων έχει καθιερωθεί σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να έχει οδηγήσει στο σχεδιασμό ειδικών κανονισμών ή οδηγιών. Σε ορισμένες από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κύπρος, Ισπανία, Γαλλία και Ιταλία), οι κανονισμοί που αφορούν τη χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση είναι υπό προετοιμασία ή αναθεώρηση (Angelakis et al., 2002). Στις μέρες μας, βρίσκονται υπό αναβάθμιση επίσης οι οδηγίες του WHO (1989). Οι Blumenthal et al. (2000) έχουν προτείνει συστάσεις για αυτήν την αναθεώρηση χρησιμοποιώντας εμπειρικές επιδημιολογικές μελέτες και στοιχεία που μετρούν τις τιμές της πραγματικής έκθεσης, η οποία συμβαίνει σε σχέση με το χρόνο. Στην συνέχεια, δίνονται ορισμένα στοιχεία για την κατάσταση επαναχρησιμοποίησης στις Μεσογειακές χώρες.

Γαλλία: Στη Γαλλία οι καλλιέργειες αρδεύονται με νερό προερχόμενο από απόβλητα (σχεδόν έναν αιώνα). Το ενδιαφέρον για την επαναχρησιμοποίηση του νερού εμφανίστηκε ξανά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για δυο κυρίως λόγους: α) η ανάπτυξη της εντατικής αρδευόμενης γεωργίας (όπως η καλλιέργεια του αραβοσίτου) και β) η πτώση της υπόγειας στάθμης έπειτα από τις διάφορες πρόσφατες σοβαρές ξηρασίες. Λόγω αυτού του καινούριου ενδιαφέροντος για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, οι Αρχές Υγείας εξέδωσαν το 1991 οδηγίες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για την άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου, αφού προηγούμενα υποβλήθουν σε επεξεργασία. Αυτές οι οδηγίες ουσιαστικά ακολουθούν τις οδηγίες του WHO. Στη Γαλλία, 20 έως 30 σταθμοί επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, καλύπτουν περισσότερα από 3000 εκτάρια αρδευόμενης έκτασης. Σήμερα, μια από τις

μεγαλύτερες εν εξελίξει έρευνες της Ευρώπης, αποτελεί το σχήμα ανακύκλωσης Clermont-Ferrand για την άρδευση περισσότερων από 700 εκταρίων αραβοσίτου.

Ιταλία: Η χρήση αποβλήτων που δεν έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία, έχει εφαρμοστεί στην Ιταλία τουλάχιστον από την αρχή αυτού του αιώνα, ιδιαίτερα στις μικρές πόλεις και κοντά στο Μιλάνο. Η επεξεργασία βασίζεται στις γενικές προδιαγραφές, που προβλέπει η ιταλική νομοθεσία για την ποιότητα των υδάτων. Σήμερα, τα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται κυρίως για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων που καλύπτουν πάνω από 4000 εκτάρια. Μια από τις μεγαλύτερες εφαρμογές εντοπίζεται στην Emilia Romagna, όπου περισσότερα από 450000 m³/έτος επεξεργασμένων αποβλήτων χρησιμοποιούνται για την άρδευση περισσότερων από 250 εκταρίων.

Ισπανία: Δημοσιεύτηκε πρόσφατα ένα νέο Εθνικό Υδρολογικό Σχέδιο, το οποίο είναι ευνοϊκό απέναντι στην επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για άρδευση. Σε κάθε περίπτωση, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων είναι ήδη μια πραγματικότητα σε αρκετές περιοχές της Ισπανίας για τρεις κύριες χρήσεις: άρδευση γηπέδων του γκολφ, άρδευση αγροτικών καλλιεργειών, αναπλήρωση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων.

Ισραήλ: Στο Ισραήλ, περίπου το 92% των αποβλήτων συλλέγεται από τους υπονόμους των δήμων. Ακολούθως, το 72% χρησιμοποιείται για άρδευση (42%) ή αναπλήρωση των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων (30%). Η εκροή υπονόμων που χρησιμοποιείται για άρδευση, πρέπει να πληροί τα κριτήρια ποιότητας του νερού που έχουν τεθεί από το Υπουργείο Υγείας.

Τυνησία: Στην Τυνησία, τα απόβλητα αξιοποιούνται (ή υποβάλλονται σε επεξεργασία) σε περίπου 45 σταθμούς επεξεργασίας αποβλήτων, με μια συνολική παροχή σχεδιασμού 130 Mm³ ανά έτος. Τα αστικά λύματα έχουν κυρίως οικιακή προέλευση (περίπου 82% οικιακά λύματα, 12% από τις βιομηχανίες και 6% από τον τουρισμό) και υποβάλλονται σε δευτεροβάθμιο βιολογικό καθαρισμό. Δεν προσφέρεται καμία περαιτέρω επεξεργασία λόγω του κόστους. Από τα έτη 1992-1996

ο ετήσιος όγκος των αποβλήτων που αξιοποιούνται, ανέρχεται σε 147 Mm³/έτος, επιτρέποντας έτσι εν δυνάμει την άρδευση επιπλέον 18000 εκταρίων. Κατά το έτος 2001, τα απόβλητα που αξιοποιήθηκαν ανήλθαν στην ποσότητα των 152 Mm³/ έτος επεξεργασμένων αποβλήτων (Angelakis et al., 1998).

Κύπρος: Στην Κύπρο, τα απόβλητα που προέρχονται από τις κύριες πόλεις, ανέρχονται σε περίπου 25 Mm³/έτος. Ο σχεδιασμός είναι να συλλέγονται και χρησιμοποιούνται για άρδευση, αφού υποβάλλονται σε τριτοβάθμια επεξεργασία. Σύμφωνα με αυτόν τον σχεδιασμό, η αρδευόμενη γεωργία θα επεκταθεί κατά 8-10%, ενώ ταυτόχρονα θα αξιοποιείται μια ανάλογη ποσότητα νερού για άλλους τομείς (Papadopoulos, 1995).

Ελλάδα: Στην Ελλάδα, η ζήτηση για νερό έχει αυξηθεί σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό τα τελευταία 50 έτη. Παρά το ικανοποιητικό μέσο ύψος βροχοπτώσεων, συχνά παρατηρείται έλλειψη ισορροπίας στο υδατικό ισοζύγιο, λόγω των χρονικών και τοπικών διακυμάνσεων που παρατηρούνται όσον αφορά τη βροχόπτωση, της αυξημένης ζήτησης για νερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και της δυσκολίας στη μεταφορά του νερού εξ αιτίας του ορεινού ανάγλυφου. Επιπλέον, σε πολλές περιοχές της νοτιοδυτικής Ελλάδας υπάρχει έντονη πίεση για εξεύρεση πηγών γλυκού νερού, γεγονός που οφείλεται στην ιδιαίτερα υψηλή ζήτηση για νερό με στόχο την κάλυψη των αναγκών στις περιοχές με τουρισμό και για άρδευση. Επομένως, η ένταξη της επεξεργασίας των αποβλήτων στα προγράμματα διαχείρισης των υδατικών πόρων είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα.

Σήμερα, το 65% των νοικοκυριών της ελληνικής επικράτειας συνδέεται με πάνω από 350 σταθμούς επεξεργασίας υγρών απόβλητων, με συνολική χωρητικότητα πάνω από 1.45 Mm³/ημέρα (Angelakis et al., 2002). Μία ανάλυση των δεδομένων, που αφορούν το υδατικό ισοζύγιο στην περιοχή των σταθμών επεξεργασίας, έδειξε ότι περισσότερο από το 83% των επεξεργασμένων αποβλήτων παράγεται σε περιοχές με έλλειμμα στο υδατικό ισοζύγιο. Επομένως, η επαναχρησιμοποίηση του νερού σε αυτές τις περιοχές θα ικανοποιούσε την υπάρχουσα ζήτηση για νερό. Ήδη έχουν ξεκινήσει στην Ελλάδα διάφορα ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα που ασχολούνται με την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων (Angelakis et al., 1999). Οι

Tsagarakis et al. (2001) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων των υπαρχόντων σταθμών επεξεργασίας υγρών απόβλητων, ιδιαίτερα για αρδευτικούς σκοπούς, μπορούν να αυξηθούν έως και 242 Mm³/έτος ή κατά 3,2% οι τρέχουσες χρήσεις του νερού. Επιπροσθέτως, βρίσκονται σε εφαρμογή μερικά μικρά προγράμματα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων, και έχουν υιοθετηθεί οδηγίες και κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση του νερού στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Επιπλέον, βρίσκεται σε εξέλιξη μια προκαταρκτική μελέτη για την αναγκαιότητα καθιέρωσης κριτηρίων και στην υπόλοιπη Ελλάδα (Tsagarakis et al., 2001). Σύμφωνα με τους Andreadakis και Bontoux (2001), θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα ζητήματα για την ανάπτυξη υπολογίσιμων οδηγιών ή κανονισμών για την αξιοποίηση του νερού στην Ελλάδα.

Διάφορα ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα που ασχολούνται με την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού, και βρίσκονται σε εξέλιξη στην Ελλάδα. Μερικά από αυτά είναι:

Στην ανατολική Κρήτη, έχουν δημιουργηθεί δυο ερευνητικά προγράμματα, τα οποία βασίζονται στην επεξεργασία των λυμάτων με τεχνητά συστήματα υγροτόπων για επαναχρησιμοποίηση στην άρδευση αμπελών. Οι κύριοι στόχοι αυτών των προγραμμάτων είναι η έρευνα των υπαρχόντων φυτικών ειδών, των διαδικασιών επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων καθώς και των αποβλήτων που προέρχονται από την παραγωγή του ελαιολάδου. Ακόμη, ερευνάται η συμπεριφορά των αμπελών που αρδεύονται με επεξεργασμένα απόβλητα κάτω από συνθήκες παρακολούθησης.

Μια ακόμη πιλοτική έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη στην Κρήτη με πρωταρχικό στόχο την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς, χωριά και μικρές πόλεις που βασίζονται κυρίως σε σηπτικές δεξαμενές και υγροτοπικά συστήματα.

Στη Χαλκίδα, το ερευνητικό πρόγραμμα για την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση, περιλαμβάνει τη βελτίωση του νερού με το φιλτράρισμα και την απολύμανση κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία περίπου 7500 m³ λυμάτων ανά

ημέρα και άρδευση του πρασίνου (landscape) της κατοικημένης περιοχής που περιβάλλει την πόλη.

Οι εργασίες αξιοποίησης και επαναχρησιμοποίησης στην περιοχή Άργους-Ναυπλίου περιλαμβάνουν τη βελτίωση του νερού με το φιλτράρισμα και την απολύμανση κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία περίπου 17000 m³ λυμάτων ανά ημέρα και άρδευση περίπου 900 εκταρίων αγροτικής καλλιέργειας.

Στη Θεσσαλονίκη υπάρχει ένας σταθμός επεξεργασίας αστικών λυμάτων, στην περιοχή της Σίνδου, ανάμεσα στη παλιά και νέα γέφυρα του Γαλλικού ποταμού, ο οποίος κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1982-1992. Το σύστημα επεξεργασίας που χρησιμοποιείται είναι δεξαμενές σταθεροποίησης και ενεργός ιλύς, ενώ τα τελευταία χρόνια τα λύματα επεξεργάζονται σε υψηλότερο επίπεδο με ενεργό ιλύ και νιτροποιητικό/απονιτροποιητικό σύστημα επεξεργασίας. Η λειτουργία του σταθμού ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 1992, με ροή λυμάτων ίση προς 40.000 m³ ανά ημέρα. Στη συνέχεια, και αφού βελτιώθηκε η αποτελεσματικότητα, η ροή των λυμάτων έφτασε τα 60.000 m³ ανά ημέρα, που αντιστοιχούσε στο 30-40% του ολικού φορτίου λυμάτων της Θεσσαλονίκης. Από το Νοέμβριο του 2000 ο όγκος των λυμάτων έφτασε τα 140.000 m³ ανά ημέρα, ενώ σήμερα ο αριθμός αυτός έχει αυξηθεί σε 150.000-160.000 m³ ανά ημέρα. Ένα σημαντικό μέρος του όγκου αυτού χρησιμοποιείται για άρδευση.

Αρκετά ερευνητικά και πιλοτικά προγράμματα έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Angelakis et al., 1999) και σχετικές έρευνες συνεχίζονται και στην πεδιάδα του Αγρινίου (Kalavrouziotis et al, 2005), της Πάτρας (Kalavrouziotis et al., 2006), σε αμπελώνες στην περιοχή της Μεταμόρφωσης στην Αττική (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2006) και στη Μακεδονία. Εκτός αυτού, μια προκαταρκτική μελέτη σχετικά με την αναγκαιότητα θέσπισης κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Ελλάδα έχει υλοποιηθεί (Tsagarakis et al., 2004). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι προσφάτως η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων έχει αρχίσει να εφαρμόζεται στη Βόρεια Ελλάδα, σε καλλιέργειες βαμβακιού ως μια πειραματική

λύση για την μείωση των επιπτώσεων της ξηρασίας που είναι ένα επαναλαμβανόμενο πρόβλημα που εμφανίζεται στην Ελλάδα κάθε 5-7 χρόνια (Kalavrouziotis and Drakatos, 2001, Υπουργείο Δημοσίων Έργων και Περιβάλλοντος, 2008). Επίσης, ο σχεδιασμός για την διαχείριση των λυμάτων έχει εφαρμοστεί σε καλλιεργημένες περιοχές της Δυτικής Ελλάδας (Loukopoulos and Kalavrouziotis, 2008).

Σε άλλες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν οι Antonopoulos and Diamantidis (1995) διερεύνησαν την επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στους μετασχηματισμούς του αζώτου του εδάφους που αρδεύτηκε με επεξεργασμένα λύματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση του περιεχόμενου νερού και της θερμοκρασίας στη νιτροποίηση και απονιτροποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για μοντέλα που προσομοιώνουν τη δυναμική του αζώτου υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες αγρού και περιβάλλοντος.

Οι Panoras et al. (2000) εξέτασαν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων με ενεργό ιλύ ή με δεξαμενές σταθεροποίησης για την άρδευση της καλλιέργειας τεύτλων με στάγδην άρδευση και με αυλάκια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία από τα επεξεργασμένα λύματα γιατί κανένας παθογόνος μικροοργανισμός δεν ανιχνεύτηκε στα επεξεργασμένα λύματα.

Σε μία από τις έρευνες αυτές που διεξήχθη από τους Panoras et al. (2001a), ερευνήθηκε η επίδραση επεξεργασμένων λυμάτων με ενεργό ιλύ ή με δεξαμενές σταθεροποίησης, στην απόδοση του βαμβακιού και στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους με στάγδην άρδευση και με αυλάκια. Κατέληξαν στο ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία από τα επεξεργασμένα λύματα με ενεργό ιλύ. Στην περίπτωση των επεξεργασμένων λυμάτων με δεξαμενές σταθεροποίησης ενδέχεται να υπάρχει πιθανός κίνδυνος. Όμως, η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων προκαλεί αύξηση της αλατότητας του εδάφους και στις δύο περιπτώσεις.

Η άρδευση του αραβόσιτου με επεξεργασμένα λύματα από ενεργό λάσπη ή δεξαμενές σταθεροποίησης μελετήθηκε από τους Panoras et al. (2001b). Κατέληξαν στο ότι δεν υφίσταται κίνδυνος για την υγεία από τα επεξεργασμένα λύματα προερχόμενα από

ενεργό ύδωρ. Επιπρόσθετα, η άρδευση με αυλάκια κλειστά στο πέρας και η στάγδην άρδευση προστατεύουν ικανοποιητικά τους αγρότες από το να έρχονται σε επαφή με το νερό. Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στο έδαφος και στους φυτικούς ιστούς ήταν αρκετά χαμηλή, σύμφωνα με τα διεθνή κριτήρια. Όμως, η χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων αύξησε την αλατότητα του εδάφους και στις δύο περιπτώσεις.

Όσον αφορά το pH του εδάφους όμως υπάρχουν πολλοί ερευνητές που βρήκαν ότι η άρδευση με λύματα προκαλεί μείωσή του στο έδαφος (Mohammad and Mazahreh, 2003; Vazquezmontiel et al., 1996). Άλλοι ερευνητές ανέφεραν πως η μακροχρόνια άρδευση με λύματα αυξάνει το pH του εδάφους (Schipper et al., 1996). Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι η άρδευση με λύματα αυξάνει την αλατότητα του εδάφους (Rusan et al., 2007; Kalavroutiotis and Drakatos, 2004). Παρά το γεγονός ότι η αλατότητα του εδάφους μειώνεται από τις βροχοπτώσεις του χειμώνα, θα πρέπει να γίνονται έλεγχοι τακτικά για να εξασφαλίζεται η μακροχρόνια χρήση των λυμάτων (Panoras et al., 2003). Δεδομένου ότι η αλατότητα θα μπορούσε να οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους και σε σοβαρές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών, οι Rusan et al. (2007) πρότειναν ότι θα πρέπει να υπάρχει σωστή διαχείριση της άρδευσης με λύμα ώστε τα άλατα να ξεπλένονται από την ζώνη του ριζοστρώματος του φυτού. Η άρδευση με υπερχειλίση και η δημιουργία ενός συστήματος αποστράγγισης θα μπορούσε να διορθώσει την αλατότητα του εδάφους (Papadopoulos et al., 2009).

Επιπλέον, η άρδευση με λύματα αυξάνει τα μακροστοιχεία του εδάφους N, P, K, καθώς αυτά τα θρεπτικά στοιχεία περιέχονται στα λύματα (Rusan et al., 2007; Monnett et al., 1996). Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα λιπάσματα με απώτερο σκοπό την μείωση του κόστους παραγωγής (Papadopoulos et al., 2009). Επίσης, έχει αναφερθεί πως η ικανότητα απορρόφησης των παραπάνω στοιχείων έχει αυξηθεί από τα φυτά με την άρδευση των λυμάτων (Day et al., 1979; Papadopoulos and Stylianiou, 1988), με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών (Day et al., 1979; Rusan et al., 2007). Για παράδειγμα, ο Nguyen Ngoc Thu (2001) διαπίστωσε πως η απόδοση του ρυζιού αυξήθηκε κατά 10-15% όταν καλλιεργήθηκε με λύμα. Παρά το γεγονός ότι αυτά τα θρεπτικά συστατικά

θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ανάπτυξη των φυτών, θα πρέπει να ελέγχονται περιοδικά, ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευσή τους σε κρίσιμα επίπεδα (Rusan et al., 2007).

Τέλος, οι Panoras et al. (2003) ανέφεραν ότι η άρδευση με λύματα σε καλλιέργεια με καλαμπόκι δεν είχε σημαντική επίδραση στα ιχνοστοιχεία και στα βαρέα μέταλλα του εδάφους και των φυτών (π.χ. B, Cr, Cu, Pb, Ni), δεδομένου ότι τα στοιχεία αυτά βρέθηκαν σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Από την άλλη πλευρά, αν και οι Mohammad και Mazahreh (2003) παρατήρησαν ότι η άρδευση με λύματα δεν είχε σημαντική επίπτωση στα στοιχεία του εδάφους Pb, Cd, Cu και Zn ωστόσο παρατηρήθηκε μια αύξηση Fe και Mn. Σε πειράματα κριθαριού παρατηρήθηκε αύξηση Pb και Cd αλλά σε αποδεκτά επίπεδα (Rusan et al., 2007). Οι Papadopoulos et al. (2009) ανέφεραν ότι ακόμη και στην περίπτωση του ρυζιού δεν υπήρχε κίνδυνος για την υγεία, δεδομένου ότι η απορρόφηση των βαρέων μετάλλων από το φυτό ήταν η μικρότερη από την συγκέντρωση που είχαν στο λύμα και στο χώμα.

Άλλες έρευνες για τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων έδειξαν ότι δεν επηρεάζεται η παραγωγή ενώ επιτυγχάνεται αξιόλογη εξοικονόμηση νερού άρδευσης (Sakellariou et al., 2012, Sakellariou et al., 2014). Θετικά αποτελέσματα ως προς την αποδοτικότητα άρδευσης έδειξε άλλη έρευνα του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Π.Θ. (Sakellariou and Dimakas, 2013).

Σε κάθε περίπτωση απαιτούνται περισσότερες έρευνες όσον αφορά στην επίδραση των επεξεργασμένων λυμάτων στην απόδοση των φυτών, στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και τη ρύπανση των υπόγειων νερών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΝΕΡΟ

Υπάρχει μια ουσιαστική βάση δεδομένων διαθέσιμη πάνω στην μικροβιακή ποιότητα του νερού των επιφανειακών υδάτων σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες και σε άλλες χώρες, που βασίζονται σε πίνακες μικροοργανισμών. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες είναι περιορισμένης αξίας για τον εκτιμώμενο κίνδυνο της μόλυνσης εξαιτίας των ελλείψεων στην τοποθεσία, στον χρόνο και/ή στην συχνότητα πραγματοποίησης της δειγματοληψίας. Υπάρχουν λίγα δεδομένα για την επικράτηση συγκεκριμένων παθογόνων. Αν και είναι διαθέσιμες κάποιες αναφορές πάνω στην μικροβιακή μόλυνση των πηγών του νερού άρδευσης, αυτές έχουν καταγραφεί μετά την έξαρση. Επιπλέον, τα επιφανειακά νερά ελέγχονται πολύ λιγότερο από το πόσιμο νερό ή το νερό για σκοπούς αναψυχής, και όχι απαραίτητα κατά την διάρκεια των περιόδων μαζικής χρήσης (π.χ. κατά την διάρκεια ξηρασίας). Σημειωτέον ότι το νερό που έχει προέλθει από επεξεργασία και χρησιμοποιείται για την διαχείριση της καλλιέργειας και όχι μόνο για την άρδευση, όπως το νερό που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή παρασιτοκτόνων, σπανίως (αν όχι ποτέ) ελέγχεται. Ακόμη και όταν το αρδευτικό νερό ελέγχεται, μετριούνται οι ενδεικτικοί οργανισμοί και όχι οι πραγματικοί παθογόνοι στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Ενδεικτικοί οργανισμοί έχουν επιλεγεί για να δηλώσουν την πιθανή ύπαρξη μόλυνσης παρά την παρουσία ή συγκέντρωση οποιουδήποτε παθογόνου. Οι πιο βασικοί οργανισμοί είναι οι *E. coli*, *fecal streptococci* και *enterococci*, ενώ άλλες ομάδες οργανισμών έχουν προταθεί για έλεγχο (*Bacteroides*, *E. Coli*) όμως καμία δεν έχει ελεγχθεί ευρέως (Ashbolt et al., 2001).

Μια ολοκληρωμένη έρευνα των επιπέδων μικροβιακής μόλυνσης στα αρδευτικά νερά δεν έχει γίνει ακόμη για τις Ηνωμένες Πολιτείες (Stoeckel, 2009) ή για οποιαδήποτε άλλη χώρα. Δεν υπάρχει ενημέρωση για τακτικές αναφορές πάνω στην μικροβιακή ποιότητα των αρδευτικών υδάτων πουθενά στον κόσμο. Και αυτό εξαιτίας, εν μέρει, του κόστους δειγματοληψίας. Επιπλέον, οι παραγωγοί/αγρότες που έχουν ξεκινήσει

να συλλέγουν δεδομένα μπορεί να είναι απρόθυμοι να τα μοιραστούν (Suslow,2010). Τα διαθέσιμα δεδομένα, ωστόσο, δείχνουν την πιθανή σημασία της ύπαρξης παθογόνων στα αρδευτικά νερά. Οι Thurston-Enriquez et al. (2002) μελέτησαν την ύπαρξη ανθρώπινων παθογόνων παρασίτων σε νερά που χρησιμοποιούνται για άρδευση στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε άλλες χώρες της Κεντρικής Αμερικής. Βρήκαν ότι το 28% των δειγμάτων κρίθηκε θετικό για μικροσπορίδια, το 60% θετικό για *Giardia cysts*, και το 36% θετικό για *Cryptosporidium oocysts*. Οι Duffy et al. (2005) παρατήρησαν σαλμονέλα στο 9% των υδάτων που αναλύθηκαν στο Τέξας. Σε μια μεγάλη έρευνα για τα υπόγεια νερά των ΗΠΑ, βρέθηκε ότι το 11% των περιοχών ήταν θετικά για *Cryptosporidium*, *Giardia*, ή και τα δύο (Moulton-Hancock et al., 2000). Οι Close et al. (2008) δήλωσαν ότι η εντατική άρδευση είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του *E.coli* και του *Campylobacter* σε πιο ρηχά νερά. Τα *E.coli* και *Campylobacter* ανιχνεύτηκαν στο 75% και 12% των δειγμάτων αντίστοιχα. Οι Chigor et al. (2010) απομόνωσαν τον *E.coli* O157 από το 2% όλων των δειγμάτων από το ποτάμι την βόρειας Νιγηρίας που χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση. Η επικράτηση του *E.coli* O157:H7 και της *Salmonella* στα νερά της επιφάνειας της νότιας Αλμπέρτα ήταν 1% και 6% αντίστοιχα (Johnson et al., 2003). Στην ίδια περιοχή της νότιας Αλμπέρτα, ο *E.coli* O157:H7 απομονώθηκε στο 2% των 1608 δειγμάτων επιφανειακού νερού σε μια περίοδο δύο ετών (Gannon et al., 2004). Οχτώ τοις εκατό των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από έξι αρδευτικές περιοχές στην Αλμπέρτα και τον Καναδά περιείχαν πάνω από 100 fecal coliform (FC) ανά 100 mL (Cross, 1997). Η *Salmonella* ανιχνεύτηκε στο 6% των δειγμάτων στην Ελλάδα (Arvanitidou et al., 1997). Σε μια έρευνα σε ιδιωτικές γεωτρήσεις στις Κάτω Χώρες, οι Schets et al. (2005) βρήκαν ότι το 11% των δειγμάτων περιείχε ίχνη από fecal ενώ ο *E.coli* O157:H7 απομονώθηκε στο 3% των δειγμάτων.

Το ακρησιμοποιήτο οικιακό νερό περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις βακτηρίων και παθογόνων. Οι Kay et al.(2008) αναφέρουν συγκεντρώσεις coliform που κυμαίνονται σε $7.6 \times 10^{10}/100 \text{ mL}$ σε ανεπεξέργαστο νερό, ενώ *Cryptosporidium* και *Salmonella* σε ποσοστό $2.6-3.2 \times 10^2/100 \text{ mL}$ και $2.7 \times 10^2/100 \text{ mL}$ αντίστοιχα (Howard et al., 2004; Rose et al., 2001), σε δείγματα νερού. Οι σύγχρονες μέθοδοι επεξεργασίας έχουν αποδειχθεί πιο αποτελεσματικές στην αφαίρεση παθογόνων για οικιακή χρήση.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα ερευνών υποδεικνύουν ότι απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και/ή χλωρίωση είναι απαραίτητη για την μέγιστη αφαίρεση βακτηρίων, πρωτόζωων και ιών (Al-Sa'ed, 2007; Gerba and Smith, 2005).

Οι βάσεις δεδομένων για την ποιότητα του επιφανειακού και του υπόγειου νερού που είναι διαθέσιμες δεν αντανακλούν απαραίτητα την μικροβιακή ποιότητα του νερού άρδευσης, και μπορεί να μην είναι έγκυρες γιατί η καταγραφή γίνεται συνήθως σε περιοχές όπου είναι γνωστή η εκτεταμένη μόλυνση του νερού (Stoeckel, 2009). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτά τα δεδομένα αφορούν πληροφορίες για στοιχειώδεις οργανισμούς και όχι για συγκεκριμένους παθογόνους. Σπανίως υπάρχουν καταγεγραμμένες αναφορές συσχετισμού ανάμεσα σε ενδεικτικούς οργανισμούς και παθογόνους (Payment and Locas, 2010; Wilkes et al., 2009). Είναι γενικώς αναγνωρισμένο ότι οι στοιχειώδεις οργανισμοί δεν προκαλούν γαστρεντερικές ασθένειες (Alonso et al., 2006; Duris et al., 2009; Harwood et al., 2005; Shelton et al., 2011). Συνεπώς, η ερμηνεία των δεδομένων πάνω στους στοιχειώδεις οργανισμούς όσον αφορά τις συγκεντρώσεις παθογόνων παραμένει προβληματική.

3.2. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Σε αναπτυσσόμενες χώρες συνήθως αναφέρονται πολύ υψηλότερα επίπεδα παθογόνων σε αρδευτικά νερά από ότι στις αναπτυγμένες χώρες (Thurston-Enriquez et al., 2002). Στις αναπτυσσόμενες χώρες, το μη επεξεργασμένο νερό αποβλήτων, συχνά χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιέργειας. Το νερό αυτό χρησιμοποιείται για να παραχθεί το ένα τέταρτο όλων των λαχανικών που παράγονται στο Πακιστάν. Στα περισσότερα μέρη της Υπο-Σαχάριας Αφρικής, χρησιμοποιείται μολυσμένο νερό για την παραγωγή του 60-100% των λαχανικών που πωλούνται στις περισσότερες χώρες (Scott et al., 2004). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις σε τέτοια νερά μπορούν να φτάσουν σε επίπεδα τυπικά για τους οργανισμούς manure και feces. Οι Singh et al. (2010) βρήκαν συγκεντρώσεις FC από 10^5 έως 10^9 MPN/100 mL σε νερά του Ινδο-Γαγγικού συστήματος άρδευσης που χρησιμοποιείται για την άρδευση φυλλωδών λαχανικών. Τα νερά αυτά που περιέχουν λύματα ή ακατάλληλα επεξεργασμένα

απόβλητα μπορεί να περιέχουν μικρόβια που προκαλούν ηπατίτιδα Α, ιούς Norwalk, ή εντεροϊούς μαζί με παθογόνα βακτήρια (Beuchat, 1998). Έχουν επίσης παρατηρηθεί και διαφοροποιήσεις ανά περιοχή (Kavka et al., 2006).

Οι εφαρμογές κοπριάς συχνά εμπλέκονται στην δημιουργία διαφορών στην μικροβιακή ποιότητα του νερού της επιφάνειας. Οι αναλύσεις μιας έρευνας στα νερά της Αλμπέρτα του Καναδά έδειξαν ότι η κοπριά από βοοειδή, γουρούνια και πουλερικά σχετίζεται άμεσα με την επικράτηση παθογόνων που προκαλούν ασθένειες (Johnson et al., 2003). Οι ίδιοι οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι διαφοροποιήσεις στον χρόνο, την ποσότητα και την συχνότητα εφαρμογής της κοπριάς επηρεάζουν τα επίπεδα μόλυνσης του νερού. Από την άλλη πλευρά, σε μια έρευνα στην Αϊόβα υπό την αιγίδα του USDA στο πλαίσιο του Προγράμματος Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Συντήρησης (Richardson et al., 2008) βρέθηκε ότι οι πληθυσμοί E.coli μπορεί να είναι αρκετά μεγάλοι για να προκαλέσουν αρνητικές συνέπειες στο νερό που χρησιμοποιείται σε χώρους αναψυχής ιδίως το καλοκαίρι, όμως δεν είναι αποδεδειγμένη η υπόθεση ότι η εφαρμογή της κοπριάς είναι η βασική πηγή μόλυνσης.

Οι Close et al. (2008) σημειώσανε ότι υπάρχει περισσότερο φιλτράρισμα στους παθογόνους σε λεπτόκοκκα εδάφη από ότι σε πετρώδη. Ωστόσο, το μεγάλο πορώδες του εδάφους επιτρέπει την γρήγορη μεταφορά παθογόνων σε σύγκριση με τα εδάφη που έχουν μικρό πορώδες (Guber et al., 2005). Τα πιο βαριά εδάφη γενικά παρέχουν φιλτράρισμα σε περισσότερους παθογόνους ελαχιστοποιώντας την μόλυνση του εδάφους.

Το υδρολογικό καθεστώς καθορίζει το ποσό του νερού που είναι διαθέσιμο για την μεταφορά των παθογόνων. Έχει επίδραση στον χρόνο που ταξιδεύουν μέσα στο έδαφος και την ενδιάμεση ζώνη προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Ο χρόνος μεταφοράς επηρεάζεται επίσης από (α) την δομή του εδάφους και την περιεκτικότητα του σε νερό, (β) τις γεωχημικές ιδιότητές του και την περιεκτικότητά του σε οργανική ύλη και τις ιδιότητες των μικροβιακών κυττάρων (που επηρεάζουν την απορρόφηση των παθογόνων) και (γ) το βάθος του υπόγειου νερού, διότι όσο πιο βαθύ είναι το νερό

τόσο επιτρέπει στους παθογόνους περισσότερο χρόνο να εξαλειφθούν ή να φιλτραριστούν. Η μεταφορά παθογόνων σε μεγάλες αποστάσεις είναι πιθανή σε εδάφη με ασβεστόλιθο και αμμώδη εδάφη με χαλίκια (Gerba, 2009). Σε έρευνα, οι Johnson et al. (2010), βρήκαν υψηλή συγκέντρωση μόλυνσης (περίπου 50 MPN 100 L⁻¹) σε υδροφόρα καρστικά στρώματα στο ανατολικό Τενεσσί, και επιπλέον παρατήρησαν ότι η ύπαρξη ιών και βακτηρίων ήταν υψηλότερη σε υδροφόρα καρστικά στρώματα από ότι σε οποιαδήποτε άλλο στρώμα. Αν και το μέγεθος των ιών διευκολύνει το ταξίδι τους σε πορώδη εδάφη, η αλληλεπίδρασή τους με την επιφάνεια του εδάφους κάνει την μεταφορά τους συγκρίσιμη με την μεταφορά βακτηρίων και παρασίτων.

Συνοψίζοντας, δεν έχει προταθεί ένα επεξηγηματικό μοντέλο της μικροβιακής διαφοροποίησης της ποιότητας του νερού ανά περιοχή. Οι ελάχιστοι πληροφοριακοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού εκλείπουν. Αυτό προϋποθέτει μεγάλου εύρους εκτιμήσεις της μικροβιακής ποιότητας του νερού βασισμένες σε περιβαλλοντικούς συσχετισμούς.

3.3. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Οι συγκεντρώσεις παθογόνων οργανισμών σε αρδευτικά νερά μπορεί να εκδηλώσουν ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές καθώς επίσης να επηρεάζονται από τις περιπτώσεις υγροποίησης του νερού. Δεν έχει βρεθεί καμία αναφορά όσον αφορά την ημερήσια μεταβολή στις συγκεντρώσεις παθογόνων στα αρδευτικά νερά. Ωστόσο, έχει καταγραφεί η μεταβολή στις συγκεντρώσεις του *E.coli* στα επιφανειακά νερά.

Οι βροχοπτώσεις αναπόφευκτα αυξάνουν τις συγκεντρώσεις παθογόνων καθώς η έντονη βροχόπτωση μπορεί να εξασθενήσει την επιφάνεια του νερού και να μειώσει τις συγκεντρώσεις των παθογόνων (Pachepsky and Shelton, 2011). Η εποχικότητα φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της χρήσης της γης, της διαχείρισης του νερού, των καιρικών συνθηκών και των ιδιοτήτων συγκεκριμένων οργανισμών.

Λίγες έρευνες υπάρχουν που να αναφέρουν εποχιακές διαφοροποιήσεις στην ποιότητα του νερού. Οι Haramoto et al.(2006) εξέτασαν την εποχιακή ποιότητα των απόβλητων που άφηνε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας νερού στο Τόκιο, Ιαπωνία, και κατέγραψαν υψηλότερες συγκεντρώσεις ανθρωπίνων ιών τον χειμώνα, όταν υπήρχε μια επιδημία στην χώρα. Ωστόσο, οι Rock et al. (2009) εξέτασαν το επεξεργασμένο νερό ενός εργοστασίου στην Αριζόνα για μια περίοδο πάνω από ένα χρόνο και δεν βρήκαν καμία εποχιακή διαφορά στις συγκεντρώσεις βακτηρίων (*E.coli*, *enterococci*, *Salmonella*) ή ιών.

Οι χωρικές διαφοροποιήσεις των παθογόνων στα επιφανειακά νερά είναι συνήθως πολύ ασύμμετρες, με τις περισσότερες περιοχές να έχουν χαμηλές τιμές και κάποιες να έχουν υψηλές (Solo-Gabriele et al., 2000; Tate, 2010). Η αξιοποίηση της γης και το κλίμα επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις παθογόνων. Οι χωρικές και ημερήσιες συγκεντρώσεις των παθογόνων είναι ασύμμετρες και οι βάσεις δεδομένων περιέχουν πολλές χαμηλές τιμές και πολλές υψηλές τιμές. Οι καιρικές συνθήκες και η αξιοποίηση της γης επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις παθογόνων, αλλά αυτοί οι συσχετισμοί είναι δύσκολο να εδραιωθούν εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας παθογόνων.

3.4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΜΕ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η μικροβιακή ποιότητα του νερού επίσης επηρεάζεται από διαδικασίες που προκύπτουν από το σύστημα αποθήκευσης και διανομής νερού. Οι αλλαγές μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια της μεταφοράς από την πηγή στο χωράφι.

Η μεταφορά του νερού μέσα από χαντάκια και κανάλια περιλαμβάνει αλληλεπίδραση με μικροβιακά αποθέματα από ιζήματα, χώμα από τις όχθες, άλγη, και περίφυτα. Ενώ η μεταφορά του νερού μέσα από σωλήνες περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση με το βιοφίλμ των σωλήνων. Η υποβάθμιση της μικροβιακής ποιότητας του νερού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς φαίνεται ότι είναι σαφής. Οι Jjemba et al. (2010) ανέφεραν ανάπλαση πολλαπλών ευκαιριακών παθογόνων, όπως *Legionella* και *Aeromonas*, σε

επεξεργασμένα συστήματα αποβλήτων που απομακρύνονται από τέσσερα επαρχιακά εργοστάσια στις ΗΠΑ. Αυτή η ανάπλαση σχετίζεται με την παρουσία υψηλών επιπέδων οργανικού άνθρακα, που λειτουργεί ως πηγή ενέργειας για βακτηριακή ανάπτυξη (Ryu et al., 2005; Weinrich et al., 2010). Η συλλογή νερού, αναπλήρωση και διανομή συμβαίνει στα πολύπλοκα οικολογικά συστήματα που επηρεάζουν την μικροβιακή ποιότητα του νερού με πολλούς τρόπους.

Διάφορες έρευνες έχουν δημοσιευτεί που περιγράφουν την μοίρα και μεταφορά των μικροοργανισμών στο νερό (Ferguson et al., 2003; Kay et al., 2007). Άλλες περιγράφουν συγκεκριμένα παθογόνα και ενδεικτικά μικροοργανισμών, για παράδειγμα Salmonella (Gorski et al., 2011; Haley et al., 2009; Walters et al., 2011), E.coli O157:H7 (Cooley et al., 2007), και Cryptosporidium και Giardia (Mohammed and Wade, 2009). Ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι η τωρινή γνώση δεν επιτρέπει ακριβείς προβλέψεις για τα σενάρια επιβίωσης κάποιων παθογόνων σε συγκεκριμένα ύδατα, αν και οι παράγοντες επιβίωσής τους είναι γνωστό ότι αλλάζουν συνεχώς. Η ετερογένεια των φυσικών περιβαλλόντων είναι υψηλή και η μόλυνση είναι δυναμική. Θα είναι περίπλοκο να αξιολογηθούν εδώ τα κατάλληλα μέτρα για τα φυσικά νερά και τον χαρακτηρισμό των μικροοργανισμών (πχ. γενότυποι, υγιείς) για να προβλέψουμε την καταστροφή και/ή την ανάπτυξη συγκεκριμένων παθογόνων (Van Elsas et al., 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΟΥ ΑΡΔΕΥΤΗΚΑΝ ΜΕ ΜΟΛΥΣΜΕΝΟ ΝΕΡΟ

Παρά τον περιορισμένο αριθμό επιβεβαιωμένων ή περιστασιακών περιπτώσεων μόλυνσης της παραγωγής από νερό άρδευσης, οι εργαστηριακές μελέτες έχουν διευκρινίσει πιθανούς μηχανισμούς μόλυνσης της παραγωγής από παθογόνους που παράγονται στο νερό. Οι μελέτες αυτές δείχνουν ότι οι παθογόνοι και ενδεικτικοί οργανισμοί (π.χ. γενικός *E.coli* και *E.coli* O157:H7) που μεταφέρθηκαν από το νερό άρδευσης στην παραγωγή μπορούν να παραμείνουν βιώσιμοι για μεγάλο χρονικό διάστημα ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Delaquis et al., 2007). Ο μη-παθογόνος *E.coli* παρέμεινε για πάνω από 28 μέρες, ενώ ο *E.coli* O157:H7 δεν επιβίωσε για πάνω από 14 μέρες σε εμβολιασμένα φυτά σπανακιού (Patel et al., 2010). Οι παθογόνοι επιβιώνουν και πολλαπλασιάζονται σε περιοχές όπου τα θρεπτικά συστατικά είναι διαθέσιμα (Delaquis et al., 2007; Kroupitski et al., 2009a) και κατά συνέπεια, η ριζόσφαιρα του φυτού έχει αποδειχτεί ότι είναι «δεξαμενή» για ευκαιριακά ανθρώπινα παθογόνα βακτήρια (Berg et al., 2005). Θεωρείται ότι η επιβίωση ανθρώπινων παθογόνων αυξάνεται με την ενσωμάτωση τους στην φυλλόσφαιρα του φυτού ή και μέσα στο ίδιο το φυτό (Heaton and Jones, 2008). Όπως και τα βακτήρια που σχετίζονται με τα φυτά, τα παθογόνα βακτήρια χρησιμοποιούν την κυτταρίνη για την προσκόλληση τους στην επιφάνεια του φυτού (Mandrell et al., 2006; Teplitski et al., 2009). Οι Lapidot και Yaron (2009) παρατήρησαν ότι η μεταφορά της *Salmonella* σε φύλλα μαϊντανού εξαρτώνταν από τις ικανότητες μορφοποίησης του φυτού. Σε μία πρόσφατη έρευνα, οι Patel et al. (2011b) ανέφεραν σημαντικά υψηλότερη προσκόλληση του *E.coli* O157:H7 σε σγουρό μαρούλι και λάχανο παρά σε μη σγουρά είδη.

4.2. ΤΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΤΩΝ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ ΠΡΟΣ ΤΑ ΦΥΤΑ

Οι παθογόνοι μπορούν να εισέλθουν στα φυτά των λαχανικών και να ενοποιηθούν, δηλαδή, να δημιουργήσουν αποικίες στους ιστούς των φυτών. Πρόσφατες μελέτες

έδειξαν ότι ο *E.coli* μπορεί να μεταφερθεί στο βρώσιμο κομμάτι του μαρουλιού από το έδαφος μέσω των ριζών (Solomon et al., 2002b), ή ότι ο *Salmonella* Newport θα μπορούσε να μεταφερθεί στα εναέρια κομμάτια του ρωμαϊκού μαρουλιού ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Bernstein et al., 2007a; 2007b). Ωστόσο, οι πιο πρόσφατες μελέτες δεν επιβεβαιώνουν αυτά τα ευρήματα. Ο *E.coli* βρέθηκε στον ιστό της ρίζας αλλά όχι στον ιστό του βλαστού σε εμβολιασμένο σπανάκι (Sharma et al., 2009). Οι Jablason et al. (2004), Miles et al. (2009) Zhang et al. (2009) και Erickson et al. (2010) βρήκαν ότι η ενοποίηση του *E.coli* και της *Salmonella* μέσω των ριζών δεν συμβαίνει ή είναι εξαιρετικά σπάνιο γεγονός.

Οι παθογόνοι μπορεί να εισέλθουν στα φυτά μέσω των στοματίων ή μέσω του κατεστραμένου ιστού, ως συνέπεια του ότι το νερό άρδευσης ήρθε σε επαφή με τα φύλλα ή από πιτσιλιές του νερού της βροχής που έπεσαν στο έδαφος (Kroupitski et al., 2009b; Materon et al., 2007 Mitra et al., 2009). Οι Guo et al., (2001) παρατήρησαν μετανάστευση της *Salmonella* από το έδαφος απευθείας στον ιστό του στελέχους πράσινης τομάτας. Οι πληγωμένες επιφάνειες μαρουλιών iceberg φαίνονταν κατάλληλες για τον *E.coli* ώστε να εισχωρήσει στους ιστούς (Barker-Reid et al., 2009) και προώθησαν την επιβίωσή του (Aruscavage et al., 2008; Brandl et al., 2004). Τα στομάτια ήταν η προτιμώμενη είσοδος του *E.coli* σε πειράματα των Gomes et al. (2009) σε τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες μαρουλιού. Η πιθανή δίοδος από το έδαφος στο φυτό δεν έχει ερευνηθεί ακόμη.

4.3. ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΗ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Οποιοσδήποτε παθογόνος μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια του φυτού μέσω του νερού άρδευσης. Ωστόσο, το ενδεχόμενο να προσκολληθεί εξαρτάται από το φυτό. Για παράδειγμα, κάποιες ιδιότητες της *Salmonella* (ελικοειδής και κυτταρική) επηρέασαν την ικανότητά της να διεισδύσει σε φυτά μαϊντανού από μολυσμένο νερό άρδευσης σε έρευνες των Lapidot and Yaron (2009). Για διάφορα άλλα είδη *Salmonella*, οι Guo et al. (2002) παρατήρησαν ουσιαστικές διαφορές στην επιβίωσή τους σε φυτά τομάτας.

Τα φυτά επίσης διαφέρουν στην ευαισθησία τους ώστε να μολυνθούν από παθογόνους όταν αρδεύονται με μολυσμένο νερό. Ποσοτικά μοντέλα αξιολόγησης κινδύνου δείχνουν ότι το μαρούλι παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο από το αγγούρι αλλά παρόμοιο με αυτό του μπρόκολου και του λάχανου (Hamilton et al., 2006). Όταν σε νερό άρδευσης πρόσθεσαν *E.coli* και *Clostridium perfringens* που το προμήθευαν σε αυλάκια, οι μικροοργανισμοί ανιχνεύτηκαν στις επιφάνειες του πεπονιού και του μαρουλιού αλλά ποτέ σε πιπεριές (Song et al., 2006). Η άρδευση με μολυσμένο νερό είχε ως αποτέλεσμα τις συγκεντρώσεις ολόκληρων coliforms (TC) σε φυτά μάραθου παρά σε οποιοδήποτε άλλο φυτό σε έρευνα των Okafo et al. (2003). Τα είδη των φυτών των οποίων τα βρώσιμα μέρη αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους, όπως μαρούλι και μαϊντανός, ήταν πιο μολυσμένα με *Salmonella* παρά αυτά που έχουν βλαστό μεγαλύτερου μήκους όπως είναι οι τομάτες σε έρευνα των Melloul et al. (2001).

4.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

Οι αποδείξεις για το αν η αρχική συγκέντρωση των παθογόνων στο νερό άρδευσης είναι κρίσιμη για την μόλυνση της παραγωγής είναι συγκεχυμένες. Για παράδειγμα, η δουλειά των Webb et al. (2008) δείχνει μια θετική σχέση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις *E.coli* O157:H7 και σε καλλιέργεια σπανακιού. Η *Salmonella* δεν γινόταν να ανιχνευτεί από αναλύσεις MPN σε φυτά σπανακιού κατά την διάρκεια μιας έρευνας 6 εβδομάδων με φυτά που αρδεύτηκαν με νερό που περιείχε 10^3 CFU mL⁻¹ (Patel and Darlington, 2010). Η *Salmonella* επέμενε σε ένα επίπεδο των 10^4 CFU φυτό⁻¹ μετά από 24 ώρες αφού το φυτό ποτίστηκε με πολύ υψηλά επίπεδα παθογόνων (10^6 CFU MI⁻¹). Από την άλλη πλευρά, οι Mootian et al. (2009) παρατήρησαν ότι μαρούλι που αρδεύτηκε με νερό που περιείχε *E.coli* O157:H7 σε ποσότητες της τάξης 10^1 ή 10^2 CFU mL⁻¹ ήταν δυνατό να μολυνθεί. Ανέφεραν ότι το 30% των ώριμων φυτών που αρχικά αρδεύτηκε με μολυσμένο νερό για 15 μέρες ήταν θετικό για *E.coli* O157:H7. Οι συγκεντρώσεις στο νερό άρδευσης μπορεί να μην είναι απαραίτητα ο κυρίαρχος παράγοντας αν ο μικροοργανισμός είναι ικανός να ενσωματωθεί στην παραγωγή ή να δημιουργήσει αποικίες από μόνος του. Ωστόσο,

δεν υπάρχει άμεση απόδειξη ότι αυτή η διαδρομή μόλυνσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην μόλυνση οποιασδήποτε παραγωγής.

4.5. ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΑ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΝΕΡΟ ΥΨΗΛΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΠΑΘΟΓΟΝΩΝ

Περίπου 60 χρόνια πριν, οι Norman and Kabler (1953) παρατήρησαν ότι η φτωχή μικροβιολογική ποιότητα στο νερό άρδευσης σχετίζεται με την εύρεση ανθρώπινων παθογόνων στα φυλλώδη λαχανικά. Οι συνδέσεις ανάμεσα στο μολυσμένο νερό άρδευσης και τις κλινικές μελέτες τυπικά αναφέρονται σε περιοχές όπου το νερό άρδευσης μπορεί να έχει μη ικανοποιητική μικροβιακή ποιότητα, και να περιέχει απόβλητα. Οι Katzenelson et al. (1976) σύγκριναν τα περιστατικά ασθενειών σε 77 αποικίες οι οποίες εφάρμοζαν άρδευση με ψεκασμό από λιμνούλα με μολυσμένο νερό με ασθένειες σε 130 αποικίες που δεν εφάρμοζαν άρδευση με μολυσμένο νερό. Τα περιστατικά shigellosis, salmonellosis, τυφοειδούς πυρετού και μολυσματικής ηπατίτιδας ήταν δύο με τέσσερις φορές υψηλότερα σε κοινότητες που εφαρμόζουν μολυσμένο νερό άρδευσης κατά την διάρκεια της εποχής ποτίσματος, ενώ δεν βρέθηκαν διαφορές στα ποσοστά ασθενειών κατά την διάρκεια του χειμώνα που δεν εφάρμοζαν άρδευση. Μια έρευνα στο Μεξικό σύγκρινε περιστατικά γαστρεντερίτιδας και της μικροβιακής ποιότητας του νερού σε 2320 νοικοκυριά που άρδευαν τα λαχανικά τους είτε με ανεπεξέργαστο νερό είτε με την φυσική βροχόπτωση (Cifuentes, 1998). Τα περιστατικά διάρροιας ήταν πολύ υψηλότερα σε νοικοκυριά που πότιζαν με μολυσμένο νερό παρά σε αυτά που πότιζαν με την βροχή. Στο Μαρόκο, η άρδευση της καλλιέργειας με μολυσμένο νερό προκάλεσε ένα σημαντικά υψηλότερο ποσοστό σαλμονέλας στα παιδιά των αγροτών (39%) παρά σε παιδιά μη αγροτών (25%) (Ait and Hassani, 1999).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα προηγούμενα κεφάλαια δείχνουν ότι, με δεδομένο το τωρινό επίπεδο γνώσης για τον κίνδυνο της μικροβιακής μόλυνσης της παραγωγής από το νερό άρδευσης, οι γνώσεις σε αυτόν τον τομέα είναι κάτι παραπάνω από ικανοποιητικές. Οι παραγωγοί, οι διαχειριστές και οι καταναλωτές απλά δεν έχουν τις πληροφορίες για να πάρουν αποφάσεις και ευθύνη για την μικροβιακή μόλυνση της παραγωγής.

Η υγειονομική ποιότητα πολλών πηγών νερού άρδευσης είναι άγνωστη προς το παρόν (Suslow, 2010). Επιπλέον, το πώς να προσδιοριστεί και να χαρακτηριστεί η μικροβιακή ποιότητα των πηγών νερού άρδευσης είναι θέμα επαναλαμβανόμενης συζήτησης. Απαιτείται ένα πρωτόκολλο ελέγχου που να βασίζεται στην πραγματική ποικιλομορφία των συγκεντρώσεων των παθογόνων και των άλλων ενδεικτικών οργανισμών. Μερικές έρευνες υποστηρίζουν τον έλεγχο των συγκεντρώσεων αυτών σε ιζήματα νερού, περίφυτα και άλγη βασισμένες στην προσκόλληση των βακτηρίων στις νιφάδες που παρέχουν θρεπτικά συστατικά και προστασία σε υδρόβια συστήματα και μετοίκηση στο κάτω μέρος των στηλών νερού (Droppo et al., 2009). Πρέπει να σχεδιαστεί έλεγχος του συστήματος άρδευσης βασισμένος στο γεγονός ότι ακόμη κι αν το νερό είναι καθαρό στην πηγή μπορεί να γίνει μικροβιολογικά μολυσμένο καθώς αποθηκεύεται και διανέμεται. Η αξία του ελέγχου των ενδεικτικών οργανισμών που είναι αποδεκτοί για την αξιολόγηση κινδύνου των παθογόνων (όπως E.coli O157:H7 και Salmonella) πρέπει να επανεξεταστεί (Suslow, 2010). Πρέπει να διερευνηθούν οι κατάλληλοι ενδεικτικοί οργανισμοί που σχετίζονται με την παρουσία των παθογόνων στο νερό άρδευσης. Όπου η άρδευση των φυλλωδών λαχανικών γίνεται με νερό από γεωτρήσεις, για παράδειγμα στο Salinas Valley (CA), απαιτείται μια καταγεγραμμένη έρευνα ύποπτων γεωτρήσεων με μεγάλες ποσότητες νερού για να αναγνωρίσουμε αν υπάρχουν βακτήρια ή πιθανοί μικροοργανισμοί που να ξαναγεμίζουν το υδάτινο στρώμα με νερό κατώτερης ποιότητας. Αν αυτό δεν συμβαίνει τακτικά, δε θα είναι εφικτός ο περιορισμός της μόλυνσης αν ο όγκος του νερού είναι μικρός.

Η τωρινή καταγραφή των παθογόνων και άλλων ενδεικτικών φαίνεται να είναι ανεπαρκής και μπορεί να είναι παραπλανητική σε ορισμένες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η παρουσία άλλων μικροοργανισμών όπως ευκαιριακών παθογόνων, Legionella και Mycobacterium, μπορεί να έχει ουσιαστικό κίνδυνο στην υγεία. Προς το παρόν, λίγα είναι γνωστά για την εμφάνιση αυτών των παθογόνων και την επιδημιολογία που σχετίζεται με την κατανάλωση προϊόντων που προέρχονται από αρδευόμενες καλλιέργειες. Οι αμοιβάδες είναι μια άλλη τάξη οργανισμών που πρόσφατα έχουν αποδειχτεί ότι είναι σημαντικές για την μικροβιακή ποιότητα του νερού (Bukhari et al., 2010) και αναμένεται ότι είναι παρούσες στα νερά της επιφάνειας που χρησιμοποιούνται για άρδευση. Καμία μέθοδος για να μετρήσουμε τους πληθυσμούς αυτών των οργανισμών δεν είναι έγκυρη για τις πηγές νερού άρδευσης.

Τίποτα δεν έχει δημοσιευτεί για τα βιοφίλμ και το γεγονός ότι αποτελούν δεξαμενές παθογόνων και ενδεικτικών μικροοργανισμών στα συστήματα διανομής νερού άρδευσης. Αυτό είναι ένα κρίσιμο ζήτημα με δεδομένο τον ρόλο που τα βιοφίλμ έχουν βρεθεί ότι παίζουν στην μικροβιακή μόλυνση του νερού άρδευσης. Τα βιοφίλμ προστατεύουν τα εγκλωβισμένα μικρόβια ενάντια στην απολύμανση και τα περισσότερα βακτήρια στα συστήματα νερού προσκολλώνται στους σωλήνες και σε άλλες επιφάνειες με την μορφή των βιοφίλμ (Lazarova and Manem, 1995). Οι μέθοδοι ανίχνευσης βιοφίλμ, οι πρακτικές να ελαχιστοποιηθεί η δημιουργία τους και η εκτίμηση της αποδοτικότητας διαφόρων τεχνολογιών απολύμανσης πρέπει να αναπτυχθούν και να επικυρωθούν. Απλές και ανέξοδες μέθοδοι για να βελτιωθεί η μικροβιακή ποιότητα του νερού στις φάρμες πρέπει να αναπτυχθούν, να δοκιμαστούν και να γνωστοποιηθούν.

Μεθοδολογία αξιολόγησης κινδύνου δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη. Ενώ η QMRA είναι μια αποδεκτή τεχνολογία για να αξιολογήσουμε το κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών μέσω του συστήματος άρδευσης (Mara, 2010), η άρδευση από πηγές νερού της επιφάνειας εξαρτάται κυρίως από τα δεδομένα για τους ενδεικτικούς οργανισμούς που δεν έχουν κάποια πραγματική υποστήριξη με γεγονότα. Για την αποδοτική

εφαρμογή της QMRA χρειάζεται να μελετηθεί καλύτερα η επίδραση της χαμηλού επιπέδου μετάδοσης των παθογόνων (Gerba, 2009).

Οι τωρινές αξιολογήσεις της μικροβιακής ποιότητας του νερού άρδευσης δεν χρησιμοποιούν κάποιο μοντέλο σχετικά με τη μοίρα και μεταφορά μικροοργανισμών. Το μοντέλο μπορεί να παρέχει πολύτιμα στοιχεία με δεδομένη την τωρινή κατάσταση γνώσης για την ποιότητα του νερού άρδευσης. Τα μοντέλα επεξεργασίας μπορούν να παρέχουν λογικές εκτιμήσεις υπό την απουσία χωρικών δεδομένων και αξιολόγησης εφαρμογών διαχείρισης και να υπολογίσουν την αβεβαιότητα για τις μικροβιακές συγκεντρώσεις στις πηγές νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην QMRA. Τα εμπειρικά μοντέλα τοπικών σχέσεων ανάμεσα στις καιρικές συνθήκες, τις συγκεντρώσεις παθογόνων στα νερά και τα ποσοστά ασθενειών (Haley et al., 2009) μπορεί να είναι χρήσιμα για σκοπούς πρόβλεψης όπως ήδη γίνεται με τις ασθένειες που επηρεάζονται από το κλίμα (Rogers et al., 2002).

Μερικά θέματα σχετικά με την μικροβιακή ποιότητα του νερού άρδευσης μπορεί να αλλάξουν όπως το παράδειγμα της ασφάλειας της παραγωγής προ συγκομιδής και να απαιτήσουν μεγαλύτερη προσοχή. Η οικολογία των μικροοργανισμών στις πηγές νερού άρδευσης μπορεί να είναι σχετική με την κατανόηση της μικροβιακής μόλυνσης από την άρδευση της παραγωγής (Critzer and Doyle, 2010). Η σύνθεση της μικροβιακής κοινότητας μπορεί να είναι ένας καλύτερος δείκτης παρουσίας και επιβίωσης παθογόνων στα νερά άρδευσης και σε περιβαλλοντικές δεξαμενές, όπως είναι και στο πόσιμο νερό (Berry et al., 2006; Bichai et al., 2008). Οι κλιματικές αλλαγές θα επηρεάσουν την διαθεσιμότητα και την δομή των πηγών νερού, και έτσι αυτό θα επηρεάσει την μικροβιακή ασφάλεια της παραγωγής. Προς το παρόν δεν υπάρχει μια βασική κατανόηση όλων αυτών των παραγόντων.

Συνολικά, υπάρχει μέγιστη ανάγκη να θεσπίσουμε πρωτόκολλα για τα δεδομένα ασφάλειας της παραγωγής HACCP και για την άρδευση της νωπής παραγωγής. Πρέπει να αναπτυχθούν δεδομένα για τα νερά άρδευσης που να είναι κατανοητά και να μειώνουν τον κίνδυνο μόλυνσης της παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη τη μέθοδο της άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας (Gerba, 2009). Υπάρχουν ουσιαστικά

κενά γνώσης, και απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσπάθεια από ερευνητές και επαγγελματίες για να διατηρηθεί η τροφική ασφάλεια των προϊόντων σε ένα αυξανόμενο εντατικό σύστημα παραγωγής τροφίμων και περιορισμένων πηγών νερού άρδευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης, Α. Ν. and Tchobanoglous, G. (1995). Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επεξεργασία και Διάθεση Εκροών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
2. Αντωνόπουλος, Β.Ζ. (2003). Υδραυλική περιβάλλοντος και ποιότητα επιφανειακών υδάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ.520.
3. Επίσημη Εφημερίδα Κυβερνήσεως (2008). Ελληνική Δημοκρατία, ΦΕΚ Β 2089/09-10-2008.
4. Επίσημη Εφημερίδα Κυβερνήσεως (2011). Ελληνική Δημοκρατία, ΦΕΚ Β 354/08-03-2011.
5. Πανώρας, Α. και Ηλίας, Α., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
6. Υπουργείο Δημοσίων Έργων και Περιβάλλοντος (2008). Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων. Αθήνα (CD), σελ.125.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7. Aertgeerts, R. and Angelakis, A. N. (Eds.). (2003). State of the Art Report: Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water. WHO, Water, Sanitation and Health Protection and the Human. Environment WHO, Genova and WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, pp. x, 212.
8. Ait Melloul, A., & Hassani, L. (1999). Salmonella infection in children from the wastewater-spreading zone of Marrakesh city (Morocco). *Journal of Applied Microbiology*, 87, 536-539.
9. Alberta Environment, Environmental Service, Environmental Sciences Division and Natural Resources Service, Water Management Division. (1999) *Surface water quality guidelines for use in Alberta*. November 1999. Publication no. T/483. ISBN 0-77850897-8. Available at <http://environment.gov.ab.ca/info/library/5713.pdf>.

10. Alonso, M. C., Dionisio, L. P. C., Bosch, A., Pereira de Moura, B. S., Garcia-Rosado, E., & Borrego, J. J. (2006). Microbiological quality of reclaimed water used for golf courses' irrigation. *Water Science and Technology*, 54, 109-117.
11. Al-Sa'ed, R. (2007). Pathogens assessment in reclaimed effluent used for industrial crops irrigation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 4, 58-75.
12. Andreadakis, A.N., and Bontoux, L. (2001). Wastewater reclamation and reuse in EU countries. *Wat. Policy*, 3, 47-59.
13. Andreadakis, A., Gavalaki, E., Mamais, D., and Tzimas, A. (2001). Wastewater reuse criteria in Greece. 7th International Conference on Environmental Science and Technology. Ermoupolis, Syros Island, Sept. 2001.
14. Angelakis, A. N. and Spyridakis, S.V. (1996). The status of water resources in Minoan times -A preliminary study. In: *Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region* (A. Angelakis, A. Issar, Eds.). Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191.
15. Angelakis, A.N., Marecos de Monte, M.H., Bontoux, L., and Asano, T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Wat. Res.*, 33(10), 2201-2217.
16. Angelakis, A.N., Bontoux, L., and Lazarona, V. (2002). Main challenges for water recycling and reuse in EU countries. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September 2002.
17. Angelakis, A.N., Koutsoyiannis, D., and Tchobanoglous, G. (2005). Wastewater Technologies in the Ancient Greece. *Water Res.*, 39(1): 210-220.
18. Anonymous. (2006). Surface water quality objectives. Interim Edition. EPB 356. Drinking Water Quality Section Saskatchewan Environment. Available at <http://www.environment.gov.sk.ca/adx.aspx/adxGetMedia.aspx?DocID=768,760,253,94,88,Documents&MediaID=332&Filename=Surface+Water+Quality+Objectives.pdf&l=English>.
19. Anonymous. (2010b). Water. Available at <http://www.driscolls.com/growing/food-safety.php>.
20. Antonopoulos, V.Z., and Diamantidis, G.D. (1995). Analysis of environmental factors affect on nitrification and denitrification of nitrogen applied in the soil by

- wastewater. Angelakes et al. (Eds.), Proceedings of 2nd International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. (IAWQ), Iraklio, Crete. Vol. 1 pp. 461-470.
21. Aruscavage, D., Miller, S. A., Lewis Ivey, M. L., Lee, K., & LeLeune, J. T. (2008). Survival and dissemination of *Escherichia coli* O157:H7 on physically and biologically damaged lettuce plants. *Journal of Food Protection*, 71, 2384-2388.
 22. Arvanitidou, M., Papa, A., Constantinidis, T. C., Danielides, V., & Katsouyannopoulos, V. (1997). The occurrence of *Listeria* spp. and *Salmonella* spp. in surface waters. *Research in Microbiology*, 152, 395-397.
 23. Asano, T. (Ed). (1985). *Artificial Recharge of Groundwater*. Butterworth Publishers, Boston, MA.
 24. Asano, T. (1998). (Ed.) *Wastewater Reclamation and Reuse. Water Quality Management Library Vol. 10*. Technomic Publishing Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA.
 25. Asano, T., Smith, R. G., Tsobanoglous, G. (1985). Municipal wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater- A guidance manual. 2nd edition, Pettygrove, G. S. and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
 26. Asano, T. and Mujeriego, R. (1988). Evaluation of industrial cooling systems using reclaimed wastewater. *Water Sci. Tech.*, 20(10): 163-174.
 27. Asano, T. and Levine, A.D. (1996). Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future. *Wat. Sci. Tech.*, 33(10-11): 1-16.
 28. Ashbolt, N. J., Grabow, W. O. K., & Snozzi, M. (2001). Indicators of microbial water quality. In L. Fewtrell, & J. Bartram (Eds.), *Water quality: Guidelines, standards and health: risk assessment and management for water related infectious diseases* (pp. 289-316). London: IWA Publishing.
 29. Ayers, R.S., and Westcott, D.W. (1985). *Water quality for agriculture*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Irrigation and Drainage, Paper 29, Rome, Italy.
 30. Barker-Reid, F., Harapas, D., Engleitner, S., Kreidl, S., Holmes, R., & Faggian, R. (2009). Persistence of *Escherichia coli* on injured iceberg lettuce in the field,

- overhead irrigated with contaminated water. *Journal of Food Protection*, 72, 458-464.
31. Berg, G., Eberl, L., & Hartmann, A. (2005). The rhizosphere as a reservoir for opportunistic human pathogenic bacteria. *Environmental Microbiology*, 7, 1673-1685.
 32. Bernstein, N., Sela, S., & Neder-Lavon, S. (2007a). Effect of irrigation regimes on persistence *Salmonella enterica* serovar Newport in small experimental pots designed for plant cultivation. *Irrigation Science*, 26, 1- 8.
 33. Bernstein, N., Sela, S., & Neder-Lavon, S. (2007b). Assessment of contamination potential of lettuce by *Salmonella enterica* serovar Newport added to the plant growing medium. *Journal of Food Protection*, 70, 1717-1722.
 34. Berry, D., Xi, C., & Raskin, L. (2006). Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 17, 297-302.
 35. Beuchat, L.R. (1998). Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw. Available at http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/surface_decon/en/surface_decon.pdf.
 36. Bichai, F., Payment, P., & Barbeau, B. (2008). Protection of waterborne pathogens by higher organisms in drinking water: A review. *Canadian Journal of Microbiology*, 54, 509-524.
 37. Blumenthal, U.J., Mara, D.D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., and Stott, R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the WHO*, 78 (9): 1104-1116.
 38. Boyer, D. G. (2008). Fecal coliform dispersal by rain splash on slopes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1395 -1400.
 39. Brandl, M. T., Haxo, A. F., Bates, A. H., & Mandrell, R. E. (2004). Comparison of survival of *Campylobacter jejuni* in the phyllosphere with that in the rhizosphere of spinach and radish plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 1182-1189.
 40. Brissaud, F. (2008). Criteria for water recycling and reuse in the Mediterranean region. *Desalination* 218, 24-33.

41. Bukhari, Z., Jjemba, P. K., & LeChevallier, M. W. (2010). Recommendations for research in microbiology and disinfection for the WateReuse Foundation. Alexandria, VA: WateReuse Foundation.
42. Carr, R. (2005). WHO guidelines for safe wastewater use-more than just numbers. *Irrigation drainage* 54, 103-111.
43. Chang, A.C., Page, A.L. and Asano, T. (1995). Developing Human Health - related Chemical Guidelines for Reclaimed Wastewater and Sewage Sludge Applications in Agriculture. WHO, Geneva, Switzerland.
44. Chigor, V. N., Umoh, V. J., & Smith, S. I. (2010). Occurrence of *Escherichia coli* O157 in a river used for fresh produce irrigation in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 9, 178-182.
45. Cifuentes, E. (1998). The epidemiology of enteric infections in agricultural communities exposed to wastewater irrigation: Perspectives for risk control. *International Journal of Environmental Health Research*, 8, 203-213.
46. Close, M., Dann, R., Ball, A., Pirie, R., Savill, M., & Smith, Z. (2008). Microbial groundwater quality and its health implications for a border-strip irrigated dairy farm catchment, South Island, New Zealand. *Journal of Water Health*, 6, 83-98.
47. Cooley, M., Carychao, D., Crawford-Miksza, L., Jay, M.T., Myers, C., & Rose, C., et al. (2007). Incidence and tracking of *Escherichia coli* O157:H7 in a major produce production region in California. *PLoS ONE*, 2, 1159. DOI:10.1371/journal.pone.0001159. Available at <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0001159>.
48. Critzer, F. J., & Doyle, M. P. (2010). Microbial ecology of foodborne pathogens associated with produce. *Current Opinion in Biotechnology*, 21, 125-130.
49. Cross, P.M. (1997). Review of irrigation district water quality. Report prepared for Canada- Alberta Environmentally Sustainable Agriculture (CAESA) Program by Madawaska Consulting, April 1997. CAESA, Edmonton, Alberta, Canada.
50. Day, A.D., McFadyen, J.A., Tucker, T.C., Cluff, C.B. (1979). Commercial production of wheat grain irrigated with municipal waste water and pump water. *J. Environ. Qual.* 8, 403-406.

51. Delaquis, P., Bach, S., & Dinu, L.-D. (2007). Behavior of *Escherichia coli* O157:H7 in leafy vegetables. *Journal of Food Protection*, 70, 1966-1974.
52. Droppo, I. G., Liss, S. N., Williams, D., Nelson, T., Jaskot, C., & Trapp, B. (2009). Dynamic existence of waterborne pathogens within river sediment compartments. Implications for water quality regulatory affairs. *Environmental Science Technology*, 43, 1737-1743.
53. Duffy, E. A., Lucia, L. M., Kells, J. M., Castillo, A., Pillai, S. D., & Acuff, G. R. (2005). Concentration of *Escherichia coli* and genetic diversity and antibiotic resistance profiling of *Salmonella* isolated from irrigation water, packing shed equipment, and fresh produce in Texas. *Journal of Food Protection*, 68, 70-79.
54. Duris, J. W, Haack, S. K., & Fogarty, L. R. (2009). Gene and antigen markers of Shiga-toxin producing *E. coli* from Michigan and Indiana River Water: Occurrence and relation to recreational water quality criteria. *Journal of Environmental Quality*, 38, 1878-1886.
55. Erickson, M. C., Webb, C. W., Diaz-Perez, J. C., Phatak, S. C., Silvoy, J. J., & Davey, L., et al. (2010). Infrequent internalization of *Escherichia coli* O157:H7 into field-grown leafy greens. *Journal of Food Protection*, 73, 500-506.
56. EPA: Environmental Protection Agency (1992). *Guidelines for water Reuse: Manual* U.S. EPA and U.S. Agency of Int. Development. EPA/625/R-92/004, Cincinnati, OH.
57. Fan, X., Niemira, B. A., Doona, C. J., Feeherry, F., & Gravani, R. B. (Eds.), (2009). *Microbial safety of fresh produce* Ames, IA: Wiley-Blackwell-IFT Press.
58. FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization). (2008). *Microbiological hazards in fresh leafy vegetables and herbs: Meeting report*. Microbiological Risk Assessment Series No. 14 (151 pp.). Rome.
59. Ferguson, C., de Roda Husman, A. M., Altavilla, N., & Deere, D. (2003). Fate and transport of surface water pathogens in watersheds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 33, 299-361.
60. Gannon, V. P., Graham, T. A., Read, S., Ziebell, K., Muckie, A., & Mori, J., et al. (2004). Bacterial pathogens in rural water supplies in southern Alberta, Canada. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 67, 1643-1653.

61. Gerba, C. P. (2009). The role of water and water testing in produce safety. In X. Fan, B. A. Niemira, C. J. Doona, F E. Feeherty, & R. B. Gravani (Eds.), *Microbial safety of fresh produce* (pp. 129-142). Ames, IA: Wiley.
62. Gerba, C. P., & Smith, J. E., Jr. (2005). Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes. *Journal of Environmental Quality*, 34, 42-48.
63. Gombas, D. (2007). Fresh tomato food safety research needs. Available at http://jifsan.umd.edu/docs/Tomato/Fresh_Tomato_Food_Safety_Research_Needs.pdf.
64. Gomes, C., Da Silva, P., Moreira, R. G., Castell-Perez, E., Ellis, A., & Pendleton, M. (2009). Understanding *E. coli* internalization in lettuce leaves for optimization of irradiation treatment. *International Journal of Food Microbiology*, 135, 238-247.
65. Gorski, L., Parker, C. T., Liang, A., Cooley, M. B., Jay-Russell, M. T., & Gordus, A. G., et al. (2011). Prevalence, distribution and diversity of *Salmonella enterica* in a major produce region of California. *Applied Environmental Microbiology* 77.
66. Guber, A. K., Shelton, D. R., & Pachepsky, Y. A. (2005). Transport and retention of manure-borne coliforms in undisturbed soil columns. *Vadose Zone Journal*, 4, 828-837.
67. Guo, X., Chen, J. R., Brackett, R. E., & Beuchat, L. R. (2001). Survival of *Salmonellae* on and in tomato plants from the time of inoculation at flowering and early stages of fruit development through fruit ripening. *Applied Environmental Microbiology*, 67, 4760-4764.
68. Haley, B. J., Cole, D. J., & Lipp, E. K. (2009). Distribution, diversity, and seasonality of waterborne *Salmonellae* in a rural watershed. *Applied Environmental Microbiology*, 75, 1248-1255.
69. Hamilton, A. J., Stagnitti, F., Premier, R., Boland, A. -M., & Hale, G. (2006). Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw vegetables irrigated with reclaimed water. *Applied Environmental Microbiology*, 72, 3284-3290.
70. Haramoto, E., Katayama, H., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima, H., & Ohgaki, S. (2006). Seasonal profiles of human noroviruses and indicator

- bacteria in a wastewater treatment plant in Tokyo, Japan. *Water Science Technology*, 54(11-12), 301-308.
- 71.** Harwood, V, Levine, A. D., Scott, T. M., Chivukula, V, Lukasik, J., Farrah, S. R., & Rose, J. B. (2005). Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Applied Environmental Microbiology*, 71, 3163-3170.
- 72.** Heaton, J. C., & Jones, K. (2008). Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: A review. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 613-626.
- 73.** Howard, I., Espigares, E., Lardelli, P., Martin, J. L., & Espigares, M. (2004). Evaluation of microbiological and physicochemical indicators for wastewater treatment. *Environmental Toxicology*, 19(3), 241-249.
- 74.** Ioukopoulos, B., Kalavrouziotis, I.K. (2008). Reuse of municipal reclaimed wastewater for the irrigation in soils and plants: Aitolokarnania in Western Greece as an example. *Fresenius Environ. Bull.* 17 (4), 434-438.
- 75.** Jablasone, J., Brovko, L. Y., & Griffiths, M. W. (2004). The potential for transfer of Salmonella from irrigation water to tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 287-289.
- 76.** Jamieson, T., Gordon, R., Bezanson, G., Cochrane, L., Stratton, G., & Havard, P. (2002). What you should know about irrigation water quality safety. Available at <http://nsac.ca/eng/outreach/Irrigationwaterquality.pdf>.
- 77.** Jjemba, P. K., Weinrich, L. A., Cheng, W., Giraldo, E., & LeChevallier, M. W. (2010). Regrowth of potential opportunistic pathogens and algae in reclaimed water distribution systems. *Applied Environmental Microbiology*, 76, 4169-4178.
- 78.** Johnson, J. Y., Thomas, J. E., Graham, T. A., Townshend, I., Byrne, J., & Selinger, L. B., et al. (2003). Prevalence of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella spp. in surface waters of southern Alberta and its relation to manure sources. *Canadian Journal of Microbiology*, 49, 326-335.
- 79.** Johnson, T. B., McKay, L. D., Layton, A. C., Jones, S. W., Johnson, G. C., & Cashdollar, J. L., et al. (2010). Viruses and bacteria in karst and fractured rock aquifers in East Tennessee, USA. *Ground Water*, 49(1), 98-110.

- 80.** Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A. (2001). The future of irrigation by processed wastewater in Greece. *J. Environ. Waste Manage.* 4 (2), 107-110.
- 81.** Kalavrouziotis, I.K., Drakatos, P.A. (2004). Investigation of Corfu-Greece reclaimed municipal wastewater suitability for irrigation. *Int. J. Water.* 2, 284-296.
- 82.** Kalavrouziotis, I.K., Sakellariou-Makrantomaki, M., Vagenas, I., Hortis, T., Drakatos, P.A. (2005). The potential for the systematic reuse of the wastewater effluents by the biological treatment plant of Agrinio, Greece on soils and agriculture. *Fresenius Environ. Bull.* 14 (3), 204-211.
- 83.** Kalavrouziotis, I.K., Sakellariou-Makrantonaki, M., Vagenas, I.N., Lemesios, I. (2006). Assessment of water requirements of crops for the reuse of municipal wastewaters from the W.W.T.P. of Patras, Greece. *Int. J. Environ. Pollut.* 28 (3-4), 485-495.
- 84.** Kandiah, A. (1990). Criteria and classification of saline water. Water, soil and crop management practices relating to the use of saline water. Kandiah, A. (Eds.), AGL/MIC/16/90. FAO, Rome. 34-51.
- 85.** Katzenelson, E., Buium, I., & Shuval, H. I. (1976). Risk of communicable disease infection associated with wastewater irrigation in agricultural settlements. *Science*, 194, 944-946.
- 86.** Kavka, G.G., Kasimir, D., & Farnleitner, A.H. (2006). Microbiological water quality of the River Danube (km 2581-km 15): Longitudinal variation of pollution as determined by standard parameters. In: Proceedings of the 36th international conference of IAD. Austrian Committee Danube Research/IAD, Vienna (pp. 415-421). ISBN: 13: 978-39500723-2-7.
- 87.** Kay, D., Edwards, A. C., Ferrier, R. C., Francis, C., Kay, C., & Rushby, L., et al. (2007). Catchment microbial dynamics: The emergence of a research agenda. *Progress in Physical Geography*, 31, 59-76.
- 88.** Kay, D., Crowther, J., Stapleton, C. M., Wyer, M. D., Fewtrell, L., & Edwards, A., et al. (2007). Faecal indicator organism concentrations in sewage and treated effluents. *Water Research*, 42, 442-554.
- 89.** Kramer, M. H., Herwaldt, B. L., Craun, G. F., Calderon, R. L., & Juranek, D. D. (1996). Surveillance for waterborne-disease outbreaks: United States, 1993-4. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 45, 1-33.

90. Kroupitski, Y., Golberg, D., Belausov, E., Pinto, R., Swartzberg, D., Granot, D., & Sela, S. (2009a). Internalization of *Salmonella enterica* in leaves is induced by light and involves chemotaxis and penetration through open stomata. *Applied Environmental Microbiology*, 75, 6076-6086.
91. Kroupitski, Y., Pinto, R., Brandl, M. T., Belausov, E., & Sela, S. (2009b). Interactions of *Salmonella enterica* with lettuce leaves. *Journal of Applied Microbiology*, 106, 1876-1885.
92. Lapidot, A., & Yaron, S. (2009). Transfer of *Salmonella enterica* serovar typhimurium from contaminated irrigation water to parsley is dependent on curli and cellulose, the biofilm matrix components. *Journal of Food Protection*, 72(3), 618-623.
93. Lazarova, V. (2000). Wastewater disinfection: assessment of the available technologies for water reclamation. Chapter In: *Water Conservation vol. 3. Water Management, Purification and Conservation in Arid Climate*. Goosen, M.F.A., Shayya, W.H. (Eds.), Technomic Publishing Co. Inc., 171-198.
94. Lazarova, V., & Manem, J. (1995). Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water Research*, 29, 2227-2245.
95. Leifert, C., Ball, K., Volakakis, N., & Cooper, C. (2008). Control of enteric pathogens in ready-to-eat vegetable crop in organic and “low input” production systems: A HACCP- based approach. *Journal of Applied Microbiology*, 105(4), 931-950.
96. Mandrell, R. E., Gorski, L., & Brandl, M. T. (2006). Attachment of microorganisms to fresh produce. In G. M. Sapers, J. R. Gorny, & A. E. Yousef (Eds.), *Microbiology of fruits and vegetables* (pp. 33-74). Boca Raton, FL: CRC, Taylor & Francis.
97. Mara, D. (2010). Quantitative microbial risk analysis: Wastewater use in agriculture. Available at <http://www.personal.leeds.ac.uk/~cen6ddm/QMRA.html>.
98. Marecos do Monte, M.H.F., Angelakis, A.N., and Asano, T. (1996). Necessity and basis for the establishment of European guidelines on wastewater reclamation and reuse in Mediterranean region. *Water Sci. Tech.*, 33(10-11), 303-316.
99. Materon, L. A., Martinez-Garcia, M., & McDonald, V. (2007). Identification of sources of microbial pathogens on cantaloupe rinds from pre-harvest to post-

- harvest operations. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 1281-1287.
- 100.** Melloul, A. A., Hassani, L., & Rajouk, L. (2001). Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. *World Journal of Microbiology Biotechnology*, 17, 207-209.
 - 101.** Metcalf and Eddy (2007). *Water Reuse*. New York, NY: McGraw Hill.
 - 102.** Miles, J. M., Sumner, S. S., Boyer, R. R., Williams, R. C., Latimer, J. G., & Mckinney, J. M. (2009). Internalization of *Salmonella enterica* serovar Montevideo into greenhouse tomato plants through contaminated irrigation water or seed stock. *Journal of Food Protection*, 72(4), 849-852.
 - 103.** Mitra, R., Cuesta-Alonso, E., Wayadande, A., Talley, J., Gilliland, T., & Fletcher, D.J. (2009). Effect of route of introduction and host cultivar on the colonization, internalization, and movement of the human pathogen *Escherichia coli* O157:H7 in spinach. *Journal of Food Protection*, 72, 1521-1530.
 - 104.** Mohammad, M.J., Mazahreh, N. (2003). Changes in soil fertilities parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34, 1281-1294.
 - 105.** Mohammed, H. O., & Wade, S. R. (2009). The risk of zoonotic genotypes of *Cryptosporidium* spp. in watersheds. In G. Ortega-Pierres, S. Caccio, R. Fayer, T. G. Mank, H. V. Smith, & R. C. A. Thompson (Eds.), *Giardia and Cryptosporidium: From molecules to disease* (pp. 123-131). CAB International.
 - 106.** Monnett, G.T., Reneau, R.B., Hagedorn, C. (1996). Evaluation of spray irrigation for on-site wastewater treatment and disposal on marginal soils. *Water Environ. Res.* 68, 11-18.
 - 107.** Mootian, G., Wu, W.-H., & Matthews, K. R. (2009). Transfer of *Escherichia coli* O157:H7 from soil, water, and manure contaminated with low numbers of the pathogen to lettuce plants. *Journal of Food Protection*, 72, 2308-2312.
 - 108.** Moulton-Hancock, C., Rose, J. B., Vasconcelos, G. J., Harris, S. I., Klonicki, P. T., & Sturbaum, G. D. (2000). *Giardia* and *Cryptosporidium* occurrence in groundwater. *Journal of the American Water Works Association*, 92, 117-123.
 - 109.** Nguyen Ngoc Thu (2001). Urbanization and wastewater reuse in peri-urban areas: a case study in Thanh Tri District, Hanoi City. *Wastewater reuse in agriculture in*

Vietnam: water management, environment and human health aspects. In: Proceedings of a workshop in Hanoi, Vietnam.

110. Norman, N. N., & Kabler, P. W. (1953). Bacteriological study of irrigated vegetables. *Sewage and Industrial Wastes*, 25, 605-609.
111. O'Connor, G. A., Elliott, H. A., & Bastian, R. K. (2008). Degraded water reuse: An overview. *Journal of Environmental Quality*, 37, S157-S168.
112. Okafo, C. N., Umoh, V. J., & Galadima, M. (2003). Occurrence of pathogens on vegetables harvested from soils irrigated with contaminated streams. *The Science of the Total Environment*, 311, 49-56.
113. Oster, J.D., and Schroer, F.W., 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci.*, 43, 444-447.
114. Pachepsky, Y., & Shelton, D. (2011). *Escherichia coli* and fecal coliforms in freshwater and estuarine sediments. *Critical reviews in environmental science and technology* (in press).
115. Panoras, A., Ilias, A., Skarakis, G., Papadopoulos, A., Papadopoulos, F., Parisopoulos, G., Papayiannopoulou, A., and Zdragas, A. (2000). Reuse of treated municipal wastewater for sugar beet irrigation. *J. of Balkan Ecology*, 3(4), 91-95.
116. Panoras, A., Kexagia, O., Xanthopoulos, F., Doitsinis, A., and Samaras, I. (2001a). The reuse of municipal wastewater in cotton irrigation. *Inter-Regional Research Network on Cotton*, 27 September - 1 October 2001, Chania, Greece.
117. Panoras, A., Evgenidis, G., Bladenopoulou, S., Melidis, B., Doitsinis, A., Samaras, I., Dragkas, A., and Matsi, T. (2001b). Corn irrigation with reclaimed municipal wastewater. *Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology*. University of the Aegean, 3-6 September 2001.
118. Panoras, A., Evgenidis, G., Bladenopoulou, S., Melidis, V., Doitsinis, A., Samaras, I., Zdragas, A., Matsi, Th. (2003). Corn irrigation with reclaimed municipal wastewater. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology*, Ermoupolis, Greece, pp. 699-706.
119. Papadopoulos, I. (1995). Present and perspective use of wastewater for irrigation in the Mediterranean basin. Angelakis et al. (Eds.), *Proceedings of 2nd*

- International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. (IAWQ), Iraklio, Crete. Vol. 2, pp. 735-746.
120. Papadopoulos, I., Stylianou, Y. (1988). Trickle irrigation of cotton with treated sewage effluent. *J. Environ. Qual.* 17, 574-580.
 121. Papadopoulos, F., Parissopoulos, G., Papadopoulos, A., Zdragas, A., Ntanos, D., Prochaska, C., Metaxa, I. (2009). Assessment of reclaimed municipal wastewater application on rice cultivation. *Environ. Manage.* 43,135-143.
 122. Patel, J. R., & K. H. Darlington (2010). Survival of Salmonella on spinach leaves treated with contaminated irrigation water. In: International association for food protection annual meeting, Anaheim, CA book of Abstracts (pp. 3-29).
 123. Patel, J. R., Millner, P. D., Nou, X. W., & Sharma, M. (2010). Persistence of enterohemorrhagic and non-pathogenic Escherichia coli O157:H7 on spinach leaves and in rhizosphere soil. *Journal of Applied Microbiology*, 108, 1789-1796.
 124. Patel, J. R., Sharma, M., & Ravishankar, S. (2011b). Effect of curli expression and hydro-phobicity of Escherichia coli O157:H7 on attachment to fresh produce surfaces. *Journal of Applied Microbiology*, 110, 737-745.
 125. Payment, P., & Locas, A. (2010). Pathogens in water: Value and limits of correlation with microbial indicators. *Ground Water*, 49(1), 4-11.
 126. Pescod, M.B. (1990). Human Waste Use in Agriculture and Aquaculture - Utilization Practices and Health Perspectives. IRCWD Report No. 9, Duebendorf, Switzerland.
 127. Rhoades, J.D. (1977). Potential for using saline agriculture drainage for irrigation. *Proceedings of Water Management for Irrigation and Drainage, A.S.C.E., Reno, Nevada*, 177, 85-116.
 128. Richardson, C. W., Bucks, D. A., & Sadler, E. J. (2008). The Conservation Effects Assessment Project benchmark watersheds: Synthesis of preliminary findings. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63, 590-604.
 129. Rock, C. M., McLain, J. E. T., & Walworth, J. (2009). Seasonal reclaimed water quality assessment of nutrient, chemical, and biological variability, Paper 8-C2. In *Proceedings of the 24th annual WateReuse symposium, Seattle, WA.*
 130. Rogers, D. J., Randolph, S. E., Snow, R. W., & Hay, S. I. (2002). Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature*, 415, 710-715.

131. Rose, J. B., Huffman, D. E., Riley, K., Farrah, S. R., Lukasik, J. O., & Hamann, C. L. (2001). Reduction of enteric microorganisms at the upper occoquan sewage authority water reclamation plant. *Water Environmental Research*, 73, 711-720.
132. Rusan, M.J.M., Hinnawi, S., Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* 215, 143-152.
133. Ryu, H., Alum, A., & Abbaszadegan, M. (2005). Microbial characterization and population changes in nonpotable reclaimed water distribution systems. *Environmental Science and Technology*, 39, 8600-8605.
134. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalavrouziotis, I.K., Giakos, D., Vagenas, I.N. (2006). Potential and planning for the reuse of municipal wastewater for the irrigation of vinicultures in Attica, Greece. *Fresenius Environ. Bull.* 15 (2), 129-135.
135. Sakellariou-Makrantonaki, M., Giouvanis, V., Soulti, A., Papadakis, E., Koliou, A. 2012. Water-saving by irrigating two varieties of Sorghum (Energy Plant) with treated municipal wastewater: A 3-years study in Central Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 21(1A), pp. 207-205
136. Sakellariou-Makrantonaki, M., Dimakas, D. 2013. Effects of biosolids application on sweet sorghum biomass, water use efficiency and ethanol production., *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 22(3A), pp. 914-921.
137. Sakellariou - Makrantonaki, M., Giouvanis, V. and Bamnaras, Th. 2014. Application of Treated Urban Wastewater through Subsurface Drip Irrigation. *Proceedings of the IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment, Traditions and Culture*, 22-24 March 2014, Patras, Greece (CD).
138. Salinity Engineering Laboratory (SEL) (2000). Treatment and reuse of sewage and sludge in the south Mediterranean and Middle East countries. Final report ministry of environment and public works of Greece.
139. Sapers, G., Solomon, E., & Matthews, K. R. (2009). *The produce contamination problem: Causes and solutions, food science and technology*. Boston, MA: Academic Press.
140. Scharff, R. (2009). Health-related costs from foodborne illness in the United States. Available at <http://www.producesafetyproject.org/media?id=0009>

141. Schets, F. M., Duringa, M., Italiaander, R., Heijnen, L., Rutjes, S. A., van der Zwaluw, W. K., & de Roda Husman, A. M. (2005). *Escherichia coli* O157:H7 in drinking water from private water supplies in the Netherlands. *Water Research*, 39, 4485-4493.
142. Schipper, L.A., Williamson, J.C., Kettles, H.A., Speir, T.W. (1996). Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *J. Environ. Qual.* 25, 1073-1077.
143. Scott, C. A., Faruqui, N. I., & Raschid-Sally, L. (Eds.), (2004). Wallingford, UK: CABI/ IWMI/IDRC. ISBN 0-85199-823-2. Accessible at www.idrc.ca/en/ev-31595-201-1- DO_TOPIC.html.
144. Sharma, M., Ingram, D. T., Patel, J. R., Millner, P. D., Wan, X., & Hull, A. E., et al. (2009). A novel approach to investigate the uptake and internalization of *Escherichia coli* O157:H7 in spinach cultivated in soil and hydroponic medium. *Journal of Food Protection*, 72, 1513-1520.
145. Shelton, D. R., Karns, J. S., Coppock, C., Patel, J., Sharma, M., & Pachepsky, Y. A. (2011). Relationship between *eae* and *stx* virulence genes and *E. coli* in an agricultural watershed: Implications for irrigation water standards and leafy green commodities. *Journal of Food Protection*, 74 (in press).
146. Shuval, H.L., Adin, A., Fatal, B., Rawitz, E., and Tekutiel, P. (1986). *Wastewater Irrigation in Developing Countries - Health Effects and Technical Solutions*. World Bank Technical Paper 51, The World Bank, Washington DC, USA.
147. Singh, G., Vajpayee, P., Ram, S., & Shanker, A. (2010). Enterotoxigenic *Escherichia coli* in South Asian Gangetic Riverine System. *Environmental Science and Technology*, 44(16), 6475-6480.
148. Söderström, A., Osterberg, P., Lindqvist, A., Jonsson, B., Lindberg, A., & Blide Ulander, S., et al. (2008). A large *Escherichia coli* O1577 outbreak in Sweden associated with locally produced lettuce. *Foodborne Pathogen Disease*, 5, 339-348.
149. Solo-Gabriele, H. M., Wolfert, M. A., Desmarais, T. R., & Palmer, C. J. (2000). Sources of *Escherichia coli* in a coastal subtropical environment. *Applied Environmental Microbiology*, 66, 230-237.

150. Solomon, E. B., Potenski, C. J., & Matthews, K. R. (2002a). Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Journal of Food Protection*, 65, 673-676.
151. Solomon, E. B., Yaron, S., & Matthews, K. R. (2002b). Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. *Applied Environmental Microbiology*, 68, 397-400.
152. Song, I., Stine, S. W., Choi, C. Y., & Gerba, C. P. (2006). Comparison of crop contamination by microorganisms during subsurface drip and furrow irrigation. *Journal of Environmental Engineering*, 132, 1243-1248.
153. State of California (2000). Title 22, Code of regulation, 24 p. November 2000.
154. Steele, M., & Odumeru, J. (2004). Irrigation water as source of foodborne pathogens on fruits and vegetables. *Journal of Food Protection*, 67(12), 2839-2849.
155. Stoeckel, D.M. (2009). Fecal contamination of irrigation water: Keep it off the dinner table. In: Proceedings of the 54th New Jersey annual vegetable meeting (pp 100-102).
156. Strang, J. (2010). Water, contaminants and flooding. Available at <http://www.kyagr.com/marketing/farmmarket/documents/watercontaminantsandflooding.ppt>.
157. Suslow, T.V. (2010). Standards for irrigation and foliar contact water. Produce safety project issue brief. Available at <http://www.producesafetyproject.org/admin/assets/files/Water-Suslow-1.pdf>.
158. Tate, K. W. (2010). Rangeland streams-water quality conditions. Available at http://range-landwatersheds.ucdavis.edu/main/rangeland_streams.htm.
159. Teplitski, M., Barak, J. D., & Schneider, K. R. (2009). Human enteric pathogens in produce: Un-answered ecological questions with direct implications for food safety. *Current Opinion in Biotechnology*, 20, 166-171.
160. Thurston-Enriquez, J. A., Watt, P., Dowd, S. E., Enriquez, R., Pepper, I. L., & Gerba, P. (2002). Detection of protozoan parasites and microsporidia in irrigation waters used for crop production. *Journal of Food Protection*, 65, 378-382.

- 161.** Tsagarakis, K.P., Tsoumanis, P., Charzoulakis, K., and Angelakis, A.N. (2001). Water resources status including wastewater treatment and reuse in Greece: Related Problems and Prospectives. *Water Intern.*, 26(2), 252-258.
- 162.** USEPA (1973). *Water Quality Criteria*. National Academy of Sciences Report to the United States Environmental Protection Agency. Washington, DC: USEPA.
- 163.** USEPA. (2004). *Guidelines for water reuse*. Washington, DC. Available at <http://www.epa.gov/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf>.
- 164.** USDA-NASS. (2008). *Farm and ranch irrigation survey*. Accessible at http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2007/Online_Highlights/Farm_and_Ranch_Irrigation_Survey/index.asp.
- 165.** Van Elsas, J. D., Semenov, A. V., Costa, R., & Trevors, J. T. (2010). Survival of *Escherichia coli* in the environment: Fundamental and public health aspects. *The ISME Journal*, 2010, 1-11.
- 166.** Walters, S. P., Thebo, A. L., & Boehm, A. B. (2011). Impact of urbanization and agriculture on the occurrence of bacterial pathogens and stx genes in coastal water bodies of central California. *Water Research*, 45, 1752-1762.
- 167.** Warriner, K., Huber, A., Namvar, A., Fan, W., & Dunfield, K. (2009). Recent advances in the microbial safety of fresh fruits and vegetables, *Advances in food and nutrition research* (Vol. 57, pp. 155-208). Boston, MA: Academic Press.
- 168.** Warrington, P. D. (1988). *Water quality criteria for microbiological indicators: Overview report*. British Columbia, Ministry of Water, Land, and Air Protection, Resource Quality Section. Water Management Branch, Ministry of Environment and Parks. March 8, 1988. Available at http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BC_guidelines/microbiology/microbiology.html.
- 169.** Webb, C.C., Erickson, M.C., Diaz-Perez, J.C., Phatak, S., Silvoy, J.J., McGhin, L.E., et al. (2008). Surface and internalized *Escherichia coli* O157:H7 on field grown spinach treated with spray contaminated irrigation water. Available at <http://www.ugacfs.org/research/pdfs/Ecology2008.pdf>.
- 170.** Weinrich, L.A., Jjemba, P.K., Giraldo, E. & LeChevallier, M.W. (2010). Implications of organic carbon in the deterioration of water quality in reclaimed water distribution systems. *Water Research*, 44, 5367-5375.

171. WHO (1980). Health Aspects of Treated Sewage Reuse. Report on a WHO Seminar. EURO Reports and Studies 42, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
172. WHO (1989). Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a WHO Scientific Group WHO Technical Report Series 778, WHO, Geneva, Switzerland.
173. Wilkes, G., Edge, T., Gannon, V., Jokinen, C., Lyautey, E., & Medeiros, D., et al. (2009). Seasonal relationships among indicator bacteria, pathogenic bacteria, *Cryptosporidium* oocysts, *Giardia* cysts, and hydrological indices for surface waters within an agricultural landscape. *Water Research*, 43, 2209-2223.
174. Williamson, D. A. (2002). Manitoba water quality objectives, standards, and guidelines. Final Draft: November 22, 2002. Manitoba Conservation, Water Quality Management Section. Available at http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/water_quality/quality/mwqsog_2002.pdf.
175. Zhang, G., Ma, L., Beuchat, L. R., Erickson, M. C., Phelan, V. H., & Doyle, M. P. (2009). Lack of internalization of *Escherichia coli* O157:H7 in lettuce (*Lactuca sativa* L.) after leaf surface and soil inoculation. *Journal of Food Protection*, 72(10), 2028-2037.