

## COASTAL WATER POLLUTION FROM THE URBAN RUNOFF NETWORK IN CHANIA, GREECE

*Stavroulakis G., A. Kirkou, A. Bampala*

Department of Environmental & Natural Resources Engineering, Technological Educational Institute of Crete – School of Applied Sciences. PO Box 89, 73103 Chania E-mail: [gstav@chania.teicrete.gr](mailto:gstav@chania.teicrete.gr)

### ABSTRACT

The central urban runoff pipe outlet of the city of Chania is located in the west side of the city, on the coastal area of Koum Kapi, close to a beach used for swimming by the public. Throughout the 2012-14 period, water samples were collected from the central urban runoff pipe outlet, in the framework of ARCHIMEDES project. Seawater samples were also collected from the coastal area of Koum Kapi, 5m, 15m and 30m away from the urban runoff pipe outlet. During this research period, the total and fecal coliforms, *E. coli* and *enterococcus* were measured. The high level of the pollution load measured in the urban runoff pipe outlet, was reduced by 90-97% in a vertical distance of 5m from the pipe outlet and at 0.7m depth. A diffusion model - based on additional data obtained from pollution diffusion measurements at each side of the pipe - could support decision makers to prevent future coastal water pollution.

**Key words** : *coastal water, urban runoff, water pollution.*

\*Corresponding author: Stavroulakis George ([gstav@chania.teicrete.gr](mailto:gstav@chania.teicrete.gr))

## ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΓΩΓΟ ΟΜΒΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ

*Σταυρουλάκης Γ.\*, Κύρκου Αμ., Μπαμπάλα Αγγ.*

Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΤΕ, Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. ΤΘ 89, 73103 Χανιά, Ελλάδα.

### Περίληψη

Η εκροή του κεντρικού αγωγού όμβριων της πόλης των Χανίων βρίσκεται στην δυτική πλευρά της ακτής Κουμ-Καπί μεταξύ «κατά παράδοση» σημείων κολύμβησης κατοίκων της περιοχής και επισκεπτών της παλιάς πόλης. Την περίοδο 2012-2014, στα πλαίσια του υποέργου ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από την εκροή του αγωγού και την θαλάσσια περιοχή, σε διάφορες αποστάσεις από τον αγωγό. Προσδιορίστηκε η συγκέντρωση των μικροβιολογικών δεικτών: ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια, *E. coli*, και εντερόκοκκος. Το μικροβιολογικό φορτίο που αποβάλλεται μέσω του αγωγού είναι ιδιαίτερα σημαντικό αλλά η αραίωση που παρατηρήθηκε στην θαλάσσια περιοχή έφτασε στο 90-97% στην ισοβαθή 0,7 μ και σε απόσταση μεγαλύτερη των 5 μ από την έξοδο του αγωγού. Η εφαρμογή των αποτελεσμάτων σε κατάλληλο μοντέλο διάχυσης ρύπων μπορεί να αποτελέσει εργαλείο πρόβλεψης της επιβάρυνσης παράκτιων περιοχών από πρόθεση ή ατύχημα μέσω των αγωγών όμβριων.

**Λέξεις κλειδιά:** *παράκτια ύδατα, αγωγός όμβριων, μικροβιολογικό φορτίο, μόλυνση.*

\*Συγγραφέας επικοινωνίας : Σταυρουλάκης Γιώργος ([gstav@chania.teicrete.gr](mailto:gstav@chania.teicrete.gr))

### 1. Εισαγωγή

Οι αγωγοί όμβριων αστικών περιοχών συνδέονται συχνά με την επιβάρυνση των παράκτιων περιοχών εκφόρτισης και την υποβάθμιση της ποιότητας των νερών κολύμβησης της περιοχής καθώς

μπορούν να μεταφέρουν χημικό και βιολογικό ρυπογόνο φορτίο άγνωστης συγκέντρωσης (Parker *etal*, 2010, Jeng *etal*, 2005). Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην δημιουργία αυτού του ρυπογόνου φορτίου είναι, μεταξύ άλλων, η διάβρωση του εδάφους, τα ξεπλύματα των ακαθαρσιών των δρόμων, η συσσώρευση και το ξεπλύμα της ατμοσφαιρικής σκόνης και τα κατακρημνίσματα (Nazahiyah *etal*, 2007), με αποτέλεσμα να εντοπίζεται οργανικό φορτίο, βαρέα μέταλλα, θρεπτικά συστατικά, φυτοφάρμακα, λίπη, έλαια, υδρογονάνθρακες και βακτήρια (Gnecco *etal* 2005, Bedan *etal* 2009). Όσον αφορά το μικροβιολογικό φορτίο, αυτό αποτελεί σημαντικό ρύπο των αστικών απορροών καθώς συχνά συναντάται αρκετά μεγάλος αριθμός αποικιών παθογόνων μικροοργανισμών, μεταξύ των οποίων είναι και τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια, E.coli και εντερόκοκκος, (Jeng *etal*, 2005). Η παρουσία μικροβιολογικού φορτίου στις αστικές απορροές, τις καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία, αφού έχει αναφερθεί ότι ορισμένες φορές η συγκέντρωσή των μικροβιακών αποικιών μπορεί να φτάσει εκείνη των αποικιών που περιέχονται σε αραιωμένα ακατέργαστα απόβλητα (Qureshi *etal* 1979).

Η παρούσα μελέτη είχε σκοπό την εκτίμηση του ρυπογόνου φορτίου που μπορεί να μεταφερθεί μέσω του κεντρικού αγωγού όμβριων της πόλης των Χανίων στο σημείο εκφόρτισης του στην θαλάσσια περιοχή του Κουμ Καπί και του βαθμού επιβάρυνσης των νερών κολύμβησης στην περιοχή γύρω από το σημείο εκφόρτισης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν την διάχυση του μικροβιολογικού φορτίου καθώς βρέθηκε να έχει συνεχή παρουσία και υψηλή συγκέντρωση στα δείγματα που συγκεντρώθηκαν από την περιοχή μελέτης και ευνοεί την μελέτη του βαθμού μείωσης του ρυπογόνου φορτίου ανάλογα με την απόσταση από το σημείο εκφόρτισης.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

Η θαλάσσια περιοχή του κόλπου Κουμ Καπί βρίσκεται στο δυτικό άκρο της παλιάς πόλης των Χανίων και αποτελεί ανέκαθεν σημείο κολύμβησης για τους κατοίκους της περιοχής αλλά και τους επισκέπτες (Εικόνα 1 σημεία 2,3). Η διάβρωση της ακτής από τον συχνά έντονο κυματισμό αλλάζει την μορφή της παραλίας και δεν επιτρέπει την διατήρηση αμμώδους τμήματος σε όλο το μήκος της παραλίας παρά μόνο στο κεντρικό σημείο του κόλπου και σε απόσταση 500 μ περίπου νοτιότερα από το σημείο εκροής του αγωγού όμβριων (Εικόνα 1 σημείο 3). Η περιοχή έχει ανοικτό μέτωπο με τον κόλπο των Χανίων χωρίς εμπόδια ή έργα προστασίας από την manía των κυμάτων.

Ο αγωγός όμβριων υδάτων που εκβάλλει στην θαλάσσια περιοχή του Κουμ Καπί συγκεντρώνει τον μεγαλύτερο όγκο των αστικών απορροών της πόλης των Χανίων (Εικόνα 1 σημείο 1). Ο συνολικός όγκος των όμβριων υδάτων που μεταφέρονται ετησίως μέσω του συγκεκριμένου αγωγού υπολογίζονται, κατά μέσο όρο, στα  $350 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  με κατανομή που εξαρτάται άμεσα από το ετήσιο ύψος βροχής και την ένταση των καιρικών φαινομένων. Επιπλέον, μεγάλο μέρος της ξηρής περιόδου, εκτιμάται ότι απορρέουν περίπου  $60 \text{ m}^3$  ημερησίως, συχνά ιδιαίτερα υψηλού, ρυπογόνου φορτίου.

Την περίοδο μελέτης, Φεβρουάριος 2012 - Μάιος 2014, πραγματοποιήθηκαν 18 δειγματοληψίες νερού στο σημείο εκφόρτισης του κεντρικού αγωγού όμβριων της πόλης των Χανίων στην παραλία Κουμ-Καπί καθώς και σε σημεία της θαλάσσιας περιοχής σε συγκεκριμένες αποστάσεις από το σημείο εκροής του αγωγού (Εικόνα 1 σημείο 1). Αρχικά έγιναν δειγματοληψίες σε απόσταση 5 μ, 15 και 30μ από την έξοδο του αγωγού καθώς και 30μ δεξιά και αριστερά κάθε σημείου, ώστε να προσδιοριστεί η απόσταση στην οποία η αραιώση θα φτάνει πάνω από 90% του αρχικού φορτίου της εκροής. Επιλέχθηκε η απόσταση των 5 μ από τον αγωγό όμβριων και έγιναν οι δειγματοληψίες. Οι

καιρικές συνθήκες σε όλες τις δειγματοληψίες ήταν ήπιες με ύψος κύματος  $<0,5\mu$  και ένταση ανέμου 1-2Beaufort.

Τα δείγματα νερού μεταφερόταν με φορητό ψυγείο ( $4^{\circ}\text{C}$ ) στο Εργαστήριο για τον προσδιορισμό του μικροβιολογικού φορτίου (ΑΡΗΑ, 1998). Οι μικροβιολογικές αναλύσεις έγιναν με την μέθοδο της διήθησης νερού σε αποστειρωμένα φίλτρα κυτταρίνης 47mm/0.45por (Gelman GN 66191) και την επώαση τους σε κατάλληλα υποστρώματα (IDG, 2002). Για ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια χρησιμοποιήθηκε υπόστρωμα Membrane Lauryl Sulphate Broth (Lab M 82), για *E. coli* υπόστρωμα Harlequin TBGA (HAL 003) και για εντερόκοκκο Slanetz & Bartle Medium (LAB 166). Τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε θαλάμους επώασης  $37^{\circ}\text{C}$  ή  $44^{\circ}\text{C}$  αντίστοιχα για 24 ή 48. Μετά τον κατάλληλο χρόνο επώασης έγινε καταμέτρηση των αποικιών ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων, *E.coli* και εντεροκόκκων. Για να είναι εφικτή η καταμέτρηση των αποικιών στα δείγματα από την εκροή του αγωγού απαιτήθηκε αραιώση του δείγματος μέχρι και 1:1000.



**Εικόνα 1.** Η παραλία Κουμ Καπί. Η εκροή του αγωγού βρίσκεται στο σημείο 1. Τα σημεία κολύμβησης των κατοίκων της περιοχής είναι τα σημεία 2 και 3. Μπροστά από την εκροή του αγωγού (σημείο 1) φαίνεται το πλέγμα των σημείων δειγματοληψίας στα 5μ, 15μ, 30μ.

### 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Προκειμένου να προσδιοριστούν τα σημεία δειγματοληψίας στην θαλάσσια περιοχή εκροής του αγωγού έγιναν σειρές αναλύσεων δειγμάτων από διάφορες οριζόντιες και κάθετες αποστάσεις από την εκροή όπως προσδιορίζεται από το πλέγμα των γραμμών στην Εικόνα 1.

Η ανάλυση των δειγμάτων νερού από απόσταση 5 (βάθος 0,7μ), 15 (βάθος 1,0μ), και 30μ (βάθος 1,5μ), από την έξοδο του αγωγού (Πίνακας 1) έδειξε την μείωση των τιμών των μικροβιολογικών δεικτών κατά 98-99,5% σε απόσταση μεγαλύτερη των 5 μ. Με βάση αυτό το ποσοστό μείωσης επιλέχθηκε η απόσταση των 5 μ από την οποία λήφθηκαν δείγματα νερού καθ όλη την διάρκεια του έτους περιλαμβάνοντας υγρή και ξηρή περίοδο.

**Πίνακας 1. Μείωση του μικροβιολογικού φορτίου ανάλογα με την απόσταση από τον αγωγό όμβριων στηνθαλάσσια περιοχή Κουμ Καπί**

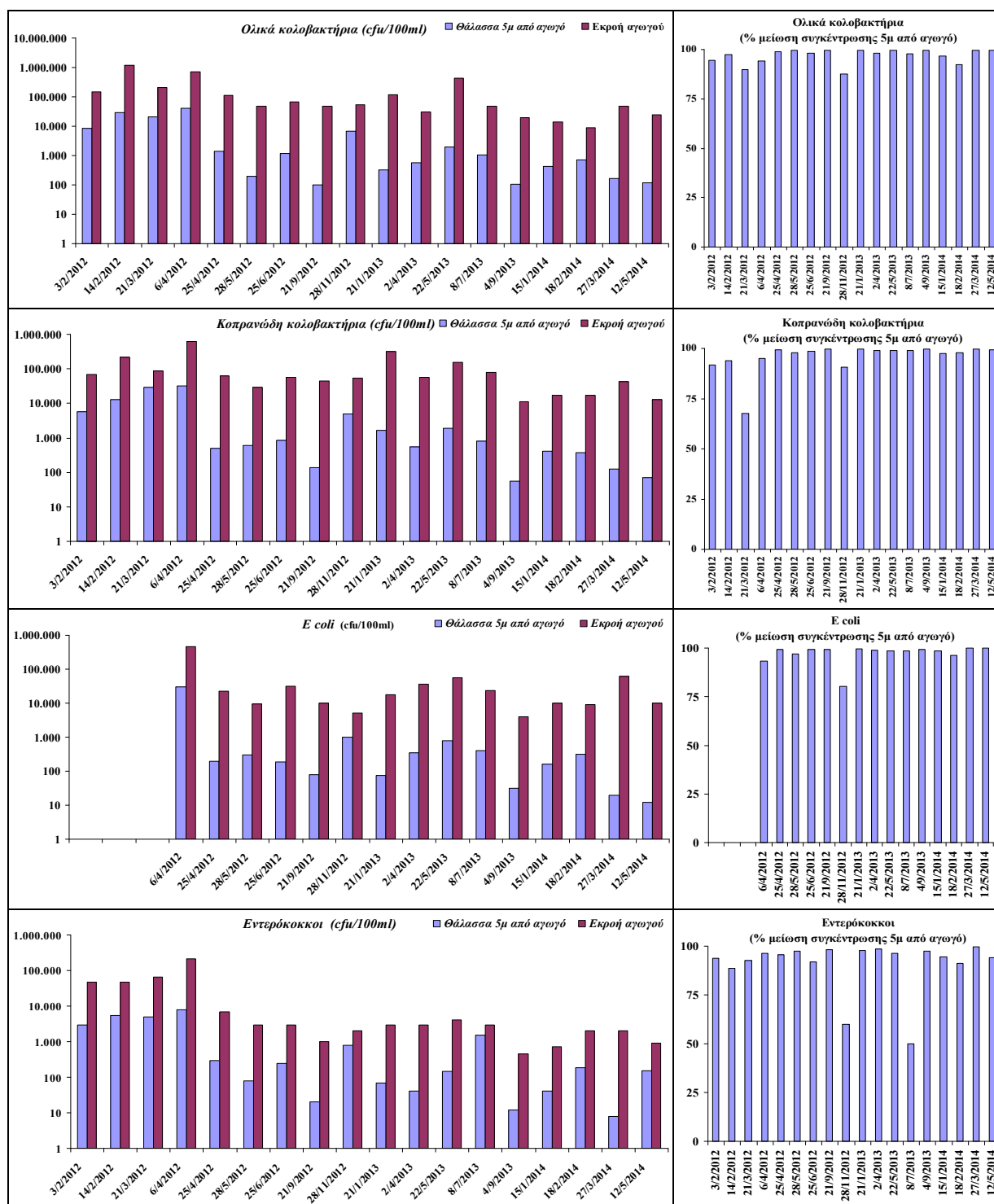
	Ολικά κολοβακτήρια	Κοπρανώδη κολοβακτήρια	E.coli	Εντερόκοκκοι
30 μ από εκροή αγωγού & 30 μ δεξιά	5	3	0	2
15 μ από εκροή αγωγού & 30 μ δεξιά	9	9	1	2
30 μ από εκροή αγωγού	7	2	1	2
15 μ από εκροή αγωγού	4	4	3	2
5 μ από εκροή αγωγού	204	678	52	144
Εκροή αγωγού	49.000	67.000	25.000	28.000
15 μ από εκροή αγωγού & 30 μ αριστερά	12	8	2	8
30 μ από εκροή αγωγού & 30 μ αριστερά	10	6	2	6

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στα δείγματα του αγωγού όμβριων υδάτων έδειξαν την υψηλή συγκέντρωση όλων των μικροβιολογικών δεικτών κατά την 3ετία υλοποίησης της έρευνας (Σχήμα 1). Η συγκέντρωση αποικιών για τα ολικά κολοβακτήρια κυμάνθηκε μεταξύ 9.000 – 1.200.000 cfu/100ml ενώ για τα κοπρανώδη κολοβακτήρια ήταν μεταξύ 11.000 - 630.000 cfu/100ml. Ανάλογα υψηλή ήταν και η συγκέντρωση αποικιών *E. coli* 4.000 – 460.000 cfu/100ml και εντεροκόκκου 450 – 217.000 cfu/100ml.

Το γεγονός ότι οι τιμές των δεικτών είναι ιδιαίτερα υψηλές, σε συνδυασμό με την συνεχή παρουσία του μικροβιολογικού φορτίου τόσο την υγρή όσο και την ξηρή περίοδο του έτους, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν είναι μόνο οι συνήθεις ρυπογόνες αιτίες όπως οι απορροές των δρόμων και η έκπλυση των ζωικών ακαθαρσιών (Nazahiyah *et al*, 2007) που δημιουργούν αυτό το αποτέλεσμα. Αναμένεται ότι υπάρχουν σημειακές εκφορτίσεις ρυπογόνου φορτίου είτε ατυχήματα λόγω βλαβών του κεντρικού δικτύου αστικών λυμάτων όπως συνέβη σε δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε σε διάφορα σημεία του αγωγού κατά μήκος της πόλης.

Η αραιώση του ρυπογόνου φορτίου στην παράκτια περιοχή και σε απόσταση 5 μ από την έξοδο του αγωγού παρότι κυμάνθηκε μεταξύ 90% και 97% ανάλογα με τον μικροβιολογικό δείκτη (Σχήμα 1), παραμένει όμως υψηλό για τα κριτήρια που αφορούν την ποιότητα των νερών κολύμβησης. Οι συγκεντρώσεις αποικιών ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων κυμάνθηκαν από 100 cfu/100ml έως 39.800 cfu/100ml και 72 cfu/100ml έως 32.600 cfu/100ml αντίστοιχα. Υψηλές επίσης ήταν οι συγκεντρώσεις αποικιών *E. coli* που κυμάνθηκαν από 12 cfu/100ml έως 30.00 cfu/100ml όπως και εντεροκόκκου που κυμάνθηκαν από 8 cfu/100ml έως 12.000 cfu/100ml. Λαμβάνοντας υπόψη τα ισχύοντα όρια των μικροβιολογικών δεικτών για τα νερά κολύμβησης (πχ εντερόκοκκος <100 cfu/100ml), οι τιμές που μετρήθηκαν αποτρέπουν κάθε τέτοια χρήση στην περιοχή του σημείου δειγματοληψίας. Η διάχυση όμως του ρυπογόνου φορτίου και η αραιώση του στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή ελαχιστοποιεί την συγκέντρωση των μικροβιολογικών δεικτών σε απόσταση μεγαλύτερη των 30 μ (Πίνακας 1). Η διάχυση αυτή του ρυπογόνου φορτίου είναι ιδιαίτερα σημαντική προς την αριστερή πλευρά (Εικόνα 1 σημείο 2) που χρησιμοποιείται και ως παραλία κολύμβησης από τους κατοίκους της περιοχής ενώ δεν φάνηκε να επηρεάζει την παραλία δεξιά του αγωγού η οποία απέχει 500 μ περίπου (Εικόνα 1 σημείο 3).





**Σχήμα 1.** Μεταβολή της συγκέντρωσης ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων, *E. coli* και εντεροκόκκων στο νερό του κεντρικού αγωγού όμβριων της πόλης των Χανίων και στην θάλασσα σε απόσταση 5 μ από τον αγωγό την περίοδο Φεβρουάριος 2012-Μάιος 2014.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων της έρευνας που πραγματοποιήθηκε σε διάστημα 3 ετών δημιουργούν ασφαλή χρονοσειρά δεδομένων που περιγράφουν το πρόβλημα της επιβάρυνσης των παράκτιων υδάτων από τους αγωγούς όμβριων υδάτων. Η εφαρμογή των δεδομένων που θα συγκεντρωθούν, μετά την ολοκλήρωση της μελέτης, σε μαθηματικό μοντέλο κίνησης του ρυπαντικού

φορτίου θα επιτρέψει την δημιουργία σεναρίων διαχείρισης έκτακτων καταστάσεων ρύπανσης. Όμως παραμένει απολύτως αναγκαία η συστηματική παρακολούθηση των δικτύων για τον έγκαιρο εντοπισμό και την επισκευή διαρροών που αποτελούν πηγή ρυπογόνου φορτίου που οδεύεται εύκολα μέσω των αγωγών όμβριων υδάτων προς την παράκτια ζώνη.

### **Ευχαριστίες**

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση", Πράξη Αρχιμήδης ΙΙΙ και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς 2007-2013).

### **Βιβλιογραφία.**

- APHA, (1998). Standard methods: for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> Edition, Washington DC.
- Bedan Erik S., John C. Clausen. (2009) Stormwater Runoff Quality and Quantity from Traditional and Low Impact Development Watersheds, Journal of the American Water Resources Association 45, (4)998-1008.
- Gnecco I., C. Berretta, L.G. Lanza, P. La Barbera, 2005, Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy, Atmospheric Research 77, 60– 73.
- Hueiwang A.C.J., A.J. Englande, R. M. Bakeer, H.B.Bradford. (2005). Impact of urban stormwater runoff on estuarine environmental quality. Estuarine, Coastal and Shelf Science 63, 513-526.
- IDG. (2002). The Microbiology Manual LAB M. pp 98.
- Nazahiyah R., Z. Yusop, I. Abustan. (2007) Stormwater quality and pollution loading from an urban residential catchment in Johor, Malaysia, Water Science and Technology 56(7) :1-9
- Parker J.K., D. McIntyre, R.T. Noble. (2010) Characterizing fecal contamination in stormwater runoff in coastal North Carolina, USA. [Water Research 44,4186-4194.](#)
- Qureshi A. A., Dutka B.J. (1979) Microbiological Studies on the Quality of Urban Stormwater Runoff in Southern Ontario, Canada, Water Research 13, 977-985.