

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

Μελέτη μικροβιολογικών χαρακτηριστικών πόσιμου νερού στο Δήμο Πλατανιά

ΚΟΡΔΟΝΟΥΡΗ ΕΛΕΝΗ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΒΕΝΙΕΡΗ ΔΑΝΑΗ**



Εξεταστική επιτροπή

Βενιέρη Δανάη

Μαντζαβίνος Διονύσιος

Παρανυχιανάκης Νικόλαος

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η υλοποίηση της έγινε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας και στο Εργαστήριο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών και Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.

Η μικροβιολογική ποιότητα του πόσιμου νερού είναι καθοριστική για τη δημόσια υγεία δεδομένου ότι πλήθος υδατογενών λοιμώξεων σχετίζονται με την παρουσία μικροοργανισμών στο νερό. Για το λόγο αυτό ο έλεγχος και η μικροβιολογική ανάλυση του πόσιμου νερού έχουν εξαιρετική σημασία. Η μικροβιολογική ποιότητα του πόσιμου νερού προσδιορίζεται βάσει των ορίων για τις μικροβιολογικές παραμέτρους που έχουν θεσπιστεί από την ελληνική και την ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Η απολύμανση του πόσιμου νερού αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα αυτού. Η χρήση εναλλακτικών μεθόδων απολύμανσης πέρα από τη χλωρίωση με σκοπό την αποφυγή των παραπροϊόντων αυτής αποτελεί αντικείμενο μελέτης τις τελευταίες δεκαετίες. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ετερογενής φωτοκατάλυση η οποία είναι μια από τις πιο διαδεδομένες εναλλακτικές μεθόδους για την απολύμανση του νερού.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες πόσιμου νερού από το Δήμο Πλατανιά του Νομού Χανίων. Τα δείγματα του νερού εξετάστηκαν ως προς τη μικροβιολογική τους ποιότητα και όπως διαπιστώθηκε η πλειοψηφία των δειγμάτων που είχαν υποστεί απολύμανση με χλώριο ήταν εντός των νομοθετικών ορίων.

Ένα μέρος των μικροοργανισμών απομονώθηκε και ταυτοποιήθηκε με τη βιοχημικά, προσφέροντας συμπεράσματα για το ακριβές είδος αυτών.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε επίσης επεξεργασία των δειγμάτων του πόσιμου νερού με τη μέθοδο της ετερογενούς φωτοκατάλυσης. Η μέθοδος κρίθηκε ως ιδιαίτερα αποτελεσματική ως προς τη θανάτωση των μικροοργανισμών.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	2
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	5
1.1 Νερό	5
1.1.1 Πόσιμο νερό	6
1.1.2 Φυσικοχημική ποιότητα πόσιμου νερού	7
1.1.3 Μικροβιολογική ποιότητα πόσιμου νερού	7
1.1.4 Μικροοργανισμοί – δείκτες	8
1.1.5 Νομοθετικά όρια για πόσιμο νερό	10
1.2 Απολύμανση.....	12
1.2.1 Κύριες μέθοδοι απολύμανσης.....	13
1.2.2 Παραπροϊόντα χλωρίωσης.....	15
1.2.3 Φωτοκατάλυση	16
Κεφάλαιο 2 : Σκοπός	21
Κεφάλαιο 3 : Υλικά - Μέθοδοι	22
3.1 Υλικά.....	22
3.2 Περιοχή μελέτης	23
3.2.1 Δίκτυο Ύδρευσης Δήμου Πλατανιά.....	24
3.3 Μέθοδοι	25
3.3.1 Δειγματοληψίες	25
3.3.2 Μικροβιολογική ανάλυση νερού	27
3.3.3 Καλλιέργειες.....	28
3.3.4 Βιοχημική ταυτοποίηση μικροοργανισμών με το σύστημα API	32
3.3.5 Φωτοκατάλυση	33
Κεφάλαιο 4 : Αποτελέσματα – συζήτηση.....	35
4.1 Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων δειγμάτων νερού	35
4.1.1 Συμπεράσματα για τη γενική μικροβιολογική ποιότητα των δειγμάτων νερού	55
4.1.2 Συμπεράσματα για την καταλληλότητα των δειγμάτων νερού για πόση	56
4.2 Αποτελέσματα βιοχημικής ταυτοποίησης μικροοργανισμών με το σύστημα API.....	60
4.2.1 Συμπεράσματα για τη βιοχημική ταυτοποίηση των μικροοργανισμών με το σύστημα API	61
4.3 Αποτελέσματα φωτοκατάλυσης	63

4.3.1 Συμπεράσματα για τα αποτελέσματα της ετερογενούς φωτοκατάλυσης στα δείγματα νερού	74
Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα – προτάσεις.....	76
Βιβλιογραφία	77
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	77
Ξένη Βιβλιογραφία.....	78

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1.1 Νερό

Το νερό είναι η περισσότερο διαδεδομένη χημική ένωση που είναι απαραίτητη σε όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη μας. Αποτελείται από υδρογόνο(H) και οξυγόνο(O) και απαντάται σε τρεις μορφές στη γη : στερεή (πάγος, χιόνι), υγρή (νερό πηγών, ποταμών, θαλασσών) και αέρια (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα). Το νερό είναι υγρό, διαυγές, άχρωμο σε λεπτά στρώματα, κυανίζουν σε μεγάλους όγκους. Η καθαρή ουσία είναι άγευστη, ενώ το πόσιμο νερό έχει ευχάριστη γεύση, που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και αέρια. Η πυκνότητα του νερού είναι διαφέρει ανάλογα με τη θερμοκρασία και είναι μέγιστη στους 4 °C.

Επιπλέον, αποτελεί το σημαντικότερο φυσικό πόρο του πλανήτη και είναι απαραίτητο για τη διατήρηση όλων των μορφών ζωής. Οι άνθρωποι και τα ζώα έχουν στο σώμα τους 60-70% νερό (κατά βάρος), ενώ φθάνει μέχρι και το 90% εκείνου των κυττάρων.

Ενδεικτικό για το πόσο στενά συνδεδεμένη είναι η ζωή του πλανήτη με το νερό είναι ότι η επιφάνεια της Γης καλύπτεται κατά τα 2/3 περίπου από τους ωκεανούς, που αποτελούν τα 97% του συνολικού όγκου του νερού. Αυτός ο όγκος είναι 1.350 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα και ονομάζεται υδρόσφαιρα. Από το γλυκό νερό του πλανήτη, που αντιστοιχεί μόνο στο 3% της υδρόσφαιρας, περισσότερο από το μισό (τα 3/4) βρίσκεται εγκλωβισμένο στα χιόνια ή τους πάγους. Έτσι, το νερό που μπορεί να αντλήσει ο άνθρωπος αντιστοιχεί μόλις στο 1% της υδρόσφαιρας. Τα επιφανειακά γλυκά νερά (ποτάμια, λίμνες) είναι μόνο το 0,3% του γλυκού νερού στον πλανήτη.

Η γενική έλλειψη νερού, φαινόμενο περιορισμένο σε μικρό αριθμό κρατών μέχρι το 1950, παρουσιάζει μια εκθετική αύξηση κατά την τελευταία πεντηκονταετία. Εκτιμάται ότι γύρω στο έτος 2050 το 60 με 70% του πληθυσμού της Γης θα αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα επάρκειας νερού στην επιθυμητή για την ανάπτυξη και τις δραστηριότητες του ποσότητα. Η πρόσβαση στο ασφαλές πόσιμο νερό παραμένει όμως το πρώτο και μείζον πρόβλημα στις αρχές του 21ου αιώνα: Περισσότερα από 2,5 δις συνάνθρωποι μας δεν έχουν πρόσβαση στο αναγκαίο για την επιβίωση τους καθαρό νερό, με αποτέλεσμα να εξολοθρεύονται από συνακόλουθες μολύνσεις 5.000.000 άνθρωποι το χρόνο, εκ των οποίων η πλειοψηφία είναι παιδιά (Σκληβανιώτης,Μ.,2004).

1.1.1 Πόσιμο νερό

Σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 ως «πόσιμο» νερό νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία και ανεξάρτητα από την προέλευση του ή από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο ή συσκευασμένο σε φιάλες και δοχεία. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνονται οι εξής κατηγορίες:

- Το νερό που διατίθεται για ανθρώπινη κατανάλωση (πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις).
- Το νερό που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.
- Το νερό που επηρεάζει τον τελικό βαθμό υγιεινής των τροφίμων και ποτών.

Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές, άχρωμο, άοσμο, δροσερό (θερμοκρασίας 7 - 11°C). Πρέπει να είναι ασφαλές και ακίνδυνο για την υγεία, να μην είναι θολό και να μην έχει χρώμα και δυσάρεστη οσμή και γεύση.

Το πόσιμο νερό περιέχει μικρή ποσότητα ανόργανων αλάτων (0,5g/L). Αντίθετα, το καθαρό νερό χωρίς διαλυμένα άλατα είναι βλαβερό για τον οργανισμό, εξαιτίας της μεγάλης διαπερατότητας των κυττάρων και του φαινομένου της ώσμωσης. Επιπλέον, το πόσιμο νερό περιέχει διαλυμένο οξυγόνο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, ελάχιστα ίχνη οργανικών ουσιών, καθώς και ίχνη φυτικών μικροοργανισμών. Δεν θα πρέπει όμως να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία.

Η τοποθεσία, η κατασκευή, η λειτουργία και η επίβλεψη μιας πηγής υδροληψίας (πηγές, δεξαμενές, επεξεργασία και διανομή νερού) πρέπει να είναι τέτοιες που να αποκλείουν οποιαδήποτε ρύπανση του νερού (Μελίδης, Π., 2001).

Οι περισσότερες χώρες στον κόσμο έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν στην επικράτειά τους. Χρησιμοποιούν πρότυπες μεθόδους ανάλυσης και έκφρασης των αποτελεσμάτων ώστε να διευκολύνονται οι συγκριτικές αναφορές. Επίσης, επιδημίες από ασθένειες υδρικής προέλευσης μπορεί να αποφευχθούν εάν γίνονται αυστηροί έλεγχοι από τους υπεύθυνους των συστημάτων υδροληψίας και τις αρμόδιες αρχές υγείας, που να αφορούν την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Οι παράμετροι που εξετάζονται για την ποιότητα του πόσιμου νερού χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- φυσικοχημικές παράμετροι
- Μικροβιολογικές παράμετροι

1.1.2 Φυσικοχημική ποιότητα πόσιμου νερού

Οι παράμετροι που εξετάζονται για την εκτίμηση της φυσικοχημικής ποιότητας του πόσιμου νερού βασίζονται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού και οι επιτρεπόμενες τιμές τους καθορίζονται από την ισχύουσα νομοθεσία. Οι κυριότερες είναι οι εξής (www.hydro.ntua.gr) :

- Χρώμα (Color) :
- Θολερότητα (Turbidity)
- Οσμή και γεύση (Odor-Taste)
- Θερμοκρασία (Temperature)
- Αγωγιμότητα (Conductivity)
- Χλωριούχα (Chlorides)
- Ασβέστιο (Calcium)
- Μαγνήσιο (Magnesium)
- Σκληρότητα (Hardness)
- Νάτριο (Sodium)
- Κάλιο (Potassium)
- Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen)

1.1.3 Μικροβιολογική ποιότητα πόσιμου νερού

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο πόσιμο νερό αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά του και αποτελεί κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Οι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για οσμές και γεύσεις στο πόσιμο νερό καθώς και για τη διάβρωση των μετάλλων και του σκυροδέματος, που οδηγεί σε προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης.

Το πιο σημαντικό όμως ζήτημα είναι οι υδατογενείς λοιμώξεις που συνδέονται με την ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό. Οι σημαντικότεροι μικροοργανισμοί που συνδέονται με τις σύγχρονες υδατογενείς λοιμώξεις είναι τα

βακτήρια, οι ιοί, τα πρωτόζωα και τα μικροφύκη (Π. Μελίδης, 2001). Οι πηγές των περισσότερων υδατογενών παθογόνων είναι ανθρώπινα και ζωικά περιττώματα προερχόμενα από μολυσμένους ανθρώπινους και ζωικούς μεταφορείς. Οι υδατογενείς παθογόνοι μικροοργανισμοί εμφανίζονται αρκετά δραστικοί προς τον άνθρωπο ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις. Επίσης, πολλαπλασιάζονται με γρήγορους ρυθμούς σε ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι ανθεκτικοί στην επεξεργασία των υδάτων και μπορούν να επιβιώσουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η εξάπλωση μιας υδατογενούς λοίμωξης από μικροοργανισμούς εξαρτάται από παράγοντες, όπως η ικανότητα επιβίωσης τους στο υδάτινο περιβάλλον και η ποσότητα της δόσης που απαιτείται για την πρόκληση της λοίμωξης (H. Leclerc et al., 2002).

1.1.4 Μικροοργανισμοί – δείκτες

Οι υδατογενείς επιδημίες προκαλούνται από τα παθογόνα μικρόβια που έχουν προέλευση την κοπρανώδη μόλυνση του νερού. Επειδή ο έλεγχος όλων των παθογόνων μικροβίων που προέρχονται από το εντερικό περιεχόμενο ζώων και ανθρώπων απαιτεί ποικιλία πολύπλοκων, χρονοβόρων και πολυέξοδων αναλύσεων, εφαρμόζεται η ανίχνευση και ποσοτικοποίηση μικροοργανισμών-δεικτών που να είναι ενδεικτικοί ακόμη και της ενδεχόμενης παρουσίας λυμάτων στο νερό.

Η παρουσία τέτοιων μικροβίων – δεικτών αποτελεί αδιάψευστο μάρτυρα κοπρανώδους μόλυνσης του νερού και κατά συνέπεια συνιστά ισχυρή πιθανότητα να συνυπάρχουν και παθογόνα μικρόβια. Είναι εύλογο ότι η αξιολόγηση που γίνεται για κάθε ένα από τα μικρόβια – δείκτες σχετίζεται με τη φύση του μικροβίου και το βαθμό συσχέτισής του με τα κόπρανα.

Οι κυριότερες παράμετροι που προβλέπονται να εξετάζονται ως μικρόβια – δείκτες είναι τα (Ε. Βελονάκης, Ε.Σ.Δ.Υ.) :

1. Ολικά κολοβακτηριοειδή
2. Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (*E.coli*)
3. Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Εντερόκοκκοι)
4. Θειοαναγωγικά κλωστηρίδια (*Clostridium perfringens*)
5. Ολική μικροβιακή χλωρίδα (ΟΜΧ)

- στους 37 °C και
- στους 22 °C

Η σημασία της ανεύρεσης κάθε μιας από τις παραπάνω παραμέτρους έγκειται στο ότι δίνει με αρκετή προσέγγιση πληροφορίες για το είδος της μόλυνσης που αφορά στο νερό από το οποίο έχει ληφθεί το δείγμα που εξετάσθηκε.

- Τα Ολικά Κολοβακτηριοειδή δεν προέρχονται μόνο από τα κόπρανα των ανθρώπων και ζώων αλλά και από το χώμα και τα φυτά και επομένως μόνη η παρουσία τους, εφόσον δεν συνυπάρχουν και άλλες βακτηριολογικές παράμετροι στα αποτελέσματα μιας εξέτασης νερού, θα μπορούσε π.χ. να επισημαίνει ενδεχόμενη μόλυνση του νερού περιβαλλοντικής προέλευσης.
- Τα Κοπρανώδη Κολοβακτηριοειδή αντίθετα, επειδή έχουν προέλευση τον εντερικό σωλήνα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων υποδεικνύουν μόλυνση κοπρανώδους προέλευσης του νερού και στην περίπτωση αυτή είναι βέβαια αυτονόητος ο κίνδυνος να υπάρχουν και παθογόνοι μικροοργανισμοί με τις ανάλογες συνέπειες. Η *Escherichia coli* (Κολοβακτηρίδιο) συνιστά ένα τυπικό μέλος της ομάδας αυτής των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια η παρουσία έστω και ενός (1) μικροβιακού κυττάρου σε 100 ml χλωριωμένου νερού είναι ενδεικτική μόλυνσης ή κακής απολύμανσης του.
- Οι Κοπρανώδεις Στρεπτόκοκκοι είναι μια ομάδα μικροοργανισμών που αποτελείται από είδη που βρίσκονται στον εντερικό σωλήνα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων και αν υπάρχουν υποδεικνύουν μόλυνση κοπρανώδους προέλευσης του νερού. Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ταυτόχρονη η παρουσία στο νερό και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούν κίνδυνο για τη Δημόσια Υγεία. Παράλληλα, οι Κοπρανώδεις Στρεπτόκοκκοι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντοχή στην οριακή χλωρίωση, συγκρινόμενοι με τους άλλους μικροοργανισμούς – δείκτες (όπως πχ *E. coli*), γεγονός που τους προσδίδει μεγαλύτερη αξία, όσον αφορά στην εκτίμηση της μικροβιολογικής ποιότητας δειγμάτων νερού. Περιλαμβάνουν τα είδη *Streptococcus bovis*, *S. avium*, *S. gallinarum*, *S. equinus*, αλλά και τα είδη *S. faecium* & *S. faecalis* που συναντώνται συχνότερα στον εντερικό σωλήνα του ανθρώπου. Οι στρεπτόκοκκοι κοπράνων που ανήκουν στα είδη, *S. gallinarum*, *S. equinus*, *S. faecium* & *S. faecalis* συνιστούν μια υποομάδα που ονομάζεται εντερόκοκκοι.
- Το Κλωστηρίδιο το διαθλαστικό είναι ένα σπορογόνο βακτηρίδιο και με τους σπόρους του επιζεί σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά εμφανίζει και

μεγαλύτερη αντοχή στη χλωρίωση. Η παρουσία του αποτελεί απόδειξη μόλυνσης του νερού ακόμη και στις περιπτώσεις εκείνες που δεν ανιχνεύεται *E. coli*, οπότε και εκτιμάται ότι έχει μεσολαβήσει αρκετό χρονικό διάστημα μεταξύ της μόλυνσης και της αντίστοιχης δειγματοληψίας. Η ανίχνευσή του θεωρείται ότι έχει ιδιαίτερη σημασία για τις ελλείψεις που αφορούν στα μικρά συστήματα υδρεύσεων που δεν είναι δυνατόν να ελέγχονται σε τακτική βάση.

- Η καταμέτρηση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας (ΟΜΧ) στο πόσιμο νερό μας δίνει μια εικόνα της μικροβιολογικής καθαρότητας του νερού, ιδίως για τις περιπτώσεις που αυτό χρησιμοποιείται από βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων. Για τα δίκτυα ύδρευσης η σταθερότητα του αριθμού τους είναι σημαντικός δείκτης της ακεραιότητας του δικτύου και της επάρκειας της χλωρίωσης. Αιφνίδια αύξηση του αριθμού της κατά 1-2 λογάριθμους μπορεί να υποδηλώνει ανεπάρκεια στο σύστημα επεξεργασίας του νερού, επιμόλυνση της πηγής υδροληψίας ή και ανάπτυξη βιολογικού υμενίου στο δίκτυο. Πολλές φορές είναι το πρώτο ανιχνεύσιμο σημείο μόλυνσης. Τα ετερότροφα βακτήρια που βρίσκονται στο νερό είναι μια μεγάλη ποικιλία από μεσόφιλα αερόβια και αναερόβια βακτήρια. Αναπτύσσονται στους 37 °C και στους 22 °C. Περισσότερη σημαντική από άποψη δημόσιας υγείας είναι η μέτρηση στους 37 °C.
- Άλλα μικρόβια – δείκτες είναι η *Pseudomonas aeruginosa* (εμφιαλωμένα νερά, ύδρευση νοσοκομείων, κολυμβητικές δεξαμενές), *Rodococcus coprophilus* (νοκαρδιόμορφος ακτινομύκητας-ειδικός δείκτης ζωικής μόλυνσης του νερού), οι βακτηριοφάγοι των εντεροβακτηρίων κ.ά.

1.1.5 Νομοθετικά όρια για πόσιμο νερό

Η πιο πρόσφατη κοινή υπουργική απόφαση, ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892 /11.07.2001 τεύχος Β') αναφέρεται στην «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3/11/98. Η Νέα Οδηγία υιοθετήθηκε για την αναπροσαρμογή της οδηγίας 80/778/ΕΟΚ (Υ.Δ. Α5/288/86, ΦΕΚ 53/Β/20-2-1986) που ίσχυε μέχρι τις 25/12/03 στην επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε με την εφαρμογή της και με στόχο να καταστεί εφικτή η τήρηση των απαιτήσεων βασικών ποιοτικών και υγειονομικών παραμέτρων (Μπούφας, Π., 2003).

Για τη μικροβιολογική ανάλυση του πόσιμου νερού ορίζονται αναλυτικές παράμετροι, που διαφοροποιούνται σε υποχρεωτικές και ενδεικτικές. Υποχρεωτικές

παράμετροι θεωρούνται αυτές που έχουν άμεση σχέση με την προστασία της ανθρώπινης υγείας και περιλαμβάνουν μη παθογόνους μικροοργανισμούς. Η ανεύρεση τους επισημαίνει την ενδεχόμενη παρουσία ή τη δυνατότητα παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών. Ενδεικτικές παράμετροι θεωρούνται αυτές που από μόνες του δεν εμφανίζουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και η παρουσία τους παρέχει σαφείς ενδείξεις μεταβολών στην ποιότητα του νερού και την ενδεχόμενη ανάγκη επιδιορθωτικών δράσεων.

Υποχρεωτικές παράμετροι σύμφωνα με τη νέα Οδηγία είναι η *E. coli* και οι Εντερόκοκκοι.

Ενδεικτικές παράμετροι είναι οι κοινοί μεσόφιλοι μικροοργανισμοί στους 37°C και 22°C, τα ολικά κολοβακτηριοειδή και το *Clostridium perfringens*. Η παρουσία αυτών των μικροοργανισμών επισημαίνει την παρουσία ή τη δυνατότητα παρουσίας μόλυνσης στο νερό. Τα παραπάνω δεν θεωρούνται ειδικοί δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης του νερού, δεδομένου ότι πολλά είδη είναι περιβαλλοντικής προέλευσης (έδαφος, φύλλα κ.λπ.) Παρέχουν ενδείξεις για μικροβιακή μόλυνση άλλης προέλευσης, συμπληρώνοντας έτσι τα στοιχεία που παρέχονται από άλλες παραμέτρους.

Πίνακας 1: Υποχρεωτικές μικροβιολογικές παράμετροι για το πόσιμο νερό

Παράμετροι	Παραμετρική τιμή
<i>E.coli</i>	0/100 ml
Εντερόκοκκοι	0/100 ml

Πίνακας 2 : Ενδεικτικές μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή
Αριθμός αποικιών σε 22 °C και 37 °C	Άνευ ασυνήθη μεταβολή
Ολικά κολοβακτηριοειδή	0/100 ml
<i>Clostridium perfringens</i> (+σπόροι)	0/100 ml
Αργίλιο	200 µg/L
Αμμώνιο	0,50 mg/L
Χλωριούχα άλατα	250 mg/L
Χρώμα	Αποδεκτό και χωρίς ασυνήθη μεταβολή
Αγωγιμότητα	2500 µS cm/20 °C
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	≥6,5 και ≤9,5 μονάδες pH
Σίδηρος	200 µg/L
Μαγγάνιο	50 µg/L
Οσμή	Αποδεκτή και χωρίς ασυνήθη

	μεταβολή
Οξειδωσιμότητα	5,0 mg/L
Θειικά άλατα	250 mg/L
Νάτριο	200 mg/L
Γεύση	Αποδεκτή και χωρίς ασυνήθη μεταβολή
Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	Χωρίς ασυνήθη μεταβολή
Θολότητα	Αποδεκτή και χωρίς ασυνήθη μεταβολή
Ραδιενέργεια	
Τρίτιο	100 becquerel/L
Ολική ενδεικτική δόση	0,10 μ S/χρόνο

1.2 Απολύμανση

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό ευνοείται από ορισμένους παράγοντες, όπως είναι το ουδέτερο pH, η παρουσία οργανικής ύλης που είναι η τροφή τους, καθώς και η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών, όπως το άζωτο και ο φωσφόρος, τα οποία είναι απαραίτητα στη βιοσύνθεσή τους. Εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους οι μικροοργανισμοί είναι δύσκολο να απομακρυνθούν πλήρως από το νερό μόνο με φυσικοχημικές διεργασίες, όπως είναι η καθίζηση και η διήθηση, οπότε για να διασφαλισθεί η απουσία τους στο νερό απαιτείται η απολύμανσή του.

Απολύμανση είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού που έχει ως σκοπό την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών που τυχόν περιέχει, ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία. Πρωταρχικός σκοπός της απολύμανσης είναι η αναστολή του πολλαπλασιασμού και της επιβίωσης κάθε παθογόνου μικροοργανισμού μέσα στο σύστημα ύδρευσης.

Γενικότερα, ως απολύμανση ορίζεται η επεξεργασία εκείνη που έχει ως σκοπό τη διατήρηση των μικροοργανισμών ενός ανοικτού ή κλειστού δικτύου νερού σε επίπεδα που δεν επηρεάζουν τη διεργασία. Είναι ουσιώδες να διευκρινισθεί η διαφορά μεταξύ της αποστείρωσης και της απολύμανσης. Η πρώτη σημαίνει πλήρη καταστροφή όλων των μικροοργανισμών, ενώ η δεύτερη χαρακτηρίζεται ως η εκλεκτική ελάττωση των μικροοργανισμών σε ανεκτά επίπεδα.

Η απολύμανση του πόσιμου νερού μπορεί να θεωρηθεί το σημαντικότερο μέτρο για την προστασία της δημόσιας υγείας. Η καταστροφή των παθογόνων στο πόσιμο νερό έχει συμβάλει στη δραστική μείωση των ασθενειών που μεταδίδονται από το

νερό στις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, ενώ η έλλειψη του μέτρου αυτού σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες είναι η αιτία χιλιάδων θανάτων, κυρίως παιδιών.

1.2.1 Κύριες μέθοδοι απολύμανσης

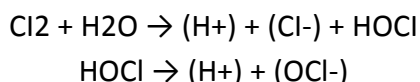
ΧΛΩΡΙΩΣΗ

Ο κύριος σκοπός της χλωρίωσης είναι να αποτρέψει την εξάπλωση παθογόνων που ανευρίσκονται στο νερό. Το χλώριο μπορεί να προστεθεί στις μονάδες επεξεργασίας πόσιμου νερού με τη μορφή αερίου χλωρίου, διαλυμάτων υποχλωριώδους νατρίου, ή και ως στερεό υποχλωριώδες ασβέστιο. Το ελεύθερο χλώριο αντιδρά με πολλές ουσίες που βρίσκονται στο νερό καθώς και με τους μικροοργανισμούς. Η αποτελεσματικότητα του χλωρίου να επιτυγχάνει την απολύμανση επηρεάζεται από πολλές μεταβλητές μεταξύ των οποίων η ποσότητα των ουσιών προς οξείδωση στο νερό που απαιτούν μια ποσότητα χλωρίου, το pH, η συγκέντρωση των αιρούμενων σωματιδίων, η θερμοκρασία, ο χρόνος επαφής και η ποσότητα του υπολειμματικού χλωρίου. Ο σχηματισμός παραπροϊόντων απολύμανσης (Disinfection Byproducts, DBPs), μεταξύ των οποίων και τα τριαλογονομεθάνια, είναι ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του χλωρίου για απολύμανση (Askenazi, 2004).

Με τη μελέτη του Morris (1978) ο κίνδυνος μολυσματικών ασθενειών προερχόμενων από το νερό είναι πολύ υψηλός όταν δε γίνεται χλωρίωση στο νερό. Ο κίνδυνος αυτός μειώνεται όταν σε μια χαμηλή τιμή εφαρμόζεται χλωρίωση, ακόμα και σε περιορισμένο επίπεδο. Καθώς ανεβαίνει το επίπεδο της χλωρίωσης, εξακολουθεί να μειώνεται ο κίνδυνος αλλά δε φτάνει ποτέ στο μηδέν.

Το χλώριο υπό τη μορφή αερίου ή υποχλωριωδών αλάτων όταν διαλυθεί στο νερό δίνει ενώσεις με ισχυρή δράση εναντίον των βακτηρίων. Προσφέρει επίσης μία παραμένουσα προστασία στο νερό που διακινείται στο δίκτυο διανομής εναντίον πιθανής τοπικής μόλυνσης ή ανάπτυξης βακτηρίων που ευρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση. Η απολυμαντική του δράση επηρεάζεται από την τιμή του pH, είναι ισχυρότερη σε όξινο περιβάλλον ($\text{pH} < 6$) και ασθενέστερη σε αλκαλικό ($\text{pH} > 8$). Η αμμωνία και το άζωτο των οργανικών ενώσεων αντιδρούν με το χλώριο και σχηματίζουν οργανικές και ανόργανες χλωραμίνες. Τα τριαλογονομεθάνια (THM), που θεωρούνται επικίνδυνα παραπροϊόντα αυξάνονται στις υψηλότερες τιμές pH ενώ άλλες μη πτητικές οργανοχλωριούχες ενώσεις καθώς και σημαντικές μεταλλάξεις παρατηρούνται σε χαμηλές τιμές pH.

Όταν το χλώριο διαλύεται στο νερό υδρολύεται σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Οι σταθερές της κάθε αντίδρασης εξαρτώνται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία το pH. Μοριακό χλώριο μπορεί να υπάρχει μόνο σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις και χαμηλές τιμές pH. Αν και τα δύο είδη, το υποχλωριώδες οξύ και το υποχλωριώδες ιόν, είναι βακτηριοκτόνα, το HOCl είναι πιο ισχυρό. Έχει αποδειχθεί ότι το HOCl είναι 80 φορές πιο ισχυρό από το OCl⁻ στην καταστροφή των *E.coli* και 300 έως 500 φορές στην καταστροφή των κύστεων των παρασίτων *Entamoeba histolytica* και *Giardia* sp.

Ο μηχανισμός καταστροφής των βακτηρίων πιστεύεται ότι είναι η καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης και η αδρανοποίηση της ενζυματικής δραστηριότητας που σχετίζεται με αυτήν. Υπάρχει διχογνωμία ως προς το μηχανισμό καταστροφής των ιών αλλά, σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα, είναι πιθανότερη η αντίδραση του HOCl με τα νουκλεοτίδια του RNA παρά η καταστροφή του πρωτεϊνικού καψιδίου του ιού.

Παράλληλα με την διαδικασία της απολύμανσης το χλώριο αντιδρά και με πολλές οργανικές ενώσεις σχηματίζοντας χλωριωμένες οργανικές ενώσεις συμπεριλαμβανομένων των τριαλογονομεθανίων (THM).

Το πρόβλημα των επικίνδυνων παραπροϊόντων που μπορεί να σχηματιστούν κατά την διάρκεια της απολύμανσης ανέκυψε στα μέσα της δεκαετίας του '70. Από τότε αποτελεί ένα από τα πλέον συζητημένα και ερευνούμενα ζητήματα της βιομηχανίας πόσιμου νερού στον κόσμο, τοποθετώντας το ζήτημα αυτό αλλά και την επεξεργασία του πόσιμου νερού γενικότερα σε νέες βάσεις. Σε ορισμένες βιομηχανικές χώρες υπήρξε μία τάση πλήρους εγκατάλειψης του χλωρίου ως κύριου απολυμαντικού, ενώ σε άλλες επιδιώχθηκε η σημαντική ελάττωση των χρησιμοποιούμενων ποσοτήτων.

Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του χλωρίου που προστίθενται στο πόσιμο νερό, αν και είναι ικανές να καταστρέψουν κάποιους μικροοργανισμούς, όταν ληφθούν από το στόμα αντιδρούν με το σάλιο και τα γαστρικά υγρά και αδρανοποιούνται. Δεν έχουν παρατηρηθεί οποιαδήποτε αρνητικά αποτελέσματα σε ανθρώπους ή ζώα που πίνουν χλωριωμένο νερό. Πειράματα που έχουν γίνει σε τρωκτικά σε διάστημα 2 ετών έδειξαν ότι δόσεις μέχρι 15 mg ανά κιλό βάρους σώματος ανά ημέρα δεν προκάλεσαν οποιοδήποτε τοξικό αποτέλεσμα (Σκληβανιώτης Μ., 2004).

Οι πιο συνηθισμένες διαμαρτυρίες που σχετίζονται με το χλωριωμένο νερό είναι για άσχημη οσμή και γεύση. Σε νερό απαλλαγμένο από οργανικές ενώσεις, συγκεντρώσεις έως και 2 mg/L, δεν προκαλούν απαράδεκτη οσμή και γεύση. Μία έκθεση ανεβάζει το όριο ανοχής για το αποσταγμένο νερό στα 5,2 mg/L. Όταν όμως ορισμένες οργανικές ενώσεις όπως οι φαινόλες ευρίσκονται στο νερό, ακόμα και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, αντιδρούν με το χλώριο και προσδίδουν στο νερό μία δυσάρεστη οσμή που προκαλεί τις συνήθεις διαμαρτυρίες των καταναλωτών. Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ) ορίζει ότι για αισθητικούς λόγους οι φαινόλες και οι χλωροφαινόλες δεν πρέπει να ξεπερνούν την συγκέντρωση των 0,1 µg/L.

1.2.2 Παραπροϊόντα χλωρίωσης

Τα ολικά τριαλογονομεθάνια (CHX3) αποτελούν κυρίως παραπροϊόντα από τη χλωρίωση του πόσιμου νερού και για το λόγο αυτό υπάρχει και παραμετρική τιμή στην κοινοτική οδηγία (100 mg/L). Σχηματίζονται όταν το φυσικό οργανικό υλικό, όπως τα φυτά που βρίσκονται σε αποσύνθεση μέσα σε λίμνες και δεξαμενές, αντιδρά με το χλώριο που χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού. Τα συμπτώματα που παρουσιάζονται συνήθως μετά από πολυετή έκθεση σε τριαλογονομεθάνια, είναι προβλήματα στο συκώτι, το κεντρικό νευρικό σύστημα και σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει υψηλός κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου. Ωστόσο, το χλώριο ως απολυμαντικό εξακολουθεί να χρησιμοποιείται εξαιτίας της αποτελεσματικότητάς του για τη θανάτωση των βακτηρίων, που πιθανώς βρίσκονται στο νερό. Η χρήση του αποτελεί όφελος της δημόσιας υγείας κατά ένα μεγάλο μέρος.

Όμως, είναι πιθανό να γίνεται απολύμανση με μικρότερα ποσοστά παραγόμενων THMs, και αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την απολύμανση «καθυστέρησης», η οποία μειώνει την παραγωγή παραπροϊόντων με τον περιορισμό του χρόνου κατά τον οποίο το χλώριο είναι σε επαφή με τα οργανικά υλικά. Επίσης, αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την αλλαγή της πηγής του νερού όταν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση οργανικών υλικών, είτε ενισχύοντας την πήξη, η οποία βελτιώνει την αφαίρεση των οργανικών υλικών πριν από τη διαδικασία επεξεργασίας και χρησιμοποιώντας χλωραμίνη για την υπόλοιπη απολύμανση.

Το χλωροφόρμιο είναι το πιο κοινό THM και το κύριο παραπροϊόν απολύμανσης στο χλωριωμένο πόσιμο νερό. Κατά την παρουσία βρωμοιδόντων, σχηματίζονται κατά

προτίμηση τα βρωμιωμένα THMs και η συγκέντρωση χλωροφορμίου μειώνεται αναλογικά. Η σειρά κατάταξης των συγκεντρώσεων στα χλωριωμένα νερά έχει ως εξής:

χλωροφόρμιο>βρωμοδιχλωρομεθάνιο>διβρωμοχλωρομεθάνιο>βρωμοφόρμιο

Συγκεκριμένα, για τις ενώσεις αυτές έχουν γίνει αρκετές έρευνες, κυρίως σε τρωκτικά, και τα συμπεράσματα για αυτές είναι ότι προκαλούν κυρίως βλάβες στο συκώτι και τους νεφρούς και ότι έχουν καρκινογόνο δράση. Από τα αποτελέσματα αυτά δε μπορεί ακόμα να εκτιμηθεί με ακρίβεια ο κίνδυνος καρκινογένεσης στον άνθρωπο.

Εκτός από αυτές τις ενώσεις έχουν ανιχνευθεί στο χλωριωμένο νερό και άλλες ενώσεις όπως τα χλωριωμένα οξικά οξέα, τα αλογονοακετονιτρίλια, οι χλωροφαινόλες, οι χλωριωμένες κετόνες, οι χλωριωμένες αλδεΐδες και η χλωριομένη φουρανόνη.

Με σκοπό τη μείωση των THMs στο πόσιμο νερό, έχουν βρεθεί νέες βελτιωμένες μέθοδοι για την απολύμανση του νερού, όπως είναι η οζόνωση, η χρήση διοξειδίου του χλωρίου, η χρήση ακτινοβολίας UV, η υπερδιήθηση, η αντίστροφη ώσμωση και πιο σύγχρονες τεχνολογίες, όπως η χρήση μεμβρανών (Glaze, 1987).

1.2.3 Φωτοκατάλυση

Φωτοκατάλυση είναι η επιτάχυνση μιας φωτοαντίδρασης από την παρουσία ενός καταλύτη (Mills and Hunte, 1997).

Η φωτοκατάλυση ανήκει σε μια ομάδα Προχωρημένων Οξειδωτικών Μεθόδων Αντιρύπανσης (Π.Ο.Μ.Α.), που έχουν αναπτυχθεί ως «επείγουσα τεχνολογία» για την επεξεργασία επικίνδυνων οργανικών ενώσεων στα υγρά απόβλητα και στα υπόγεια νερά. Η ικανότητα των μεθόδων αυτών έγκειται στο να αδρανοποιούν τις πλέον βλαβερές, τοξικές και μη βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες που συναντώνται στην υγρή και αέρια φάση.

Η φωτοκατάλυση στην πλειονότητα των περιβαλλοντικών εφαρμογών θα μπορούσε να οριστεί ως η διαδικασία παραγωγής οξειδωτικών μορίων (κυρίως OH-) από ένα υδατικό μέσο, παρουσία ενός στερεού (ετερογενούς) καταλύτη και φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος. Η οξειδωτική δράση των παραγόμενων κατά τη φωτοκατάλυση οξειδωτικών μορίων πάνω σε οργανικές και ανόργανες ενώσεις αλλά και ζωντανούς οργανισμούς ορίζεται ως φωτοκαταλυτική διαδικασία αποδόμησης.

Η ετερογενής φωτοκατάλυση (heterogeneous photocatalysis) αποτελεί νέα οξειδωτική μέθοδο μέσω της οποίας είναι δυνατή ακόμα και η πλήρης καταστροφή τοξικών οργανικών χημικών ουσιών.

Η μέθοδος αποτελεί μία από τις μεθόδους του φωτοηλεκτροχημικού φαινομένου, το οποίο εμφανίζεται κατά τον φωτισμό της ετεροεπαφής ενός ημιαγωγού με ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Η αποτελεσματικότητα της στηρίζεται στην δημιουργία ριζών υδροξυλίου (OH^-), οι οποίες αποτελούν το ισχυρότερο οξειδωτικό μέσο (δυναμικό οξείδωσης 2,8 V) μετά το φθόριο και είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον. Η ανάμειξη του προς καθαρισμό αποβλήτου με έναν ημιαγωγό καταλύτη και ο φωτισμός του συστήματος με τεχνητό ή ηλιακό φως, επιφέρουν την πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων που υπάρχουν σε αυτό. Πρόκειται για μια μέθοδο, η οποία πρακτικά μιμείται τη φύση, η παρεμβολή δε του καταλύτη επιβραδύνει τη διαδικασία καθαρισμού κατά πολλές τάξεις μεγέθους.

Φωτοκαταλύτες και τα χαρακτηριστικά τους

Ως φωτοκαταλύτες ορίζονται τα στερεά εκείνα που μπορούν να επάγουν αντιδράσεις παρουσία φωτός και δεν καταναλώνονται κατά τη διαδικασία αυτή. Αυτοί είναι ημιαγωγοί. Ένας καλός φωτοκαταλύτης πρέπει να είναι:

- i. Φωτοενεργός
- ii. Ικανός να αξιοποιεί φως στο ορατό ή υπεριώδες φάσμα
- iii. Βιολογικά και χημικά αδρανής
- iv. Φωτοσταθερός
- v. Χαμηλού κόστους
- vi. Μη τοξικός

Ο φωτοκαταλύτης βασίζει τη δραστηρότητα του στο γεγονός ότι όταν φωτόνια ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος προσπίπτουν στην επιφάνεια του, τα ηλεκτρόνια ανέρχονται (προάγονται) από τη στοιβάδα σθένους (valence band) και μεταφέρονται στη διεγερμένη στοιβάδα. Αυτό δημιουργεί θετικά φορτισμένες οπές στη στοιβάδα σθένους, η οποία αντιδρά με το υδατικό μέσο παράγοντας ρίζες υδροξυλίου (OH^-), που είναι τα πλέον οξειδωτικά μόρια (Bharkhande et al., 2001).

Η χλωρίωση είναι η πλέον κοινή μέθοδος απολύμανσης με σημαντική αποτελεσματικότητα στη θανάτωση κυρίως βακτηρίων (Bull et al., 1990). Δυστυχώς όμως πολύ συχνά σχηματίζονται παραπροϊόντα όπως οι χλωραμίνες, με σημαντικές τοξικές δράσεις (Μήτρακας, 2000). Η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ως εναλλακτικής λύσης είναι αξιοσημείωτη με σημαντικά αποτελέσματα, μικρό κόστος λειτουργίας, ασφαλή χρήση και μη παραγωγή παραπροϊόντων. Δυστυχώς όμως και πάλι η τυχόν παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στην εκροή έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της δράσης του UV, καθώς σημαντικό μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας απορροφάται από τα σωματίδια αυτά (Μήτρακας, 2000).

Η φωτοχημική επεξεργασία με τη χρήση υδατοδιαλυτών χημικών ενώσεων για την παραγωγή οξειδωτικών μορίων ως τεχνολογίας απολύμανσης συμβαδίζει χρονικά με αυτή της υπεριώδους ακτινοβολίας στα τέλη της δεκαετίας του 1970 (Watts et al., 1995). Το κόστος όμως αυτής της μεθόδου ήταν σημαντικά υψηλό, παρόμοιο με αυτό της οζόνωσης ενώ η αποτελεσματικότητα της αμφισβητήθηκε.

Η χρήση ετερογενούς φωτοκαταλύτη, όπως το Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO_2), για την επεξεργασία «δύσκολων» οργανικών ρυπαντών στο νερό στη δεκαετία του 1980, έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα με ταυτόχρονα μικρό (σχετικά) κόστος (Watts et al., 1995, Dillert et al., 1998). Το γεγονός ότι για να λειτουργήσει μια τέτοια διαδικασία επεξεργασίας είναι αναγκαία η παρουσία μιας πηγής φωτός, που συχνά ήταν (και είναι) μονάδες UV (που ήδη χρησιμοποιούνταν για απολύμανση λυμάτων), γέννησε την ιδέα αξιοποίησης του φαινομένου στην τριτοβάθμια επεξεργασία. Το σκεπτικό μέσα από το συνδυασμό αυτό ήταν ουσιαστικά η αύξηση της απόδοσης της απολύμανσης που επιφέρει η υπεριώδης ακτινοβολία μέσα από την προσθετική δράση της φωτοκατάλυσης.

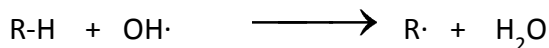
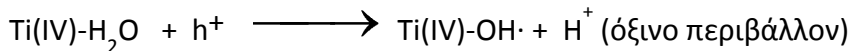
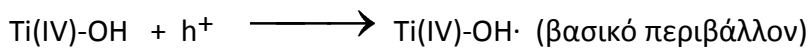
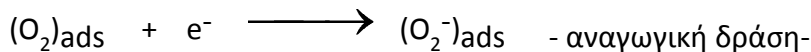
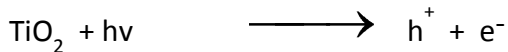
Έτσι στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ανοίγει ένα καινούργιο κεφάλαιο στην επιστήμη της φωτοκατάλυσης καθώς γίνεται προσπάθεια μελέτης της δυνατότητας εφαρμογής της τεχνολογίας στην απολύμανση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

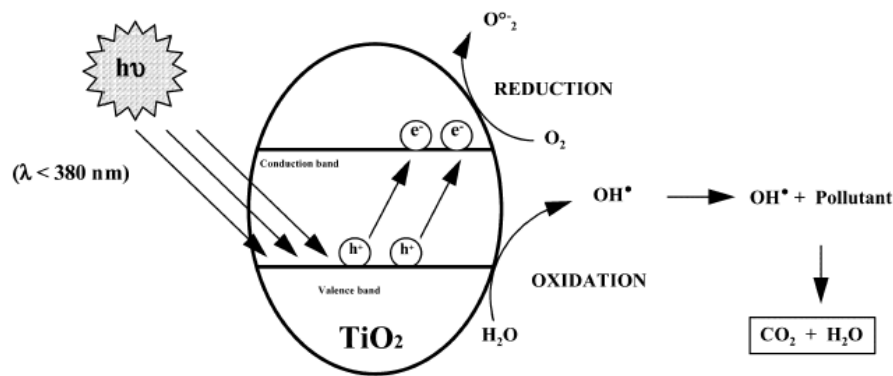
Η φωτοκατάλυση ως μέσο απολύμανσης δεν διαφέρει ουσιαστικά από τη φωτοκατάλυση ως μέσο επεξεργασίας. Τα οξειδωτικά μόρια που παράγονται από το νερό κατά την πρόσπτωση του φωτός στον ετερογενή καταλύτη έχουν ως αποτέλεσμα την οξείδωση των οργανικών μορίων που συνθέτουν την κυτταρική μεμβράνη των παθογόνων μικροοργανισμών (Watts et al., 1995, Dillert et al., 1998, Tanaka et al., 2001).

Κατά τη διακοπή της ακτινοβολίας των υγρών αποβλήτων από UV, η παρουσία καταλύτη καθυστερεί την ενεργοποίηση εκ νέου των κολοβακτηριοειδών (Herrera

Malian et al., 2003). Η θετική αυτή δράση του καταλύτη καταγράφηκε και από τους Rincon and Pulgarin (2003). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έρευνα η βλάβη που προκαλείται στο DNA των μικροοργανισμών από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί να διορθωθεί από τους ίδιους τους μικροοργανισμούς όταν βρεθούν σε κατάλληλες συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα μετά την λήξη της ακτινοβολίας ο πληθυσμός των παθογόνων μικροοργανισμών να επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα. Αντίθετα παρουσία καταλύτη το χρονικό διάστημα ενεργοποίησης των μικροοργανισμών μεγαλώνει ενώ ο πληθυσμός τους παραμένει μικρότερος από τον αρχικό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην οξειδωτική δράση της φωτοκατάλυσης που προκαλεί μονιμότερες της υπεριώδους ακτινοβολίας, βλάβες στα κύτταρα των μικροοργανισμών.

Αντιδράσεις φωτοκατάλυσης που ως ημιαγωγός χρησιμοποιείται το TiO_2 :





Εικόνα 1 : Προσομοίωση κόκκου ημιαγώγιμης σκόνης με μικροφωτοηλεκτρικό στοιχείο

Πλεονεκτήματα της μεθόδου:

Η μέθοδος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης έχει σημαντικά πλεονεκτήματα στα οποία συγκαταλέγονται :

- η πλήρης φωτοκαταλυτική οξείδωση των οργανικών μορίων,
- η χρήση και για πολύ μικρές συγκεντρώσεις ρύπων,
- το γεγονός ότι οι καταλύτες είναι χημικά και βιολογικά αδρανή υλικά,
- το χαμηλό κόστος,
- η δυνατότητα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του καταλύτη που βοηθά στον περιορισμό του κόστους και στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος με χημικούς ρύπους,
- η δυνατότητα εκμετάλλευσης του ηλιακού φωτός, που είναι ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα για περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια,
- η απολυμαντική ικανότητα της μεθόδου, καθώς η δράση υδροξυλίων καταστρέφει παθογόνους μικροοργανισμούς,
- οι ήπιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας,
- δυνατότητα εφαρμογής στην υγρή και στην αέρια φάση.

Μειονεκτήματα της μεθόδου:

- Ο ρυθμός φωτοκαταλυτικών αντιδράσεων είναι συνήθως μικρός και χρειάζεται παροχή μεγάλης ποσότητας φωτοκαταλύτη στον αντιδραστήρα,
- Πρακτικά είναι αδύνατη η ομοιόμορφη ακτινοβολήση της επιφάνειας του καταλύτη (εξαιτίας της θολότητας του διαλύματος και της διασποράς του φωτός από το υγρό),
- Η επανάκτηση του καταλύτη μετά την διεργασία μέσω διήθησης, είναι μια

δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία.

Κεφάλαιο 2 : Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η υλοποίηση της έγινε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας και στο Εργαστήριο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών και Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.

Στόχοι της παρούσας μελέτης είναι

- Ο έλεγχος της μικροβιολογικής ποιότητας του πόσιμου νερού του Δήμου Πλατανιά.
- Η αξιολόγηση της ποιότητας του νερού σύμφωνα με την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία.
- Η απομόνωση και ταυτοποίηση των ανιχνεύσιμων μικροοργανισμών με βιοχημική μέθοδο.
- Η αξιολόγηση της χλωρίωσης ως μεθόδου απολύμανσης, η οποία εφαρμόζεται στο δίκτυο πόσιμου νερού του Δήμου Πλατανιά.
- Ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της φωτοκατάλυσης ως μεθόδου απολύμανσης.

Κεφάλαιο 3 : Υλικά - Μέθοδοι

3.1 Υλικά

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Συσκευή αντλίας κενού για τη διήθηση των δειγμάτων νερού
Ζυγός
Θάλαμος επώασης
Κλίβανος υγρής αποστείρωσης
Μετρητής αποικιών
Αποστειρωμένα μπουκάλια δειγματοληψίας
Αποστειρωμένα τρυβλία
Πιπέτες – πουάρ
Κρίκοι εμβολιασμού
Κωνικές φιάλες
Δοκιμαστικοί σωλήνες
Αποστειρωμένα φίλτρα νιτροκυτταρίνης (0,45 μm -Whatman)
Ποτήρια διήθησης
Αποστειρωμένες λαβίδες
Αποστειρωμένα σιφώνια
Λάμπα Radium Ralutec 9w/78 UV-A
Μαγνητικός αναδευτήρας

Υλικά

Hi Crome E.coli agar Himedia (θρεπτικό υλικό για *E.coli*)
m-Endo agar Himedia (θρεπτικό υλικό για ολικά κολοβακτηριοειδή)
Nutrient agar Himedia (θρεπτικό υλικό για ολική μικροβιακή χλωρίδα)
Slanetz and Bartley medium Himedia (θρεπτικό υλικό για Εντερόκοκκους)
Bile Aesculine agar Himedia (θρεπτικό υλικό για επιβεβαίωση Εντεροκόκκων)
Tryptose Sulfite Cycloserine agar Himedia (θρεπτικό υλικό για *Clostridium perfringens*)
API 20E Biomerieux
API 20NE Biomerieux
API 20STREP Biomerieux
Oxidase Reagent Fluka

3.2 Περιοχή μελέτης

Ο Δήμος Πλατανιά βρίσκεται στα βόρεια του νομού Χανίων κι έχει σαν έδρα το Γεράνι. Πρόκειται για παραθαλάσσιο δήμο στα δυτικά της πόλης των Χανίων, ο οποίος σύμφωνα με την απογραφή του 2001 έχει συνολικά 5.225 κατοίκους και έκταση 74.932 στρέμματα.

Ο Δήμος Πλατανιά περιλαμβάνει 13 Δημοτικά Διαμερίσματα:

Δ.δ. Γερανίου	Γεράνι Λουτράκι Παλαιό Γεράνι
Δ.δ. Βλαχερωνιτίσσης	Βλαχερωνίτισσα
Δ.δ. Βρυσών Κυδωνίας	Βρύσες Πατελλάρι
Δ.δ. Ζουνακίου	Ζουνάκι Λίμνη
Δ.δ. Κοντομαρίου	Κοντομάρι Κοιλάδα Μετόχι Ξηροκάμπι
Δ.δ. Κυπαρίσσου	Κυπάρισσος Μαρουλιαχανά
Δ.δ. Μάλεμε	Μάλεμε
Δ.δ. Μανολιοπούλου	Μανολιόπουλο Αποθήκες
Δ.δ. Μοδίου	Μόδιο
Δ.δ. Ντερέ	Ντερές Παππαδιανά
Δ.δ. Ξαμουδοχωρίου	Ξαμουδοχώρι

Δ.δ. Πλατανιά

Πλατανιάς

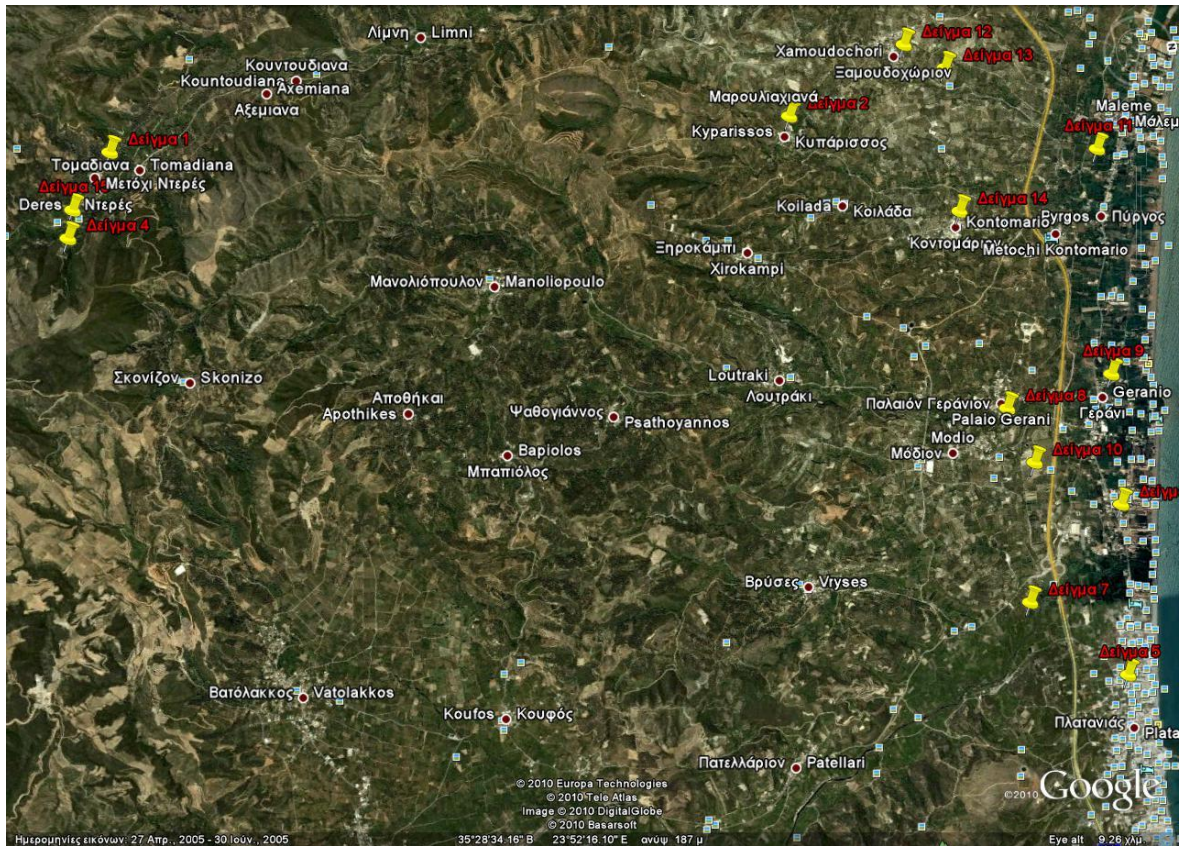
Δ.δ. Σιριλίου

Σιρίλι
Ελληνικό
Μετόχι Σιριλίου

3.2.1 Δίκτυο Ύδρευσης Δήμου Πλατανιά

Στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Πλατανιά λειτουργούν τρεις γεωτρήσεις: η γεώτρηση του Ντερέ, η γεώτρηση των Μυλωνιανών και η γεώτρηση του Κυπάρισσου. Οι γεωτρήσεις του Ντερέ και των Μυλωνιανών λειτουργούν σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ η γεώτρηση του Κυπάρισσου λειτουργεί ως εφεδρική, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, για να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες ύδρευσης λόγω τουρισμού.

Το νερό από τη γεώτρηση των Μυλωνιανών μεταφέρεται στο Γεράνι όπου λειτουργούν δυο δεξαμενές χλωρίωσης και από εκεί υδρεύεται το Γεράνι και ο Πλατανιάς. Το νερό από τις άλλες δύο γεωτρήσεις μεταφέρεται στη δεξαμενή χλωρίωσης στο Ξαμμουδοχώρι και από εκεί οδηγείται στα χωριά Κοντομαρί, Μάλεμε, Στρίλι. Κυπάρισσο, Ξαμμουδοχώρι, Ζουνάκι, Λίμνη και Μανωλιόπουλο. Το χωριό Ντερές υδροδοτείται απευθείας από τη γεώτρηση του Ντερέ χωρίς να έχει προηγηθεί χλωρίωση. Επίσης, ο οικισμός του Ντερέ από τον οποίον συλλέχθηκαν δείγματα αντλεί απευθείας νερό από τις πηγές του Μερτέ.



Εικόνα 2 : Τα σημεία δειγματοληψίας στο Δήμο Πλατανιά

3.3 Μέθοδοι

3.3.1 Δειγματοληψίες

Κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκαν τέσσερις δειγματοληψίες στις 25 Νοεμβρίου 2009, στις 8 Δεκεμβρίου 2009, στις 24 Φεβρουαρίου 2010 και στις 14 Απριλίου 2010. Η ημερομηνία των δειγματοληψιών επιλέχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται οι τυχόν μεταβολές των καιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια του έτους και να μεσολαβεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον δέκα ημερών κατόπιν βροχόπτωσης.

Τα σημεία δειγματοληψίας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά της ποιότητας του πόσιμου νερού της περιοχής και της αποτελεσματικότητας της μεθόδου απολύμανσης που χρησιμοποιείται. Έτσι, με γνώμονα την κάλυψη της πλήρους

έκτασης του Δήμου Πλατανιά και τη σφαιρική εκτίμηση για το πόσιμο νερό της περιοχής και τη σύγκριση του μικροβιακού φορτίου πριν και μετά τη χλωρίωση επιλέχθηκαν τα σημεία δειγματοληψίας. Τα δείγματα που ελήφθησαν είναι από τις γεωτρήσεις (τρεις), τις δεξαμενές χλωρίωσης (τέσσερεις) καθώς και από οικίες, κτίρια και χώρους δημόσιας χρήσης (οκτώ), που βρίσκονται στο δίκτυο ύδρευσης.

Τα σημεία δειγματοληψίας φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί, κατηγοριοποιημένα σε δείγματα που δεν έχουν υποστεί χλωρίωση και σε δείγματα μετά τη διαδικασία της χλωρίωσης.

Πίνακας 3 : σημεία δειγματοληψίας

Πριν τη χλωρίωση	Μετά τη χλωρίωση
Γεώτρηση Ντερέ	Δημοτικό Σχολείο Πλατανιά
Γεώτρηση Κυπάρισσου	Καφενείο Πλατανιά
Γεώτρηση Μυλωνιανών	Οικία στον Πλατανιά
Ποτάμι του Ντερέ	Δεξαμενή χλωρίωσης Γερανίου
	Οικία στο Γεράνι
	Δημοτικό Σχολείο Γερανίου
	Δημοτικό Σχολείο Μάλεμε
	Δεξαμενή χλωρίωσης Ξαμμουδοχωρίου
	Καφενείο Ξαμμουδοχωρίου
	Οικία στο Κοντομαρί
	Καφενείο Ντερέ

Η δειγματοληψία του νερού είναι ένα κρίσιμο στάδιο στην συνολική διαδικασία της ανάλυσης του πόσιμου νερού. Θα πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά ώστε το δείγμα να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό και η όλη διαχείριση να γίνεται με τρόπο ώστε να μην επιμολυνθεί το δείγμα.

Στα σημεία δειγματοληψίας αφέθηκε να τρέξει με πίεση νερό για μερικά λεπτά και στη συνέχεια έγινε συλλογή δείγματος σε αποστειρωμένη φιάλη 1 L για τη μικροβιολογική ανάλυση. Όλα τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο εντός φορητού ψυγείου (4 °C) και αναλύθηκαν εντός 18 ωρών.

Με σκοπό την καλύτερη επεξεργασία και μελέτη των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται ο εξής συμβολισμός των δειγμάτων :

Δείγμα 1	→	Γεώτρηση Ντερέ
Δείγμα 2	→	Γεώτρηση Κυπάρισσου
Δείγμα 3	→	Γεώτρηση Μυλωνιανών
Δείγμα 4	→	Ποτάμι του Ντερέ
Δείγμα 5	→	Δημοτικό Σχολείο Πλατανιά (χλωριωμένο)
Δείγμα 6	→	Καφενείο Πλατανιά (χλωριωμένο)
Δείγμα 7	→	Οικία στον Πλατανιά (χλωριωμένο)
Δείγμα 8	→	Δεξαμενή χλωρίωσης Γερανίου
Δείγμα 9	→	Οικία στο Γεράνι (χλωριωμένο)
Δείγμα 10	→	Δημοτικό Σχολείο Γερανίου (χλωριωμένο)
Δείγμα 11	→	Δημοτικό Σχολείο Μάλεμε (χλωριωμένο)
Δείγμα 12	→	Δεξαμενή χλωρίωσης Ξαμμουδοχωρίου
Δείγμα 13	→	Καφενείο Ξαμμουδοχωρίου (χλωριωμένο)
Δείγμα 14	→	Οικία στο Κοντομαρί (χλωριωμένο)
Δείγμα 15	→	Καφενείο Ντερέ

3.3.2 Μικροβιολογική ανάλυση νερού

Τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν αναλύθηκαν για την ανίχνευση μικροοργανισμών με τη μέθοδο διήθησης (υπό κενό) μέσω μεμβρανών. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων εξετάστηκαν οι τέσσερις μικροβιακοί δείκτες, τα ολικά κολοβακτηριοειδή, η *Escherichia coli*, οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι και η ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37 ° C και στους 22 ° C σε όλα τα δείγματα. Στα δείγματα που προέρχονταν από σημεία στα οποία δεν είχε προηγηθεί χλωρίωση εξετάστηκε επιπλέον η παρουσία *Clostridium perfringens*.

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε βασίζεται στη χρήση μεμβράνης νιτροκυτταρίνης με μέγεθος πόρων ικανό να συγκρατήσει τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι βρίσκονται στο νερό. Οι μικροοργανισμοί που κατακρατούνται φέρονται σε επαφή

με το κατάλληλο εκλεκτικό θρεπτικό υλικό εντός τρυβλίου Petri κι επωάζονται στην επιθυμητή θερμοκρασία και χρόνο. Η επιλεκτικότητα των θρεπτικών υλικών που χρησιμοποιούνται επιτρέπει την αναγνώριση των διαφόρων ειδών μικροβίων, καθώς αυτά ενεργοποιούν διαφορετικά μονοπάτια του μεταβολισμού τους και χρωματίζονται ανάλογα (Μήτρακας,2001).

Η διήθηση των δειγμάτων πραγματοποιείται υπό κενό αέρος και με τη χρήση φίλτρων νιτροκυτταρίνης με μέγεθος πόρων 0,45 μm . Για κάθε μικροβιακό δείκτη που εξετάζουμε διηθούνται 100 ml νερού.

3.3.3 Καλλιέργειες

Η καλλιέργεια των μικροοργανισμών έγινε σε στερεό θρεπτικό υπόστρωμα, η σύσταση του οποίου εξαρτάται από το είδος του μικροοργανισμού.

Για τη δημιουργία των υποστρωμάτων ακολουθήθηκαν οι οδηγίες κατασκευής του υλικού σύμφωνα με τον κατασκευαστή του.

Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε για τη διήθηση του νερού τοποθετείται με τη βοήθεια αποστειρωμένης λαβίδας στο τρυβλίο που περιέχει το θρεπτικό υλικό. Ακολουθεί επώαση σε κλίβανο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ανάλογα με το είδος του μικροοργανισμού.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι συνθήκες επώασης των μικροοργανισμών καθώς και τα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν οι αποικίες.

- **Ολικά κολοβακτηριοειδή**

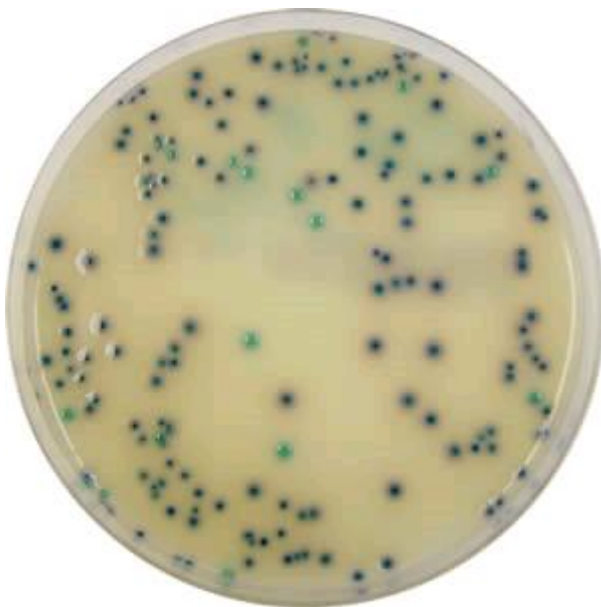
Η επώαση των αποικιών των ολικών κολοβακτηριοειδών γίνεται στους $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ για 21 ώρες $\pm$ 3 ώρες. Στο θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε τα ολικά κολοβακτηριοειδή εμφανίζουν αποικίες σκούρου κόκκινου χρώματος με χρυσοπράσινη μεταλλική χροιά.



Εικόνα 3 : αποικίες ολικών κολοβακτηριοειδών σε mEndo agar LES

- ***Escherichia coli***

Η επώαση των αποικιών *E.coli* γίνεται στους 37 °C για 24 ώρες . Οι τυπικές αποικίες στο θρεπτικό υλικό είναι πράσινου-μπλε χρώματος.



Εικόνα 4 : Αποικίες *E.coli* σε HiCrome Coliform agar

- **Εντερόκοκκοι**

Η επώαση των αποικιών των Εντεροκόκκων γίνεται στους $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 44 ± 4 ώρες. Οι τυπικές αποικίες για το θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι καφέ, κόκκινου ή ροζ χρώματος.

Μετά τη επώαση αν έχουν αναπτυχθεί αποικίες γίνεται μεταφορά της μεμβράνης διήθησης σε θρεπτικό υλικό Bile- aesculin- azide agar το οποίο έχει προθερμανθεί στους $44\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ακολουθεί επώαση στους $44\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 2 ώρες με σκοπό την επιβεβαίωση της ύπαρξης αποικιών κοπρανωδών στρεπτοκόκκων (εντεροκόκκων).

Οι αποικίες που εμφανίζονται στο θρεπτικό υλικό της επιβεβαίωσης και λαμβάνονται τελικά ως κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι έχουν μαύρο διάχυτο χρώμα.



Εικόνα 5: Αποικίες Εντεροκόκκων σε Slanetz and Bartley medium

- ***Clostridium perfringens***

Η επώαση του *Clostridium perfringens* γίνεται υπό αναερόβιες συνθήκες στους $44\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 21 ± 3 ώρες. Στο θρεπτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε οι αποικίες έχουν μαύρο, γκρίζο ή κίτρινο- καφέ χρώμα.



Εικόνα 6 : Αποικίες *Clostridium perfringens* σε Tryptose Sulfite Cycloserine agar

• **Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22⁰ C και στους 37⁰ C**

Για την συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιείται η τεχνική Pour plate σε μη εκλεκτικό θρεπτικό υλικό. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τοποθετείται με τη χρήση πιπέτας από 1 ml του δείγματος σε δύο τρυβλία Petri. Στη συνέχεια προστίθεται 15-20 ml θρεπτικού υλικού θερμοκρασίας περίπου 45 °C. Το δείγμα αναμιγνύεται με το θρεπτικό υλικό με κυκλικές κινήσεις. Όταν το υλικό σταθεροποιηθεί ακολουθεί επώαση των τρυβλίων στους 36 °C ± 2 °C για 44 ± 4 ώρες και στους 22 °C ± 2 °C για 68 ± 4 ώρες. Ακολουθεί ολική καταμέτρηση των αναπτυγμένων αποικιών.



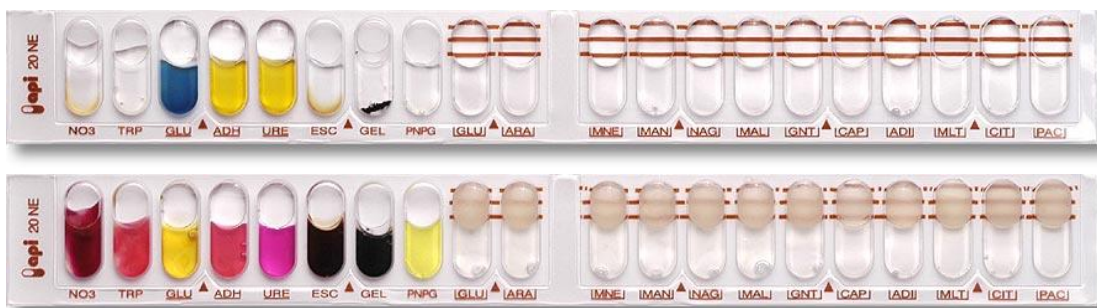
Εικόνα 7 : Αποικίες ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε Nutrient agar

3.3.4 Βιοχημική ταυτοποίηση μικροοργανισμών με το σύστημα API

Η βιοχημική ταυτοποίηση βασίζεται στις μεταβολικές ιδιότητες των μικροοργανισμών, όπως η διάσπαση υποστρωμάτων και η παραγωγή ενζύμων. Για την βιοχημική ταυτοποίηση των μικροοργανισμών στα δείγματα νερού χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά κωδικοποιημένα συστήματα ταυτοποίησης όπως το API 20E, API 20NE και API 20STREP. Τα συστήματα αυτά περιέχουν χαρακτηριστικά υποστρώματα σε αποξηραμένη μορφή τα οποία βρίσκονται σε ειδικούς υποδοχείς πάνω σε ταινίες. Τα υποστρώματα ανασυσταίνονται με την εφαρμογή του μικροβιακού εναιωρήματος, ορισμένης πυκνότητας της κλίμακας Mac Farland και ακολουθεί επώαση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ανάλογα το είδος του συστήματος. Μετά την επώαση προστίθενται αντιδραστήρια και αξιολογείται η χρωματική μεταβολή. Βάσει του μεταβολισμού ή όχι των υποστρωμάτων οι μικροοργανισμοί ταυτοποιούνται σε επίπεδο είδους με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προγράμματος και της απαιτούμενης βάσης δεδομένων.



Εικόνα 8 : Σύστημα βιοχημικής ταυτοποίησης API 20E (αρνητικά και θετικά τεστ)



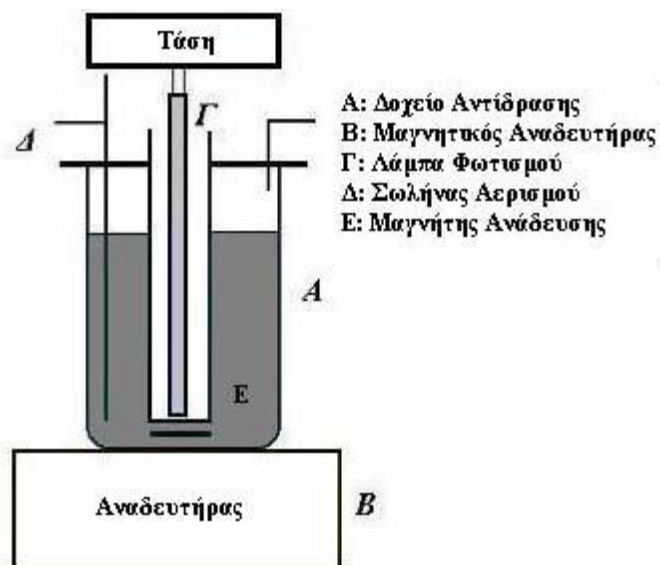
Εικόνα 9 : Σύστημα βιοχημικής ταυτοποίησης API 20NE (αρνητικά και θετικά τεστ)



Εικόνα 9 : Σύστημα βιοχημικής ταυτοποίησης API 20STREP (αρνητικά και θετικά τεστ)

3.3.5 Φωτοκατάλυση

Τα πειράματα της φωτοκαταλυτικής οξείδωσης πραγματοποιήθηκαν σε κλειστό αντιδραστήρα από Pyrex, χωρητικότητας 350 ml .



Εικόνα 10: Εργαστηριακός Φωτοκαταλυτικός Αντιδραστήρας

Στον αντιδραστήρα είναι κεντρικά τοποθετημένη μία λάμπα 9 W, ενώ υπάρχουν οπές για την είσοδο και έξοδο του αέρα, απαραίτητου για την πραγματοποίηση της αντίδρασης, αλλά και για τη βέλτιστη ανάμιξη και για την ενίσχυση της καταλυτικής δράσης που επιτυγχάνεται μέσω του οξυγόνου.

Μέσω εσωτερικού κυκλώματος του γυάλινου δοχείου εξασφαλίζεται η συνεχής κυκλοφορία του νερού με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του υδατικού διαλύματος σε σταθερή θερμοκρασία 25 ° C.

Το μίγμα της αντίδρασης αναδευόταν με τη χρήση μαγνητικού αναδευτήρα καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, για να υπάρχει αιώρηση του καταλύτη, ώστε να είναι μεγαλύτερη η διαθέσιμη επιφάνεια, να προάγεται η μεταφορά μάζας και να μειώνεται το πάχος του οριακού στρώματος στην επιφάνεια του καταλύτη. Ως ημιαγώγιμο υλικό για τα πειράματα φωτοκαταλυτικής οξειδωσης χρησιμοποιήθηκε το TiO_2 P-25 Degussa με αναλογία 50 mg καταλύτη ανά λίτρο. Μέσω εσωτερικού κυκλώματος της γυάλινης κυλινδρικής υποδοχής διατηρούταν συνεχής κυκλοφορία νερού, με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του υδατικού διαλύματος σε χαμηλά επίπεδα, περίπου στους 25° C. Το δοχείο τυλιγόταν με αλουμινόχαρτο, ώστε να μην επηρεάζεται η διαδικασία από άλλη πηγή φωτός παρά μόνο από την UV ακτινοβολία.

Η πειραματική διαδικασία αρχίζει με τη εισαγωγή 350 ml του υπό μελέτη δείγματος στον αντιδραστήρα. Στη συνέχεια γίνεται προσθήκη του καταλύτη, η ποσότητα του οποίου, σύμφωνα με την αναλογία 50 mg ανά λίτρο διαλύματος, είναι 17,5 mg. Έπειτα ρυθμίζεται η ταχύτητα του μαγνήτη, η οποία επιλέχθηκε μετά από δοκιμές, στις 5,5 στροφές. Ο καταλύτης και το διάλυμα αναδεύονταν με μαγνήτη για τριάντα λεπτά χωρίς ακτινοβολία στο σκοτάδι, προκειμένου να εξασφαλιστεί πλήρης ισορροπία προσρόφησης των οργανικών συστατικών των αντιβιοτικών στην επιφάνεια του καταλύτη. Μετά την πάροδο 30 λεπτών η λάμπα τίθεται σε λειτουργία. Κατά τη διάρκεια της φωτοκατάλυσης λαμβάνονται περίπου 2 ml δείγματος με τη χρήση γυάλινης αποστειρωμένης πιπέτας, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές:

- το πρώτο δείγμα λαμβάνεται πριν την εισαγωγή του καταλύτη και η χρονική αυτή στιγμή συμβολίζεται ως O_{before}
- το δεύτερο δείγμα λαμβάνεται μετά από τα τριάντα λεπτά ανάδευσης και πριν αρχίσει η ακτινοβολία και η χρονική αυτή στιγμή συμβολίζεται ως O_{after}
- το τρίτο δείγμα λαμβάνεται έπειτα από τα πρώτα δέκα λεπτά και στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα κάθε δέκα λεπτά για μία ώρα.

Με σκοπό τη συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων της φωτοκατάλυσης ακολουθεί ανάλυση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας με τη μέθοδο Pour Plate, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω.

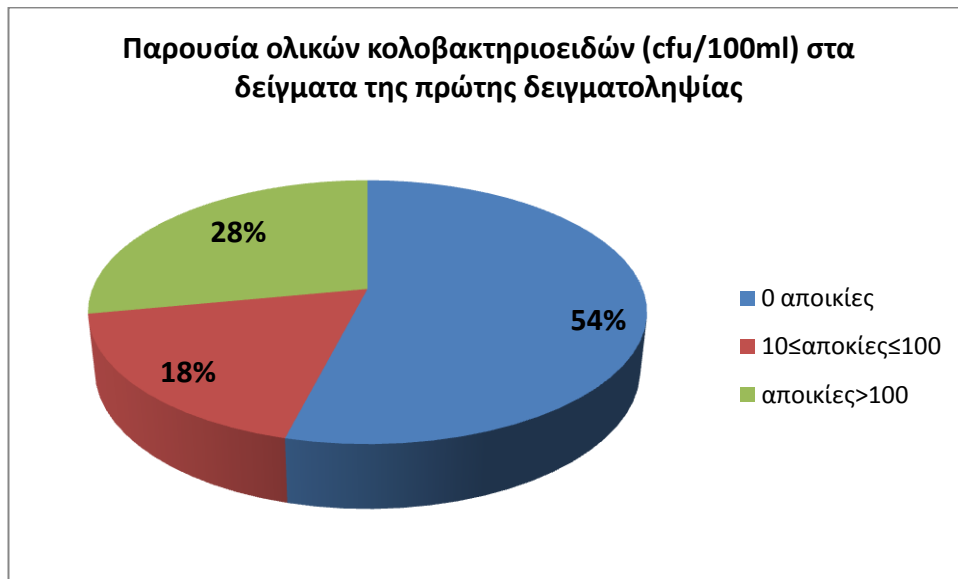
Κεφάλαιο 4 : Αποτελέσματα – συζήτηση

4.1 Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων δειγμάτων νερού

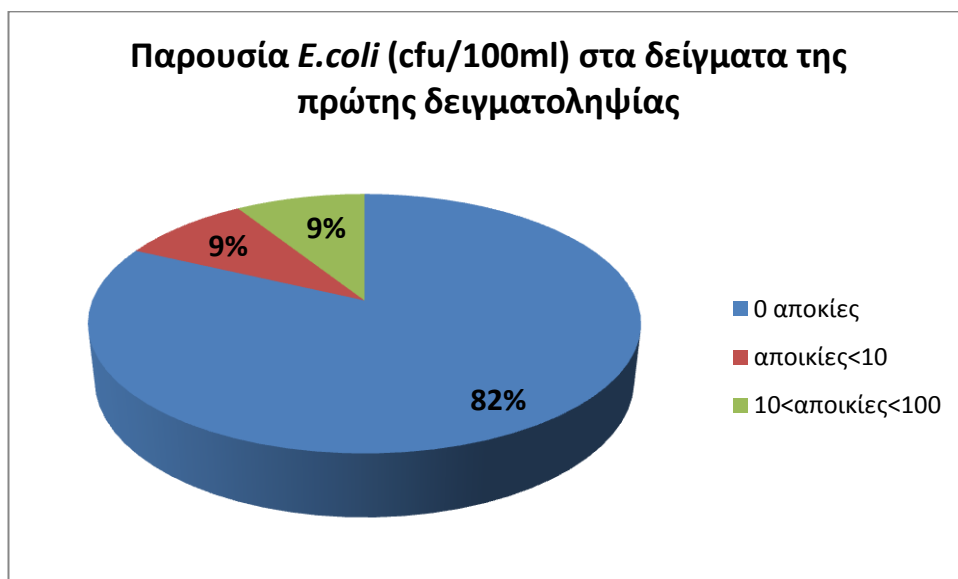
Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφονται τα αποτελέσματα της καταμέτρησης των αποικιών που πραγματοποιήθηκε στη συσκευή μέτρησης των αποικιών έπειτα από την επώαση. Στα διαγράμματα απεικονίζεται ποσοστιαία η παρουσία του κάθε μικροοργανισμού στο σύνολο των δειγμάτων για κάθε δειγματοληψία.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων δειγμάτων νερού πρώτης δειγματοληψίας (25/11/2009)

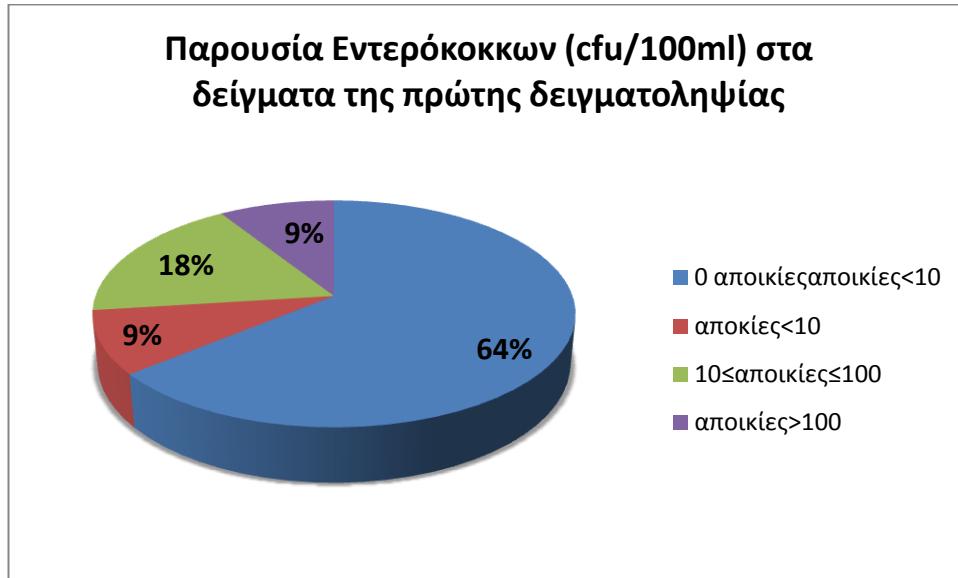
Δείγμα	Ολικά κολοβακτηριοειδή	<i>E. coli</i>	Εντερόκοκκοι	<i>Clostridium perfringens</i>	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C
1	17	0	0	0	30	70
2	300	0	250	0	18	25
3	65	5	4	0	65	250
4	300	70	17	6	220	0
6	0	0	0	-	0	0
7	0	0	0	-	0	0
8	0	0	0	-	1	0
9	0	0	0	-	300	4
12	0	0	0	-	1	3
14	0	0	0	-	220	35
15	300	0	13	2	35	150



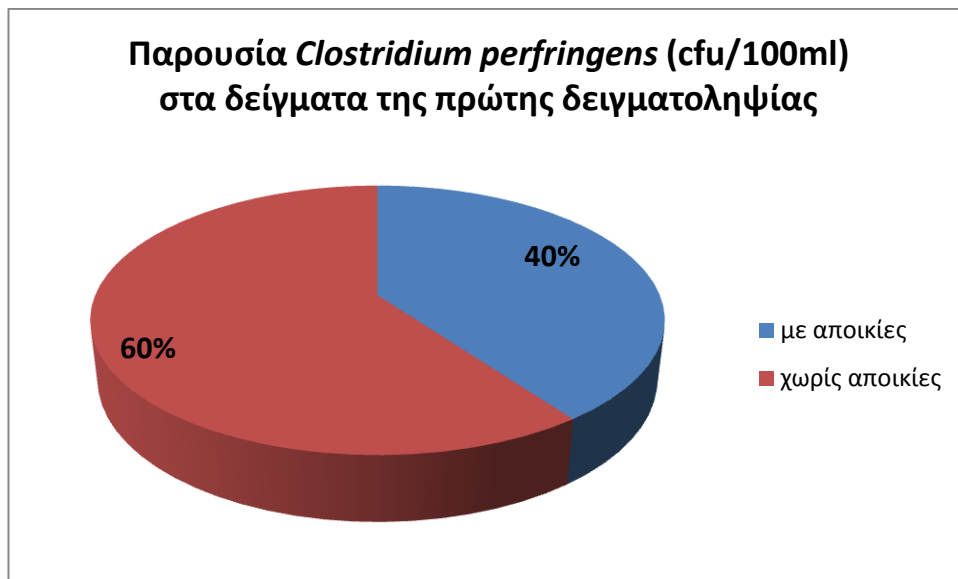
Διάγραμμα 1 : Παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας



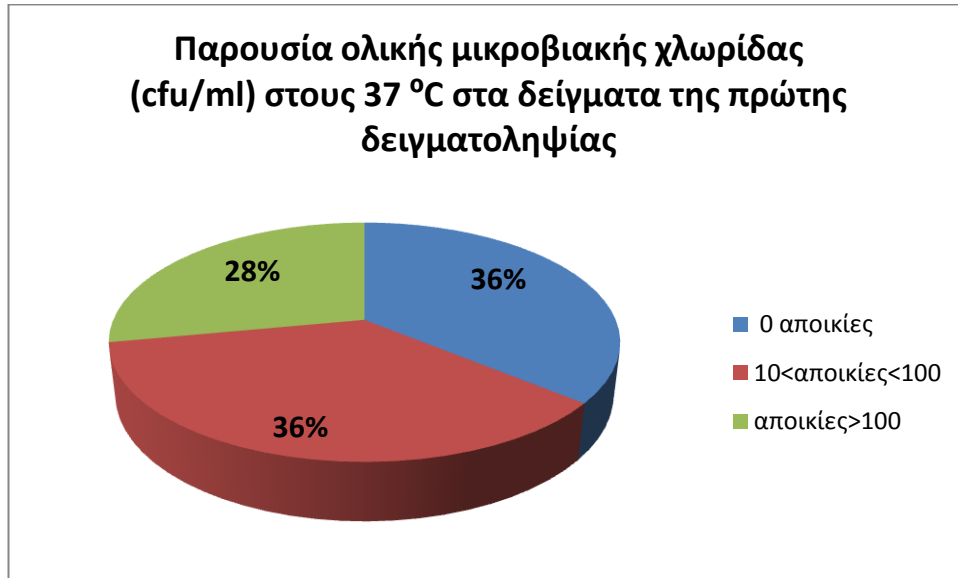
Διάγραμμα 2 : Παρουσία *E.coli* στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας



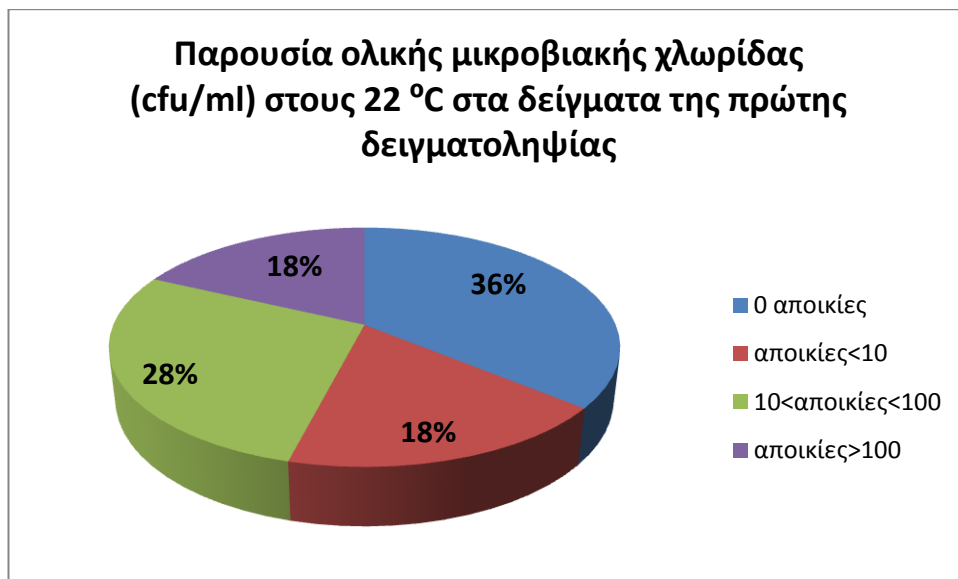
Διάγραμμα 3 : Παρουσία Εντεροκόκκων στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 4 : Παρουσία *Clostridium perfringens* στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 11 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 6 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 ° C στα δείγματα της πρώτης δειγματοληψίας

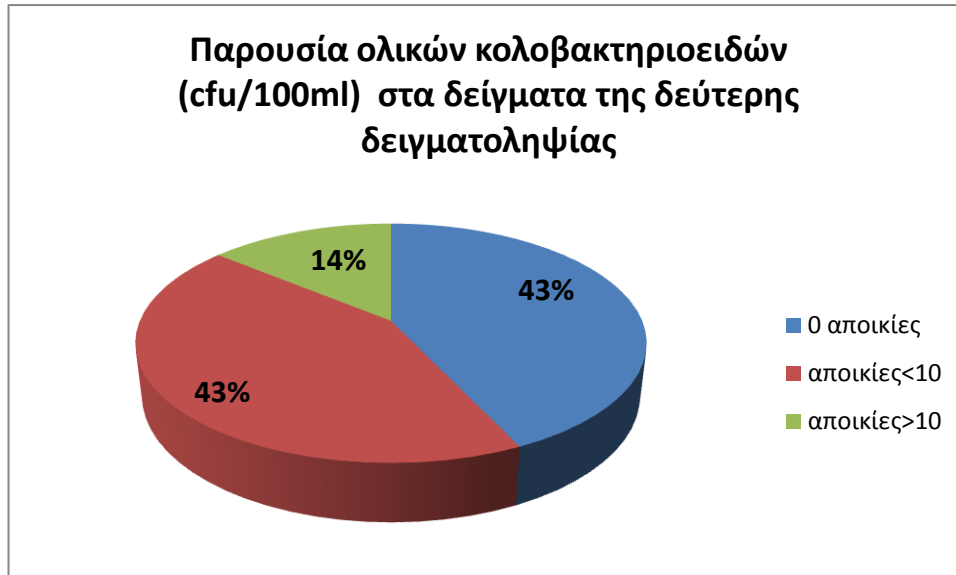
Οι παραπάνω πίνακες και τα διαγράμματα παρουσιάζουν ποιοτικά και ποσοτικά τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων για τα δείγματα νερού της πρώτης δειγματοληψίας. Παρατηρείται η ύπαρξη ολικών κολοβακτηριοειδών, *E. coli* και Εντεροκόκκων στα δείγματα που προέρχονται από τις γεωτρήσεις και από το ποτάμι του Ντερέ. Στο δείγμα από το ποτάμι του Ντερέ αναπτύχθηκε επίσης και *Clostridium perfringens*. Ο μεγάλος αριθμός αποικιών Εντεροκόκκων (250 cfu/100 ml) στο δείγμα από τη γεώτρηση του Κυπάρισσου πιθανώς αιτιολογείται από το γεγονός ότι κατά τους χειμερινούς μήνες η γεώτρηση παραμένει εκτός λειτουργίας. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της τέταρτης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2010. Σημαντικά είναι τα αποτελέσματα για το δείγμα 15 (καφενείο του Ντερέ), όπου αναπτύχθηκαν ολικά κολοβακτηριοειδή, Εντερόκοκκοι και *Clostridium perfringens*. Το καφενείο βρίσκεται στον οικισμό του Ντερέ ο οποίος υδρεύεται απευθείας από τις πηγές του Μερτέ χωρίς να προηγηθεί απολύμανση. Οι τιμές των μικροοργανισμών είναι κατά πολύ υψηλότερες από τα όρια για πόσιμο νερό και ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί η ύπαρξη Εντεροκόκκων και *Clostridium perfringens*.

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι στην πλειοψηφία των δειγμάτων δεν ανιχνεύτηκαν μικροοργανισμοί δείκτες. Συγκεκριμένα χωρίς παρουσία *E.coli* είναι το 82% των δειγμάτων και χωρίς παρουσία Εντερόκοκκων το 64% των δειγμάτων.

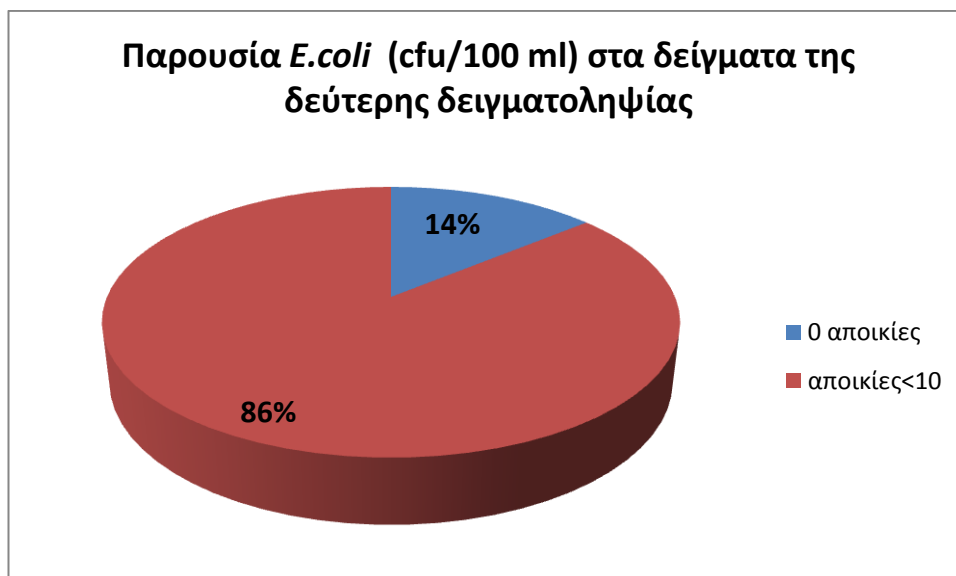
Πίνακας 5: Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων δειγμάτων νερού δεύτερης δειγματοληψίας (8/12/2009)

Δείγμα	Ολικά Κολοβακτηριοειδή	<i>E.coli</i>	Εντερόκοκκοι	<i>Clostridium perfringens</i>	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C
5	0	0	0	-	0	0
6	0	0	0	-	1	1
7	0	0	0	-	1	0
8	1	0	0	-	5	0
9	1	0	0	-	T.M.T.C ¹	12
11	1	0	0	-	18	5
12	30	3	0	-	10	30

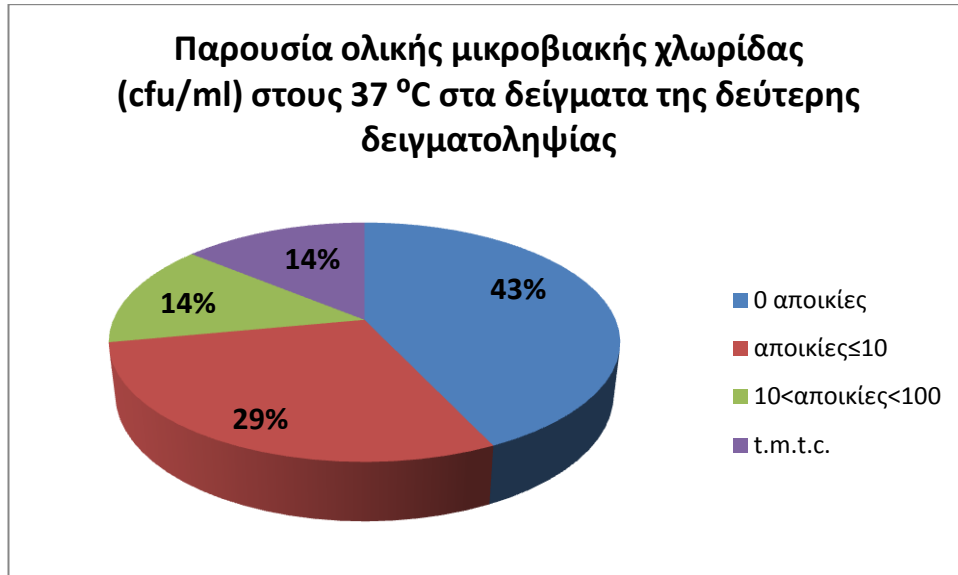
¹ T.M.T.C. (too much to count): Μη μετρήσιμος αριθμός αποικιών (CFUs>300)



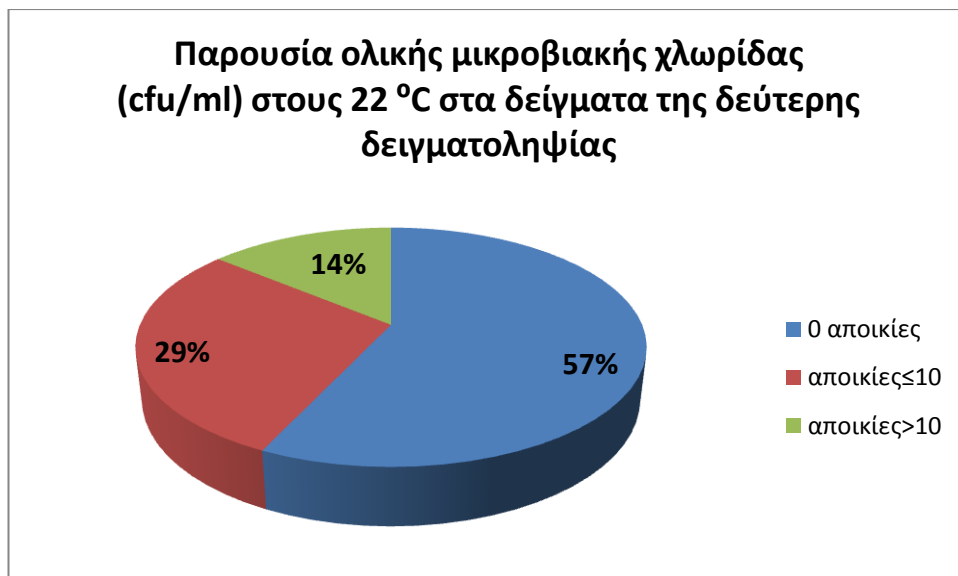
Διάγραμμα 7 : Παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών στα δείγματα της δεύτερης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 8 : Παρουσία *E.coli* στα δείγματα της δεύτερης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 9 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στα δείγματα της δεύτερης δειγματοληψίας

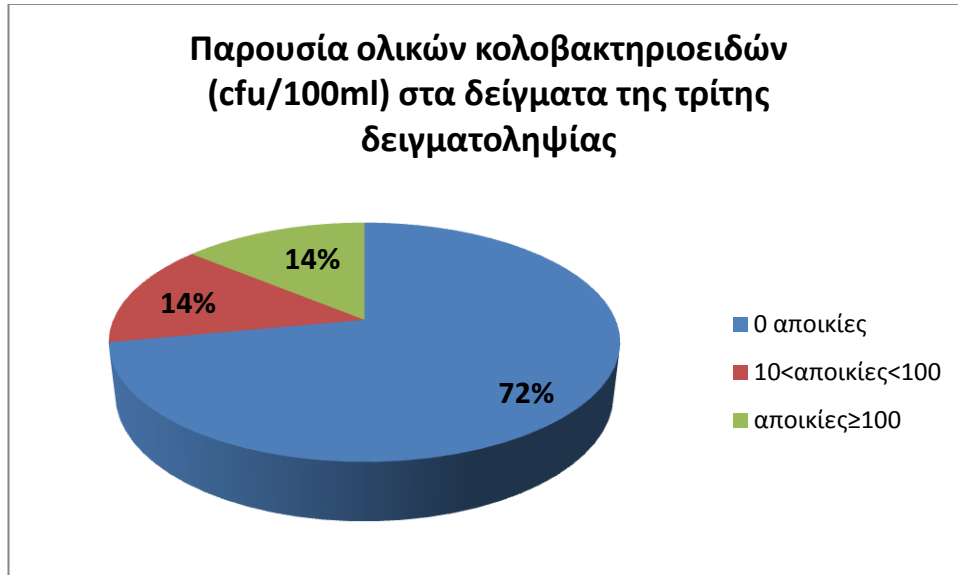


Διάγραμμα 12 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 ° C στα δείγματα της δεύτερης δειγματοληψίας

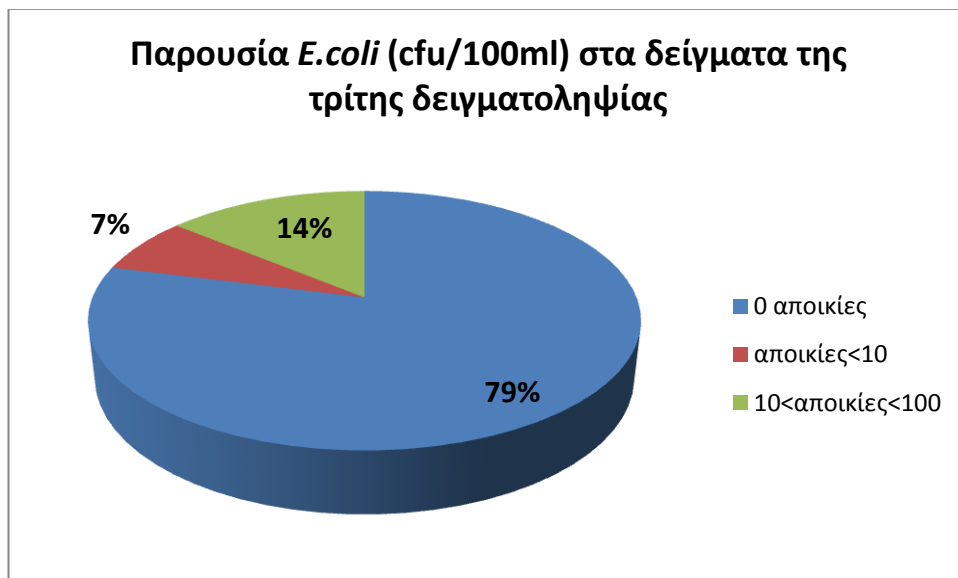
Από τους πίνακες και τα διαγράμματα για τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων για τα δείγματα νερού της δεύτερης δειγματοληψίας προκύπτει ότι στην πλειοψηφία των δειγμάτων δεν υπάρχει παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών, *E.coli* και Εντεροκόκκων. Στα δείγματα αυτής της δειγματοληψίας δεν πραγματοποιήθηκε ανάλυση για *Clostridium perfringens* λόγω του ότι ελήφθησαν δείγματα μόνο από κατοικίες και από δεξαμενές χλωρίωσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση αποικίας *E.coli* στο δείγμα 12 (δεξαμενή χλωρίωσης Ξαμμουδοχωρίου). Σύμφωνα με την νομοθεσία για το πόσιμο νερό το επιτρεπόμενο όριο για *E.coli* είναι 0 cfu/100 ml. Επίσης συγκριτικά με μελέτες για τη μικροβιολογική ποιότητα του πόσιμου νερού σε περιοχές όπου χρησιμοποιούνται τεχνολογίες απολύμανσης και ισχύουν τα αντίστοιχα νομοθετικά όρια το ποσοστό δειγμάτων στο οποίο ανιχνεύεται παρουσία *E.coli* (86%) θεωρείται ανησυχητικό. (Richadson, H.Y., Nichols, G., Lane, I.R., Hunter, P.R., 2009)

Πίνακας 6 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων δειγμάτων νερού τρίτης δειγματοληψίας (24/2/2010)

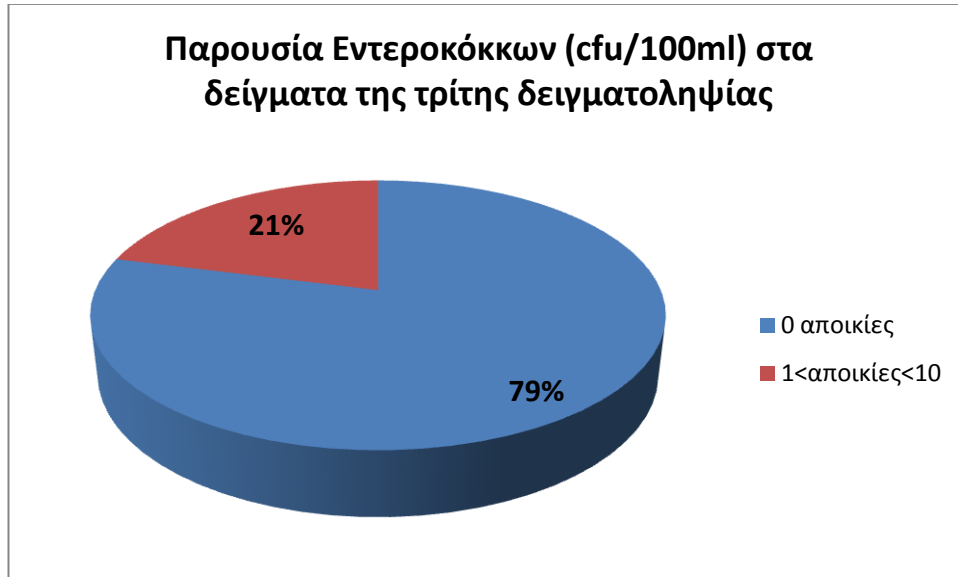
Δείγμα	Ολικά Κολοβακτηριοειδή	<i>E.Coli</i>	Εντερόκοκκοι	<i>Clostridium perfringens</i>	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C
1	300	0	0	0	200	T.M.T.C ¹
3	85	90	4	0	150	100
4	15	3	2	0	15	100
5	0	0	0	-	0	0
6	0	0	0	-	0	0
7	0	0	0	-	1	0
8	0	0	0	-	1	1
9	0	0	0	-	0	8
10	0	0	0	-	1	1
11	0	0	0	-	0	0
12	0	0	0	-	1	0
13	0	0	0	-	6	10
14	0	0	0	-	25	200
15	100	90	3	0	2	40



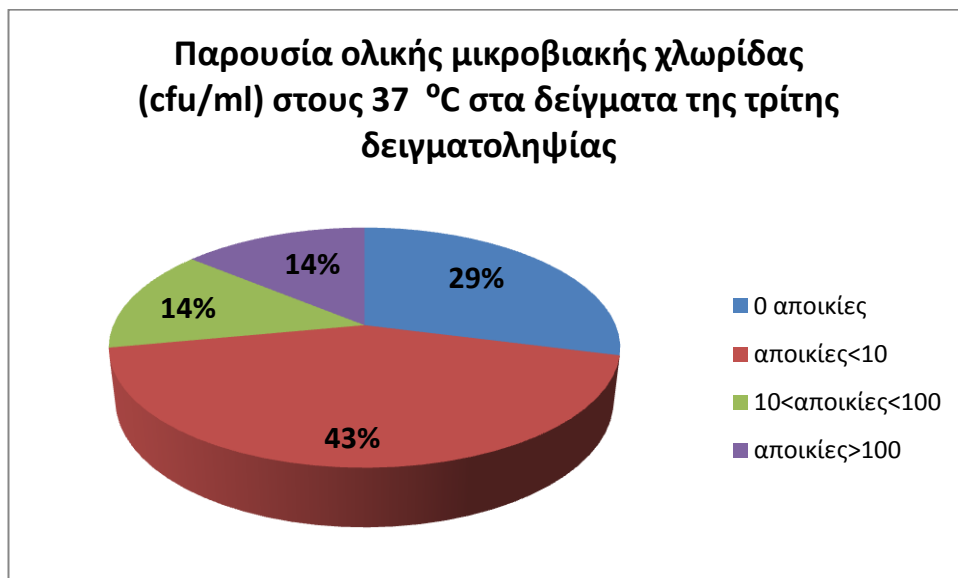
Διάγραμμα 11 : Παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών στα δείγματα της τρίτης δειγματοληψίας



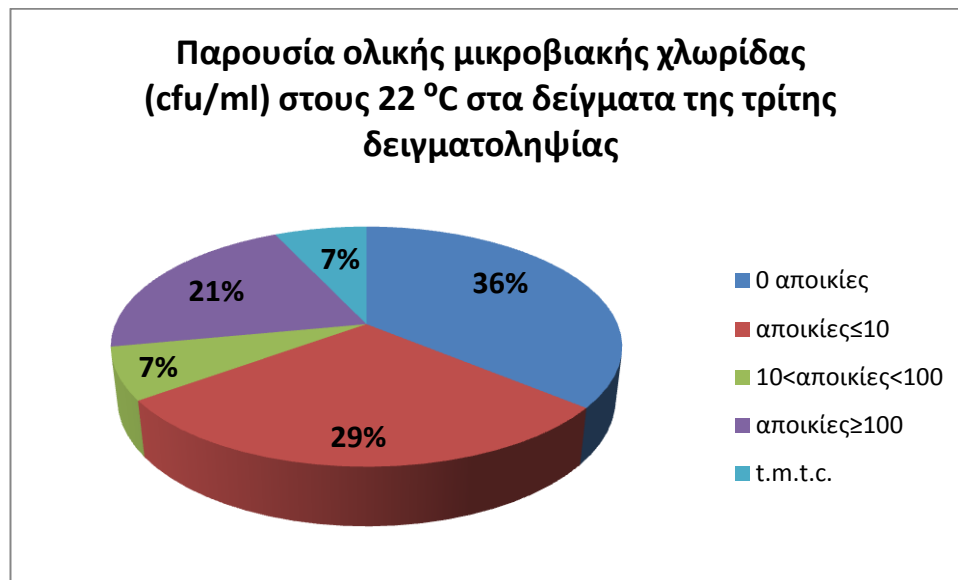
Διάγραμμα 12 : Παρουσία *E.coli* στα δείγματα της τρίτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 13 : Παρουσία Εντεροκόκκων στα δείγματα της τρίτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 13 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στα δείγματα της τρίτης δειγματοληψίας



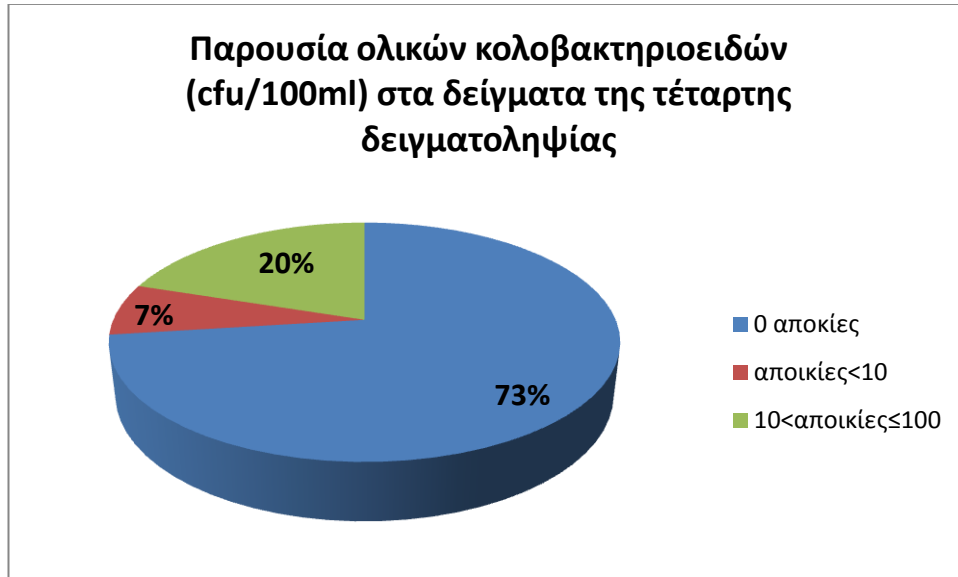
Διάγραμμα 14 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 ° C στα δείγματα της τρίτης δειγματοληψίας

Οι παραπάνω πίνακες και τα διαγράμματα παρουσιάζουν ποιοτικά και ποσοτικά τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων για τα δείγματα νερού της τρίτης δειγματοληψίας. Παρατηρείται η παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών στα δείγματα νερού που προέρχονται από τις γεωτρήσεις, το ποτάμι του Ντερέ καθώς και από το καφενείο του Ντερέ. Όπως έχει προαναφερθεί τα ολικά κολοβακτηριοειδή πιθανώς οφείλονται σε περιβαλλοντική μόλυνση και δεν είναι ενδεικτικά κοπρανώδους μόλυνσης. Επίσης αποικίες *E.coli* εμφανίζονται στη γεώτρηση των Μυλωνιανών, στο ποτάμι του Ντερέ καθώς και στο δείγμα από το καφενείο του Ντερέ. Στα ίδια δείγματα βρέθηκαν επίσης αποικίες Εντεροκόκκων.

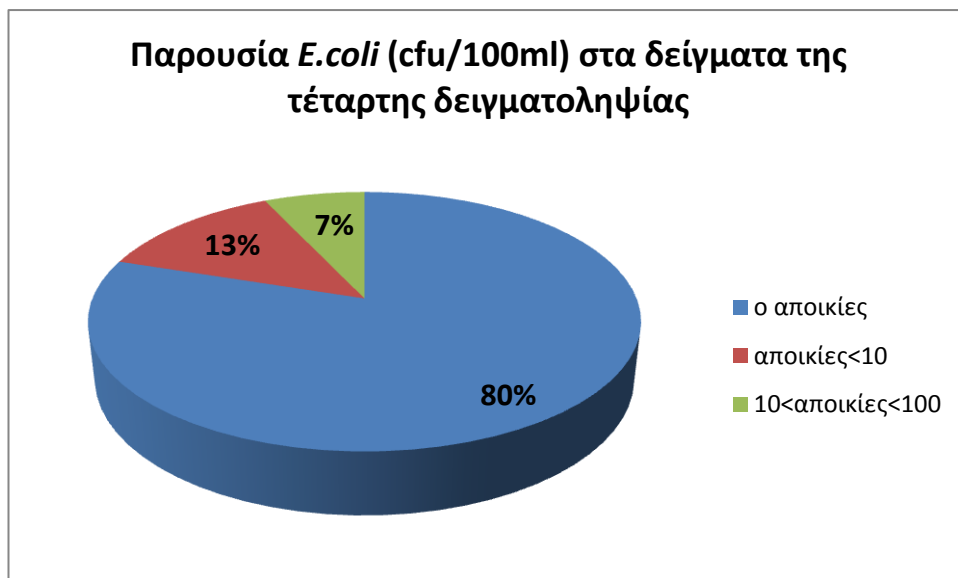
Από τα διαγράμματα φανερό είναι το γεγονός ότι το ποσοστό των δειγμάτων στο οποίο δεν ανιχνεύτηκαν οι μικροοργανισμοί δείκτες (*E.coli* και Εντερόκοκκοι) ταυτίζεται με το ποσοστό των δειγμάτων στο οποίο δεν ανιχνεύτηκαν ολικά κολοβακτηριοειδή.

Πίνακας 7 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων δειγμάτων νερού τέταρτης δειγματοληψίας (14/4/2010)

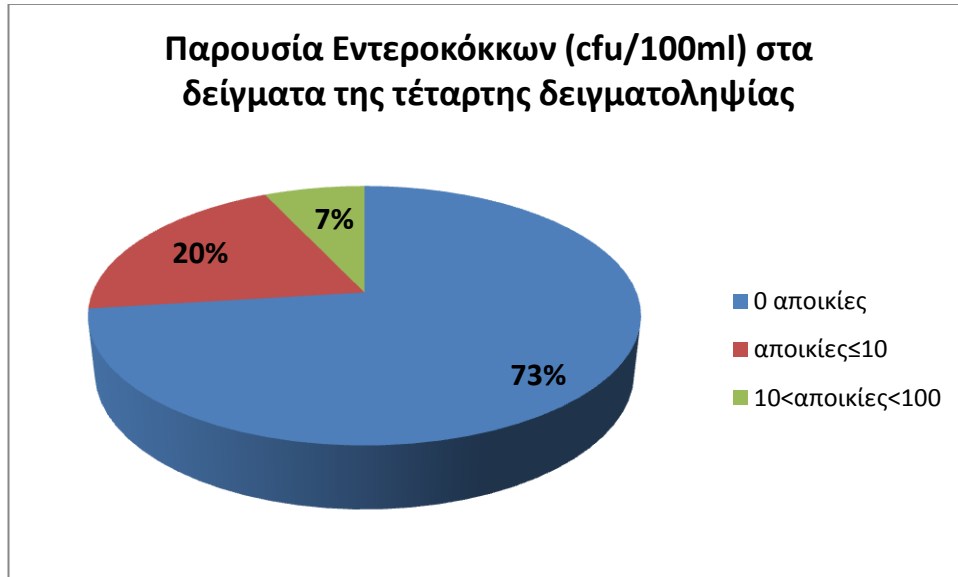
Δείγμα	Ολικά Κολοβακτηριοειδή	<i>E.Coli</i>	Εντερόκοκκοι	<i>Clostridium perfringens</i>	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C
1	0	0	0	0	T.M.T.C ¹	T.M.T.C ¹
2	6	2	19	0	2	4
3	50	27	3	0	1	7
4	100	6	10	0	200	200
5	0	0	0	-	0	0
6	0	0	0	-	0	6
7	0	0	0	-	0	1
8	0	0	0	-	0	1
9	0	0	0	-	0	12
10	0	0	0	-	0	0
11	0	0	0	-	0	0
12	0	0	0	-	0	1
13	0	0	0	-	1	0
14	0	0	0	-	0	40
15	40	0	5	0	10	22



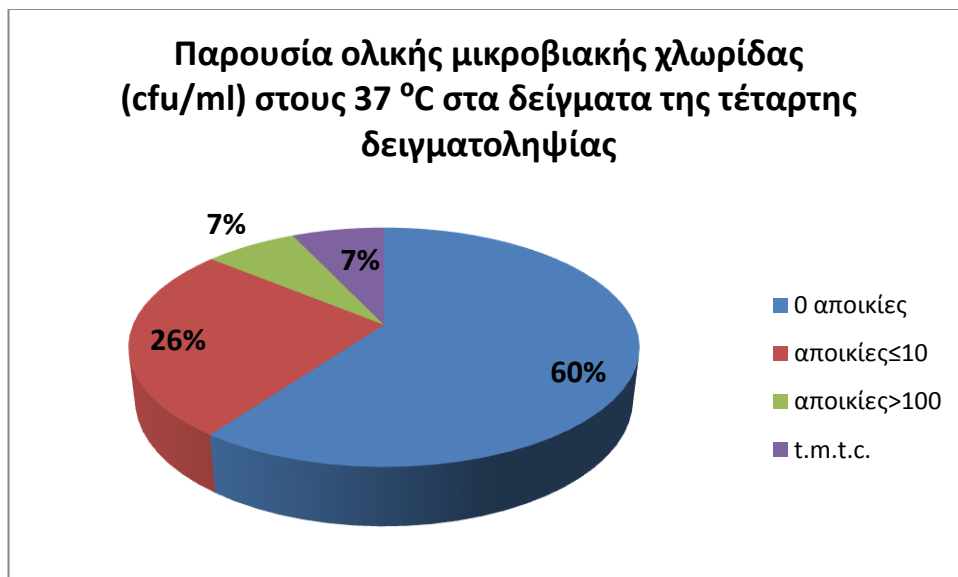
Διάγραμμα 16 : Παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών στα δείγματα της τέταρτης δειγματοληψίας



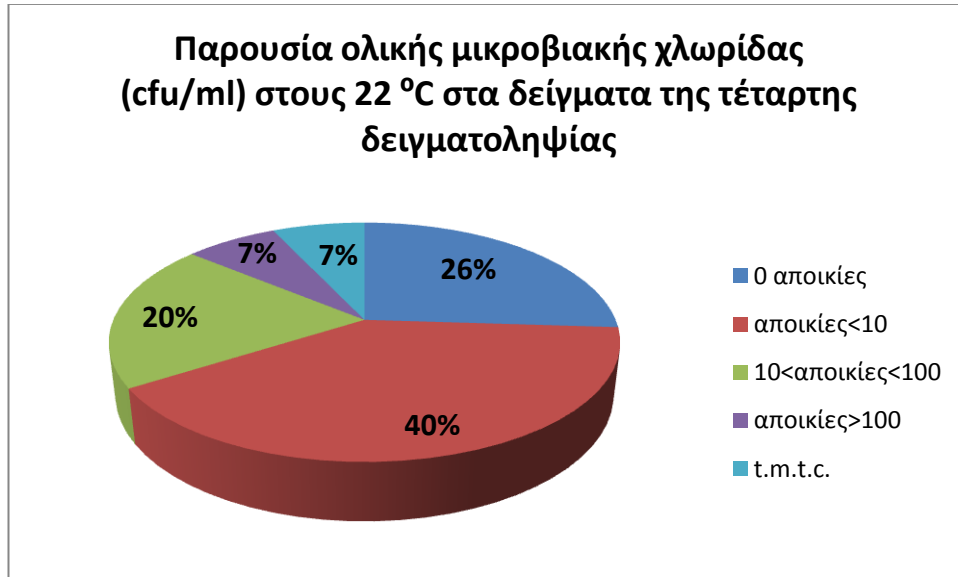
Διάγραμμα 15 : Παρουσία *E.coli* στα δείγματα της τέταρτης δειγματοληψίας



Εικόνα 18 : Παρουσία Εντεροκόκκων στα δείγματα της τέταρτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 19 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στα δείγματα της τέταρτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 20 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στα δείγματα της τέταρτης δειγματοληψίας

Από τους πίνακες και τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων για τα δείγματα νερού της τέταρτης δειγματοληψίας προκύπτει ότι αποικίες των μικροβιακών δεικτών δηλαδή *E. coli* και Εντεροκόκκων εμφανίζονται ξανά στα δείγματα από τη γεώτρηση του Κυπάρισσου, τη γεώτρηση των Μυλωνιανών και το ποτάμι του Ντερέ. Στα δείγματα αυτά επίσης υπάρχει παρουσία ολικών κολοβακτηριοειδών. Το δείγμα νερού από τη γεώτρηση του Ντερέ σε αντίθεση με τις προηγούμενες δειγματοληψίες προέκυψε εντός νομοθετικών ορίων. Επίσης αποικίες ολικών κολοβακτηριοειδών και Εντεροκόκκων εμφανίζονται στο δείγμα από το καφενείο του Ντερέ επιβεβαιώνοντας τα προηγούμενα αποτελέσματα. Στα διαγράμματα της τέταρτης δειγματοληψίας, φαίνεται όπως, και στα αντίστοιχα διαγράμματα της τρίτης δειγματοληψίας ότι τα ποσοστά των δειγμάτων στα οποία δεν ανιχνεύθηκαν *E.coli*, Εντερόκοκκοι και ολικά κολοβακτηριοειδή ταυτίζονται.

Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφονται τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων ανά δείγμα νερού στη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Πίνακας 8 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 1

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	17	300	0
<i>E.coli</i>	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0
<i>Clostridium perfringens</i>	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	30	200	t.m.t.c.
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	70	t.m.t.c.	t.m.t.c.

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 2

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	300	6
<i>E.coli</i>	0	2
Εντερόκοκκοι	250	19
<i>Clostridium perfringens</i>	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	18	2
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	25	4

Πίνακας 10 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 3

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	65	85	50
<i>E.coli</i>	5	90	27
Εντερόκοκκοι	4	4	3
<i>Clostridium perfringens</i>	0	0	0
Ολική μικροβιακή	65	150	1

χλωρίδα στους 37°C			
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	250	100	7

Πίνακας 11 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 4

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	300	15	100
<i>E.coli</i>	70	3	6
Εντερόκοκκοι	17	2	10
<i>Clostridium perfringens</i>	6	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	220	15	200
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	0	100	200

Πίνακας 12 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 5

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	0	0	0

Πίνακας 13 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 6

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	0	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	0	1	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	0	1	0	6

Πίνακας 14 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 7

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	0	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	0	1	1	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	0	0	0	1

Πίνακας 15 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 8

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	1	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	1	5	1	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	0	0	1	1

Πίνακας 16 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 9

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	1	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	300	t.m.t.c.	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	4	12	8	12

Πίνακας 17 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 10

Μικροβιολογική παράμετρος	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	0
<i>E.coli</i>	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	1	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	1	0

Πίνακας 18 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 11

Μικροβιολογική παράμετρος	2 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	1	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	18	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	5	0	0

Πίνακας 19 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 12

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	2 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	30	0	0
<i>E.coli</i>	0	3	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	1	10	1	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	3	30	0	1

Πίνακας 20 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 13

Μικροβιολογική παράμετρος	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	0
<i>E.coli</i>	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	6	1
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	10	0

Πίνακας 21 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 14

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	0	0	0
<i>E.coli</i>	0	0	0
Εντερόκοκκοι	0	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	220	25	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	35	200	40

Πίνακας 22 : Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων για το δείγμα 15

Μικροβιολογική παράμετρος	1 ^η Δειγματοληψία	3 ^η Δειγματοληψία	4 ^η Δειγματοληψία
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	300	100	40
<i>E.coli</i>	0	90	0
Εντερόκοκκοι	13	3	5
<i>Clostridium perfringens</i>	2	0	0
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 37°C	35	2	10
Ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22°C	150	40	22

4.1.1 Συμπεράσματα για τη γενική μικροβιολογική ποιότητα των δειγμάτων νερού

Μελετώντας το σύνολο των δεδομένων (πίνακες 4,5,6,7 και διαγράμματα 2,3,8,12,15,16) από τις μικροβιολογικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού του Δήμου Πλατανιά προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Η χλωρίωση ως μέθοδος απολύμανσης είναι αποτελεσματική ως προς τη θανάτωση των μικροοργανισμών – δεικτών (*E.coli* και Εντεροκόκκων) καθώς και των ολικών κολοβακτηριοειδών.

Για την εκτίμηση της γενικής μικροβιολογικής ποιότητας του νερού απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C και 22 °C.

Από τον προσδιορισμό αυτό προκύπτει ότι υπάρχει παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε αρκετά μεγάλο αριθμό δειγμάτων με χλωριωμένο νερό, σε κάποια από τα οποία οι αποικίες ξεπερνάνε τις 300/ml.

Αν και είναι γνωστό ότι η απολύμανση στο νερό δε συνεπάγεται και αποστείρωση, η ανάπτυξη τόσων αποικιών προκαλεί ανησυχία για την αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης.

Περισσότερο σημαντική από άποψη δημόσιας υγείας είναι η μέτρηση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C. Η παρουσία αυτών των μικροοργανισμών επισημαίνει την παρουσία ή τη δυνατότητα παρουσίας μόλυνσης στο νερό. Οι αλλαγές στις μετρήσεις αποικιών στους 22 °C οφείλονται σε μεταβολές που σχετίζονται με το περιβάλλον, τις εποχές και άλλους παράγοντες. Τα παραπάνω δεν θεωρούνται ειδικοί δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης του νερού, δεδομένου ότι πολλά είδη είναι περιβαλλοντικής προέλευσης (έδαφος, φύλλα κ.λπ.) Παρέχουν ενδείξεις για μικροβιακή μόλυνση άλλης προέλευσης, συμπληρώνοντας έτσι τα στοιχεία που παρέχονται από άλλες παραμέτρους. (Μήτρακας Μ., 2001).

Οι αποικίες της ολικής μικροβιακής χλωρίδας που αναπτύχθηκαν στους 22 °C παρέμειναν σε γενικές γραμμές σε χαμηλά επίπεδα ενώ τυχόν διαφοροποιήσεις μπορούν να δικαιολογηθούν από τις διαφορετικές εποχές του έτους που πραγματοποιήθηκε η κάθε δειγματοληψία.

Αντίθετα προβληματισμό δημιουργεί ο αριθμός των αποικιών ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C ιδιαίτερα στο δείγμα 9 που προέρχεται από οικία στο Γεράνι σε μικρή απόσταση από τη δεξαμενή χλωρίωσης, ο οποίος είναι πολύ μεγάλος στις δύο πρώτες δειγματοληψίες και επιπλέον παρουσιάζει ξαφνική αύξηση ανάμεσα στην πρώτη και τη δεύτερη δειγματοληψία. Ξαφνική αύξηση του αριθμού των

αποικιών παρουσιάζουν επίσης τα δείγματα 1 και 4, η γεώτρηση του Ντερέ και το ποτάμι του Ντερέ αντίστοιχα, το οποίο όμως είναι λιγότερο ανησυχητικό αφού και τα δύο δείγματα νερού δεν έχουν υποστεί απολύμανση.

- Η μικροβιολογική ποιότητα των δειγμάτων παρουσιάζει μικρή βελτίωση κατά τη διάρκεια του έτους με καλύτερα αποτελέσματα αυτά της τέταρτης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε στις 14 Απριλίου 2010. Ακόμα και στις περιπτώσεις των δειγμάτων που εμφανίζονται οι μικροοργανισμοί-δείκτες παρατηρείται μείωση του αριθμού των αποικιών αυτών. Μείωση επίσης παρατηρείται και στον αριθμό των αποικιών των ολικών κολοβακτηριοειδών που λαμβάνεται ως ενδεικτική παράμετρος.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση αποικίας *E.coli* στο δείγμα 12 (δεξαμενή χλωρίωσης Ξαμμουδοχωρίου) στη δεύτερη δειγματοληψία (8/12/2010) δεδομένου ότι εκεί πραγματοποιείται η χλωρίωση. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει αστοχία της χλωρίωσης όταν πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία. τόσο τη νομοθεσία που προβλέπει 0 cfu/100 ml, όσο και αντίστοιχες μελέτες για τη μικροβιολογική ποιότητα πόσιμου νερού.
- Τα αποτελέσματα για το δείγμα 15 (καφενείο στο Ντερέ) σε όλες τις δειγματοληψίες είναι ιδιαίτερα ανησυχητικά. Ο οικισμός του Ντερέ υδροδοτείται απευθείας από τις πηγές του Ντερέ, το νερό των οποίων, όπως προκύπτει, είναι ακατάλληλο για πόση. Το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπίζει και το χωριό του Ντερέ το οποίο υδρεύεται από τη γεώτρηση του Ντερέ μιας και βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από την δεξαμενή χλωρίωσης και δεν έχει κατασκευαστεί κατάλληλη σύνδεση. Επίσης το νερό του ποταμιού του Ντερέ (δείγμα 4) που χρησιμοποιείται για οικιακή χρήση κρίνεται ακατάλληλο βάσει των μικροβιολογικών αναλύσεων.

4.1.2 Συμπεράσματα για την καταλληλότητα των δειγμάτων νερού για πόση

Από τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού προκύπτουν συμπεράσματα για την καταλληλότητα του νερού στο Δήμο Πλατανιά.

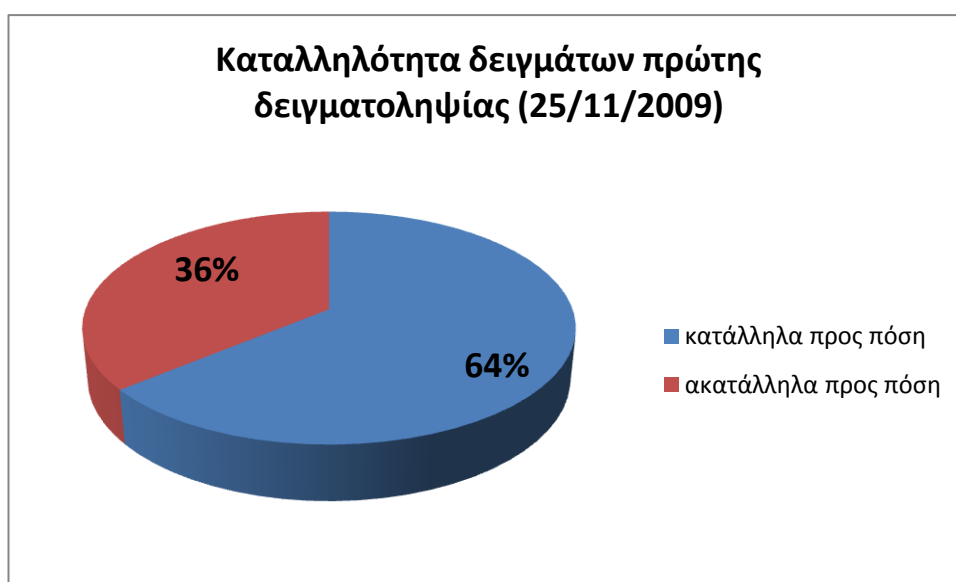
Βάσει της νομοθεσίας ((ΚΥΑ) Υ2/2600/2001) ενδεικτικές είναι οι τιμές των αποικιών *E.coli* και των Εντεροκόκκων που αναπτύχθηκαν σε όλα τα δείγματα. Επιπροσθέτως για δείγματα που δεν είχαν απολυμανθεί με χλωρίωση σημαντικό κριτήριο αποτελεί η ανάπτυξη αποικιών *clostridium perfringens*. Η ανάπτυξη αποικιών ολικών κολοβακτηριοειδών δεν αποτελεί σαφή ένδειξη κοπρανώδους

μόλυνσης καθώς τα ολικά κολοβακτηριοειδή δεν προέρχονται μόνο από τα κόπρανα ανθρώπων και ζώων αλλά και από το χώμα και τα φυτά, άρα η παρουσία τους είναι πιθανή σε περιοχές με θερμό - τροπικό κλίμα κι εφόσον δεν συνυπάρχουν και άλλες βακτηριολογικές παράμετροι, θα μπορούσε να σημαίνει ενδεχόμενη μόλυνση περιβαλλοντικής προέλευσης (J.E. Prak, et al., 2006).

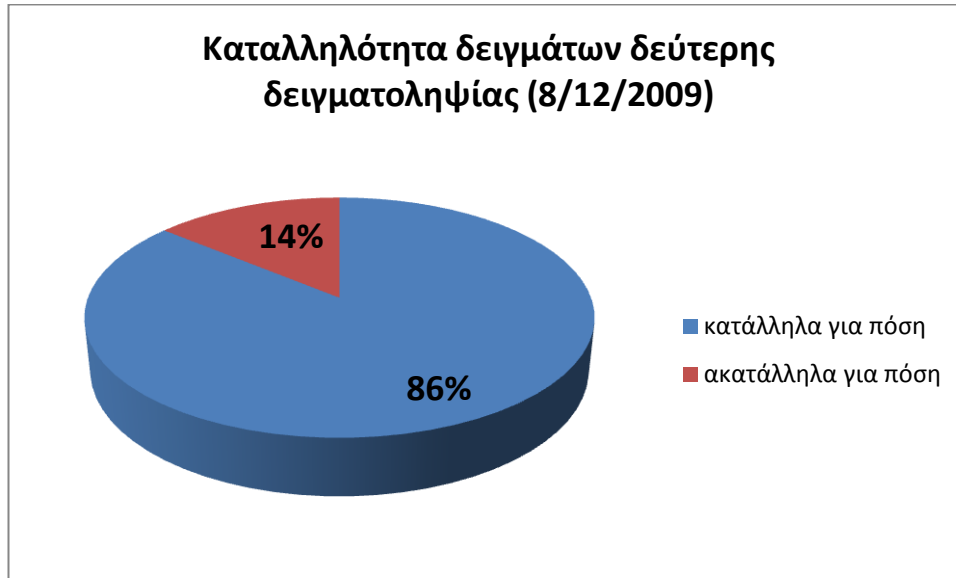
Επιπλέον τα ολικά κολοβακτηριοειδή είναι μια εξαιρετικά ετερογενής ομάδα μικροοργανισμών, η οποία περιλαμβάνει πολλά είδη, γεγονός που καθιστά δύσκολη την απομόνωση και ταυτοποίησή τους στα αντίστοιχα εκλεκτικά υλικά.

Γι αυτούς τους λόγους τα ολικά κολοβακτηριοειδή στην τελευταία οδηγία περί μικροβιολογικής ποιότητας πόσιμου νερού έχουν εξαιρεθεί.

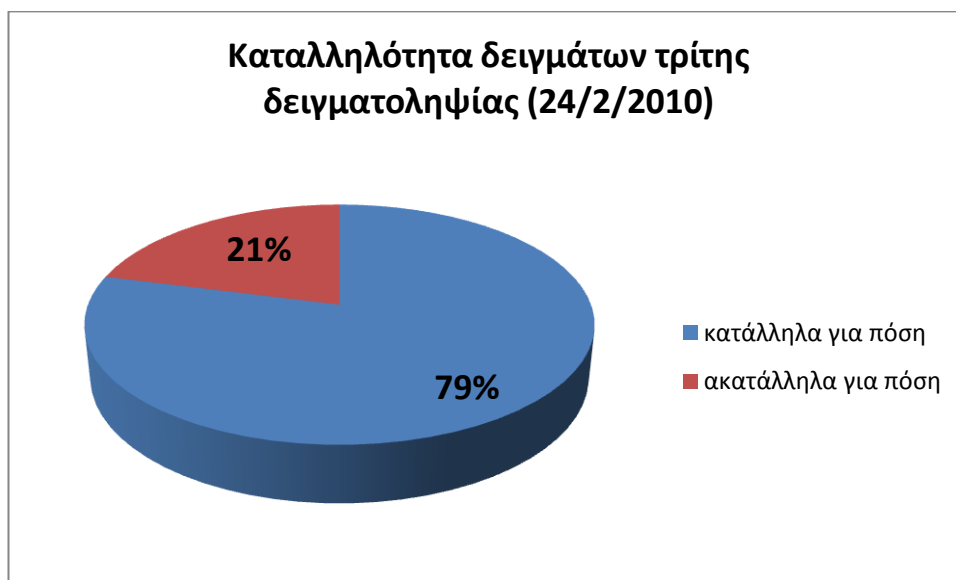
Βάσει των παραπάνω μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων και κατασκευάστηκαν τα εξής διαγράμματα:



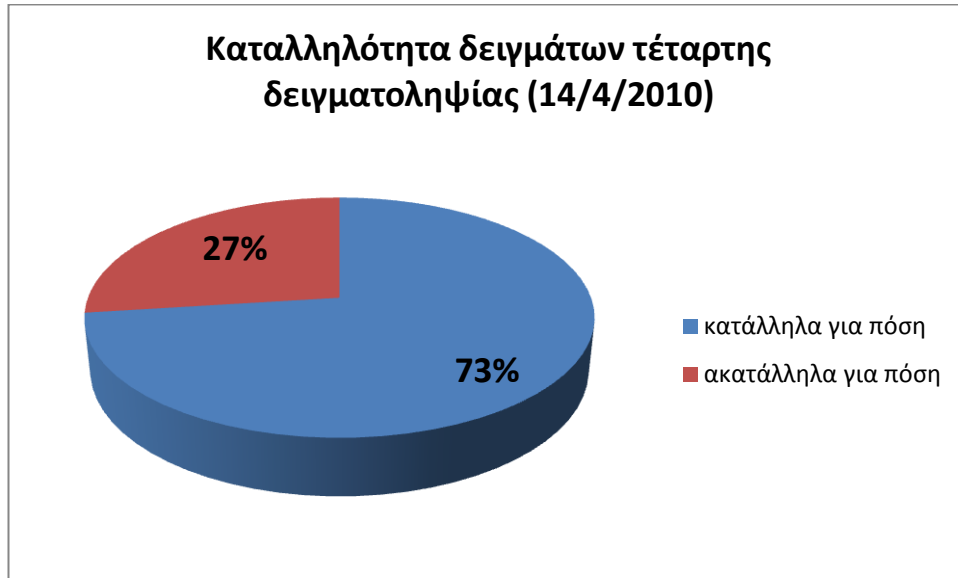
Διάγραμμα 21: Καταλληλότητα δειγμάτων της πρώτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 22: Καταλληλότητα δειγμάτων της δεύτερης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 23: Καταλληλότητα δειγμάτων της τρίτης δειγματοληψίας



Διάγραμμα 24: Καταλληλότητα δειγμάτων της τέταρτης δειγματοληψίας

Τα αποτελέσματα για την πρώτη, δεύτερη και τρίτη δειγματοληψία είναι αναμενόμενα δεδομένου ότι στα δείγματα νερού συμπεριλαμβάνονται δείγματα από τις γεωτρήσεις της περιοχής και το ποτάμι του Ντερέ τα οποία δεν έχουν απολυμανθεί με χλώριο. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται το δείγμα νερού από το καφενείο του οικισμού του Ντερέ ο οποίος υδρεύεται απευθείας από τις πηγές του Μερτέ χωρίς να προηγηθεί επεξεργασία απολύμανσης. Η διαφορά στα ποσοστιαία αποτελέσματα της τρίτης και τέταρτης δειγματοληψίας οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την τρίτη δειγματοληψία δεν ελήφθη δείγμα νερού από τη γεώτρηση του Κυπάρισσου, καθώς βρισκόταν εκτός λειτουργίας για τεχνικούς λόγους.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το αποτέλεσμα της δεύτερης δειγματοληψίας καθώς το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα ήταν όλα τα δείγματα νερού να είναι κατάλληλα για πόση δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια αυτής της δειγματοληψίας όλα τα δείγματα προέρχονται από σημεία με χλωριωμένο νερό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη ανάπτυξη αποικίας *E.coli* στο δείγμα 12 (δεξαμενή χλωρίωσης Ξαμμοδοχωρίου) όπως αναφέρεται και σχολιάζεται σε προηγούμενη παράγραφο.

Η μικροβιολογική ποιότητα των δειγμάτων παρουσιάζει μικρή βελτίωση κατά τη διάρκεια του έτους με καλύτερα αποτελέσματα αυτά της τέταρτης δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε στις 14 Απριλίου 2010. Ακόμα και στις περιπτώσεις των δειγμάτων που εμφανίζονται οι μικροοργανισμοί-δείκτες παρατηρείται μείωση του αριθμού των αποικιών αυτών. Βασικός παράγοντας είναι η βροχόπτωση που κατά τους χειμερινούς μήνες δύναται να επηρεάσει την ποιότητα των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων (Richardson, H.Y., Nichols, G., Lane, I.R., Hunter, P.R., 2009)

4.2 Αποτελέσματα βιοχημικής ταυτοποίησης μικροοργανισμών με το σύστημα API

Προκειμένου να προσδιοριστούν τα είδη των μικροοργανισμών δεικτών που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα πόσιμου νερού, πραγματοποιήθηκε βιοχημική ταυτοποίηση των απομονωμένων αποικιών. Συγκεκριμένα, για τη βιοχημική ταυτοποίηση που διεξήχθη ισχύουν τα παρακάτω:

Α. Από τα εκλεκτικά θρεπτικά υλικά των ολικών κολοβακτηριοειδών και των εντεροκόκκων επιλέχθηκαν απομονωμένες αποικίες, προκειμένου να ταυτοποιηθούν σε επίπεδο είδους.

Β. Στο εκλεκτικό θρεπτικό υλικό απομόνωσης *E. coli* αναπτύχθηκαν αποικίες και άλλου είδους μικροοργανισμών (διαφορετικό χρώμα και χροιά), οι οποίες ταυτοποιήθηκαν και αυτές σε επίπεδο είδους.

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα της βιοχημικής ταυτοποίησης των μικροοργανισμών με το σύστημα API.

Πίνακας 23 : Βιοχημική ταυτοποίηση μικροοργανισμών στα δείγματα της τρίτης δειγματοληψίας

Δείγμα	Θρεπτικό υλικό απομόνωσης μικροοργανισμών	Είδος μικροοργανισμού
3	HiCrome - <i>E.coli</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
1	mENDO -Ολικά κολοβακτηριοειδή	<i>Aeromonas hydrophila/caviae</i>
1	mENDO - Ολικά κολοβακτηριοειδή	<i>Conamonas testosterone/</i> <i>Pseudomonas alcaligenes</i>
4	mENDO - Ολικά κολοβακτηριοειδή	<i>Citrobacter braaki</i>

Πίνακας 24 : Βιοχημική ταυτοποίηση μικροοργανισμών στα δείγματα της τέταρτης δειγματοληψίας

Δείγμα	Θρεπτικό υλικό απομόνωσης μικροοργανισμών	Είδος μικροοργανισμού
3	Bile – aesculin - azide agar Εντερόκοκκοι	<i>Enterococcus faecium</i>

2	mENDO - Ολικά κολοβακτηριοειδή	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>
4	HiCrome - <i>E.coli</i>	<i>Pseudomonas luteola</i>
4	Bile – aesculin - azide agar Εντερόκοκκοι	<i>Enterococcus faecalis</i>

4.2.1 Συμπεράσματα για τη βιοχημική ταυτοποίηση των μικροοργανισμών με το σύστημα API

Από τη βιοχημική ταυτοποίηση με το σύστημα API προκύπτουν συμπεράσματα τόσο για τις ιδιότητες των εκλεκτικών θρεπτικών υλικών που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες μικροοργανισμών με στερεό εκλεκτικό θρεπτικό υπόστρωμα, όσο και για το είδος των μικροοργανισμών που ταυτοποιήθηκαν.

- Στα εκλεκτικά θρεπτικά υλικά όπως το HiCrome για καλλιέργεια *E.coli* αναπτύσσονται και άλλοι μικροοργανισμοί. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι από την βιοχημική ταυτοποίηση των αποικιών άσπρου χρώματος που αναπτύχθηκαν στο υλικό αυτό προέκυψαν μικροοργανισμοί του είδους ψευδομονάδα (*Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas luteola*).
- Οι περιβαλλοντικοί μικροοργανισμοί, όπως αυτοί που μελετήθηκαν στις μικροβιολογικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού του Δήμου Πλατανιά, υπόκεινται σε περιβαλλοντικές συνθήκες, γεγονός που πιθανώς να οδηγεί σε μεταλλάξεις και διαφορετικές συμπεριφορές από τους κλινικούς μικροοργανισμούς σε εκλεκτικά υλικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μικροοργανισμών διαφορετικού είδους από αυτό που προορίζεται το εκλεκτικό θρεπτικό υλικό.
- Οι μικροοργανισμοί που ταυτοποιήθηκαν σε όλα τα δείγματα, εκτός από τα δείγματα με θρεπτικό υλικό για απομόνωση Εντεροκόκκων, ανήκουν στα Gram αρνητικά βακτήρια και όταν προσληφθούν προκαλούν γαστρεντερίτιδα, κοιλιακές κράμπες, πυρετό.
- Τα είδη *Enterococcus faecalis* και *Enterococcus faecium* αποτελούν υποείδη των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων και ανήκουν στους Gram θετικούς κόκκους. Αποτελούν ένδειξη κοπρανώδους μόλυνσης και μπορούν να προκαλέσουν επικίνδυνες λοιμώξεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Σημαντικές κλινικές λοιμώξεις που προκαλούνται από *Enterococcus* περιλαμβάνουν λοιμώξεις του ουροποιητικού, βακτηριαμία, βακτηριακή ενδοκαρδίτιδα και μηνιγγίτιδα. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα αποτελεί το υψηλό επίπεδο αντοχής στα αντιβιοτικά. Σχετικά με τα υπόλοιπα είδη κοπρανωδών στρεπτόκοκκων θεωρούνται τα

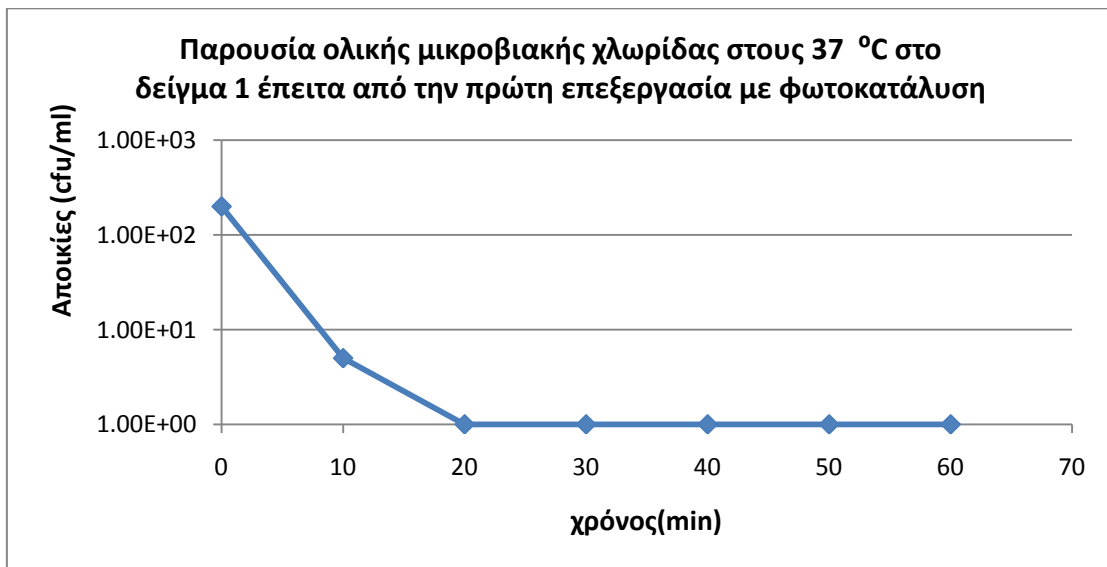
είδη που σχετίζονται περισσότερο με παθογένειες του ανθρώπου(Z. Zin G, Jeng HW, Bradford H, Englande AJ ,2004).

4.3 Αποτελέσματα φωτοκατάλυσης

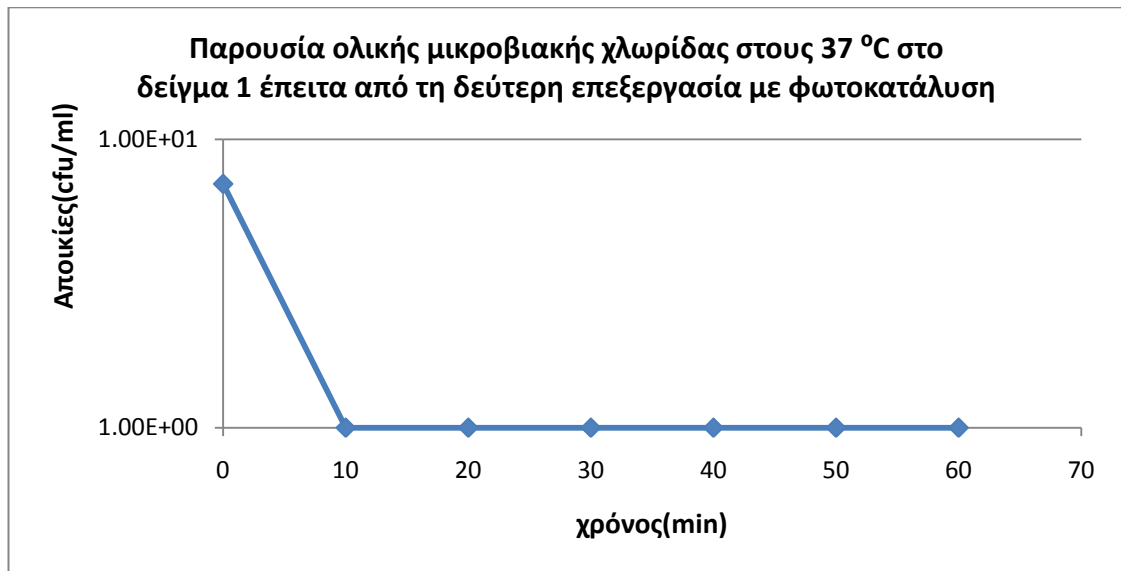
Τα δείγματα της δεύτερης, της τρίτης και της τέταρτης δειγματοληψίας επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της φωτοκατάλυσης σύμφωνα με την πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.2.5.

Η πρώτη επεξεργασία έγινε σε δείγματα που έχουν ήδη υποστεί χλωρίωση ενώ η δεύτερη και η τρίτη σε δείγματα πριν τη χλωρίωση.

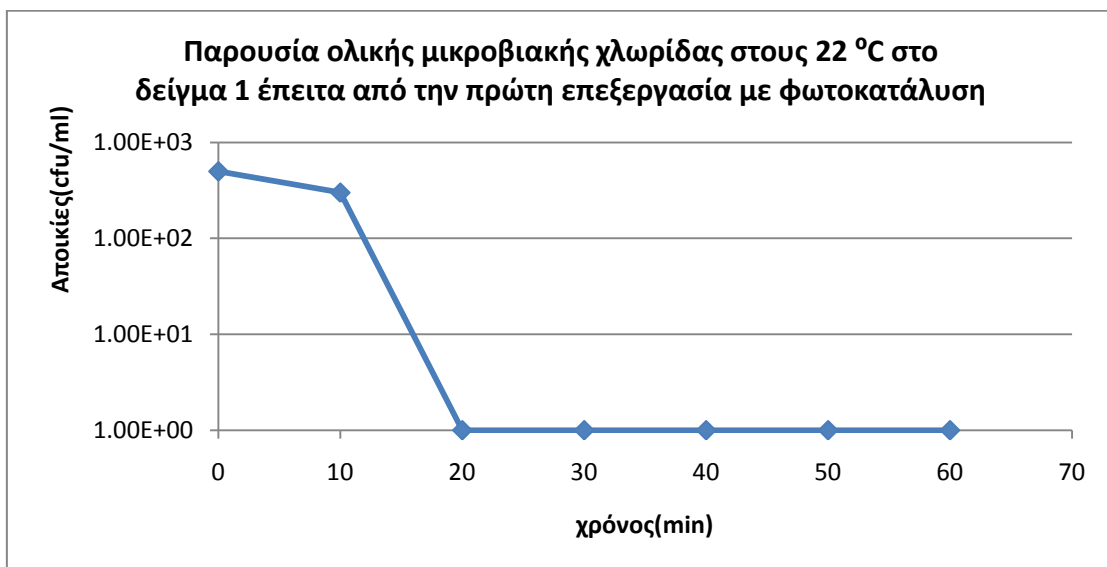
Στη συνέχεια παρουσιάζεται σε διαγράμματα η καταστροφή των αποικιών της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C και στους 22 °C (cfu/ml) σε σχέση με το χρόνο ακτινοβολήσης.



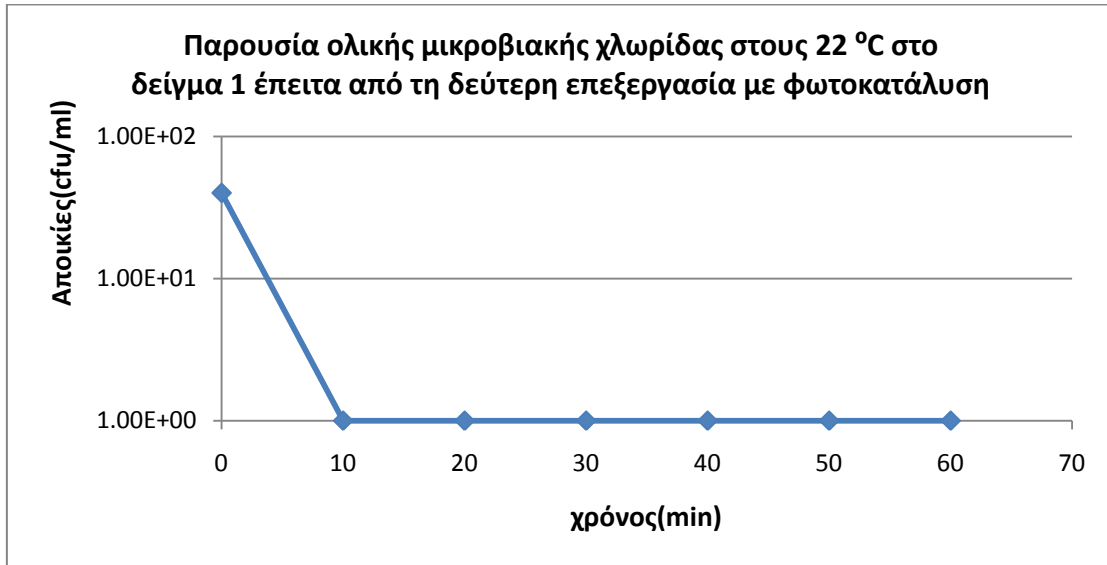
Διάγραμμα 25 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 1 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



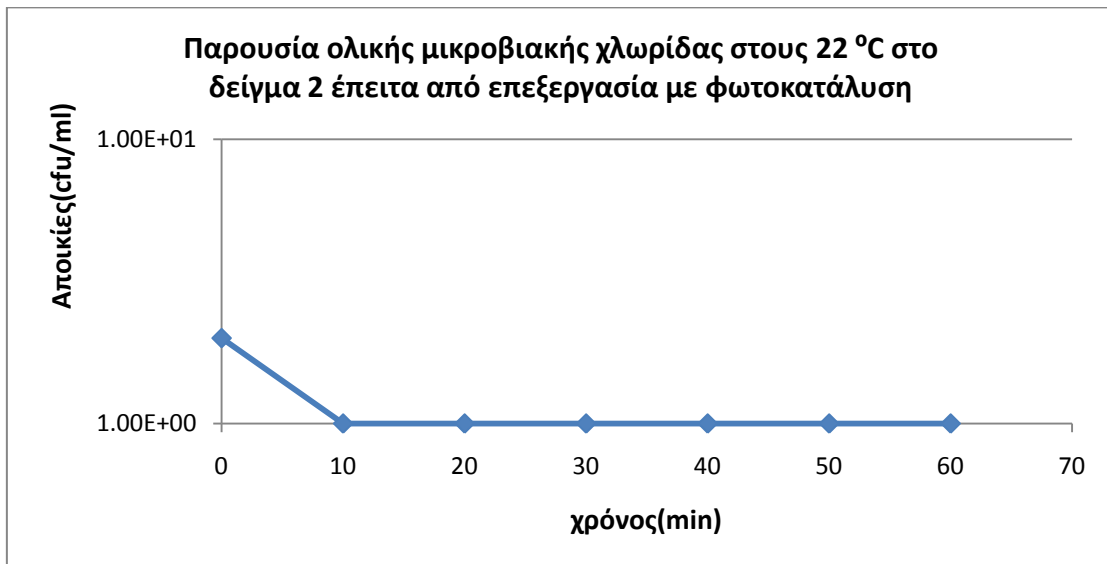
Διάγραμμα 26 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 1 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



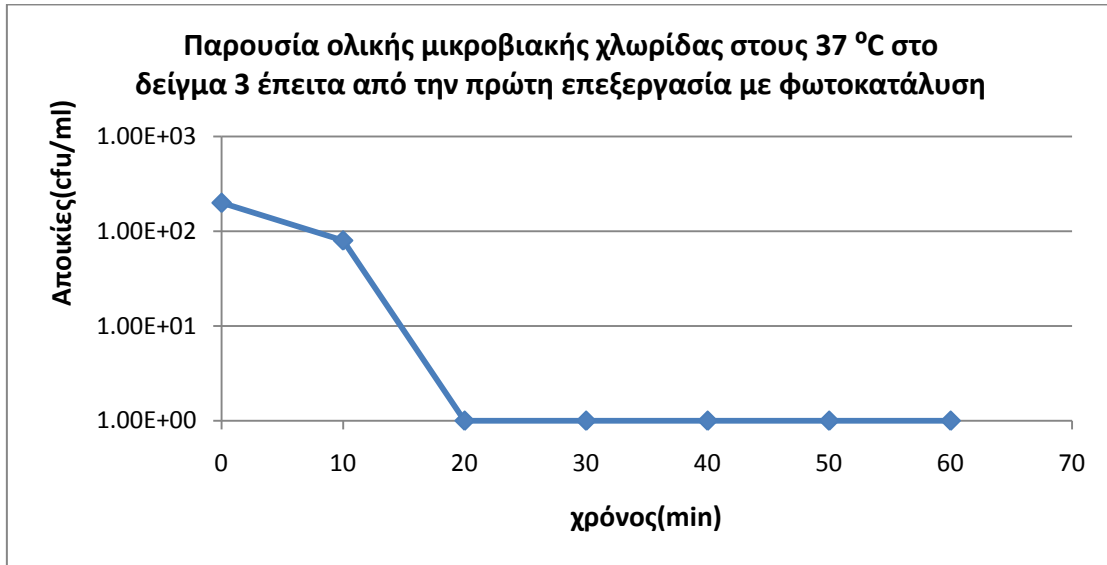
Διάγραμμα 27 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 1 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



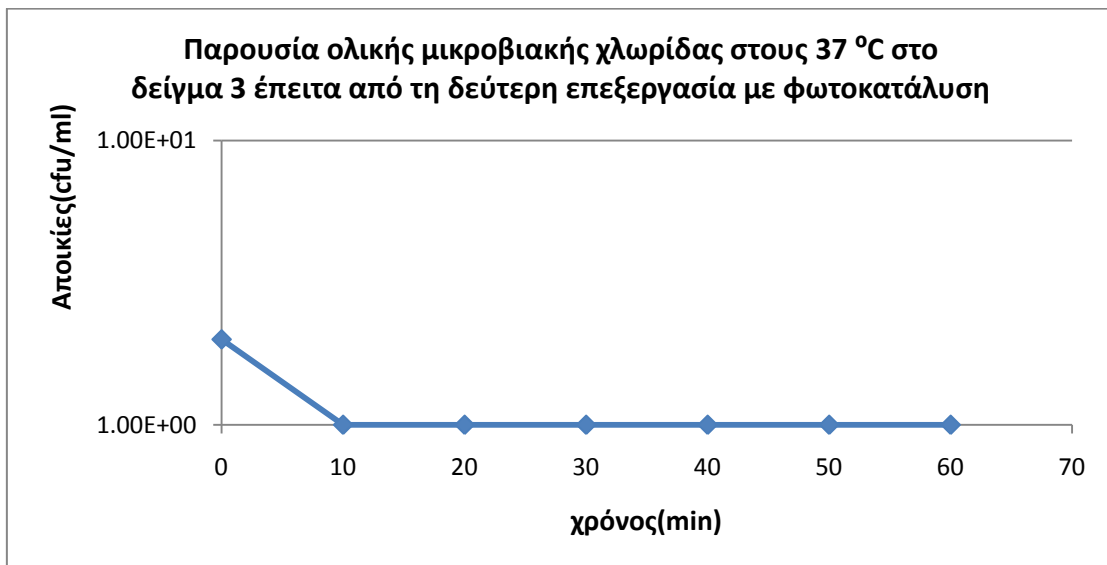
Διάγραμμα 28 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 1 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



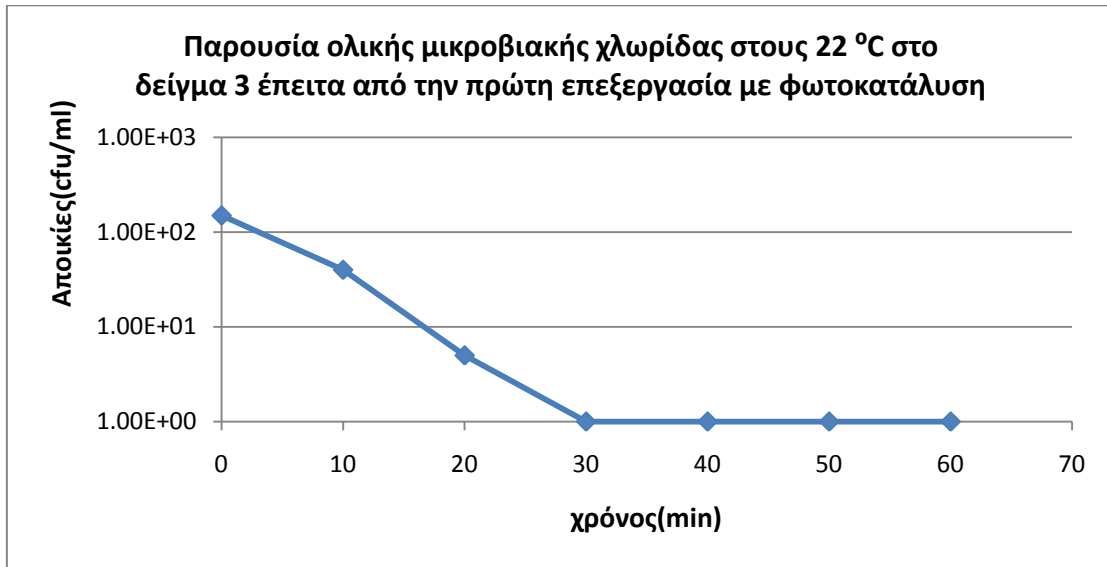
Διάγραμμα 29 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 2 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



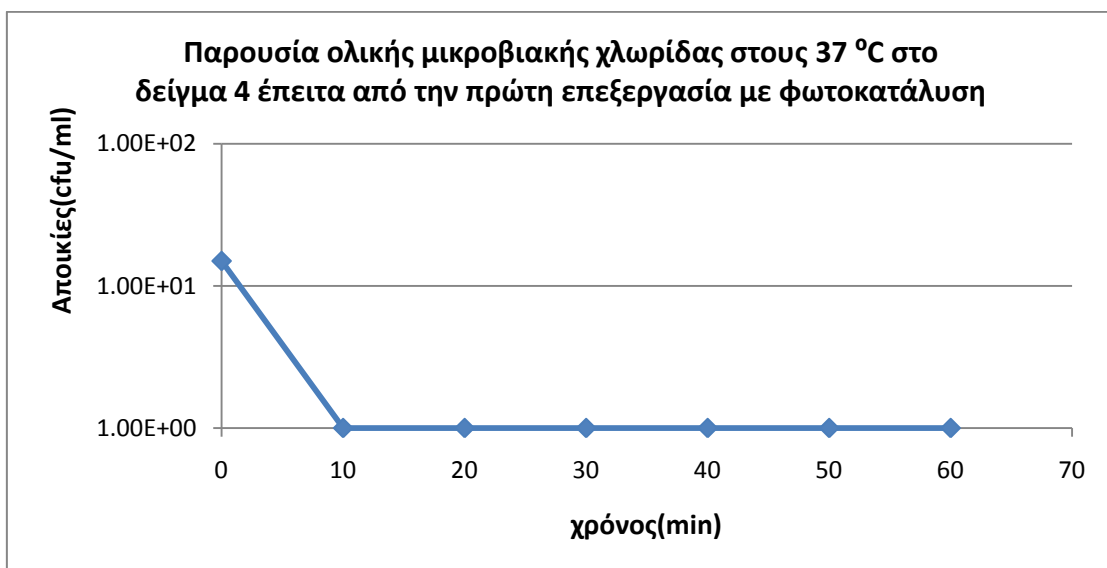
Διάγραμμα 30 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στο δείγμα 3 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



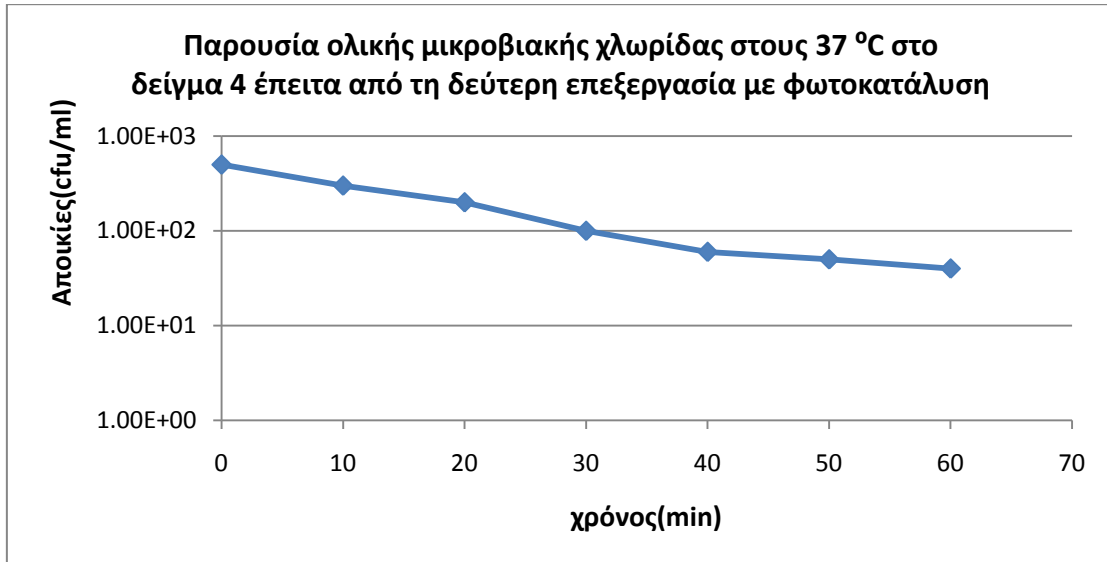
Διάγραμμα 31 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στο δείγμα 3 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



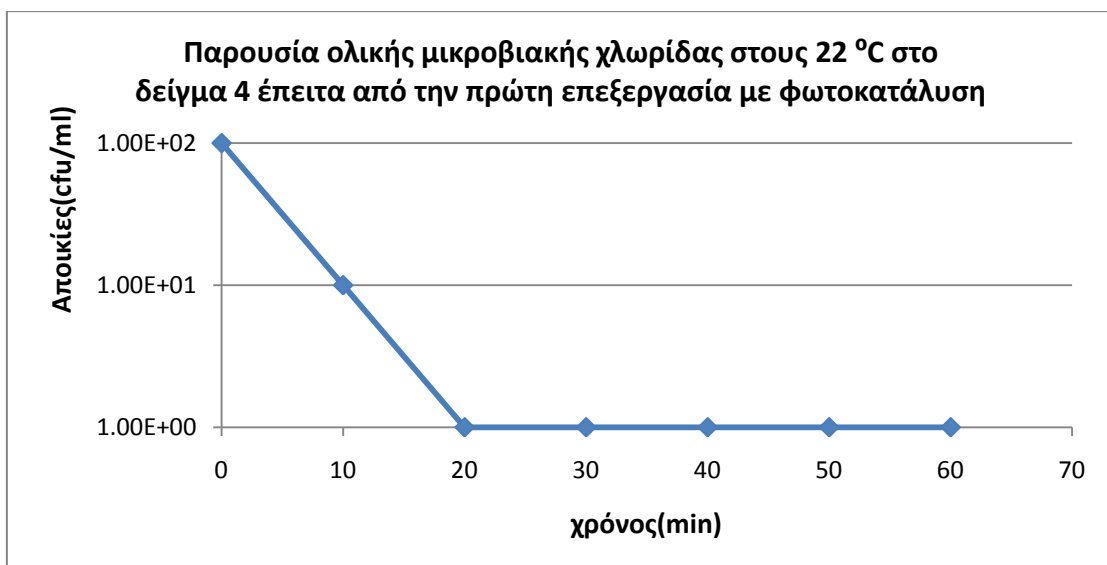
Διάγραμμα 32 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 ° C στο δείγμα 3 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



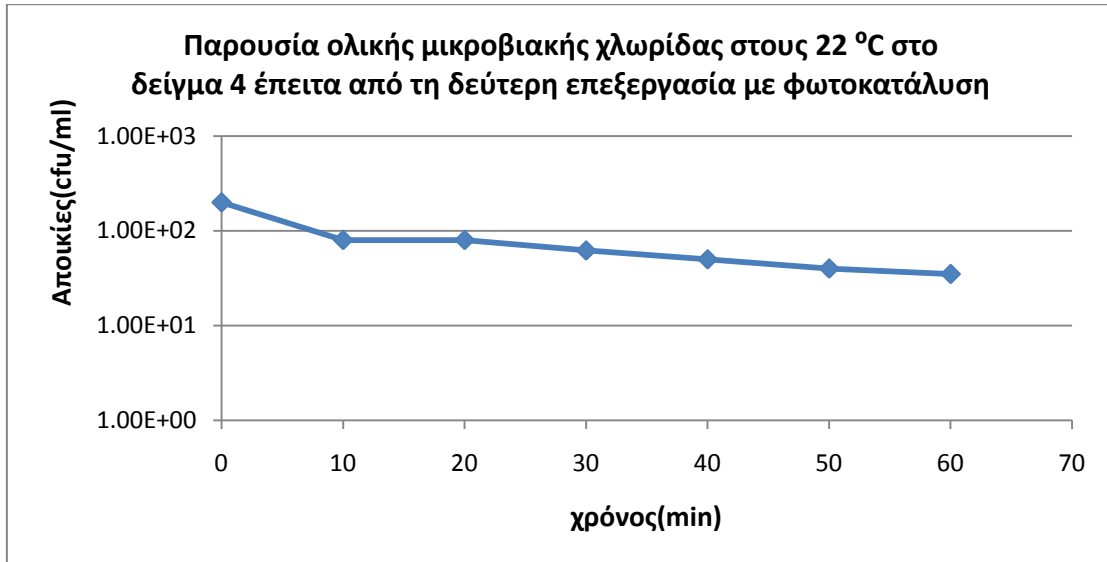
Διάγραμμα 33 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στο δείγμα 4 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



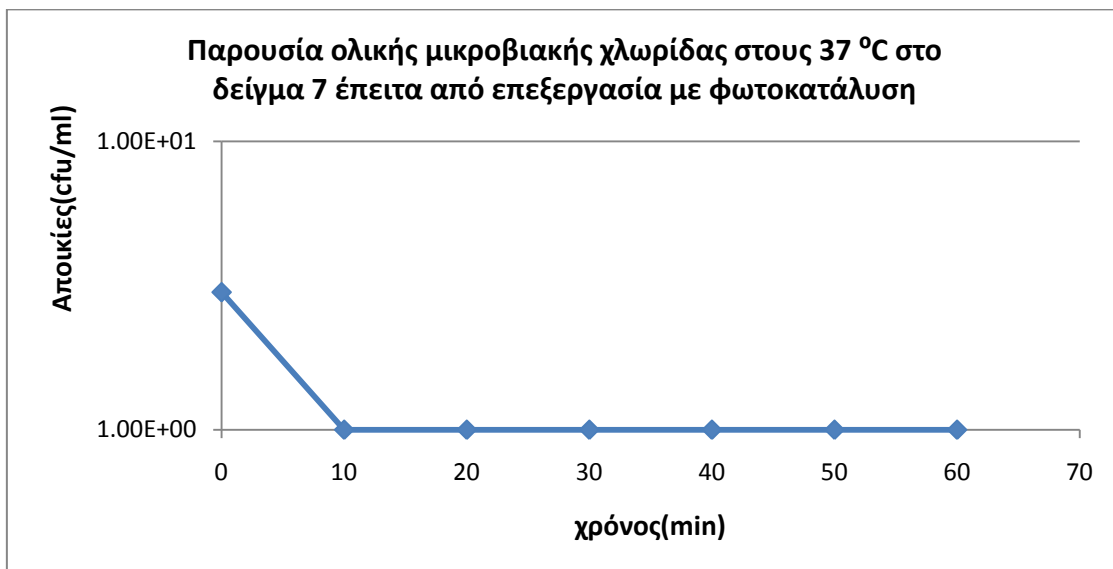
Διάγραμμα 34 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 4 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



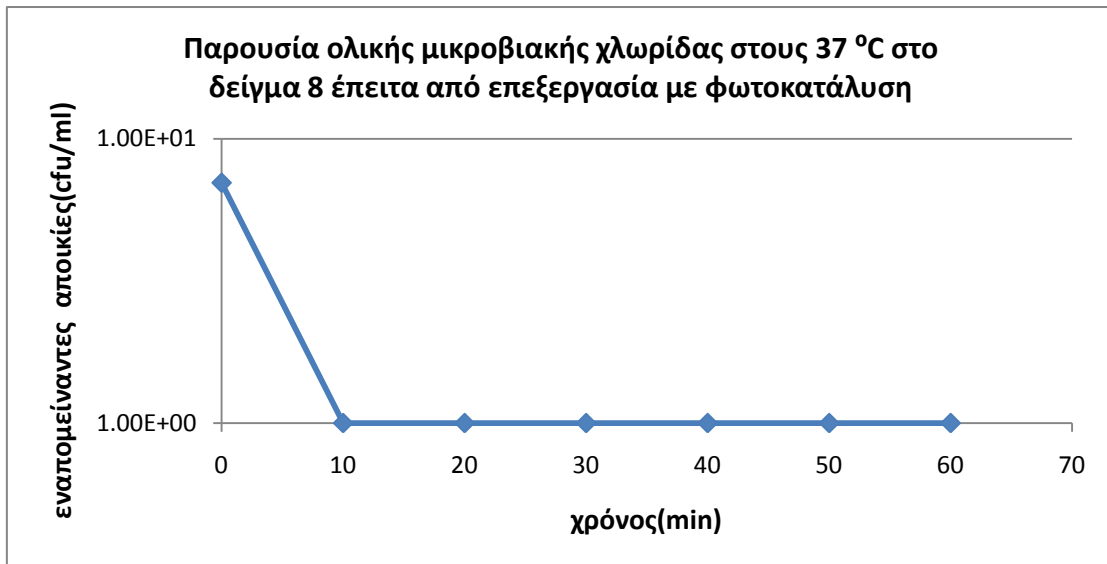
Διάγραμμα 35 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22° C στο δείγμα 4 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



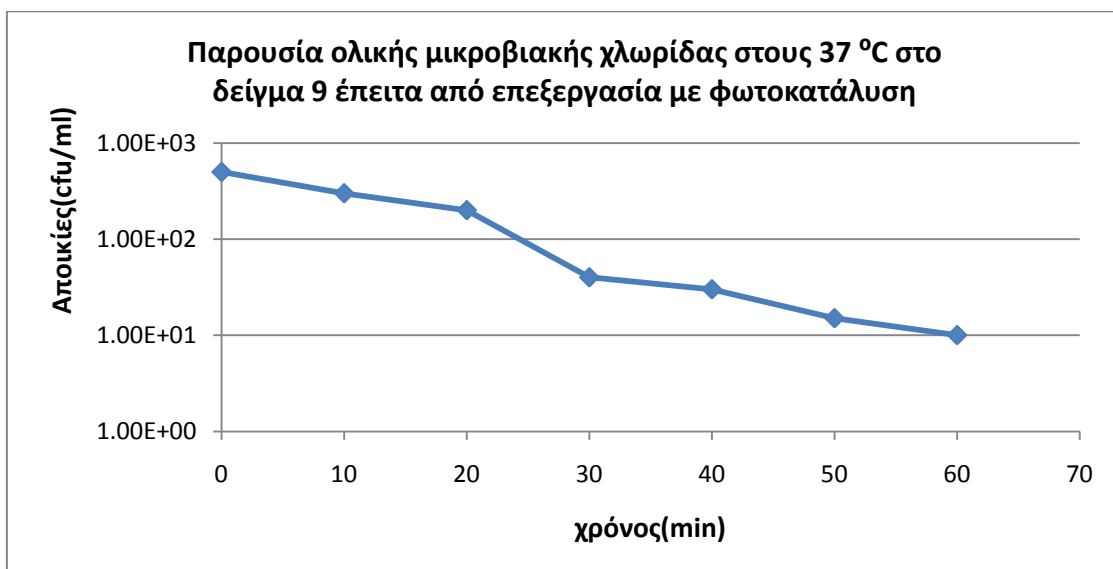
Διάγραμμα 36 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 4 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



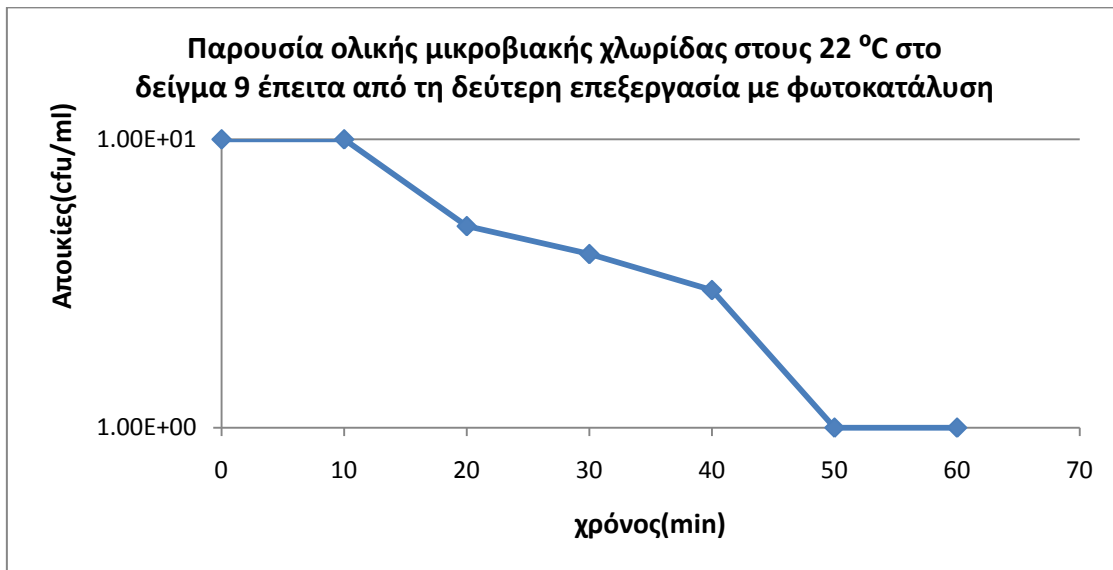
Διάγραμμα 37 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 7 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



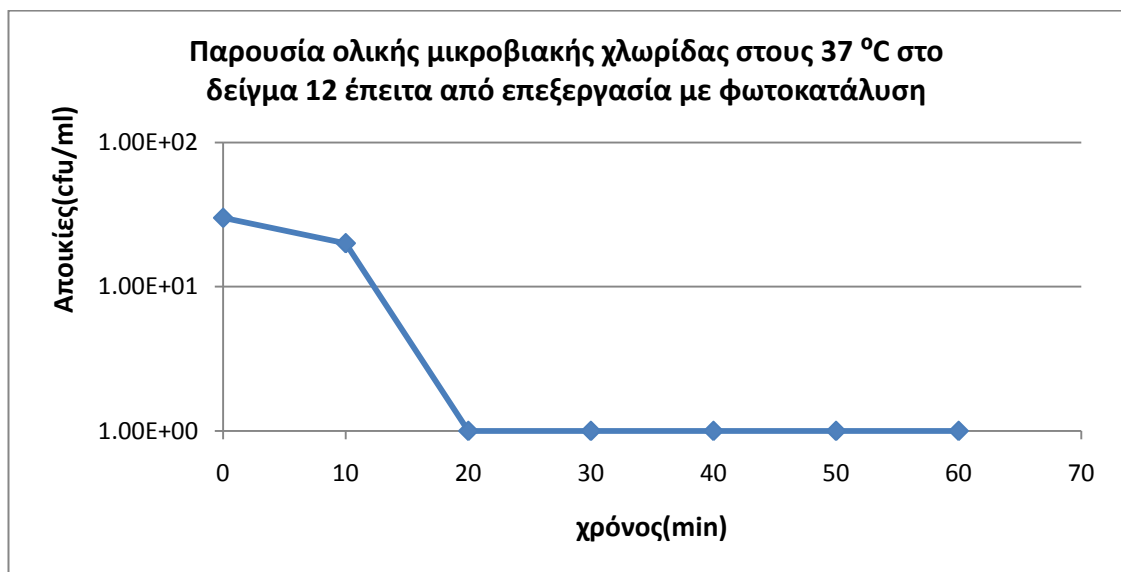
Διάγραμμα 38 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 8 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



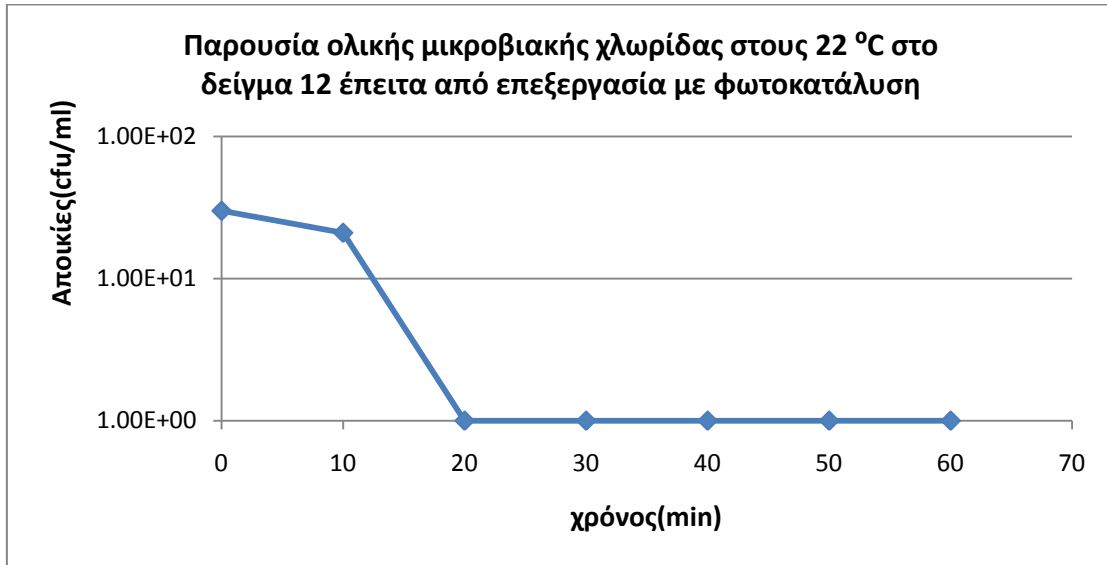
Διάγραμμα 39 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 9 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



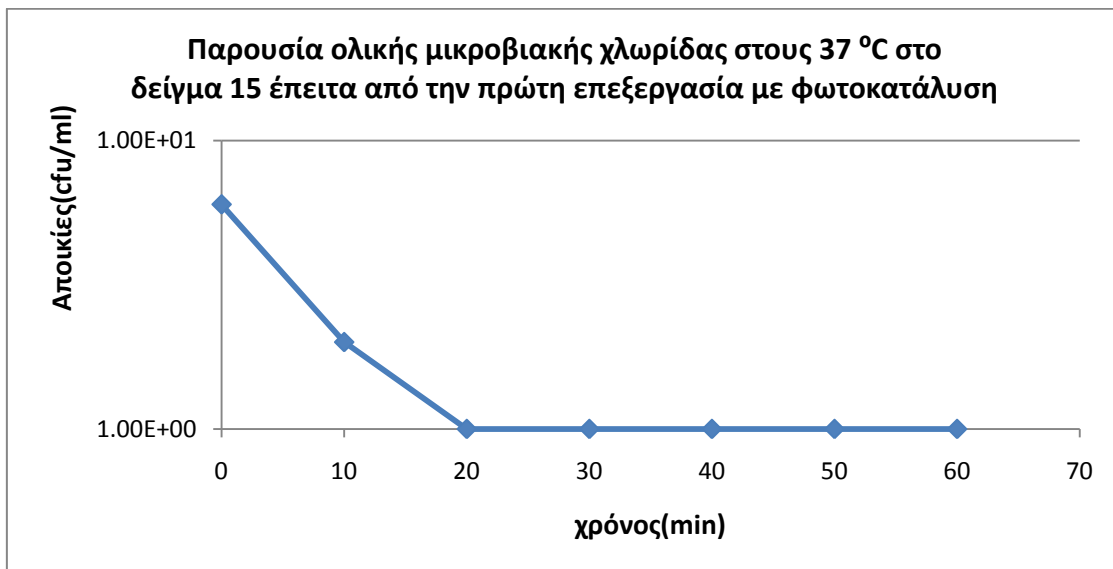
Διάγραμμα 40 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 ° C στο δείγμα 9 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



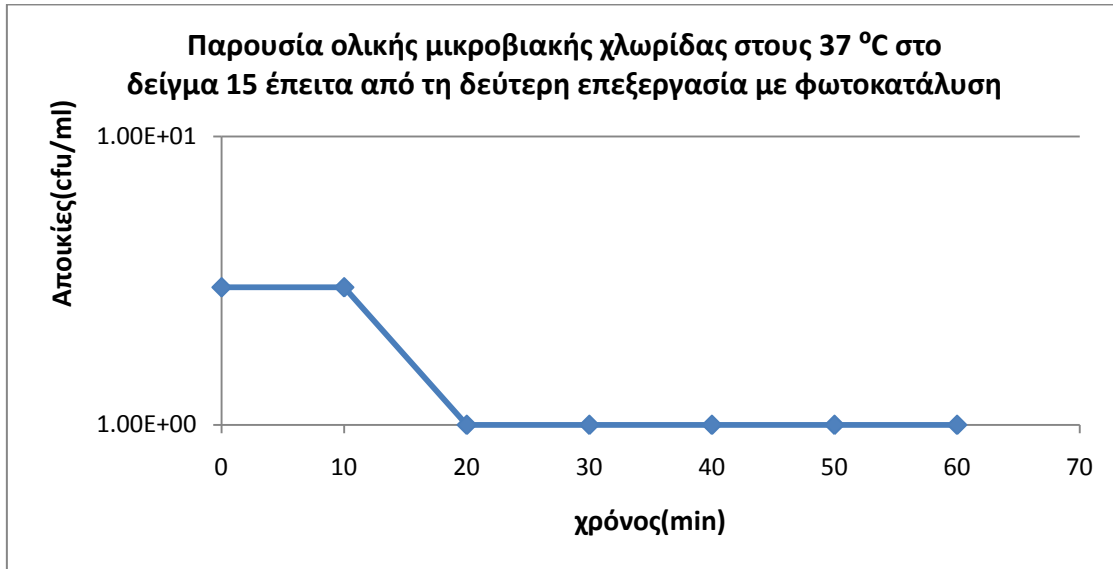
Διάγραμμα 41 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 ° C στο δείγμα 12 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



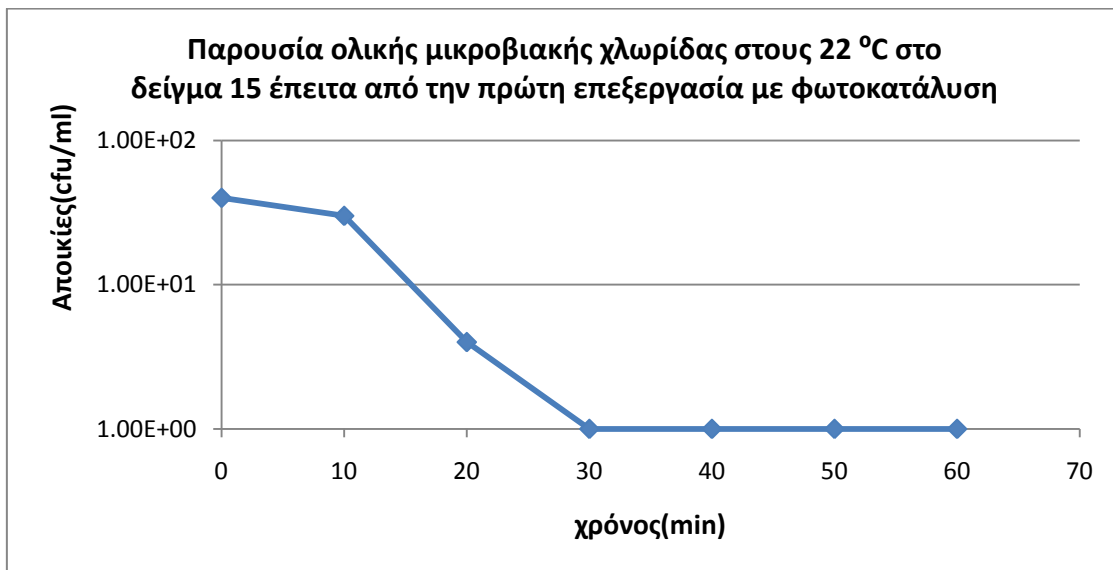
Διάγραμμα 42 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 12 έπειτα από επεξεργασία με φωτοκατάλυση



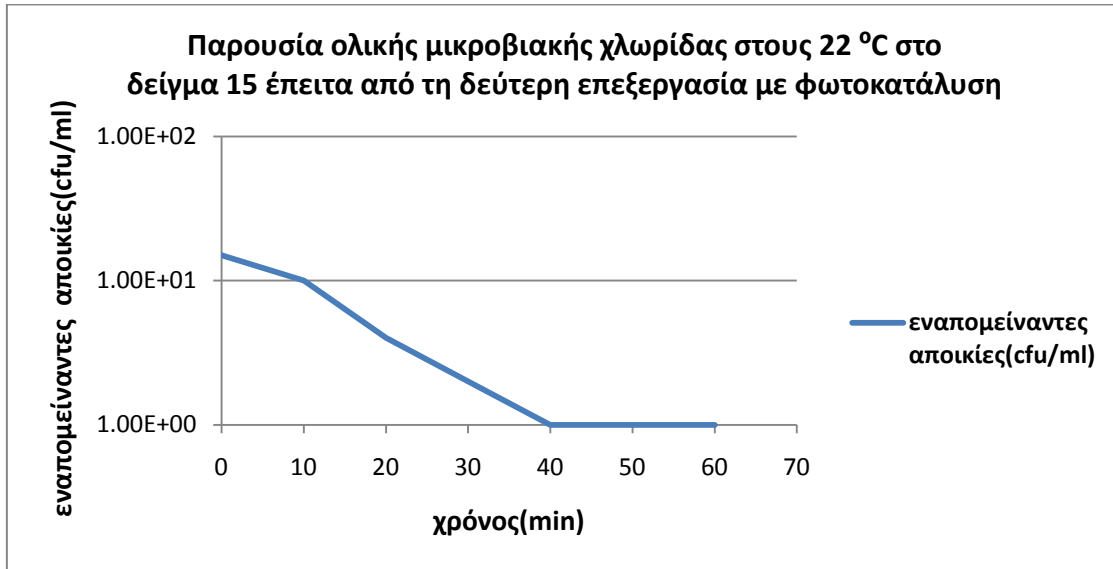
Διάγραμμα 43 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 15 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



Διάγραμμα 44 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 37 °C στο δείγμα 15 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



Διάγραμμα 45 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 15 έπειτα από την πρώτη επεξεργασία με φωτοκατάλυση



Διάγραμμα 46 : Παρουσία ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C στο δείγμα 15 έπειτα από τη δεύτερη επεξεργασία με φωτοκατάλυση

4.3.1 Συμπεράσματα για τα αποτελέσματα της ετερογενούς φωτοκατάλυσης στα δείγματα νερού

Μελετώντας τα αποτελέσματα της φωτοκατάλυσης στα δείγματα νερού του Δήμου Πλατανιά προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Η μέθοδος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης παρουσία καταλύτη TiO_2 , αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στην καταστροφή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα νερού. Στο 80% των δειγμάτων δεν ανιχνεύτηκε ολική μικροβιακή χλωρίδα είτε στους 37 °C είτε στους 22 °C στο τέλος ακτινοβόλησης. Ακόμα και στις περιπτώσεις που στο τέλος της διαδικασίας παρατηρήθηκαν αποικίες (δείγμα 4 και δείγμα 9), ο αριθμός αυτών είναι κατά πολύ μειωμένος σε σχέση με αυτόν πριν την ακτονοβόληση. Η μοναδική περίπτωση αύξησης του αριθμού των αποικιών είναι στο δείγμα 9, στις αποικίες ολικής μικροβιακής χλωρίδας στους 22 °C, γεγονός που πιθανώς οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα.

- Παρατηρείται επίσης ότι ο απαιτούμενος χρόνος δράσης της ετερογενούς φωτοκατάλυσης ως προς την καταστροφή των μικροοργανισμών είναι τα πρώτα δέκα ή τα πρώτα είκοσι λεπτά, ιδιαίτερα δηλαδή μικρό χρονικό διάστημα. Μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται αλματώδης μείωση του αριθμού των αποικιών, όπως για παράδειγμα στο δείγμα 1.
Ο χρόνος αυτός είναι αποτελεσματικός ως προς την καταστροφή της αυτοάμυνας και των μηχανισμών προστασίας των βακτηρίων, παρόλα αυτά η συνέχιση της ακτινοβολίας εξασφαλίζει τη συσσώρευση αυτής με σκοπό τη μονιμότερη βλάβη στα κύτταρα των μικροοργανισμών (A.K. Benabbou , Z. Derriche , C. Felix , P. Lejeune , C. Guillard b,2007).
- Ως προς την ποσότητα του καταλύτη, προκύπτει το συμπέρασμα ότι αν και χρησιμοποιήθηκαν μόνο 17,5 mg, είναι αρκετή για την πλήρη θανάτωση των μικροοργανισμών. Η αδρανοποίηση των βακτηρίων μπορεί να επιτευχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό με διάφορες συγκεντρώσεις TiO_2 , παρόλα αυτά η υπερβολική δόση καταλύτη δε συνεπάγεται ταυτόχρονη αύξηση της αποτελεσματικότητας. (A.K. Benabbou , Z. Derriche , C. Felix , P. Lejeune , C. Guillard b,2007). Αυτό οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους : πρώτον το γεγονός της ανάλωσης σημαντικού μέρους των παραγόμενων υδροξυλίων στην οξείδωση της υπάρχουσας οργανικής ουσίας και δεύτερον στο γεγονός ότι τα ίδια τα σωματίδια του καταλύτη δημιουργούσαν «σκίαση» εμποδίζοντας την απευθείας επίδραση της ακτινοβολίας στους μικροοργανισμούς (Dillert *et al.*, 1998).
- Η δράση της ετερογενούς φωτοκατάλυσης στοχεύει στην οξείδωση των οργανικών μορίων που συνθέτουν την κυτταρική μεμβράνη των παθογόνων μικροοργανισμών και κατά συνέπεια την καταστροφή της. Παράλληλα προκαλείται καταστροφή στο DNA των μικροοργανισμών το οποίο αφενός εμποδίζει τους μηχανισμούς επισκευής των μικροοργανισμών και αφέτερου δεν επιτρέπει την ακριβής μετάδοση γενετικών πληροφοριών από ένα κύτταρο στο άλλο, το κλειδί δηλαδή για την επιβίωση των οργανισμών (Rajeshwar P. Sinha and Donat-P. Häder ,2002). Βάσει των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, κρίνεται ότι η δράση της ετερογενούς φωτοκατάλυσης ως προς τα παραπάνω είναι αποτελεσματική.

Κεφάλαιο 5 : Συμπεράσματα – προτάσεις

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η επεξεργασία και η μελέτη αυτών οδηγούν στα εξής συμπεράσματα :

- Η μικροβιολογική ποιότητα του πόσιμου νερού του Δήμου Πλατανιά κρίνεται αρκετά καλή, όμως υπάρχουν δυνατότητες βελτίωσης της για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας.
- Η χλωρίωση ως μέθοδος απολύμανσης του πόσιμου νερού προσφέρει αποτελέσματα ως προς τους μικροοργανισμούς που προβλέπονται από τη νομοθεσία αλλά δεν καταστρέφει την ολική μικροβιακή χλωρίδα.
- Επιτακτική ανάγκη αποτελεί η σύνδεση όλων των χωριών και των οικισμών με τις δεξαμενές χλωρίωσης του Δήμου, για την αποφυγή υδατογενών λοιμώξεων που μπορεί να προκύψουν από την πόση ή την οικιακή χρήση ακατάλληλου νερού.
- Αναδεικνύεται η σημασία της ταυτοποίησης των μικροοργανισμών που ανιχνεύονται στα δείγματα νερού κατά τις μικροβιολογικές αναλύσεις, προκειμένου να αποκτάται σαφή και ακριβής εκτίμηση των ειδών των μικροοργανισμών.
- Η μέθοδος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης αποδεικνύεται αποτελεσματική ως προς τη θανάτωση των μικροοργανισμών του πόσιμου νερού. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δίνουν ενθαρρυντικά στοιχεία για τη χρήση της ετερογενούς φωτοκατάλυσης ως απολυμαντική μέθοδο για το πόσιμο νερό.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Βελονάκος Ε. Ν., Μικροβιολογική Ποιότητα Πόσιμου Νερού και Δημόσια Υγεία, Ε.Σ.Δ.Υ., 2001
2. Λέκκας Θ., Περιβαλλοντική Μηχανική Ι- Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, 1996
3. Μελίδης Π., Τεχνολογία Πόσιμου Νερού, Δ.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Ξάνθη 2001
4. Μήτρακας Μ., Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού, εκδόσεις Τζιόλα, 2001
5. Μπούφα Γ. Π., Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης Οδηγία 98/83ΕΟΚ, ΚΥΑ Υ2/2600/2001, Μικροβιολογικές Παράμετροι, ΚΕΔΥ, 2003
6. Παππά Γ., Υγειονομική Σημασία των Χημικών Παραμέτρων στο Πόσιμο Νερό. Ε.Σ.Δ.Υ., 2001
7. Παππάς Δ., Μελέτη Μικροβιολογικών χαρακτηριστικών Πόσιμου Νερού στη Νάουσα Ημαθίας.
8. Παταρέσκος Νίκος, Η Απολύμανση του πόσιμου νερού, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2006
9. Πούλιος Ι., “Προχωρημένες Οξειδωτικές Μέθοδοι Αντιρρύπανσης (Π.Ο.Μ.Α), Εργαστήριο Φυσικής Χημείας Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2004
10. Σκληβανιώτης Μ., Ποιότητα πόσιμου νερού, Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης-Αποχέτευσης Πάτρας, Πάτρα 2004
11. Σουλτάτου Ε., Εκτίμηση Επικινδυνότητας της ποιότητας του νερού του δικτύου ύδρευσης του Δήμου Ηρακλείου, του Νομού Ηρακλείου Κρήτης, 2008

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Askenaizer D., Drinking Water Quality and Treatment, Encyclopedia of Physical Science and Technology, 2004
2. A.K. Benabbou , Z. Derriche , C. Felix , P. Lejeune , C. Guillard, . Photocatalytic inactivation of Escherischia coli, Effect of concentration of TiO₂ and microorganism, nature, and intensity of UV irradiation, 2007
3. Bhattachande, D.S., Pangarkar, V.G and Beenackers, A.A.C.M. Photocatalytic degradation for environmental applications – a review. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2001
4. Bull, R.J., Gebra, C.P. and Trussell, R.R. Evaluation of the health risks associated with disinfection. Critical Reviews in Environmental Control, 1990
5. Corella-Barud, V. , Mena, K.D., Gibbs, S.G. , Gurian, P.L. , Barud, A., Evaluation of neighborhood treatment systems for potable water supply, International Journal of Environmental Health Research, 2009
6. Dilert, R., Siemon, U. and Bahnemann, D. Photocatalytic Disinfection of Municipal Wastewater. Chemical Engineering Technology, 1998
7. Glaze. Wh.H, Kang, H.W., and Chapin, H.D. The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, 1987.
8. Herrera Melian, J.A., Dona Rodriguez, J.M., Viera Suarez, A., Tello Rendon, E., Valdes do Campo, C., Arana, J. and Perez Pena, J. The photocatalytic disinfection of urban waste waters. Chemosphere, 2000
9. H.Leclerc, L. E.-C. *Mikrobal agents associated with waterborne diseases*. Critical Reviews in Microbiology, 2002
10. Kodama T, Gotoh K, Hiyoshi H, Morita M, Izutsu K, et al. Two Regulators of *Vibrio parahaemolyticus* Play Important Roles in Enterotoxicity by Controlling the Expression of Genes in the Vp-PAI Region, 2010
11. Mills A. and Le Hunte, S. An overview of semiconductor photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 1997
12. Morris R.D., Audet A-M., Angelillo IF., Chalmers T.C. and Mosteller F., Chlorination, Chlorination Byproducts and Cancer: A Meta-analysis, American Journal of Public Health, 1992
13. Nogueira, A., Cardoso, M. , Delgadillo, I. , Almeida, A., Evaluation of the microbiological quality of drinking water in the District of Bragança (Northwest Portugal) throughout a ten-year period (1996-2005), during the implementation of the 1998/83 EC Directive, Journal of Environmental Quality, 2010
14. Nokes, C.J., Fenton, E. and Randall, C.J. Modelling the Formation of Brominated Trihalomethanes in Chlorinated Drinking Waters, 1999

15. Ohatani, B., Okugawa, Y., Nishimoto, S. and Kagiya, T. Photocatalytic activity of TiO_2 powders suspended in aqueous silver nitrate solution: correlation with pH-dependent surface structures. *Journal of Physical Chemistry*, 1987
16. Peral, J., Domenech, X. and Ollis, D.F. Heterogeneous photocatalysis for purification, decontamination and deodorization of air. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 1997
17. Rajeshwar P. Sinha and Donat-P. Häder, UV-induced DNA damage and repair, 2002
18. Rosen B. *Waterborne Pathogens in Agricultural Watersheds*. US Department of Agricultural, Natural Resources Conservation Service, Watershed Science Institute, School of Natural Resources, University of Vermont, Burlington, Vermont, 2000
19. Watts, R.J., Kong, S., Orr, M.P., Miller, G.C. and Henry, B.E. Photocatalytic inactivation of coliform bacteria and viruses in secondary wastewater effluent, 1995
20. Z. Zin G, Jeng HW, Bradford H, Engle AJ, "Comparison of E. coli, enterococci, and fecal coliform as indicators for brackish water quality assessment", 2004

