



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

- *Θέμα: «Συσχέτιση της ρυπογόνου φόρτισης υδάτινων απορροών αυτοκινητοδρόμων με τον κυκλοφοριακό φόρτο».*

Επιβλέπων καθηγητής:

Καλογεράκης Νικόλαος, καθηγητής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης,

Μέλη Τριμελούς Επιτροπής:

Καλογεράκης Νικόλαος

Μανιός Θρασύβουλος

Μαντζαβίνος Διονύσης

Νηστικάκης Γεώργιος
Χανιά Ιούλιος 2008

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	1
Κεφάλαιο 1	5
Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 2	7
Θεωρητικό μέρος.....	7
2.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΡΡΟΗ ΕΘΝΙΚΩΝ ΟΔΩΝ	7
2.1.1 Εισαγωγή	7
2.1.2 Γενικά.....	8
2.1.3 Μορφές εναπόθεσης.....	8
2.1.3.α Υγρή εναπόθεση.....	9
2.1.3.β Ξηρή εναπόθεση	9
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ, ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ.....	10
2.2.1 Εισαγωγή	10
2.2.2 Γενικά.....	12
2.2.3 Σκοπός και πεδίο	13
2.2.4 Το Πρόβλημα	13
2.2.5 Στοιχεία βροχόπτωσης	15
2.2.6 Συχνότητα και διάρκεια μετρήσεων βροχόπτωσης	19
2.3 ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (ΡΑΗs).....	22
2.3.1 Γενικά.....	22
2.3.2 Η παρουσία των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων στο φυσικό περιβάλλον.	25
2.3.3 Οικοτοξικότητα των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων.....	27
2.4 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	27
2.4.1 Γενικά.....	27
2.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	31
2.5.1 Ανάλυση Παλινδρόμησης.....	31
2.5.2 Ιστορία της ανάλυσης παλινδρόμησης	32
Κεφάλαιο 3	35
Υλικά και μέθοδοι	35
3.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	35
3.1.1 Ασφάλεια	35
3.1.2 Μετρήσεις στο πεδίο ερεύνης	35
3.1.3 Δειγματοληψία και χειρισμός δειγμάτων	36

3.1.4 Ανάλυση των δειγμάτων	39
3.1.5 Διαχείριση δεδομένων	40
3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ	41
3.2.1 Επιλογή τοποθεσίας	41
3.2.2 Επιλογή σταθμού δειγματοληψίας Γαζίου	45
3.2.3 Επιλογή σταθμού δειγματοληψίας Χερσονήσου	45
3.2.4 Επιλογή σταθμού δειγματοληψίας στο ΤΕΙ Ηρακλείου.	46
3.3 ΔΕΙΓΜΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	46
3.3.1 Γενικά.....	46
3.3.2 Αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές	48
3.3.3 Δειγματοληπτικές συσκευές άντλησης	49
3.3.4 Διατάξεις δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν.....	49
3.3.5 Μέθοδοι μέτρησης βροχόπτωσης	51
3.3.6 Μέτρηση ροής ύδατος καταιγίδας.....	54
3.3.7 Σχετικά με την μέτρηση της βροχόπτωσης.....	56
3.3.8 Σύστημα δειγματοληψίας υδάτινων απορροών	56
3.3.9 Συλλογή δεδομένων ξηρής εναπόθεσης	59
3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	63
3.4.1 Προσδιορισμός ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών	64
3.4.2 Μέτρηση pH.....	64
3.4.3 Προσδιορισμός χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (ΧΑΟ - COD).....	64
3.4.4 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN)	65
3.4.5 Προσδιορισμός ολικού φωσφόρου (TP)	65
3.4.6 Προσδιορισμός NO ₃	65
3.4.7 Προσδιορισμός ΡΑΗ	66
3.4.7.1 Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) (Pecsok et al, 1980).....	66
Κεφάλαιο 4	68
Μετρήσεις – Αποτελέσματα	68
4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	68
4.1.1 Καταγραφέας δεδομένων κυκλοφορίας	68
4.1.2 Τοποθέτηση καταγραφέα στο οδικό δίκτυο	69
4.1.3 Μετρήσεις κυκλοφορίας σε αυτοκινητόδρομους	70
4.1.3.α Γάζι	70
4.1.3.β Χερσόνησος.....	72
4.1.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους.....	74
4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΩΝ	75
4.2.1 Μετεωρολογικά δεδομένα	75

4.2.2 Συλλογή υγρών δειγμάτων	77
4.2.3 Ξηρή εναπόθεση (Ξ.Ε.)	77
4.2.4 Μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων από εξατμίσεις	78
4.2.5 Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων.....	78
4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	91
4.3.1 Πολυπαραγοντική Ανάλυση Διακύμανσης (Multivariate Linear Regression)	91
4.3.2 Εκτίμηση και ρύθμιση του μοντέλου	100
Κεφάλαιο 5	103
Συζήτηση – Σχόλια.....	103
Συσχέτιση τιμών ρυπαντών με βιβλιογραφικά δεδομένα και συγκρίσεις επεισοδίων βροχόπτωσης.	103
Βιβλιογραφία.....	108

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η μη σημειακή ρύπανση έχει θεωρηθεί ως μια από τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης στις αναπτυγμένες αστικές περιοχές (Drapper et al, 2000 Ngabe et al, 2000). Η σύνθετη μεταφορά και ο μετασχηματισμός των μη σημειακών ρύπων είναι δύσκολο να αξιολογηθούν και να ελεγχθούν. Μεταξύ πολλών μη σημειακών πηγών ρύπανσης, ο δρόμος/η απορροή εθνικών οδών είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης. Η εναπόθεση στην επιφάνεια του δρόμου/ εθνική οδό περιέχει πολλούς τοξικούς μικρορυπαντές όπως τα βαριά μέταλλα και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες γνωστοί ως PAHs (Barbosa και Hvitved, 1999, Berbee et al., 1999). Τα δύο πιο επικρατούντα βαριά μέταλλα είναι ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος (Sartor et al, 1974).

Κατά τη διάρκεια της περιόδου με βροχοπτώσεις, οι μικρορυπαντές οι οποίοι έχουν κατατεθεί στην επιφάνεια ξεπλένονται και στραγγίζονται στο δίκτυο σωλήνων, τα οποία καταλήγουν τελικά στο υδρόβιο περιβάλλον. Όταν η κυκλοφορία είναι αυξημένη, οι αποθέσεις των τοξικών ρύπων είναι συνήθως σημαντικότερες από άλλους μη σημειακούς ρύπους όπως το άζωτο και ο φώσφορος. Κατά τη διάρκεια της απορροής, οι κατατεθειμένοι ρύποι ξεπλένονται συνήθως στο πρώτο στάδιο της απορροής. Ο αρχικός όγκος απορροών όπου η συγκέντρωση ρύπων είναι υψηλή είναι γνωστός ως «πρώτη εκροή (first flush)» (Gupta και Saul, 1996 Lee και λοιποί., 2002). Το φαινόμενο FF συσχετίζεται έντονα με τις συνθήκες του καιρού και των περιοχών. Πολυάριθμες προσπάθειες έχουν γίνει οι οποίες συνδέουν το FF με την ένταση βροχοπτώσεων, το ποσοστό ροής, την περιοχή σταθμό, ή την κλίση του οδοστρώματος, χρησιμοποιώντας τις στατιστικές αναλύσεις εμπειρικών παρατηρήσεων (Gupta και Saul, 1996 Deletic και Maksimovic, 1998 Cristina και Sansalone, 2003

Τις τελευταίες δεκαετίες πολλοί ερευνητές έχουν εστιάσει στους ρύπους απορροών δρόμων/εθνικών οδών (Sartor και Boyd, 1972 Hoffman και λοιποί., 1984 Krein και Schorer, 2000). Στην απορροή δρόμων/εθνικών οδών, τα αιωρούμενα στερεά (SS) θεωρούνται ως ένας από τους σημαντικότερους ρύπους δεδομένου ότι πολλοί μικρορυπαντές είναι συνδεδεμένοι

με αυτά (Barret et al, 1998, Wu et al, 1998, Shinya et al, 2000) και παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις PAHs στο πρώτο στάδιο της απορροής.

Η United States Environmental Protection Agency (US EPA) ανέπτυξε σε εθνικό επίπεδο το αστικό πρόγραμμα απορροών (Nationwide Urban Runoff Program NURP) για να επεκτείνει την γνώση της αστικής ρύπανσης απορροών από τη θέσπιση της συλλογής δεδομένων και εφάρμοσε ερευνητικά πρόγραμμα στις επιλεγμένες αστικές περιοχές σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες (Driscoll et al, 1990, ΗΠΑ EPA, 1994, 1995, 1996). Η ανακάλυψη ότι σημαντικές ποσότητες οργανικών ουσιών, θρεπτικών ουσιών, φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων, και βαρέων μετάλλων είναι παρούσες στην απορροή ανάγκασε τη US EPA να απαιτήσει τους αστικούς περιφερειακούς προγραμματισμούς, αντιπροσωπεΐες για να πραγματοποιήσει τις μελέτες προγραμματισμού ώστε να μειωθεί η ρύπανση από τις αστικοποιημένες περιοχές στο πλαίσιο της παραγράφου 208 των τροποποιήσεων στο νόμο Clean Water Act (EPA, 1994).

Οι πηγές των συστατικών ποιότητας νερού που βρίσκονται στην απορροή του νερού εθνικών οδών είναι ποικίλες και μπορούν να αποδοθούν σε: *απόθεση κυκλοφορίας* (π.χ., ένδυση ροδών, επενδύσεις φρένων, και διαρροή του πετρελαίου και των λιπαντικών), *πτώση σκόνης από το γύρω περιβάλλον* (η διακοπή της ασφάλτου ή/και των συγκεκριμένων επιφανειών), *διαδικασίες συντήρησης* (π.χ., εφαρμογή της αποπάγωσης των ενώσεων, των φυτοφαρμάκων και των ζιζανιοκτόνων), *ατυχήματα*, και *ρύπανση*.

Η απορροή των υδάτων καταιγίδας εθνικών οδών περιέχει τα πολυάριθμα συστατικά ποιότητας νερού μερικά των οποίων παράγονται από τη χρήση και την ύπαρξη του οδοστρώματος (π.χ., οδική κυκλοφορία, υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εθνικών οδών, ή πρακτικές συντήρησης), και μερικά που είναι αποτέλεσμα της περιβάλλουσας χρήσης γης (π.χ., λιπάσματα και ρύποι που συνδέονται με τις εμπορικές ζώνες) καθώς και μεταφερόμενα στην περιοχή εθνικών οδών από την ατμοσφαιρική απόθεση. Τα περισσότερα συστατικά συσχετίζονται με τους όγκους κυκλοφορίας (Asplund et al, 1982). Εντούτοις, ο Shaheen (1975) έχει δείξει ότι αν και συσχετίζονται λιγότερο από 5% ,πολλά από τα στερεά προέρχονται άμεσα από τα ίδια τα οχήματα. Επομένως, η οδική κυκλοφορία ενεργεί και ως δευτερεύουσα πηγή και μηχανισμός μεταφοράς για πολλά στερεά.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό μέρος

2.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΡΡΟΗ ΕΘΝΙΚΩΝ ΟΔΩΝ

2.1.1 Εισαγωγή

Η ατμόσφαιρα είναι η διάβαση από την οποία οι ανόργανες και οργανικές ενώσεις μεταφέρονται από τις πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους δέκτες στο έδαφος. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να καταταθούν τοπικά γύρω από τις πηγές, όταν συνδέονται με μεγάλα μόρια, ή σε περιοχές μακριά που αφαιρούνται από την πηγή, όταν συνδέονται με μικρά μόρια ή μέρος ατμού (Majewski και Capel, 1995).

Εκτός από τη λήψη των συστατικών από την ατμόσφαιρα, οι εθνικοί οδοί, και η κυκλοφορία εθνικών οδών συμβάλλουν τα συστατικά στην ατμόσφαιρα. Τα μηχανοκίνητα οχήματα αναγνωρίζονται ως σημαντική πηγή ρυπαντικών εκπομπών στην ατμόσφαιρα και έχουν ουσιαστική επίδραση στον αέρα και την ποιότητα νερού (Moe et al, 1982 , Ellis et al, 1987). Οι εκπομπές οχημάτων όπως των αεριοδών οξειδίων του αζώτου (N), του μονοξειδίου του άνθρακα, των ιχνών μετάλλων , και των οργανικών ενώσεων συμβάλλουν ουσιαστικά στην ρύπανση της ατμόσφαιρας (Harrison και Johnston, 1985).

Εκτιμώντας ότι οι αεριώδεις ρύποι που εκπέμπονται από τα οχήματα είναι γρήγορα και ευρέως διασκορπισμένοι στην ατμόσφαιρα, δεν αφήνει κανένα μόνιμο αρχείο κοντά στο δρόμο, μια μερίδα των μοριακών εκπομπών από τα οχήματα κατατίθεται τοπικά, με συνέπεια τη μόλυνση της βλάστησης παραπλεύρως του δρόμου, στα χώματα, και στα επιφανειακά νερά (Harrison και Johnston, 1985), και σε μερικές περιπτώσεις, στο επίγειο νερό. Επιπλέον, τα μόρια μπορούν να προέλθουν από το ίδιο το όχημα, όπως από την τριβή των φρένων και τις ρόδες (Shaheen και Boyd, 1975, Ward, 1990).

2.1.2 Γενικά

Η ατμοσφαιρική εναπόθεση και οι διαδικασίες της αποδίδονται στην αλλαγή της ατμοσφαιρικής σύστασης σε σχέση με τις επιφάνειες εθνικών οδών και των απορροών που έχουν εκτιμηθεί σε εθνικό επίπεδο. Η υγρή εναπόθεση ελέγχεται ευκολότερα από την ξηρή, και τα δεδομένα όσον αφορά την υγρή εναπόθεση είναι διαθέσιμα για σημαντικά στοιχεία, καθώς επίσης και οι ιδιότητες του νερού (συστατικά που έχουν επιπτώσεις στην όξινη εναπόθεση) από το inter-agency National Atmospheric Deposition Program/ National Trends Network (NADP/NTN).

Πολλά ιχνοστοιχεία (μέταλλα και οργανικές ενώσεις) ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τα φορτία απορροών εθνικών οδών, εντούτοις, δεν συμπεριλαμβάνονται στο NADP/NTN.

Στην ξηρή εναπόθεση, η οποία αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της συνολικής ατμοσφαιρικής εναπόθεσης για πολλά συστατικά στην εθνική οδό, τα φορτία απορροών είναι δύσκολο να ελεγχτούν με ακρίβεια.

Οι δείκτες της ξηρής εναπόθεσης δεν είναι ευρέως διαθέσιμοι.

Πολλές από τις έρευνες απορροών εθνικών οδών που έχουν εξεταστεί όσον αφορά την ατμοσφαιρική εναπόθεση, οι πηγές τους είχαν ελλιπή σχέδια ή είχαν προβλήματα με τη μεθοδολογία.

Μερικά αποτελέσματα μπορούν να είναι ανακριβή λόγω των μεταβαλλόμενων ατμοσφαιρικών εκπομπών που λαμβάνουν χώρα στη συλλογή δεδομένων.

Σε καμία από τις έρευνες δεν χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι οι οποίες θα μπορούσαν ακριβώς να ποσολογήσουν το μέρος από το φορτίο απορροών εθνικών οδών.

Έλλειψη πληροφοριών για τα ακριβή περιβαλλοντικά ποσοστά απόθεσης και τα φορτία απορροών ήταν μέρος του προβλήματος.

2.1.3 Μορφές εναπόθεσης

Η ατμοσφαιρική εναπόθεση ορίζεται ως στερεό, υγρό, και αέριο που κατατίθενται από ατμοσφαιρικές διαδικασίες (Bricker και Rice, 1993). Η ατμοσφαιρική εναπόθεση μπορεί να διαιρεθεί σε 2 κατηγορίες:

Αυτή που περιλαμβάνει την πτώση, αποκαλούμενη υγρή εναπόθεση (βροχή, χιονόνερο, χιόνι), και η εναπόθεση που δεν περιλαμβάνει την πτώση, και καλείται ξηρή εναπόθεση (σκόνη και αερολύματα).

Η αφαίρεση των ρυπαντικών παραγόντων από την ατμόσφαιρα από ομίχλη, υδρονέφωση, και καταχνιά μπορεί να ταξινομηθεί κάπου μεταξύ της υγρής και ξηρής απόθεσης, αλλά είναι

περισσότερο συνδεδεμένη με την ξηρή απόθεση (Majewski και Capel, 1995). Αυτοί οι τύποι ατμοσφαιρικών αποθέσεων είναι μερικές φορές ανεξήγητοι (Stensland et al, 1986).

2.1.3.α Υγρή εναπόθεση

Οι δύο σημαντικές διαδικασίες που εισάγουν τους ατμοσφαιρικούς ρυπαντικούς παράγοντες στην υγρή εναπόθεση είναι το **rainout** και το **washout**. Rainout είναι μια διαδικασία που εμφανίζεται στα σύννεφα και προκαλεί το σχηματισμό των σταγονιδίων νερού στο ρύπο από τη συμπύκνωση, το σχηματισμό φύτρων, ή τη διάλυση αερίου. Οι ρύποι έπειτα αφαιρούνται από την ατμόσφαιρα από τις βροχοπτώσεις. Η washout είναι η διαδικασία στην οποία η μειωμένη πτώση σαρώνει τα αερομεταφερόμενα μόρια και τα αερολύματα μεταξύ της βάσης σύννεφων και του εδάφους. Γενικά, η rainout είναι ένας αποτελεσματικότερος μηχανισμός αφαίρεσης σε σχέση με την washout. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να εμφανιστούν συνεχώς κατά τη διάρκεια της υγρής εναπόθεσης επειδή οι περισσότερες καταιγίδες παράγουν τα μεταφερόμενα ρεύματα αέρα τα οποία προσθέτουν μεγάλες μάζες αέρα στα σύννεφα (Schroder και Hedley, 1986). Η πορεία μιας καταιγίδας μπορεί να έχει μια ουσιαστική επίδραση στη χημεία της υγρής εναπόθεσης που μεταφέρεται από τη καταιγίδα και μπορεί να είναι μια μεγάλη πηγή μεταβλητότητας στις μετρίου σημασίας συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στην μελέτη της απορροής (Driscoll et al, 1990a Gay και Melching, 1995).

2.1.3.β Ξηρή εναπόθεση

Η ξηρή εναπόθεση παρέχει έναν ουσιαστικό μηχανισμό για την αφαίρεση των ρύπων από την ατμόσφαιρα και αντιπροσωπεύει μια μεγαλύτερη ροή εναπόθεσης πολλών ρυπαντικών παραγόντων σε σχέση με τη υγρή εναπόθεση (Kobriger, 1984 Harned, 1988). Τα στερεά, οι θρεπτικές ουσίες, τα ίχνη από μέταλλα, και οι οργανικές ενώσεις μπορούν να συμβάλουν στις επιφάνειες εθνικών οδών ως ξηρή εναπόθεση από πηγές υποβάθρου και ρύπανσης (Sartor et al, 1972 Gupta et al, 1981).

Ο Gupta et al (1981) ανέφεραν ότι τα χαρακτηριστικά μηνιαία φορτία ανέμου που καταλήγουν στους αυτοκινητοδρόμους σε μεγάλες πόλεις στις Ηνωμένες Πολιτείες κυμαίνονται από 2.600 έως 26.000 kg/km².

Τα ατμοσφαιρικά υλικά που συμβάλλουν στην ξηρή εναπόθεση περιλαμβάνουν τα κατατεθειμένα μόρια, τα αερολύματα, τα αέρια, και τους ατμούς. Τα ποσοστά ξηρής εναπόθεσης εξαρτώνται από το μέγεθος, την περιοχή επιφάνειας, και τη μάζα του μορίου

(Legge, 1990). Τα μεγαλύτερα αερομεταφερόμενα μόρια (μεγαλύτερα από 2.5 μm) προέρχονται από τις φυσικές πηγές της τριβής των μηχανών καθώς και της διάβρωσης αέρα. Αυτά τα μόρια αφαιρούνται από τον αέρα συνήθως με την ξηρή εναπόθεση (Holsen και Noll, 1992)

Τα μικρότερα μόρια (από 0.1 έως 2.5 μm) προκύπτουν από τις διαδικασίες πήξης και την αρχική απόθεση μορίων αερολύματος. Τα μικρότερα μόρια (λιγότερο από 0.1 μm) είναι το αποτέλεσμα των δευτεροβάθμιων προϊόντων της εκπομπής ατμοσφαιρικής ρύπανσης και απομακρύνονται συνήθως με την πήξη των μορίων (Holsen και Noll, 1992).

Η εναπόθεση των αερίων είναι μέρος της ξηρής εναπόθεσης και εμφανίζεται από την προσρόφηση στη βλάστηση, το χώμα, και άλλες επιφάνειες. Η μεταφορά των αερίων αυξάνεται από την αναταραχή και την τραχύτητα της επιφάνειας, η οποία μπορεί να μεταφέρει το υλικό μέσω του στρώματος ορίου δίπλα στις επιφάνειες εναπόθεσης (Hicks et al, 1991). Η ξηρή εναπόθεση των αερίων επάνω στις επιφάνειες εθνικών οδών δεν έχει τυπικά ερευνηθεί.

Εκτιμώντας ότι η μέτρηση της υγρής εναπόθεσης από την ανάλυση του νερού που συλλέγεται σε έναν κατάλληλα κατασκευασμένο κάδο είναι σχετικά απλή, η συλλογή της ξηρής εναπόθεσης είναι σύνθετη επειδή η συγκεκριμένη εναπόθεση εξαρτάται από διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης επιφάνειας συλλογής.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΛΛΟΓΗ, ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ.

2.2.1 Εισαγωγή

Τα ακριβή και αντιπροσωπευτικά στοιχεία βροχόπτωσης και ροής υδάτων καταιγίδας είναι βασικά εάν θέλουμε να εξάγουμε έγκυρες, πραγματικές, και τεχνικά υποστηρίξιμες ερμηνείες μέσω των αποτελεσμάτων μελέτης εθνικών οδών ή αστικών-απορροών. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να διαθέτουμε αποτελέσματα από διαφορετικές ακριβείς και αντιπροσωπευτικές μελέτες προκειμένου να αναπτύξουμε μια περιφερειακή ή εθνική σύνθεση με όλα τα στοιχεία απορροής υδάτων από καταιγίδες. Η λήψη τέτοιων στοιχείων δεν είναι ένα τετριμμένο θέμα επειδή το περιβάλλον ελέγχου μιας καταιγίδας είναι εξαιρετικά σύνθετο.

Τα ποικίλα και διάφορα είδη βροχοπτώσεων οδηγούν σε απορροές, βασικές συγκεντρώσεις και βασικά φορτία, τα οποία ποικίλλουν αρκετά εν μέσω όλων των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε μία καταιγίδα (Harrison and Wilson, 1985; Hoffmann et al, 1985; Irish et

al, 1996). Τα διαφορετικά αρχικά δεδομένα, οι διαφορετικοί όγκοι και οι διαφορετικές διάρκειες των καταιγίδων, ως επίσης και τα διαφορετικά είδη έντασης και βροχόπτωσης καθιστούν κάθε καταιγίδα ένα μοναδικό γεγονός. Αυτές οι διαφορές μπορούν να προκαλέσουν τις ποικίλες παραλλαγές στο μέσο όρο των γεγονότων συγκεντρώσεων (EMCs) και στα συνολικά αρχικά φορτία που καταγράφονται σε κάθε καταιγίδα (Driscoll et al, 1990a; Irish et al, 1996). Τα μοντέλα που περιγράφουν τα αρχικά φορτία των εθνικών οδών και των αστικών απορροών δεν θα έχουν ποσοτική αξία χωρίς λεπτομερή χαρακτηρισμό των σύνθετων φυσικών και υδροχημικών διαδικασιών που καθορίζουν την αρχική συσσώρευση και την μετέπειτα απελευθέρωση (Spangberg and Niemczynowicz, 1992). Η γνώση των παραλλαγών όσον αφορά την ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης και των επακόλουθων αποτελεσμάτων στις υδάτινες απορροές, τις μολυσματικές συγκεντρώσεις και τα μολυσματικά φορτία είναι απαραίτητη προκειμένου να χαρακτηρίσουμε την απορροή των υδάτων καταιγίδας από τις εθνικές οδούς, τις αστικές περιοχές και άλλες περιοχές που συμβάλλουν στη ρύπανση κατά τη αποδοχή των όγκων νερού. Το ποσό ενέργειας που είναι διαθέσιμο για να κινητοποιήσει και να μεταφέρει τα διαλυμένα και ανασταλμένα συστατικά είναι μια από τις λειτουργίες που είναι αποτέλεσμα της έντασης της βροχόπτωσης. Μια δεκαπλάσια αύξηση στην ένταση θα αυξήσει την κινητική ενέργεια των βροχοπτώσεων περίπου 15 φορές (Smith, 1993). Η μέση ένταση της καταιγίδας και η συνολική ροή υδάτων ανά περιοχή ήταν οι ο πιο στατιστικά σημαντικές ενδείξεις σε κάθε απορροή εθνικής οδού, σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη μέτρησης απορροής υδάτων εθνικών οδών που περιέλαβε έναν προσομοιωτή βροχοπτώσεων και φυσικών καταιγίδων (Irish et al, 1996).

Η ακριβής μέτρηση της έντασης και της διάρκειας κάθε βροχόπτωσης και η επακόλουθη συνολική ένταση της καταιγίδας είναι σημαντικά στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ποσοτικοποιηθεί η μαζική μολυσματική ένταση ως επίσης και οι επιδράσεις της πάνω στην κατερχόμενη ποσότητα νερού (Thoman and Mueller, 1987; Irish et al, 1996). Ο χαρακτηρισμός της έντασης της καταιγίδας και η διάρκειά της είναι επίσης σημαντικά στοιχεία της διαδικασίας ελέγχου, επειδή η ακρίβεια υπολογισμού του χρόνου και της ποσότητας εξαρτώνται από την ακριβή μέτρηση της ροής (USEPA, 1992). Επίσης, επειδή οι αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως σε καταιγίδες και εξυπηρετούν μελέτες, έχουν έναν σταθερό όγκο για τη συλλογή δειγμάτων, είναι δύσκολο να ταιριάζουμε τη συχνότητα και τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας με τις παραλλαγές στην ένταση και τη διάρκεια των υπό εξέταση καταιγίδων, προκειμένου να βελτιώσουμε τον σχεδιασμό των δειγματοληψιών. Η ερμηνεία των στοιχείων εξαρτάται επίσης από τη γνώση της έντασης και της διάρκειας της βροχόπτωσης και της επακόλουθης απορροής, επειδή ο

υπολογισμός των φορτίων και του EMCs (που υπολογίστηκε από άλλα δείγματα, είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα) εξαρτώνται από την ακρίβεια της βροχόπτωσης και (ή) των μετρήσεων απορροής.

2.2.2 Γενικά

Τα ακριβή και αντιπροσωπευτικά στοιχεία υδάτινων απορροών και μέτρησης βροχοπτώσεων είναι απόλυτα χρηστικά σε μελέτες και προκειμένου να υπολογιστούν αποτελέσματα εθνικών οδών ή αστικών απορροών, είτε χωριστά είτε σε μια περιφερειακή είτε εθνική σύνθεση υδάτινων απορροών. Εξίσου σημαντικές είναι οι πληροφορίες για το επίπεδο ακρίβειας και την αντιπροσωπευτικότητα της βροχόπτωσης και των στοιχείων υδάτινων απορροών. Οι ακριβείς και αντιπροσωπευτικές μετρήσεις της βροχόπτωσης και των υδάτινων απορροών, εντούτοις, είναι δύσκολο να ληφθούν λόγω της μεταβαλλόμενης και με εξαιρετικά γρήγορους ρυθμούς χωρικής και χρονικής διανομής της βροχόπτωσης και της ροής νερού κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Πρέπει να εξεταστούν πολλοί υδρολογικοί και υδραυλικοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να πληρούν τα εξής: να γίνει η επιλογή των περιοχών για τη μέτρηση της βροχόπτωσης και των υδάτινων απορροών, οι οποίες (περιοχές) θα παράσχουν δεδομένα τα οποία θα επαρκούν για τους στόχους και τους σκοπούς της μελέτης, για τον καθορισμό της συχνότητας και της διάρκειας της συλλογής δεδομένων, και προκειμένου να μετρηθούν οι άμεσα μεταβαλλόμενες υδάτινες απορροές, καθώς και για την επιλογή των μεθόδων που θα παράγουν τα ακριβή στοιχεία εξετάζοντας μια μεγάλης έκτασης και έντασης βροχόπτωση και τις υδάτινες απορροές της. Για να εξασφαλίσει ότι η ακρίβεια και η αντιπροσωπευτικότητα των στοιχείων βροχόπτωσης και απορροής νερού καταιγίδας μπορούν να αξιολογηθούν, θα πρέπει να ληφθούν αποφάσεις ως προς (1) σε ποιο σημείο στο σύστημα αποξήρανσης να μετρηθεί η βροχόπτωση και η απορροή των υδάτων, (2) πόσο συχνά θα μετράται η βροχόπτωση και οι υδάτινες απορροές, (3) ποιες μέθοδοι θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να μετρηθεί η βροχόπτωση και οι υδάτινες απορροές, και (4) πάνω σε ποια βάση λαμβάνονται αυτές οι αποφάσεις. Όλα τα παραπάνω δεδομένα, πρέπει όλα να τεκμηριωθούν και να ανακοινωθούν στους ενδιαφερόμενους μέσω ενός προσιτού σχήματος, όπως μία επίσημη περιγραφή / καταγραφή του προγράμματος, μία έκθεση δεδομένων ή σε ένα παράρτημα της τεχνικής έκθεσης και/ή να αρχειοθετηθούν σε επίσημο αρχείο του κράτους ή σε κάποιο εθνικό κέντρο αρχειοθέτησης.

Πρέπει να εγκαθιδρυθεί ένα πρόγραμμα εξασφάλισης ποιότητας/ποιοτικού ελέγχου προκειμένου να είναι βέβαιο ότι αυτές οι πληροφορίες είναι τεκμηριωμένες και ότι οι

αποφάσεις που λαμβάνονται στη φάση του σχεδιασμού μιας μελέτης αναθεωρούνται συνεχώς, και εκ των έσω και εξωτερικά, καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Χωρίς τα υποστηρικτικά στοιχεία που απαιτούνται για να αξιολογήσουν την ακρίβεια και την αντιπροσωπευτικότητα της μέτρησης βροχόπτωσης και των μετρήσεων ροής των υδάτων καταιγίδας, τα συλλεγόμενα στοιχεία και οι ερμηνείες που δίνονται μπορεί στο τέλος να μην έχουν απολύτως τίποτα να προσφέρουν στην έρευνα.

2.2.3 Σκοπός και πεδίο

Ο σκοπός αυτής της έκθεσης είναι να παρουσιαστούν οι βασικές προϋποθέσεις για τη συλλογή ακριβών και αντιπροσωπευτικών μετρήσεων βροχόπτωσης και απορροής υδάτων καταιγίδας καθώς και όλων των υποστηρικτικών στοιχείων που πρέπει να τεκμηριωθούν και να εξεταστούν προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι αυτά τα στοιχεία μπορούν να επικυρωθούν ανεξάρτητα. Τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό ακριβών και αντιπροσωπευτικών δεδομένων βροχόπτωσης και απορροής υδάτων καταιγίδας καθώς και όλων των μετρήσεων αξιολογούνται μέσα στο πλαίσιο της οικοδόμησης μιας ποσοτικής εθνικής βάσης δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί για να καταγράψει και να προβλέψει τη ρύπανση των απορροών εθνικών οδών. (Granato et al, 1998).

2.2.4 Το Πρόβλημα

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να λάβουμε ακριβείς και αντιπροσωπευτικές μετρήσεις βροχοπτώσεων και υδάτινων απορροών λόγω των ταχύτατα μεταβαλλόμενων ρυθμών χωρικής και χρονικής διανομής της βροχόπτωσης στο σύστημα αποξηράνσεων και των επίσης ταχύτατα μεταβαλλόμενων ρυθμών ροής κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας.

Η ποιότητα της πτώσης και των μετρήσεων απορροής υδάτων κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, όπως παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία, είναι δύσκολο να αξιολογηθούν χωρίς τα απαιτούμενα ενισχυτικά στοιχεία προκειμένου να αξιολογήσουμε την ακρίβεια και την αντιπροσωπευτικότητά τους. Οι ακριβείς μετρήσεις της βροχόπτωσης γίνονται ακόμη πιο δύσκολες όταν συνδυάζονται με την ανεύρεση μιας αντιπροσωπευτικής περιοχής, τη δυνατότητα των οργάνων να καταγράφουν δεδομένα ενός ευρύ φάσματος εντάσεων βροχοπτώσεων, να μεταβάλλονται χωρικά και χρονικά τα δεδομένα, ως επίσης να λαμβάνεται υπόψη η αξιοπιστία των οργάνων μέτρησης και καταγραφής, σε συνδυασμό με όλα τα

προβλήματα που τυχόν επιφέρει ο πάγος στα μέρη της μέτρησης, όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι φυσικές και λογιστικές περιπλοκές έχουν επιπλέον επιπτώσεις στην ποιότητα των μετρήσεων της απορροής υδάτων καταιγίδας. Τα ποσοστά υδάτων καταιγίδας μπορούν να κυμανθούν πέρα από το σύνηθες μέγεθος ακόμα και μέσα σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα ροής (σταθερή ή ασταθής ροή) μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με τα διαφοροποιούμενα ποσοστά ροής. Οι διάρκειες ροής και οι ενδιάμεσες ξηρές περίοδοι ποικίλλουν επίσης μέσα στα συστήματα αποξηράνσεων. Το αποτέλεσμα των μετρήσεων των διαφόρων τομέων με μηχανήματα μέτρησης που υπάρχουν στην αγορά είναι σχετικά χονδροειδή και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των ροών σε μικρά ρέματα, σε σωλήνες και τη ροή των φύλλων πάνω σε πεζοδρόμια και τα χώματα. Και μόνη η εισαγωγή μιας συσκευής μέτρησης της ροής σε ένα μικρό κανάλι ή σε έναν σωλήνα μπορεί να παρεμποδίσει την ίδια τη ροή. Επειδή τα συστήματα αποξηράνσεων έχουν συχνά ελάχιστες, και ενδεχομένως και καμία, βάσεις ροής, μπορούν να καταλήξουν σε παράλογα αποτελέσματα όταν τα όργανα μέτρησης είναι στεγνά. Τα όργανα μπορεί να μην είναι σε θέση να μετρήσουν με ακρίβεια τη ροή, εάν οι υδάτινες απορροές φθάσουν σε μια κατώτατη στάθμη ύδατος.

Επίσης, ο εξοπλισμός και η αγορά των απαιτούμενων οργάνων για ακριβείς μετρήσεις ροής μπορούν να είναι εξαιρετικά δαπανηροί. Η επιλογή μιας περιοχής όπου οι ροές είναι σύμφωνες με τους στόχους της έρευνας, η κατάλληλη συχνότητα και η διάρκεια κάθε μέτρησης της ροής, προκειμένου να χαρακτηριστεί πλήρως ένα συμβάν απορροής υδάτων καταιγίδας, η επιλογή μιας μεθόδου για τη μέτρηση μιας μεγάλης έκτασης και τον χαρακτηρισμό των τύπων ροών σε ένα φυσικό ή ελεγχόμενο κανάλι με την ελάχιστη δυνατή διαταραχή δεν είναι ένας μικρός και κοινός στόχος, αλλά είναι ουσιώδες προκειμένου να εξασφαλιστούν ακριβείς και αντιπροσωπευτικές μετρήσεις υδάτινων απορροών καταιγίδας. Η καταγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν καθώς και της αβεβαιότητας που περιλαμβάνεται κατά την επιλογή των περιοχών για τη μέτρηση της βροχόπτωσης και υδάτινων απορροών, της συχνότητας και της διάρκειας του ελέγχου, ως και των μεθόδων, του εξοπλισμού, και των οργάνων που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την βροχόπτωση και τις υδάτινες απορροές είναι απαραίτητα στοιχεία για την αξιολόγηση της ακρίβειας και της αντιπροσωπευτικότητας των συλλεγέντων στοιχείων. Αυτή η αξιολόγηση είναι σημαντική προκειμένου να αξιολογηθεί με τη σειρά της η ισχύς των συλλεγέντων στοιχείων, επειδή τα λάθη σε στοιχεία βροχόπτωσης ή απορροής οδηγούν σε ανακριβείς συσχετισμούς μεταξύ των βροχοπτώσεων και της απορροής, και τα λάθη στη ροή και (ή) τις μολυσματικές συγκεντρώσεις οδηγούσε σε λανθασμένους υπολογισμούς των μολυσματικών φορτίων, σε

λανθασμένους μέσους όρους δεδομένων και συγκεντρώσεις, και λανθασμένους μέρους όρους καθημερινών φορτίων. Η επικύρωση της ακρίβειας και της αντιπροσωπευτικότητας της ροής και των θεμελιωδών στοιχείων υδάτινων συγκεντρώσεων στην εθνική οδό και στην αστική απορροή είναι επίσης σημαντικά στοιχεία, επειδή αυτά τα στοιχεία διαμορφώνουν τη βασική γραμμή πάνω στην οποία αναπτύσσονται τα πρότυπα για την πρόβλεψη των υδάτινων φορτίων και των μέσων όρων συγκεντρώσεων (Guerard and Weiss, 1995; USEPA, 1997; Zarriello, 1998), και από τα οποία αναπτύσσονται οι καλύτερες δυνατές πρακτικές διαχείρισης. Χωρίς τα απαιτούμενα υποστηρικτικά στοιχεία προκειμένου να αξιολογήσουμε την ακρίβεια και την αντιπροσωπευτικότητα της βροχόπτωσης και των απορροών, τα συλλεγόμενα στοιχεία και οι ερμηνείες που δίνονται μπορεί να σημαίνουν ελάχιστα έως τίποτα στο τέλος. Επιπλέον, είναι σημαντικό ότι η βροχόπτωση και οι μετρήσεις απορροών εκπληρώνουν μια ιδιαίτερη ανάγκη ή έναν στόχο και ότι αυτός ο στόχος και το ποσοστό της αποδεκτής αβεβαιότητας πρέπει να δηλώνονται σαφώς. Η συλλογή των στοιχείων χωρίς έναν σαφή ποιοτικό στόχο μπορεί να οδηγήσει στη συλλογή των οριακών ή άχρηστων στοιχείων (Whitfield, 1988).

2.2.5 Στοιχεία βροχόπτωσης

Η βροχόπτωση είναι η κινητήρια δύναμη της υδάτινης διαδικασίας απορροών και ο ακριβής έλεγχός της είναι απαραίτητος για να χαρακτηριστεί η διαδικασία βροχόπτωσης-απορροών. Οι βροχοπτώσεις μπορούν να είναι ιδιαίτερα μεταβλητές χωρικά και χρονικά (Alley, 1977). Η ένταση και η διάρκεια πτώσης είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την αφαίρεση συστατικών απορροής κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Τα ποικίλα είδη βροχοπτώσεων οδηγούν στις απορροών και στα ποσοστά μολυσματικών παραγόντων που ποικίλλουν αρκετά μέσα σε μία καταιγίδα. (Harrison and Wilson, 1985; Hoffmann et al, 1985; Irish et al, 1996). Αναμένεται να υπάρχει ένας θετικός συσχετισμός μεταξύ των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων και της απορροής όπως τεκμηριώνεται στη βιβλιογραφία (Driscoll et al, 1990a; Irish et al, 1996). Οι βροχές με υψηλότερη ένταση ξεπλένουν με μεγαλύτερη ταχύτητα τα διαλυμένα συστατικά από τις επιφάνειες από ότι ισοδύναμοι όγκοι νερού με χαμηλότερη ένταση (Athayde et al, 1983; Irish et al, 1996). Θεωρητικά, η αβεβαιότητα στις μετρήσεις βροχόπτωσης πρέπει να είναι χαμηλότερη από την αβεβαιότητα μέτρησης απορροών υδάτων καταιγίδας, επειδή οι μετρήσεις βροχόπτωσης είναι άμεσες, ενώ οι μετρήσεις των υδάτινων απορροών υπολογίζονται διαφορετικά. Εάν τα μοντέλα πρόβλεψης εφαρμόζονται με τη χρησιμοποίηση τεχνικών regression που δεν

προβλέπουν πιθανές αβεβαιότητες στις ανεξάρτητες μεταβλητές, τότε οι βροχοπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν καλύτερο regressor για μεταβλητές ποιότητες νερού, από ότι για την απορροή σε μία δεδομένη περιοχή, λόγω αυτών των χαμηλότερων αβεβαιοτήτων στον έλεγχο της βροχόπτωσης (Irish et al, 1996).

Είναι απαραίτητο, εντούτοις, να μετρηθούν ή να παραχθούν οι ακριβείς όγκοι υδάτινων όγκων καταιγίδας, για τη συλλογή και την ερμηνεία των ποιοτικών στοιχείων επειδή οι μέθοδοι δειγμάτων και οι βασικοί υπολογισμοί φορτίων εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα των όγκων απορροή-ροής. Η εξέταση της πτώσης και των στοιχείων απορροής από την ομοσπονδιακή βάση δεδομένων εθνικών οδών-απορροών (FHWA) (Driscoll και άλλοι, 1990b) δείχνει ότι τα δεδομένα απορροής είναι χρήσιμα, αλλά όχι ένα άμεσα. Τα στοιχεία συμπεριλαμβανομένης της ημερομηνίας, της συνολικής βροχόπτωσης, της διάρκειας της καταιγίδας, και της συνολικής απορροής από 264 καταιγίδες σε 9 εθνικές οδούς και σε 1 αγρό, κάθε μία που επιλέχθηκε έχει τα απαραίτητα στοιχεία για τουλάχιστον 10 καταιγίδες, (Driscoll και άλλοι, 1990b). Οι εντάσεις της βροχόπτωσης υπολογίστηκαν ως το πηλίκο της συνολικής βροχόπτωσης και η διάρκεια της καταιγίδας, για κάθε τέτοιο φαινόμενο που υπάρχει στα στοιχεία. Οι συντελεστές απορροής υπολογίστηκαν ως το πηλίκο της συνολικής απορροής και του συνολικού όγκου βροχόπτωσης για κάθε καταιγίδα. Τα συγκριτικά διαγράμματα των παραπάνω δέκα περιοχών παρουσιάζονται κατ' αύξουσα σειρά αυξανόμενης ατρωσίας (imperviousness) και αυξανόμενης βροχόπτωσης, όταν το ποσοστό ατρωσίας τους είναι το ίδιο. (εικ. 1). Αν και η μέση ετήσια βροχόπτωση μεταξύ αυτών των 10 περιοχών ποικίλλει από περίπου 15 σε περίπου 84 ίντσες το χρόνο, η συνολική βροχόπτωση καταιγίδας, η ένταση, και οι συντελεστές απορροών από τις εξεταζόμενες καταιγίδες είναι συγκρίσιμα στοιχεία. Η γραφική παράσταση του συντελεστή των πληθυσμών απορροής είναι επίπεδες συντετμημένη σε 1.0 (το σημείο όπου η απορροή είναι ίση με την βροχόπτωση) επειδή, λογικά, η συνολική απορροή από μια καταιγίδα δεν πρέπει να υπερβεί τη μετρούμενη βροχόπτωση. Οι τιμές που βρίσκονται πάνω από τον συντελεστή απορροών 1, απεικονίζουν τις αβεβαιότητες στα στοιχεία, μεταξύ της αποθήκευσης κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας στις υδάτινες παρακρατήσεις των εθνικών οδών, τις βασικές ροές από το επίγειο νερό, και (ή) τις συνεισφορές από τις πρόσθετες περιοχές αποξηράνσεων κατά τη διάρκεια μερικών καταιγίδων. Η εξέταση του σχήματος 1 δείχνει ότι για αυτά τα στοιχεία, δεν υπάρχει κανένας συντελεστής απορροών που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακριβώς για να προβλέψει τη συνολική απορροή από τη συνολική βροχόπτωση επί οποιουδήποτε δεδομένου σημείου. Παραδείγματος χάριν, η αβεβαιότητα στις προβλέψεις της συνολικής ροής κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας είναι βασισμένες σε μετρήσιμη βροχόπτωση, θα ήταν για συν ή μείον 50 τοις

εκατό στην Εθνική οδό 384 στη Φλώριδα, η οποία είχε τη μικρότερη διακύμανση στους συντελεστές απορροών μεταξύ αυτών των 10 περιοχών από το σύνολο των στοιχείων της FHWA (Driscoll και άλλοι, 1990b). Οι πληθυσμιακές στατιστικές διανομές όσον αφορά διαφορετικές περιοχές σε αυτόν τον αριθμό, δεν δείχνουν μια απλή σχέση μεταξύ του μέσου συντελεστή απορροών και της αυξανόμενης αδιαπέραστης-άτρωτης περιοχής. Η κοινή λογική θα πρότεινε ότι οι συλλέκτες σε ένα πολύ μεγάλο μέρος αδιαπέραστης περιοχής θα προσέδιδαν λιγότερη μεταβλητότητα στο συντελεστή απορροών, επειδή η απορροή από το αδιαπέραστο πεζοδρόμιο δεν θα επηρεαζόταν από την προηγούμενη υγρασία. Οι πληθυσμιακές διανομές για τους συντελεστές απορροών στο σχήμα 1, εντούτοις, δεν καταδεικνύουν χαμηλότερες μεταβλητότητες στις ιδιαίτερα αδιαπέραστες περιοχές. Οι διαφορές στις σχέσεις βροχόπτωσης-απορροών, από εποχή σε εποχή, που προκαλούνται από τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης και το χρόνο της προηγηθείσας ξηράς περιόδου μπορούν να αποκρύψουν σημαντικές σχέσεις στο σχήμα 1. Για να ερευνήσουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε εποχιακούς συντελεστές απορροών, που θα ήταν χαρακτηριστικοί των εθνικών οδών σε εθνικό επίπεδο, τα στοιχεία από τις 9 ασφαλοστρωμένες περιοχές των εθνικών οδών παρουσιάζονται συνδυαζόμενα στο σχήμα 2. Κάθε μια από τις μελέτες που επιλέχθηκαν από την έκθεση στοιχείων FHWA (Driscoll και άλλοι, 1990b) είχε μια διάρκεια περίπου 1 έτους, αλλά οι μελέτες έγιναν στα διαφορετικά έτη και πολλές μελέτες δεν είχαν συμπεριλάβει έναν ουσιαστικό αριθμό καταιγίδων σε κάθε μήνα. Σε αυτά τα διαγράμματα, η συνολική βροχόπτωση για κάθε καταιγίδα φαίνεται να είναι ελαφρώς πιο μεταβλητή στους χειμωνιάτικους μήνες απ' ό,τι στο υπόλοιπο του έτους (εκτός από τον Ιανουάριο, επειδή μόνο τέσσερις καταιγίδες έλαβαν χώρα αυτόν τον μήνα). Επίσης, ο πληθυσμός των εντάσεων φαίνεται να είναι πιο μεταβλητός το καλοκαίρι (ενδεχομένως να οφείλεται σε μεταφορά καταιγίδων κατά τους θερμότερους μήνες). Οι πληθυσμοί που παρουσιάζονται στο σχήμα 2, εντούτοις, δεν δείχνουν έναν χαρακτηριστικό συντελεστή απορροών για τις περιοχές των εθνικών οδών ακόμα και όταν εξετάζονται τα αποτελέσματα της εποχικότητας. Το στοιχείο που αναφέρεται από τον Driscoll και άλλοι (1990b) είναι ένας συνδυασμός των δύο χαρακτηριστικών φάσεων της πρώτης έρευνας του FHWA για την ποιότητα του νερού και παρόμοιων μελετών που πραγματοποιούνται από τα τμήματα μεταφορών σε διάφορα κράτη. Οι διαφορές στις μεθόδους, στον εξοπλισμό και στις εγκαταστάσεις μέτρησης αυτών των προγραμμάτων ελέγχου, επί των διαφορετικών τοποθεσιών σε όλο το έθνος, μπορεί να επιφέρουν μεγαλύτερο ποσοστό προκατάληψης και επηρεασμού των στοιχείων και να συμβάλουν ακόμη περισσότερο στην προφανή μεταβλητότητα του σχήματος 1 και του σχήματος 2.

Επομένως, οι μετρήσεις βροχόπτωσης μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες στην ερμηνεία αποτελεσμάτων, αλλά μπορεί και να μην μπορούν να αντικαταστήσουν τις πραγματικές μετρήσεις ροών-απορροών, ακόμη και στα μικρά catchments. Έχουν σχεδιαστεί πολλά μοντέλα απορροών και έχουν εφαρμοστεί προκειμένου να αντισταθμίσουν τις ανακρίβειες που υπάρχουν εγγενείς στις απλές μεθόδους συντελεστών απορροών και που χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την απορροή (Alley, 1977). Τα αποτελέσματα μιας πρόσφατης συγκριτικής μελέτης, εντούτοις, δείχνουν ότι ακόμη και τα σύνθετα πρότυπα βροχόπτωσης-απορροής μπορεί να μην προσφέρουν με ακρίβεια υψηλά επίπεδα πρόβλεψης (Zarriello, 1998). Όταν εννέα καλά τεκμηριωμένα πρότυπα θυελλώδους βροχόπτωσης-απορροών χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουν τη ροή ύδατος καταιγίδας και τους αντίστοιχους υδάτινους όγκους από τα στοιχεία βροχόπτωσης δύο μικρών υδροκριτών (από πεπειραμένους χειριστές οι οποίοι χρησιμοποιούσαν λεπτομερή στοιχεία βροχόπτωσης και στοιχείων του εδάφους), ο μέσος όρος λάθους ήταν περίπου 55 τοις εκατό και οι εξομοιούμενοι όγκοι καταιγίδας διέφεραν από τους πραγματικούς παρατηρηθέντες όγκους καταιγίδας κατά τουλάχιστον 240 τοις εκατό.

Παρά τους δεδομένους περιορισμούς στην ακρίβεια και την αντιπροσωπευτικότητα, τα στοιχεία βροχόπτωσης είναι απαραίτητα για να τεκμηριώσουν τα αποτελέσματα μιας μελέτης, με τέτοιο τρόπο ώστε είναι έγκυρα και τεχνικά υπερασπίσιμα. Αν και οι σχέσεις στα υπάρχοντα στοιχεία του FHWA δεν είναι ποσοτικές, είναι απαραίτητο να εγκαθιδρυθούν σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης, των μετρήσιμων ροών, και των παρατηρηθέντων φορτίων μολυσματικών παραγόντων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα από μεγάλες και κοστοβόρες προσπάθειες συλλογής δεδομένων να μπορούν να εφαρμοστούν σε συγκεκριμένες περιοχές. Επίσης, η αναλογία μιας μετρημένης απορροής ως προς βροχοπτώσεις, παρέχει στοιχεία επαλήθευσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν προβλήματα με τους όρους μέτρησης, ή αλλαγές στις σχέσεις χωρικής εκτόνωσης, ή αποθήκευσης μεταξύ καταιγίδων, ή παραλλαγών στη συμβάλλουσα περιοχή κάτω από διαφορετικές συνθήκες και άλλων πιθανών προβλημάτων στις προσπάθειες συλλογής δεδομένων. Τα στοιχεία βροχόπτωσης είναι απαραίτητα για να καθορίσουν κάθε καταιγίδα και κάθε περίοδο έρευνας ιδιαίτερα από την πλευρά της έρευνας μακροπρόθεσμων κύκλων βροχόπτωσης. Παραδείγματος χάριν, μια μελέτη που διήρκεσε ένα έτος, κατά τη διάρκεια μιας μακροπρόθεσμης περιόδου ξηρασίας μπορεί να μην αντιπροσωπεύει ακριβώς τις συγκεντρώσεις, τις ροές, και τα φορτία για πιο υγρά έτη. Οι μετρήσεις της βροχόπτωσης εξυπηρετούν επίσης διάφορες χρήσιμες λειτουργίες που δεν παρέχονται με τον έλεγχο απορροή-ροής. Μια μέτρηση βροχόπτωσης παρέχει τις αναλυτικές πληροφορίες για την

ένταση και το συγχρονισμό της βροχόπτωσης. Το να γνωρίζει κάποιος ακριβώς πότε αρχίζουν και πότε σταματούν, σε σχέση με το πότε αρχίζει και τελειώνει η μετρούμενη ροή υποδεικνύει τον χρόνο της συγκέντρωσης και το χρόνο του ταξιδιού στη λεκάνη αποξήρανσεων. Ο εξοπλισμός μέτρησης της βροχόπτωσης θα καταγράψει μεν τα ελαφρά γεγονότα βροχόπτωσης, αλλά μπορεί να μην προκαλέσει ένδειξη ανόδου στον εξοπλισμό μέτρησης της βροχόπτωσης- (οπότε σ' αυτή την περίπτωση οι συνολικές ενδείξεις μπορεί να εμφανίζονται μειωμένες, αφού δεν ενεργοποιήθηκε ο μηχανισμός ένδειξης). Επίσης, εάν χρησιμοποιούνται θερμασμένα βροχόμετρα, τα βροχόμετρα αυτά θα καταγράψουν τυχόν χειμερινά γεγονότα τα οποία μπορεί να μην οδηγήσουν σε άμεση απορροή. Για να συλλεχθούν ακριβή και αντιπροσωπευτικά στοιχεία βροχόπτωσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι τεχνικοί παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την κατάλληλη τοποθέτηση των οργάνων μέτρησης, την επιλογή των κατάλληλων διαστημάτων μέτρησης, τη συλλογή αρκετών στοιχείων που θα χαρακτηρίζουν τις επί τόπου συνθήκες και την επιλογή των κατάλληλων μεθόδων που θα επιτύχουν τους στόχους συλλογής δεδομένων της μελέτης. Μια μελέτη μπορεί να παραγάγει ένα λεπτομερές αρχείο της βροχόπτωσης σε μια περιοχή, αλλά να είναι προκατειλημμένη από τα προβλήματα που παρουσιάζονται στο σχέδιο, πράγμα που μπορεί να περιορίσει την ποιότητα και τη χρησιμότητα των συλλεγέντων στοιχείων.

2.2.6 Συχνότητα και διάρκεια μετρήσεων βροχόπτωσης

Η συχνότητα και η διάρκεια των διαδικασιών μέτρησης βροχόπτωσης εξαρτώνται από τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία εξετάζονται. Οι απαιτήσεις για ικανοποιητικά δεδομένα καθορίζονται από τις τεχνικές ανάλυσης των δεδομένων, την ποιότητα των δεδομένων που απαιτούνται, τους στόχους του προγράμματος, τους περιορισμούς, την αντιπροσωπευτικότητα και τη μεταβλητότητα των γεγονότων μιας καταιγίδας που διαμετρίονται και επιλέγονται (Alley, 1977). Για μελέτες διαπίστωσης της ποιότητας του νερού κατά τη διάρκεια καταιγίδων, η συχνότητα καταγραφής πρέπει να είναι επαρκής για να χαρακτηρίσει και να ερμηνεύσει τις φυσικές (υδραυλικές) και χημικές διαδικασίες. Από την άποψη της διάρκειας, ο εξοπλισμός ελέγχου πρέπει να είναι σε θέση να καταγράψει ένα ολόκληρο γεγονός (τουλάχιστον μιας συγκεκριμένης καταιγίδας) και να είναι αρκετά ανθεκτικός προκειμένου να λειτουργήσει μεταξύ σχεδιασμένων επισκέψεων συντήρησης. Η διάρκεια του προγράμματος επίβλεψης πρέπει να έχει σκοπό του να είναι σε θέση να τοποθετήσει τα στοιχεία σε ιστορική προοπτική. Ιστορικά, η συχνότητα μέτρησης έχει

ελεγχθεί από τον προϋπολογισμό δειγματοληψίας και η διάρκεια προγράμματος υπόκειται στους περιορισμούς του προϋπολογισμού και του ορισθέντος χρόνου διάρκειάς της. Αν και αυτά θα είναι πάντα πραγματικά ζητήματα, οι συνεχείς βελτιώσεις στον αυτοματισμό της επίβλεψης και του εξοπλισμού ελέγχου μπορούν να βελτιώνονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Οι ικανότητες ελέγχου υψηλής συχνότητας είναι διαθέσιμες από τελευταίας τεχνολογίας συστήματα παρακολούθησης προόδου, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την κατανόηση των φυσικών και χημικών διαδικασιών των απορροών λόγω βροχοπτώσεων. Σε ό,τι αφορά τη συχνότητα επίβλεψης, η προφανής τυχαιότητα των καταγίδων από η καταγίδα σε καταγίδα και από περιοχή σε περιοχή μπορεί να αφορά στην έλλειψη επαρκών στοιχείων, ειδικά όσον αφορά τα χρονικά διαστήματα της μέτρησης (Spangberg and Niemczynowicz, 1992). Το μέγιστο διάστημα καταγραφής για μεμονωμένες μετρήσεις βροχύπτωσης εξαρτάται από το μέγεθος συλλογής και μπορεί να κυμανθεί σε λιγότερο από 1 λεπτό για πολύ μικρές επιφάνειες απορροής ως ένα μέγιστο περίπου 15 λεπτών για μεγαλύτερες επιφάνειες απορροής (Alley, 1977; Spangberg and Niemczynowicz, 1992). Θεωρητικά, το διάστημα καταγραφής δεν πρέπει να είναι πιο μεγάλο από το ένα πέμπτο έως το ένα δέκατο του χρόνου που χρειάζεται το νερό από το απώτατο σημείο της συλλογής του, προκειμένου να φθάσει στην λεκάνη απορροής κατά τη διάρκεια των πιο ταχέων ροών (Alley, 1977).

Ο Harned (1988) διαπίστωσε ότι σε μια μελέτη απορροών εθνικών οδών, η απορροή στη μικρότερη λεκάνη (μέσα σε έναν τομέα 0.0032 τετραγωνικών μιλίων, συμπεριλαμβανομένης της εθνικής οδού και της υπόλοιπης περιοχής) έγινε εντός λεπτών και έλαβε χώρα σε ανάλογο βαθμό με τις αλλαγές στην ένταση της βροχύπτωσης και η μέγιστη εκτόνωση συνέπεσε με τις περιόδους μεγάλης βροχής. Η υποχώρηση των υδάτων της καταγίδας ήταν σύντομη σε αυτήν την μικρή συλλογή, η οποία αποτελείτο από ένα μεγάλο μέρος αδιαπέραστης κάλυψης και από ένα κατασκευασμένο σύστημα αποξηράνσεων (Harned, 1988). Ο χημικός χρόνος απόκρισης της επιφάνειας απορροής πρέπει επίσης να εξετάζεται στις ποιοτικές μελέτες. Σε μελέτες που υποστηρίχτηκαν από το FHWA και που είχαν ως σκοπό να χαρακτηρίσουν την ποιότητα απορροών εθνικών οδών, τα στοιχεία βροχύπτωσης καταγράφηκαν για χρονικό διάστημα περίπου 5 λεπτών (Shelley and Gaboury, 1986).

Όταν οι Spangberg και Niemczynowicz (1992) εξέτασαν τις σχέσεις μεταξύ της καταγεγραμμένης βροχύπτωσης, η θολότητα, το pH, η ακριβής αγωγιμότητα και το ποσοστό ροής (που μετριέται σε δέκατα του δευτερολέπτου ανά 0.0001 του τετραγωνικού μιλίου σε ασφαλοστρωμένο χώρο στάθμευσης), οι αναλύσεις συσχετίσεων έδειξαν ότι οι αλλαγές στην

ποιότητα νερού εμφανίστηκαν ανάλογα με τις αλλαγές στην ένταση της βροχόπτωσης και το ποσοστό ροής σε χρονικό διάστημα λιγότερο του 1 λεπτού. Αν και οι υψηλές δαπάνες για τη συλλογή και την ανάλυση των δειγμάτων ύδατος είναι ένας περιοριστικός παράγοντας σε πολλά προγράμματα, οι δαπάνες του εξοπλισμού για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της αυτόματης μέτρησης της βροχόπτωσης, της ροής και της ποιότητας του νερού δεν ποικίλλουν ανάλογα με τη συχνότητα ελέγχου. Οι σχετικές συχνότητες ανάλυσης παρέχουν ουσιαστικά μεγαλύτερη λεπτομέρεια και προβλεπτικότητα σε ό,τι αφορά το μέλλον, αλλά δεν απαιτούν απαραίτητα περισσότερη εργασία και οικονομικούς πόρους για συλλογή δεδομένων, αποθήκευση, επεξεργασία και ερμηνεία των στοιχείων. Το κύριο μειονέκτημα του ελέγχου μέσω υψηλών συχνοτήτων - η πιθανότητα απώλειας δεδομένων, λόγω υπέρβασης της μέγιστης χωρητικότητας των συσκευών αποθήκευσης - μπορεί να αποφευχθεί μέσω ενός κανονικού προγράμματος συντήρησης σταθμών το οποίο συνδέεται μέσω της διαθέσιμης τεχνολογίας για την από απόσταση ανάκτηση στοιχείων είτε τηλεφωνικώς, είτε μέσω τηλεφώνου, είτε μέσω ασυρμάτου, ή μέσω δορυφορικής σύνδεσης. Το απαραίτητο πρόγραμμα συντήρησης σταθμών για τον έλεγχο βροχοπτώσεων σε μελέτες καθορίζεται από τη μεγάλη χωρητικότητα της συσκευής καταγραφής δεδομένων. Οι αυτοματοποιημένοι σταθμοί ελέγχου μπορούν να προγραμματιστούν να ελαχιστοποιήσουν τις δραστηριότητες μέτρησης κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων και να μεγιστοποιήσουν τις συχνότητες συλλογής δεδομένων κατά τη διάρκεια των περιόδων απορροών ύδατος (Church et al, 1996). Επιπλέον, πολλά είδη βροχόμετρων καταγράφουν δεδομένα μόνο όταν ενεργοποιούνται από μετρήσιμη ποσότητα βροχόπτωσης. Η συχνότητα και η διάρκεια των αναμενόμενων γεγονότων σε μια δεδομένη περιοχή είναι καθοριστικοί παράγοντες για παρόμοιους προσδιορισμούς. Είναι σημαντικό να χαρακτηρίζονται ακόμη και τα μικρότερα δεδομένα, επειδή όταν αυτά στο τέλος αθροίζονται και ομαδοποιούνται, το ποσοστό της ετήσιας βροχόπτωσης είναι σχεδόν ίσο με τις διαφορετικές κλάσεις καταιγίδων (Brown et al, 1995). Η μέση λύση μεταξύ του ελέγχου σε υψηλή ευκρίνεια και της διάρκειας, μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας προγραμματισμό ο οποίος μετρά μεν σε υψηλές συχνότητες, αλλά καταγράφει μόνο μετρήσεις κατά τη διάρκεια καταιγίδων, ιδιαίτερα όταν αλλάζει γρήγορα η ταχύτητα των ροών και αλλάζει η μετρούμενη ποιότητας του ύδατος (Church et al, 1996). Σε πιο μακροχρόνιο χρονικό διάστημα, η διάρκεια των μελετών ελέγχου βροχόπτωσης περιορίζεται από τη διάρκεια του έργου. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι είναι απαραίτητες δεκαετίες βροχοπτώσεων και στοιχείων απορροής προκειμένου να παραχθούν στατιστικά σημαντικά σχέδια για τις απορροές υδάτων κατά τη διάρκεια καταιγίδων, αλλά επίσης αναγνωρίζεται από τους ερευνητές ότι τις περισσότερες φορές οι διάρκειες χρόνου ελέγχων

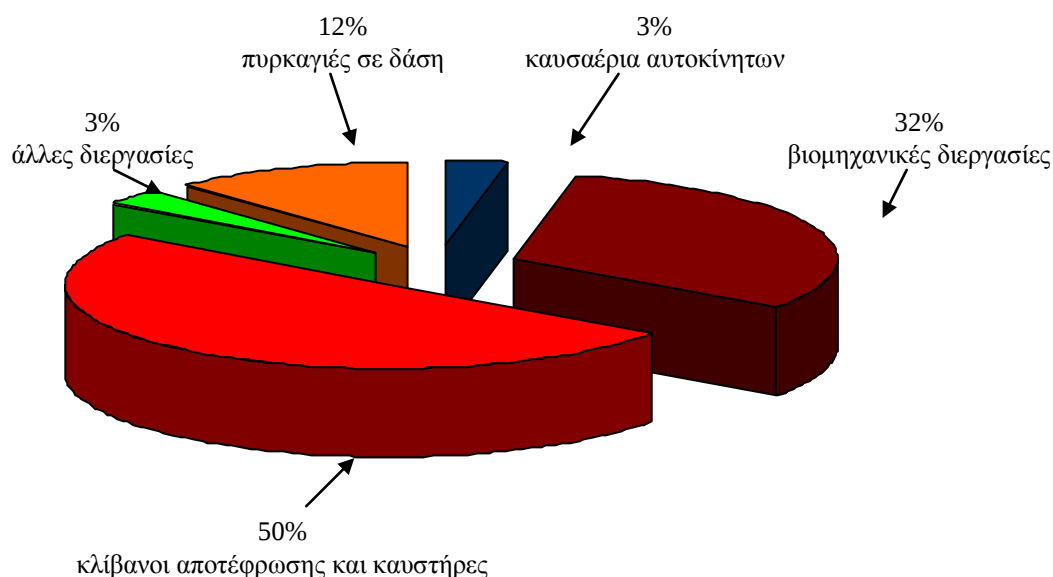
που λαμβάνουν χώρα δεν είναι καθόλου ουσιαστικές και δεν εξάγουν πρακτικά μοντέλα. (Alley, 1977). Θεωρητικά, κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων, η τυχαία διακύμανση των μοντέλων των καταιγίδων, σε έναν συγκεκριμένο χρόνο και τόπο και σε μια συγκεκριμένη ελεγχόμενη περιοχή, θα είναι ίση με τους σταθμούς αναφοράς και, επομένως, οι πληθυσμιακές στατιστικές θα είναι παρόμοιες. Υπάρχουν διάφορες τυποποιημένες μέθοδοι που έχουν σχέση με την επέκταση των αρχείων όταν οι ερευνητές μπορούν να συσχετίσουν στοιχεία από μια περιοχή με την περιοχή ελέγχου, μέσα με μια μεγάλη χρονική περίοδο καταγραφών (Helsel and Hirsch, 1992). Τα επί μακρού χρόνου συλλεγόμενα δεδομένα για την επέκταση αυτών αρχείων είναι διαθέσιμα από το εθνικό δίκτυο μετεωρολογίας που τηρείται από το NOAA (Alley, 1977). Τα μακροπρόθεσμα δεδομένα βροχόπτωσης μπορούν επίσης να είναι διαθέσιμα από τις Κοινοτικές κυβερνήσεις, τα εργοστάσια επεξεργασίας νερού και απόβλητων, τα πανεπιστήμια, τους αερολιμένες, τις μετεωρολογικές οργανώσεις και άλλες πηγές. Οι καθημερινές τιμές βροχόπτωσης, εντούτοις, συχνά υπολογίζονται με βάση μια και μόνη ημέρα δειγματοληψίας (παραδείγματος χάριν, πρωί 9:00 π.μ. έως 9:00 π.μ. της επόμενης ημέρας λογίζεται ως μία ημερολογιακή ημέρα), έτσι, ο άμεσος καθημερινός συσχετισμός μπορεί να είναι δύσκολος εάν τα καθημερινά δεδομένα δεν είναι συγχρονισμένα με τα αρχικά δεδομένα. Η λεπτομερής τεκμηρίωση της συχνότητας και της διάρκειας καταγραφής των δεδομένων βροχόπτωσης από τους σταθμούς είναι απαραίτητη προκειμένου να εξασφαλίσει η ισχύς και η χρησιμότητα των συλλεχθέντων στοιχείων. Είναι απαραίτητη η σύγκριση των χαρακτηριστικών της μετρούμενης βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση περιόδου, για να δοθούν σε τωρινούς και μελλοντικούς χρήστες των στοιχείων, προκειμένου να καταγραφούν οι γενόμενες παρατηρήσεις σε μακροπρόθεσμη προοπτική που θα βελτιώσει την ερμηνευτική διαδικασία λήψης αποφάσεων. Πρέπει να αναφέρονται στα δημοσιευόμενα άρθρα των ερευνητών τυχόν ενισχυτικά στοιχεία ή άλλες δημοσιευμένες πηγές ή στοιχεία (όπως τα αρχεία NOAA από έναν δεδομένο σταθμό μέτρησης) με συγκριτικές αναλύσεις, για μελλοντική χρήση.

2.3 ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (PAHs)

2.3.1 Γενικά.

Με τον όρο PAHs γενικά αναφερόμαστε στους υδρογονάνθρακες που περιέχουν 2 ή περισσότερους βενζολικούς δακτυλίους σε γραμμική ή διακλαδισμένη θέση (Sims and

Overcash, 1986). Η κύρια πηγή των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων προέρχεται από την πυρόλυση οργανικού υλικού σε θερμοκρασιακές συνθήκες μεταξύ 500°C και 900°C (Blanchard et al, 2004). Τα PAHs σχηματίζονται στη φύση μέσω γεωθερμικών διεργασιών, κατά την καύση της βλάστησης στα δάση και πιθανόν με μικροβιακή σύνθεση (Blumer, 1976, Bjorseth et al, 1979, Berset et al, 1999). Ωστόσο, η σημαντικότερη πηγή πολυαρωματικών υδρογονανθράκων είναι ανθρωπογενείς διεργασίες, όπως οι ελεγχόμενες καύσεις σε κλιβάνους αποτέφρωσης και καυστήρες θέρμανσης, καθώς και πυρολυτικές διεργασίες σε βιομηχανικές εφαρμογές. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι κύριες αιτίες παραγωγής PAHs στην Γαλλία (Lucas, 1995). Υπολογίζεται ότι στη Γαλλία απελευθερώνονται στο περιβάλλον περίπου 342 τόνοι PAHs από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

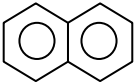
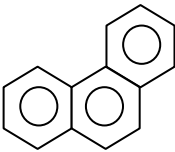
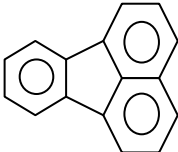
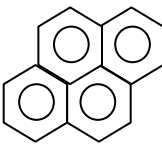
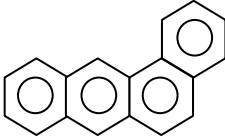
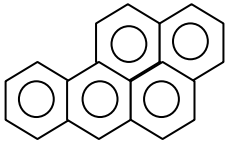


Σχήμα 2.1 Πηγές παραγωγής πολυαρωματικών υδρογονανθράκων στη Γαλλία (Lucas, 1995).

Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι υδροφοβικές ενώσεις, και η ανθεκτικότητά τους στο περιβάλλον οφείλεται κυρίως στη μικρή διαλυτότητα τους στο νερό (Cerniglia, 1992). Γενικά η διαλυτότητα των PAHs μειώνεται και η υδροφοβικότητα αυξάνεται, καθώς αυξάνει ο αριθμός των βενζολικών δακτυλίων. Επιπροσθέτως η πτητικότητα των ενώσεων μειώνεται αυξανόμενου του αριθμού των δακτυλίων (Wilson and Jones, 1993). Στον πίνακα 2.1

παρουσιάζεται η δομή και κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες διαφόρων πολυαρωματικών υδρογονανθράκων.

Πίνακας 2.1 Δομή και φυσικοχημικές ιδιότητες ορισμένων πολυαρωματικών υδρογονανθράκων.

ΡΑΗ	Δομή	Διαλυτότητα στο νερό (mg/l)	$\log K_p$	Τάση ατμών (torr) 20 °C
Ναφθαλένιο		30	3.36	0.082
Φαινανθρένιο		1.29	4.46	6.8×10^{-4}
Φλουορανθένιο		0.26	5.33	6.0×10^{-6}
Πυρένιο		0.14	5.32	6.8×10^{-7}
Βενζο(α)ανθρακένιο		0.014	5.61	5.0×10^{-9}
Βενζο(α)πυρένιο		0.0038	6.04	5.0×10^{-7}

2.3.2 Η παρουσία των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων στο φυσικό περιβάλλον.

Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι ευρέως διαδεδομένοι στο περιβάλλον λόγω της δημιουργίας αυτών των ενώσεων από ατελείς καύσεις. Έτσι οι ουσίες αυτές έχουν ανιχνευθεί σε διάφορα περιβαλλοντικά δείγματα που περιλαμβάνουν αέρα, έδαφος, νερό, ιζήματα, και τρόφιμα (Juhasz and Naidu, 2000). Ο οργανισμός περιβαλλοντικής προστασίας στις ΗΠΑ (EPA) έχει χαρακτηρίσει 16 PAHs ως υψηλής προτεραιότητας ρυπαντές ενώ 7 από αυτούς θεωρούνται πιθανότατα καρκινογόνοι για τον άνθρωπο. Η κύρια οδός μόλυνσης του περιβάλλοντος από τα PAHs είναι μέσω της ατμόσφαιρας. Μετρήσεις έδειξαν ότι οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες βρίσκονται σε συγκεντρώσεις της τάξεως των νανογραμμαρίων ανά κυβικό μέτρο αέρα (Ramadahl, 1982). Ωστόσο, η συγκέντρωσή τους διαφέρει από εποχή σε εποχή, εξαρτώμενη από την αύξηση των εκπομπών μέσω της καύσης στους καυστήρες θέρμανσης. Έτσι η συγκέντρωση του βενζο(α)πυρένιου για παράδειγμα είναι 50 φορές μεγαλύτερη το χειμώνα απ' ό,τι το καλοκαίρι (Halsall et al, 1997). Συγκεντρώσεις PAHs έχουν ανιχνευθεί και στο έδαφος. Οι ουσίες αυτές παρουσίασαν μεγάλη αύξηση στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Οι διάφοροι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες βρέθηκαν σε τιμές που φθάνουν τα 7.902 mg/kg εδάφους για το φαινανθρένιο, τα 2.497 mg/kg εδάφους για το φλουορανθένιο και τα 9481 mg/kg εδάφους για το πυρένιο (USEPA, 1995). Ακόμα, μετρήσεις 24 συνολικά πολυαρωματικών υδρογονανθράκων που πραγματοποιήθηκαν σε θαλάσσια ιζήματα στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου έδειξαν ότι το άθροισμα των ενώσεων αυτών κυμαίνεται από 2.22 ng /l (Κρητικό πέλαγος) έως 1056 ng/l (Κορινθιακός κόλπος) (Tsapakis et al, 2003).

Επίσης, συγκεντρώσεις πολυαρωματικών υδρογονανθράκων έχουν ανιχνευθεί σε θαλάσσιους οργανισμούς και φυτά (Nakajima et al, 1996, Wagrowski and Jones, 1997). Για παράδειγμα, έρευνα έδειξε την συσσώρευση PAHs σε μύδια της τάξεως των 870 ng/g (Baumard et al, 1999). Παρόμοιες μελέτες αποκάλυψαν την παρουσία PAHs σε ψάρια, μαλάκια, οστρακοειδή, σπογγοειδή και φύκια σε συγκεντρώσεις που φθάνουν μέχρι και εκατοντάδων μg/l (Juhasz and Naidu, 2000).

Αναλύσεις που έγιναν σε υγρά απόβλητα αποκάλυψαν υψηλές συγκεντρώσεις PAHs σε βιομηχανικά και αστικά λύματα. Λόγω της μικρής διαλυτότητας τους στο νερό και της υψηλής υδροφοβικότητας, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες προσροφούνται στο στερεό μέρος με αποτέλεσμα η προς επεξεργασία ύλη να περιέχει από 1 έως 10 mg/kg του κάθε PAHs (Wild and Jones, 1989). Η σημασία της μόλυνσης των αστικών λυμάτων από τα PAHs έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές. Οι Pham and Proulx (1997) βρήκαν 1.5 μg/l από ένα μίγμα 14 πολυαρωματικών υδρογονανθράκων σε απόβλητα από την πόλη του Μόντρεαλ

στον Καναδά. Στην πραγματικότητα, οι μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων δέχονται PAHs που προέρχονται από διάφορες πηγές όπως είναι τα αυτοκίνητα, οι βιομηχανίες, οι κλίβανοι αποτέφρωσης και οι καυστήρες θέρμανσης. Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες μεταφέρονται μέσω της ατμόσφαιρας και είτε καθιζάνουν στο έδαφος είτε λόγω βροχοπτώσεων εισέρχονται στο αποχετευτικό σύστημα. Οι Blanchard et al (2004) πραγματοποίησαν μια σημαντική έρευνα για την παρουσία των PAHs σε βιομηχανικά απόβλητα και αστικά λύματα στο Παρίσι. Μελέτησαν δείγματα από 26 διαφορετικές δεξαμενές του αποχετευτικού συστήματος της πόλης που δέχεται τα λύματα περίπου από 8 εκατομμύρια κατοίκους. Οι δεξαμενές αυτές δέχονται τα νερά της βροχής καθώς και τα νερά από τα πλυσίματα των δρόμων.

Πίνακας 2.2 Συγκεντρώσεις PAHs (mg/kg ξ.β) σε δείγματα από διάφορες περιοχές του αποχετευτικού συστήματος στο Παρίσι (Blanchard et al, 2004).

Περιοχή της αποχέτευσης PAHs	Δρόμοι με κυκλοφοριακό πρόβλημα	Εσωτερικοί δακτύλιοι	Δρόμοι ταχείας κυκλοφορείας	Υπόγειοι αυτοκινητόδρομοι
Ναφθαλένιο	0.73	3.42	1.7	-
Φαινανθρένιο	2.40	3.32	3.12	4.86
Φλουορανθένιο	3.63	4.94	4.32	5.96
Πυρένιο	5.37	7.19	6.13	8.64
Βενζο(α)ανθρακένιο	1.12	1.08	0.89	1.21
Βενζο(α)πυρένιο	1.16	0.93	0.83	1.09
Σύνολο Σ16 PAHs *	21.7	28.2	22.3	30.9

* Το Σ16 είναι το άθροισμα 16 PAHs που προτείνονται για μελέτη από την Επιτροπή περιβαλλοντικής προστασίας στις ΗΠΑ. (US EPA)

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.2 οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν σε περιοχές που υπήρχαν υπόγειες σήραγγες ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις εκεί που υπήρχαν ανοικτοί αυτοκινητόδρομοι.

2.3.3 Οικοτοξικότητα των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων.

Ένα μεγάλο ποσοστό από τους πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες είναι καρκινογόνοι και για αυτό οι ουσίες αυτές θεωρούνται πολύ επικίνδυνοι περιβαλλοντικοί ρυπαντές (Sims and Overcash, 1983). Οι ενώσεις με 2 και 3 αρωματικούς δακτυλίους είναι πάρα πολύ τοξικές ενώ αυτές με μεγαλύτερο μοριακό βάρος προκαλούν γονιδιακές επιπλοκές (Freeman and Cattell, 1990). Επίσης διάφορα PAHs προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στο συκώτι, στα νεφρά και στο αίμα (US EPA, 2001). Τέλος είναι πιθανό να δρουν ως ενδοκρινικοί διαταράκτες, ωστόσο ο αριθμός των αναφορών για την καρκινογόνα δράση των PAHs από πειράματα που έγιναν σε ζώα και ανθρώπους είναι τόσο μεγάλος που η σημασία των διαφορών άλλων τοξικών επιδράσεων των ενώσεων αυτών έρχεται σε δεύτερη μοίρα (Santodonato, 1997).

Τα PAHs εισέρχονται γρήγορα στον οργανισμό και προσκολλούνται στον λιπώδη ιστό. Υπάρχουν διάφορες παράμετροι που καθορίζουν την επίδραση που θα έχουν οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες στην ανθρώπινη υγεία, ανάλογα με τον χρόνο και τον τρόπο έκθεσης τους σε αυτούς, καθώς και από ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως είναι η ηλικία και το φύλο (Awata et al, 1998).

Μελέτες έχουν γίνει και για πιθανές επιπτώσεις των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων σε υδρόβιους μικροοργανισμούς και φυτά. Για παράδειγμα, σε ποτάμι μολυσμένο με PAHs στις ΗΠΑ, βρέθηκαν ψάρια που παρουσίαζαν ενδοκρινικές διαταραχές (Hontela et al, 1995). Παρόμοιες έρευνες έχουν αποκαλύψει αρνητικές επιδράσεις των ενώσεων αυτών σε φύκια (Djomo et al, 2004) , οστρακοειδή (Ankley et al, 1994), μαλάκια (Narborne et al, 1999) και φυτά (Sverdrup et al, 2003).

2.4 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

2.4.1 Γενικά

Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων είναι από τους κυριότερους λόγους για τον οποίο μελετάται η εναπόθεσή του σε επιφάνειες αυτοκινητοδρόμων. Τα μεταλλικά μέρη του αυτοκινήτου, το σύστημα του καταλύτη και των φρένων είναι μια σημαντική πηγή μετάλλων

και αιτία της συνήθως υψηλότερης συγκέντρωσης τους στο περιβάλλον των αυτοκινητοδρόμων από τις τιμές υποβάθρου τόσο σε επιφάνειες όσο και σε απορροές.

Πίνακας 2.2 Βιβλιογραφική επισκόπηση των μελετών ξηρής εναπόθεσης και των ενώσεων ενδιαφέροντος σε αυτοκινητοδρόμους.

Παλαιότερες μελέτες						Πρόσφατες μελέτες			
Συστατικό	Ξηρή εναπόθεση	Υγρή εναπόθεση	Συλλέκτης απορροής	Σχόλιο	Αναφορά	Ξηρή εναπόθεση	Υγρή εναπόθεση	Σχόλιο	Αναφορά
BAPEA ΜΕΤΑΛΛΑ									
Κάδμιο	--	--	0,0031	--	Hedges, 1987	0,0050	--	South Haven	Holsen and others 1993
			0,0243	Κοντά σε αγροτικό δρόμο	Harrison and Johnston, 1985	--	0,0002	Gary, Ind.	Willoughby 1995
Χαλκός	--	--	--	--	--	--	0,0029	Gary, Ind.	Willoughby 1995
		0,1800		Σικάγο, III	Lazrus and others 1970	--	0,0027		Vermette and others 1995
			0,0214	Κοντά σε αγροτικό δρόμο	Harrison and Johnston, 1985	0,0100	--	Μίσιγκαν	Paode and others 1998
Χρόμιο	--	--	--	--	--	--	0,0115	Gary, Ind.	Willoughby 1995
Νικέλιο	--	0,0267	--	Σικάγο, III	Lazrus and	0,1270	--	Σικάγο, III	Lin and

					others 1970				others 1993
Μόλυβδος	--	--	--	--	--	--	0,0029	Gary, Ind.	Willoughby 1995
Ψευδάργυρος	--	1,6533	--	Σικάγο, III	Lazrus and others 1970	--	0,0066	Gary, Ind.	Willoughby 1995
	2,8493	--	--	--	Barret and others 1994				
ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ									
PCBs	--	--	--	--	--	0,0028 to 0,0097	--	Σικάγο, III	Holsen and others 1993
Total PAHs	--	--	--	--	--	--	0,0528	Μινεάπολη	Franz and others 1991

2.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

2.5.1 Ανάλυση Παλινδρόμησης

Η ανάλυση παλινδρόμησης είναι μια αποδεκτή μέθοδος για την ανάλυση και συσχέτιση δεδομένων για υδατικούς πόρους και για την πρόβλεψη τρεχουσών και μελλοντικών συνθηκών σε περιοχές με χαρακτηριστικά που ταιριάζουν με τα εισαγόμενα στο μοντέλο δεδομένα. Η ανάγκη των μοντέλων για τη διεξαγωγή σχέσεων με τις μετρούμενες ανεξάρτητες μεταβλητές για την πρόβλεψη όγκων υδάτινων απορροών, διακυμάνσεων συγκεντρώσεων και φορτίων για την ανάλυση του κινδύνου όταν οι απορροές εισέρχονται σε υδατοαποδέκτες σε άλλες περιοχές όπου δεν υπάρχουν στοιχεία από τις παρατηρούμενες παράμετροι είναι δεδομένη.

Σαφώς όμως η χρησιμότητα των σχέσεων αυτών έχει σαφή όρια και περιορισμούς. Δύσκολα θα μπορεί να γίνει πρόβλεψη για την απόκριση των εξαρτημένων μεταβλητών όταν κάποιες από τις ανεξάρτητες (προγνωστικές) μεταβλητές είναι εκτός ορίων του μοντέλου, όπως για παράδειγμα υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι (>30,000 AADT) που δεν καταγράφηκαν στη συγκεκριμένη περιοχή της Κρήτης. Οι προγνωστικές παράμετροι επιλέγονται βάση του πως θεωρείται ότι επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις ρύπων και τις άλλες προσδιοριζόμενες μεταβλητές. Έτσι θα πρέπει να επιλέγονται μεταβλητές πρόγνωσης που να έχουν προκύψει από αντιπροσωπευτικές τιμές ρύπων και οι τελικοί συντελεστές συσχέτισης να έχουν ένα λογικό αλγεβρικό πρόσημο.

Μετά από προσεχτική μελέτη και επανεξέταση της βιβλιογραφίας διαπιστώθηκε ότι στις περισσότερες μελέτες οι παράγοντες (ως ανεξάρτητες μεταβλητές στη συσχέτιση παλινδρόμησης) που επηρεάζουν τη συγκέντρωση ρύπων στις απορροές των αυτοκινητοδρόμων είναι (Gupta 1981, Kim et al., 2005, Kayamanian et al., 2007, Hewitt 1990, Thomson et al., 1996, Barrett 1995, 1997, 1998)

- Σχεδιασμός και τοπογραφία του αυτοκινητοδρόμου (αδιαπερατότητα, κλίση κλπ)
- Χαρακτηριστικά κυκλοφορίας (ταχύτητα, όγκος, επιτάχυνση, επιβράδυνση)
- Κλιματικές συνθήκες (ποσότητα, ένταση και διάρκεια της βροχόπτωσης)
- Πολιτική διαχείρισης και εργασίες συντήρησης στους αυτοκινητοδρόμους (σκούπισμα, έργα, κατάσταση οδοστρώματος)
- Παρακείμενη χρήση γης (βιομηχανική εμπορική, μόνο κατοικίες κλπ)
- Η ταχύτητα απορροής μετά τη βροχόπτωση εντός της περιοχής συλλογής

- Η μέση ηλικία των αυτοκινήτων στην μελετώμενη περιοχή

2.5.2 Ιστορία της ανάλυσης παλινδρόμησης

Ιστορικά η ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για προβολή και πρόγνωση δεδομένων για τις απορροές των αυτοκινητοδρόμων (Πίνακας 6) σε αρκετές μελέτες που αναπαριστούν πρωτογενείς προσπάθειες για τοπικές ή σε εθνικό επίπεδο (ΗΠΑ). Οι πέντε πρώτες μελέτες (Kobriger and others, 1981; Chui and others, 1982; Kerri and others, 1985; Driscoll and others, 1990; Thompson and others, 1996) είναι έχουν εξετάσει δεδομένα ροής και ποιότητας απορροών κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1970 και 1980. Επιπρόσθετα, οι Young and others (1996) πιστοποίησαν ότι το γενικότερο σύστημα εξισώσεων των απορροών που ανέπτυξαν οι Driver and Tasker (1990)—identified as "the USGS method"—είναι εφαρμόσιμα για τον προσδιορισμό και τη συσχέτιση ποιοτικών και ποσοτικών στοιχείων (Πίνακες 6, 7), αλλά δε γίνεται συσχέτιση των ποιοτικών αυτών χαρακτηριστικών με την παρακείμενη χρήση γης. Πιο πρόσφατα, ο Irish με τους συνεργάτες του (1996; 1998) και οι Barrett και συνεργάτες (1995) συσχέτισαν και ανάλυσαν δεδομένα συλλεγμένα κατά τη δεκαετία του 1990 χρησιμοποιώντας γραμμική παλινδρόμηση, αλλά ήταν ξεκάθαροι ότι η εφαρμογή των σχέσεων που προέκυψαν μπορεί να είναι εφαρμόσιμη μόνο στην περιοχή του Austin, στο Texas. Τυπικά όλα τα μοντέλα που προέκυψαν χρησιμοποίησαν δεδομένα απορροών από ένα σημαντικό αριθμό βροχών και σταθμών δειγματοληψίας για να υπολογίσουν συντελεστές απορροών ή EMCs και ετήσιες φορτίσεις για αρκετές συσχετιζόμενες περιγραφικές μεταβλητές. Οι μελέτες όμως αυτές περιορίστηκαν σε συνήθεις αναλύσεις παλινδρόμησης με βάση τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Πίνακας 2.3 Σύνοψη της βιβλιογραφίας για αναλύσεις παλινδρόμηση και συσχέτισης ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υδάτινων απορροών των αυτοκινητοδρόμων.

Αναφορά	Έτος συλλογή ς δειγμάτων ων	Παράμετρος ανάλυσης Ρύποι Υδρολογι κές μεταβλητέ ς	Περιοχή/Περιβαλλοντικές συνθήκες	Αριθμός δειγμάτων	Αριθμός σημείων	Αποτελέσμα τα	Μοντέλ ο
Chui and others,19 82	1979-81	COD,Cu,NO _x ,Pb ,TKN,TP,TOC,V SS	Washington: Ανατολικά (ημίξηρες) και Δυτικά (υγρές)	500	9	SL, AL	OLS
Driscoll and others, 1990	1976-84		Αμερική:8 σημεία σε Washington, 3 σημεία σε California και Wisconsin,2 σημεία σε Florida, Minnesota, Pennsylvania, και από 1 σημείο σε Arkansas, Colorado, North Carolina, και Tennessee.	Used site median EMCs from about 900 storms	24	Q, RC, EMC	OLS
Driver and Tasker,	1977-83	Cd,Cu,COD,DP, DS,N,Pb,SS,TK N,TP,Zn	30 αστικές περιοχές σε 3 περιφέρειες τις αμερικής	2,813	173	Q, EMC,SL,AL	OLS GLS

1990								
Irish and others,19 98	1993-95	BOD _x ,COD,Cu, Fe,NO _x ,OG,Pb,T P,TSS,VSS,Zn		Austin, Texas (ημιξηρική)	58	1	SL	OLS
Kerri and others,19 85	1975-81		RS	California (ξηρικές και ημιξηρικές)	ND	3	SL	OLS
Kobriger and others,19 81	1976-77		Q	3 σημεία σε Wisconsin(υγρές),και από 1 σημείο σε Pennsylvania(υγρή),Tennessee (υγρή), και Colorado(ξηρική)	159	6	Q,QD,SL	OLS
Thompso n and others, 1996	1976-83		Q	Minnesota	416	4	Q,EMC	OLS

AL, Ετήσιως φόρτος; EMC, μεση συγκέντρωση επεισοδίου; GLS,παλινδρόμηση γενικευμένων ελαχίστων τετραγώνων; OLS, παλινδρόμηση κονοικών ελαχίστων τετραγώνων; QD, διάρκεια επεισοδίου βροχής;

Κεφάλαιο 3

Υλικά και μέθοδοι

3.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1.1 Ασφάλεια

Η πιο σημαντική πτυχή της καταγραφής των ελέγχων της ποιότητας του νερού είναι τόσο σημαντική όσο και η εξασφάλιση της υγείας και ασφάλειας του προσωπικού.

Οι κίνδυνοι ασφάλειας είναι μοναδικοί σ' αυτό το πρόγραμμα, όπως η συλλογή και η ανάλυση των επικίνδυνων, τοξικών, ή ραδιενεργών δειγμάτων, τα οποία πρέπει να καταγραφούν και να υπάρξει κάποιος ειδικός προγραμματισμός προκειμένου να προστατευθεί το προσωπικό από αυτούς τους κινδύνους. Πρέπει να έχει εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού ασφάλειας και όλο το προσωπικό πρέπει να έχει ενημερωθεί για τη θέση και τη διαθεσιμότητά του και να εκπαιδευθεί στη χρήση του. Το σχέδιο ποιοτικής αξιολόγησης του προγράμματος θα παράσχει τις πληροφορίες για τον καταμερισμό των αρμοδιοτήτων και για το πλαίσιο εφαρμογής καθενός από αυτές, ως επίσης και για την καταγραφή τους.

3.1.2 Μετρήσεις στο πεδίο ερεΰνης

Η εργασία ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης διευκρινίζει ποιες πληροφορίες πρέπει να συλλεχθούν σχετικά με την επιλογή και την περιγραφή των περιοχών δειγματοληψίας, και πώς και από ποίον πρόκειται να συλλεχθούν και να καταγραφούν. Η παραπάνω διεργασία θα περιλάβει πληροφορίες σχετικές με την ακριβή θέση των περιοχών αυτών και τον απαιτούμενο εξοπλισμό καθώς επίσης και το τι θα πρέπει να παρατηρείται σε κάθε επίσκεψη. Ο ακριβής τύπος, τα ακολουθούμενα πρότυπα, και ο αύξων αριθμός καθενός των οργάνων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των μετρήσεων του κάθε τομέα πρέπει να διευκρινιστούν εξ αρχής, ως επίσης να υπάρχουν καταγεγραμμένες οι διαδικασίες και οι προσχεδιασμένες συχνότητες για τη βαθμολόγηση, τη δοκιμή, τη χρήση, και τη συντήρησή τους.

Τα έγγραφα που περιέχουν αυτές τις πληροφορίες είναι ευκόλως διακριτά σε σχέση με τα πρωτόκολλα, ή τις «τυποποιημένες μεθόδους» και καλούνται μερικές φορές τυποποιημένες λειτουργικές διαδικασίες, ή SOPs. Τα πρωτόκολλα, που περιγράφονται κατά τον προγραμματισμό του προγράμματος ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης καταγράφουν και τεκμηριώνουν τι ακριβώς θα πρέπει να κάνει το προσωπικό. Τα SOPs περιγράφουν τη διαδικασία, δηλαδή, πώς ακριβώς θα υλοποιηθούν τα πρωτόκολλα κάτω από πραγματικές συνθήκες εργασίας. Τα πρωτόκολλα είναι συχνά τυποποιημένες εθνικές κατευθύνσεις και μέθοδοι εργασίας. Τα SOPs είναι συνήθως τοπικά έγγραφα, δηλαδή συγκεκριμένα και απόλυτα σχετικά με την εργασία που λαμβάνει χώρα.

Όποτε είναι δυνατό, κάθε όργανο θα πρέπει να βαθμονομηθεί σε σύγκριση με τα τυποποιημένα υλικά αναφοράς που οποία βρίσκονται στο Εθνικό Ίδρυμα Επιστήμης και Τεχνολογίας (κατά το παρελθόν στο Εθνικό Γραφείο Προτύπων). Τα όργανα πρέπει να εξετάζονται πριν από κάθε χρήση, όποτε αυτό είναι εφικτό. Τα περισσότερα όργανα πρέπει να διαθέτουν ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα κανονικής και προληπτικής τους συντήρησης. Κάθε βαθμονόμηση, δοκιμή, και κάθε δραστηριότητα συντήρησης για κάθε όργανο πρέπει να καταγράφεται σε ένα επίσημο, χρονολογημένο, μόνιμο αρχείο του όλου προγράμματος, το οποίο αρχειοθετείται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε κάθε χρήστης στοιχείων και κάθε αξιολογητής του προγράμματος να μπορεί να βεβαιώσει με ποιο τρόπο έγιναν όλες οι διαδικασίες, και να είναι κατά το δυνατόν συγκεκριμένος και προγραμματισμένος.

Το USGS έχει καταδείξει τη σκοπιμότητα του ανά τακτά χρονικά διαστήματα ελέγχου ικανότητας του προσωπικού κάθε τομέα, όσον αφορά τις δυνατότητές τους να εκτελέσουν ακριβείς μετρήσεις των τομέων τους (Stanley et al, 1992). Είναι ενδεδειγμένο να εκτελεσθούν οι εξετάσεις καταλληλότητας σε όλες τις κρίσιμες τεχνικές μέτρησης των τομέων και σε άλλες δύσκολες διαδικασίες, όπως ο τομέας τοποθέτησης των ακίδων και να περιληφθούν τα αποτελέσματα στα αρχεία του προγράμματος. Τα πρωτόκολλα USGS για τη διενέργεια εξετάσεων ικανότητας του προσωπικού τομέων περιγράφονται από το Stanley (1995). Κάθε πρόγραμμα ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης πρέπει να εμπεριέχει αυτές τις πολύ σημαντικές λεπτομέρειες και να φροντίζουν οι ιθύνοντες να τηρούνται.

3.1.3 Δειγματοληψία και χειρισμός δειγμάτων

Θα πρέπει να έχει διευκρινιστεί εξ αρχής ο τύπος του αναγκαίου εξοπλισμού, καθώς επίσης και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να συλλεγούν τα δείγματα προς ανάλυση, καθώς επίσης θα πρέπει να έχουν περιγραφεί εξ αρχής οι διαδικασίες για οποιαδήποτε απαραίτητη

βαθμονόμηση, δοκιμή, και συντήρηση του εξοπλισμού δειγματοληψίας. Οι διαδικασίες για τον καθαρισμό του εξοπλισμού δειγματοληψίας μεταξύ των διαφόρων χρήσεων είναι μεγάλης σπουδαιότητας και πρέπει να γίνουν απόλυτα κατανοητές, να ασκηθούν οι χειριστές, να καταγράφονται όλοι οι καθαρισμοί του εξοπλισμού και να παραδίδονται στο προσωπικό ελέγχου. Εάν ο καθαρισμός πραγματοποιείται στο εργαστήριο πριν να φτάσει στους αντίστοιχους τομείς, θα πρέπει να έχουν διευκρινιστεί τα απαραίτητα στοιχεία για τη διατήρηση της καθαρότητας του εξοπλισμού στο σημείο της χρήσης τους. Εάν τα κενά του ποιοτικού ελέγχου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλίσουν και να τεκμηριώσουν την καθαρότητα του εξοπλισμού δειγματοληψίας μεταξύ των χρήσεων, η αξιολόγηση του προγράμματος ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης θα πρέπει να καθοριστεί η συχνότητα και η φύση αυτών των κενών. Ο αριθμός, ο τύπος, και τα μέσα της προετοιμασίας άλλων δειγμάτων ποιοτικού ελέγχου πρέπει επίσης να καθοριστούν και να συμπεριληφθούν στο σχέδιο αποστολής. Η διαθεσιμότητα μιας πηγής νερού που να είναι ελεύθερο μολυσματικών παραγόντων για την προετοιμασία των κενών και άλλων δειγμάτων ποιοτικού ελέγχου είναι συχνά προβληματική. Μερικά εργαστήρια ανάλυσης παρέχουν το κενό νερό πηγής στους πελάτες τους για να εξασφαλίσουν την ποιότητα και τη συνέπειά τους. Οι χημικές εταιρίες προσφέρουν επίσης ελεγμένο και καθαρό νερό, ελεύθερο μολυσματικών παραγόντων συντηρητικών και άλλων και άλλες δειγματοληπτικές ποσότητες, σε συσκευασίες μιας χρήσης προκειμένου να διατηρήσουν την καθαρότητα. Ακόμα και όταν ένα εργαστήριο ή ένας προμηθευτής χημικών πιστοποιεί το νερό της πηγής, η καθαρότητά της πρέπει να ελεγχθεί με επιπλέον εξέταση, και τα στοιχεία που θα προκύψουν να περιληφθούν στα αρχεία του προγράμματος. Όταν οι ακίδες τομέων υποδεικνύονται στο σχέδιο δειγματοληψίας, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα όσον αφορά τη λήψη και την επαλήθευση των θέσεων των ακίδων και των ογκομετρικών επιφανειών που απαιτούνται. Οι διαδικασίες που σχετίζονται με τις ακίδες πρέπει να παρέχονται εξ αρχής και το προσωπικό τομέων πρέπει να εκπαιδευθεί και να εξεταστεί στη χρήση τους. Το ίδιο πράγμα ισχύει για τα διασπασμένα δείγματα, τα αντίγραφα, και οποιοδήποτε άλλο ποιοτικό έλεγχο που μπορεί να περιλάβει ένα σχέδιο δειγματοληψίας. Ο τύπος συσκευασίας που χρησιμοποιείται για την παράδοση κάθε είδους δείγματος στο εργαστήριο ανάλυσης πρέπει να διευκρινιστεί εξ αρχής, σε συνεργασία με το τμήμα προμηθειών προκειμένου μετά την αγορά ή την προμήθεια σκευών συσκευασίας τα αντικείμενα αυτά να καθαριστούν πλήρως και να παραμείνουν καθαρά μέχρι να χρησιμοποιηθούν. Πρέπει να διευκρινιστούν από την αρχή τα συντηρητικά που μπορεί να απαιτηθούν για ορισμένους τύπους δειγμάτων, όπως επίσης και οι διαδικασίες για την απόκτηση υλικών και ο έλεγχος τους για τυχόν ακαθαρσίες που μπορούν να έχουν επιπτώσεις

στις αναλύσεις. Συχνά, το εργαστήριο ανάλυσης προμηθεύει και εξετάζει το ίδιο τις απαραίτητες συσκευασίες και τα συντηρητικά. Σ' αυτήν την περίπτωση, το πρόγραμμα ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης πρέπει να υποδείξει αυτήν την πηγή και να καταγράψει τις διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν για να διαφυλαχθούν τα δείγματα από τυχόν μόλυνση. Τα δείγματα ποιότητας-ελέγχου, συμπεριλαμβανομένου του κενού, της ακίδας, του αντιγράφου, του υλικού αναφοράς, και των διαχωρισμένων δειγμάτων, πρέπει να προετοιμαστούν και να σταλούν μαζί με τα περιβαλλοντικά δείγματα προς ανάλυση. Ένα λεπτομερές σχέδιο για τη συχνότητα κάθε τύπου δείγματος ποιοτικού ελέγχου και οι δοκιμασμένες διαδικασίες για την προετοιμασία ή την απόκτηση αυτών των δειγμάτων αποτελούν ένα βασικό και κρίσιμο κομμάτι του προγράμματος ποιοτικής αξιολόγησης. Τα δείγματα ποιοτικού ελέγχου πρέπει να προετοιμαστούν και να έχουν τον ίδιο ακριβώς χειρισμό όπως και τα περιβαλλοντικά δείγματα. Αν χρειαστούν διαφοροποιήσεις κατά την προετοιμασία και τον χειρισμό των δειγμάτων ποιοτικού ελέγχου, τότε αυτές οι διαφοροποιήσεις θα πρέπει να καταγραφούν. Το πρόγραμμα ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης θα περιλαμβάνει οδηγίες προς το προσωπικό που εργάζεται εξωτερικά σχετικά με το πώς πρέπει να προετοιμάζονται και να καταγράφονται τα δείγματα προς ποιοτικό έλεγχο. Όταν το προσωπικό που συλλέγει τα δείγματα πρέπει να παράξει δείγματα ποιοτικού ελέγχου στο εξωτερικό περιβάλλον, τότε, είναι ιδιαίτερα ενδεδειγμένος ο περιοδικός έλεγχος της κατάρτισης και εκπαίδευσής τους, καθώς και η περιοδική εξέτασή του, όσον αφορά τις ικανότητες και γνώσεις τους. Ολόκληρος ο σχεδιασμός του προγράμματος πρέπει να καθορίζει επακριβώς τα πρωτόκολλα για την αποστολή των δειγμάτων στο εργαστήριο, συμπεριλαμβανομένων και των σκευών αποστολής, ετικέτες, όλα τα έγγραφα τεκμηρίωσης των δειγμάτων, τιμολόγια αποστολής, καθώς και αναλυτική κατάσταση όλων των αναλύσεων που πρέπει να γίνουν σε κάθε δείγμα. Εάν τα δείγματα είναι χρονο-εξαρτώμενα, θα πρέπει να εξηγείται εξ αρχής πόσο χρονικό διάστημα διαθέτει το εργαστήριο για τις αναλύσεις του. Εάν τα δείγματα είναι ευάλωτα σε αλλαγή θερμοκρασίας, τότε τα έγγραφα που τα συνοδεύουν θα πρέπει να αναφέρουν ποια είναι η κατάλληλη θερμοκρασία διατήρησης και συντήρησης των δειγμάτων. Το έργο θα πρέπει να καθορίζει τη φύση των καταγραφών και γενικότερα όλων των αρχείων και στοιχείων, έτσι ώστε να καθορίζονται επακριβώς όλες οι ανωτέρω προϋποθέσεις. Γενικά, αυτά τα αρχεία είναι μέρος του αρχείου εργαστηριακών στοιχείων, το οποίο παραδίδεται με κάθε παρτίδα αναλυτικών εκθέσεων.

3.1.4 Ανάλυση των δειγμάτων

Το έργο έχει αποκλειστικά και μόνο την ευθύνη της σωστής μετέπειτα εργαστηριακής λειτουργίας και αυτή είναι η πραγματική του δραστηριότητα, εκτός από να επιλέξει ένα σωστό εργαστήριο και να καταγράψει τα αποτελέσματα του εργαστηριακού ποιοτικού ελέγχου, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των δειγμάτων ποιοτικού ελέγχου που αποστέλλονται από τον πεδίο της έρευνας. Η εργαστηριακή ποιοτική εκτίμηση και αξιολόγηση, οι πιστοποιήσεις, και ποιοτικός έλεγχος μπορούν να συμπεριληφθούν είτε από την αναφορά, είτε με τη συμπερίληψη των αντιγράφων στο αρχείο του προγράμματος. Η ύπαρξη και η διαθεσιμότητα αυτών των αρχειοθετημένων στοιχείων πρέπει να υποδεικνύονται μέσω δημοσιευμένων εκθέσεων. Ο διευθυντής του έργου πρέπει να καταλήξει σε μια σταθερή συμφωνία για τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε ανάλυση, προκειμένου να εξασφαλίσει ότι το πρόγραμμα είναι σύμφωνο με τις προδιαγραφές DQOs. Τα αρχεία του προγράμματος πρέπει να τεκμηριώνουν την ανωτέρω συμφωνία, προτού ακόμη αρχίσει η συλλογή των δειγμάτων και οι αξιολογήσεις των στοιχείων (που καλύπτονται αργότερα σε αυτήν την ανάλυση) θα επιβεβαιώσουν ότι το εργαστήριο χρησιμοποιεί τις επιλεγμένες ενδεδειγμένες μεθόδους.

Το έργο της ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης πρέπει να έχει σαφείς προβλέψεις ανατροφοδότησης του εργαστηρίου, για την περίπτωση που η ποιότητα των δειγμάτων αποδειχθεί απαράδεκτη. Αυτό απαιτεί τη γρήγορη αναθεώρηση όλων των εργαστηριακών αποτελεσμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των εκθέσεων ποιοτικού ελέγχου. Το έργο ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης πρέπει να προβλέπει την διεξαγωγή και την τεκμηρίωση της διαδικασίας αναθεώρησης των διαδικασιών. Η αναθεώρηση στοιχείων του έργου πρέπει να περιλαμβάνει (1) την αναθεώρηση των εργαστηριακών στοιχείων συγκεκριμένων παρτίδων ποιοτικού ελέγχου, (2) επαλήθευση ότι οι ζητούμενες αναλύσεις είναι πλήρεις, και (3) σύγκριση με προηγούμενα στοιχεία προκειμένου να ελεγχθεί ότι τα αποτελέσματα βγάζουν νόημα στο σύνολό τους. Σε περίπτωση που συμβούν λάθη στα πεδία της έρευνας ή στο εργαστήριο, τότε ο προϊστάμενος του έργου πρέπει να απαιτήσει τις διορθωτικές εκθέσεις δράσης. Οι αποστολή εκθέσεων από το εργαστήριο πρέπει να αναθεωρηθούν αμέσως για να εξασφαλίσουν ότι τα δείγματα παραλήφθηκαν μέσα στον απαραίτητο χρόνο και στις απαραίτητες συνθήκες (όπως θερμοκρασίας, έλλειψης διαρροών ή θραύσης του σκεύους). Αυτές οι εκθέσεις γίνονται έπειτα μέρος του αρχείου στοιχείων το έργο και αφορούν τις συνθήκες αποστολής των δειγμάτων.

3.1.5 Διαχείριση δεδομένων

Το έργο ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης πρέπει να καθορίζει επακριβώς τα δεδομένα συλλογής, αρχειοθέτησης και χειρισμού των δεδομένων του έργου. Οι προϋποθέσεις περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις για τα πρωτότυπα αρχεία στοιχείων όπως τα σημειωματάρια κάθε τομέα/πεδίου, ή τα αποτελέσματα των εργαστηριακών οργάνων. Δεδομένου ότι όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται υπολογιστές για την καταχώρηση αποτελεσμάτων είτε ξεχωριστών τομέων είτε εργαστηριακών αναλύσεων, η έκφραση «πρωτογενή στοιχεία» μπορεί να είναι ελαφρώς προβληματική. Αυτά τα προβλήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν από την αρχή, έτσι ώστε να τα αρχεία να διαθέτουν συνεπή στοιχεία. Εμπειρικά, το πρωτότυπο αρχείο είναι το πρώτο υπογεγραμμένο και το χρονολογικά πρώτο διαθέσιμο γραπτό στοιχείο, ή μία εκτύπωση από ένα όργανο μέτρησης που μπορεί να μετατραπεί με μαθηματική πράξη σε ένα ολοκληρωμένο στοιχείο. Οι σημειώσεις των τομέων εισάγονται όλο και περισσότερο στους φορητούς προσωπικούς υπολογιστές. Σε αυτήν την περίπτωση, το αρχικό αρχείο είναι ένα υπογεγραμμένο και χρονολογημένο αντίγραφο της πρώτης εισαγωγής δεδομένων, πριν από τη μεταφορά τους σε μια κεντρική βάση δεδομένων. Τα ηλεκτρονικά αρχεία που αποθηκεύονται στα μαγνητικά μέσα δεν είναι ικανοποιητικά ως πρωτότυπα αρχεία λόγω της εγγενούς παροδικότητάς τους, του κινδύνου να σβηστούν τυχαία ή να αλλαχθούν και γίνονται αναπόφευκτα απρόσιτα όταν οι συσκευές που τα τροφοδοτούν ξεπεραστούν τεχνολογικά και δεν είναι πλέον διαθέσιμες. Βοηθητικά στοιχεία (μερικές φορές αποκαλούμενα «metadata») που περιγράφουν τις περιστάσεις της συλλογής δεδομένων είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό μέρος ενός αρχείου. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να περιλάβουν το όνομα του συλλέκτη, των μεθόδων και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να παραχθούν τα αποτελέσματα και τις συνθήκες της επιτόπου δειγματοληψίας (π.χ. υψηλή ή χαμηλή ροή, κάλυψη πάγου ή τρέχον νερό, βροχή ή καλοκαιρία, βιομηχανική απορροή, την απορροή εθνικών οδών, ή περιοχή υποβάθρου, κ.λπ.). Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν ρυθμιστικές απαιτήσεις πρέπει να περιέχουν τα συγκεκριμένα και συνήθως εκτενή βοηθητικά δεδομένα. Το έργο ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης πρέπει να διευκρινίζει ποια βοηθητικά στοιχεία πρέπει να καταγραφούν, ως επίσης, και το λόγο για μια τέτοια ενέργεια. Η ποιοτική εκτίμηση και αξιολόγηση της διαχείρισης του συστήματος δεδομένων, είτε είναι ένα ντουλάπι αρχειοθέτησης είτε μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων, πρέπει να διευκρινίζεται στο έργο ποιοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα δεδομένων είναι ιδιαίτερα ενδεδειγμένα για όλες τις προσπάθειες συλλογής δεδομένων. Δεν είναι κοινοτυπία να πούμε ότι πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα

τρέχοντα στοιχεία σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα πρέπει με ακρίβεια και στην ολότητά τους να αντιπροσωπεύουν τα στοιχεία που εισήχθησαν κατά την διάρκεια της μελέτης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τουλάχιστον ορισμένοι από αυτούς τους κανόνες καθορίζονται από άτομα πιο ψηλά στην ιεραρχία από αυτήν του διευθυντή του έργου και μπορούν να χειριστούν με την παραπομπή στα κατάλληλα έγγραφα.

3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥΣ

3.2.1 Επιλογή τοποθεσίας

Η επιλογή μιας θέσης για τη λήψη των μετρήσεων ροής μέσα σε ένα δίκτυο αποξηράνσεων απαιτεί την αξιολόγηση της αντιπροσωπευτικότητας της περιοχής προκειμένου αυτή η περιοχή να μπορεί να παράγει στοιχεία ροής που να είναι σύμφωνα με τους στόχους της έρευνας, και η υδραυλική και φυσική καταλληλότητα της περιοχής να είναι τέτοια ώστε να μπορούν να ληφθούν ακριβείς μετρήσεις ροής.

Η σημασία της κατάλληλης επιλογής περιοχών δεν μπορεί να τονιστεί επαρκώς. Ανεξάρτητα από το πόσο ακριβή τα στοιχεία ροής, εάν η περιοχή δεν παρέχει τις πληροφορίες για να επιτύχει τους στόχους του προγράμματος, τα στοιχεία έχουν μικρή σημασία (Whitfield, 1988). Σπάνια θα βρει ένας ερευνητής την ιδανική περιοχή, αλλά, πρέπει να γίνει ένας συμβιβασμός μεταξύ πολλών παραγόντων για την επιλογή της καλύτερης περιοχής. Οι βασικές ερωτήσεις που πρέπει να εξεταστούν στην επιλογή της καλύτερης ή πιο αντιπροσωπευτικής, περιοχής είναι:

- Η ροή που μετριέται σε αυτό το χώρο να είναι αντιπροσωπευτική και θα συμβάλει με τα στοιχεία της στην ολοκληρωμένη μελέτη;
- Πώς διανέμονται οι ταχύτητες ροής;
- Πόσο σταθερό είναι το καθεστώς ροής;
- Μπορεί να δημιουργηθεί μια σχέση επιπέδου και εκτόνωσης;
- Πόσο σταθερή στο χρόνο θα παραμείνει η παραπάνω σχέση;
- Είναι αποδεκτή η πρόσβαση στην περιοχή;
- Μπορεί να εγκατασταθεί ο εξοπλισμός;
- Μπορούν να γίνουν χειρωνακτικές μετρήσεις ροής;
- Είναι εύχρηστα τα επιπλέοντα υλικά;

- Είναι η περιοχή ασφαλής για το προσωπικό και τον εξοπλισμό;

Η εκτίμηση των ανωτέρω ερωτήσεων κατά την επιλογή μιας περιοχής μπορεί να απαιτήσει μια σημαντική ποσότητα του προϋπολογισμού αλλά και εμπειρίας στον εξωτερικό χώρο. Ο χρόνος και η προσπάθεια που επενδύονται, όμως, θα εξασφαλίσουν ότι η περιοχή που επιλέγεται μεταξύ άλλων πιθανών περιοχών, θα παράγει τα περισσότερα αντιπροσωπευτικά στοιχεία ροής και θα βοηθήσει στην ολοκλήρωση του έργου. Ο κίνδυνος επιλογής μιας μη αντιπροσωπευτικής περιοχής μειώνεται σημαντικά εάν ο ερευνητής αρχίσει με αυτήν τη διαδικασία. Επιπλέον, οι πληροφορίες που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιλογής της περιοχής πρέπει να τεκμηριωθούν και να περιληφθούν σε μια έκθεση στοιχείων ή σε ένα άλλο προσιτό σχήμα για να επιτρέψουν την ανεξάρτητη αξιολόγηση της επιλεγμένης περιοχής και για την πιθανή χρήση της περιοχής σε μελλοντικές έρευνες.

Οι οδηγίες για την επιλογή περιοχών κατά μήκος των ρεμάτων παρέχονται από τους Carter και Davidian (1968), Rantz (1982a), το FHWA (1985), και την υπηρεσία συντήρησης των φυσικών πόρων (1996). Η αρχική επιλογή περιοχών (είτε κατά μήκος ενός καναλιού, μέσα σε ένα δίκτυο εθνικών οδών είτε σε αστικό δρόμο, είτε από μια ασφαλοστρωμένη επιφάνεια) και οι εναλλακτικές επιλογές περιοχών πρέπει να περιληφθούν στις αναλυτικές εκθέσεις και σε άλλα έγγραφα σχετικά με την υδρολογία της περιοχής, την εξέταση των εγγράφων ή των σχεδίων δικτύων εθνικών οδών και αστικών αποξηράνσεων και επικοινωνία των ερευνητών με το κράτος και τα υποκαταστήματα των υπουργείων και τους κατοίκους της πόλης που ζουν κοντά στην προτεινόμενη περιοχή. Η περιοχή λεκανών αποξηράνσεων, το ανάγλυφο του εδάφους, η κλίση, οι ανυψώσεις του εδάφους, το σχέδιο ρεμμάτων και οι θέσεις των μικρότερων ρευμάτων μπορούν να καθοριστούν από τους τοπογραφικούς χάρτες ή στις εύκολα διαθέσιμες γεωγραφικές βάσεις δεδομένων συστημάτων πληροφοριών (GIS). Η χρήση της γης μπορεί να προκύψει επίσης από αυτούς τους χάρτες. Το δίκτυο των σωλήνων αποχέτευσης, η κλίση των σωλήνων, οι θέσεις των λεκανών σύλλησης, οι άτρωτες και αδιαπέραστες περιοχές, οι κλίσεις των περιοχών και άλλες φυσικές δομές μπορούν να βρεθούν από τα αρχεία με τα προσχέδια ανοικοδόμησης των περιοχών αυτών, αν και είναι σχετικά δύσκολο να βρεθούν τέτοιες παλαιότερες πληροφορίες. Αυτές οι αρχικές πληροφορίες σε σχέση με την επιλογή περιοχών είναι απαραίτητες επειδή παρέχουν μια γενική κατανόηση του συστήματος ροής, τον προσδιορισμό της θέσης μέσα στο σύστημα αποξηράνσεων όπου μπορούν να συλλεχθούν τα αντιπροσωπευτικότερα στοιχεία και μια αρχική αξιολόγηση των παραγόντων άνω- και κάτω- κλίσης που μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις ροής στην επιλεγμένη θέση. Η επιθεώρηση των χώρων απαιτείται για να

εξασφαλιστεί ότι η περιοχή είναι υδραυλικά και φυσικά κατάλληλη για ακριβείς μετρήσεις ροής και ότι η περιοχή έχει εύκολη πρόσβαση προκειμένου να συλλεγούν τα στοιχεία ακίνδυνα. Οι βασικές υδραυλικές εκτιμήσεις είναι η διανομή ταχυτήτων ροής και πιθανές αλλαγές στο καθεστώς ροής. Μια ομοιόμορφη διανομή ταχύτητας στο ρέον νερό σε όλη την έκταση της ροής, χωρίς αλλαγή στο καθεστώς ροής, θα χαρακτήριζε τους ιδανικούς όρους μέσα στους οποίους μπορεί να καθοριστεί το ποσοστό ροής από μια μέτρηση του βάθους του νερού. Είναι πραγματικότητα όμως ότι οι ταχύτητες στις περισσότερες ροές δεν διανέμονται ομοιόμορφα και η διανομή των ταχυτήτων και των καθεστώτων ροής μπορεί να αλλάξει. Για να δικαιολογήσουν αυτήν την ανομοιόμορφη διανομή ταχύτητας και το πιθανό μεταβαλλόμενο καθεστώς ροής στις μετρήσεις ροών σε μέτρια έως μεγάλα ρεύματα, τα ποσοστά ροής μετρώνται ανά πολλά κοντινά κάθετα τμήματα κατά μήκος μιας κάθετης γραμμής (Buchanan and Sommers, 1969; Rantz, 1982a). Σε μικρά ρέματα ή στις εθνικές οδούς οι σε αστικούς αγωγούς, εντούτοις, οι πολλαπλές μετρήσεις περιορίζονται χρονικά και τοπικά. Ο μικρός αριθμός μετρήσεων ροής είναι εφικτός λόγω του μικρού εύρους και μερικές φορές του ρηχού βάθους το οποίο είναι ανεπαρκές για ακριβείς μετρήσεις ροής και λόγω της ταχύτατα μεταβαλλόμενης ροής, κάθε μεμονωμένη μέτρηση θα μπορούσε να αντιπροσωπεύσει μέρος μιας διαφορετικής διανομής ποσοστού και ταχύτητας ροής. Σε αυτούς τους τύπους ροών, συνιστάται η χρήση συσκευών ελέγχου ροής, όπως υδροφράκτη (ποταμοφράκτη) και τεχνητού δίαυλου ή τεχνητό καναλιού (Buchanan and Sommers, 1969; Marsalek, 1973; Alley, 1977; Kilpatrick and Schneider, 1983; Kilpatrick et al, 1985; FHWA, 1985; Natural Resources Conservation Service, 1996). Οι μετρήσεις ροής από αυτές τις συσκευές απαιτούν μόνο μια μέτρηση ανά μονάδα επειδή παράγουν μια συνεπή διανομή ταχυτήτων σε όλη την έκταση των ροών. Οι φυσικές εκτιμήσεις συσχετίζονται γενικά με την επιλογή μιας περιοχής όπου η διανομή των ταχυτήτων στο νερό είναι το δυνατόν ελάχιστα διαταραγμένη και αναμένεται για να παραμείνει έτσι καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου έρευνας. Αν και οι πολλαπλές μετρήσεις ροής χρησιμοποιούνται στη μέτρηση ρέματος-εκτόνωσης και οι συσκευές ελέγχου ροής χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις ροής στα συστήματα εθνικών οδών και αστικές αποξηράνσεις για να καταλήξουμε σε μια ανομοιόμορφη διανομή ταχυτήτων, η αξιολόγηση της διανομής ταχυτήτων παραμένει ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας επιλογής περιοχών. Επομένως, η επιθεώρηση των τομέων περιλαμβάνει τον έλεγχο προς όλες τις κατευθύνσεις του ρέματος – άνω και κάτω – για την αξιολόγηση των παραγόντων ροής που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στο χώρο και στο χρόνο, όπως η σταθερότητα και η ομοιομορφία των ιζημάτων στον πυθμένα και οι εναποθέσεις στις κοίτες, το ευθύγραμμο ή μη του καναλιού, το σχέδιο ροής μέσα στο κανάλι, οι παραλλαγές σε

πλάτη και βάθη και η εγγύτητα τυχόν ρυακιών και οι φυσικές δομές που δεν παρουσιάζονται στο χάρτη της περιοχής και η παρουσία επιπλέοντων ή βυθισμένων ιζημάτων. Πρέπει να γίνει οπτική επιθεώρηση του εδάφους γης και της πιθανής επίδρασής του στη ροή και στις μετρήσεις της ροής. Για τις εθνικές οδούς και τις αστικές αποξηράνσεις, οι θέσεις και η ανύψωση των λεκανών σύλληψης, των διατομών σωλήνων, και των εκβολών πρέπει να ελεγχθούν με τα σχέδια και να διορθωθούν τα σχέδια, εάν είναι απαραίτητο. Αν και η καταγραφή της θέσης των υπόγειων σωλήνων στα δίκτυα εθνικών οδών και στις αστικές απορροές είναι δύσκολη, οι διαδρομές ροής μπορούν συνήθως να καθοριστούν από την οπτική επιθεώρηση της ανύψωσης και της κατεύθυνσης των σωλήνων, από την υλική τους σύνθεση, τη διάμετρο και τον αριθμό τους. Η επιθεώρηση των τομέων πρέπει επίσης να περιλαμβάνει μια εκτίμηση του σχετικού ποσού ατρωσίας και αδιαπέραστων περιοχών μέσα στην όλη περιοχή. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις του υδάτινων απορροών στις οδικές μελέτες απορροών χρησιμοποιούνται πρώτιστα για τον προσδιορισμό των μολυσματικών φορτίων, πρέπει επίσης να εξεταστούν οι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στις μετρήσεις της ποιότητας του νερού, οι ιδιότητες και τα συστατικά τους καθώς και οι διαδικασίες συλλογής δειγμάτων. Παραδείγματος χάριν, πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικό βάθος για την πλήρη βύθιση των οργάνων που ελέγχουν την ποιότητα του νερού και παράγοντες όπως το νερό που οπισθοχωρεί ή που έρχεται αντίθετα στο ρεύμα μπορεί να έχει επιπτώσεις στη χρονική αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων και των μετρήσεως ποιότητας. Εάν οι στόχοι του προγράμματος επιτρέπουν, επιλέξτε μια περιοχή όπου τα δεδομένα ισχύουν για περισσότερες από μια έρευνες, ή πού τα συλλεχθέντα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουν μελλοντικές τάσεις. Οι χάρτες, οι πίνακες, και οι γραπτές περιγραφές των υδρολογικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του δικτύου ρευμάτων ή σωλήνων αποχέτευσης είναι απαραίτητοι για να αξιολογήσουν την ποιότητα των στοιχείων ροής, όσον αφορά την κατάλληλη θέση των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μέτρησης της ροής. Μια έκθεση πρέπει σαφώς να δείξει τη θέση του σταθμού μέτρησης ροής όσον αφορά την περιοχή της συλλογής, τις τοπικές και περιβάλλουσες χρήσεις γης, και το σχετικό ποσό ατρωσίας και αδιαπέραστης συμβολής περιοχών. Είναι σημαντικό να τεκμηριωθεί η θέση και τα χαρακτηριστικά των φυσικών ή κατασκευασμένων ελεγχόμενων ροών και τυχόν χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Είναι επίσης σημαντικό να τεκμηριωθεί η κλίση του ρεύματος/του σωλήνα/ προκειμένου να βοηθήσει να καταγραφεί το καθεστώς ροής. Όπου η χερσαία ροή είναι μετρήσιμη, είναι απαραίτητες οι αναλυτικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά επιφάνειας και οι δομές συγκέντρωσης της ροής. Αυτή η προσεκτική και λεπτομερής αναθεώρηση των σχεδίων ή των

κατασκευών και της επιθεώρησης τομέων θα βοηθήσει να εξασφαλιστεί ότι μπορούν να ληφθούν εύλογα ακριβείς και αντιπροσωπευτικές μετρήσεις ροής.

Η τεκμηρίωση της αρχικής αξιολόγησης περιοχών και της επιθεώρησης τομέων θα εξασφαλίσει ότι η περιοχή που ερευνάται για τη συλλογή των μετρήσεων ροής είναι η σωστή επικυρωθεί. Θα ήταν εξαιρετικά ασυνήθιστο εάν βρισκόταν η ιδανική περιοχή. Αλλά με την καταγραφή των πληροφοριών που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιλογής της περιοχής, με την αρχειοθέτηση, την τεκμηρίωση και την συμπερίληψη όλων των σχετικών πληροφοριών σε μια δημοσιευμένη έκθεση περιγραφής ή στοιχείων προγράμματος, ή σε ένα παράρτημα σε μια ερμηνευτική έκθεση, θα μπορούσαν να αξιολογηθούν αρκετά επίπεδα βεβαιότητας των συλλεγέντων στοιχείων και των ερμηνειών τους.

3.2.2 Επιλογή σταθμού δειγματοληψίας Γαζίου

Το Γάζι είναι οικισμός που εκτείνεται δυτικά του δήμου Ηρακλείου και απέχει από αυτόν περίπου 8 χλμ. άνωθεν του οικισμού περνάει ο βόρειος οδικός άξονας της Κρήτης (BOAK) που συνδέει τις πρωτεύουσες όλων των νομών. Ο σταθμός αυτός δειγματοληψίας επιλέχθηκε βάση του γεγονότος ότι είναι ένα πρόσφατα κατασκευασμένο κομμάτι της εθνική οδού και ότι εμπεριέχονται σε αυτό διαχωριστικές νησίδες που συγκεντρώνουν τις υδάτινες απορροές και από τα δύο ρεύματα κυκλοφορίας εντός φρεατίου στο οποίο έγινε εύκολα η πρόσβαση και η προσαρμογή της διάταξης δειγματοληψίας (εικόνες 1 και 2). Η περιοχή που περικλείεται και συσσωρεύονται τα υγρά απόβλητα είναι 2.400 m^2 , που για το μέγεθος του συγκεκριμένου οδικού άξονα και τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής το καθιστούν αρκετά ικανοποιητικό όσον αφορά την απορροή που θα συλλέγει. Επίσης ο κυκλοφοριακός φόρτος που συγκεντρώνει ο συγκεκριμένος κόμβος του BOAK, αποτελεί πάνω από το 70% του συνολικού φόρτου του νησιού.

3.2.3 Επιλογή σταθμού δειγματοληψίας Χερσονήσου

Ο οικισμός της Χερσονήσου βρίσκεται σε απόσταση 24 χλμ, ανατολικά του Ηρακλείου και συγκεντρώνει μεγάλο αριθμό τουριστών κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Το σημείο αυτό επιλέχθηκε με βάση το ότι υπήρχε α) μετεωρολογικός σταθμός, β) έτοιμη διάταξη δειγματοληψίας των υδάτινων απορροών και γ) δεδομένα ποιότητας και ποσότητας των υδάτινων απορροών από προηγούμενο ερευνητικό πρόγραμμα ενώ επίσης σύμφωνα με τα

στοιχεία υπάρχει μια ελαφρά μειωμένη κίνηση σε σχέση με το σταθμό δειγματοληψίας Γαζίου, κάτι που επιτρέπει να γίνονται άμεσα συγκρίσεις.

3.2.4 Επιλογή σταθμού δειγματοληψίας στο ΤΕΙ Ηρακλείου.

Επιπρόσθετα επιλέχτηκε ένα σημείο χαμηλής κυκλοφορίας πλησίον του ΤΕΙ Κρήτης στο Ηράκλειο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση του μοντέλου αφού τόσο οι απορροές που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν εκεί όσο και οι μετρήσεις ξηρής εναπόθεσης ανταποκρίνονται σε πολύ χαμηλά κυκλοφοριακά φορτία περίπου το 1/10- 987 έως 1421 αυτοκίνητα ανά ημέρα, με μέση τιμή 1137 αυτοκίνητα/ημέρα- από αυτό των αντίστοιχων τιμών επί των εθνικών οδών και καθ' όλη την περίοδο των μετρήσεων.

3.3 ΔΕΙΓΜΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

3.3.1 Γενικά

Η συλλογή των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για τη μέτρηση του ιζήματος στην εθνική οδό και τις αστικές απορροές περιλαμβάνει διάφορα αλληλένδετα ζητήματα. Η χρονική και χωρική μεταβλητότητα στην απορροή μπορεί να είναι μεγάλη λόγω ενός συνδυασμού παραγόντων συμπεριλαμβανομένου του όγκου και της έντασης της πτώσης, του ποσοστού λιώσιματος του χιονιού και των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της λεκάνης αποξήρανσεων όπως η αντίστοιχη περιοχή, η κλίση, η ικανότητα διήθησης, η τραχύτητα των καναλιών και τα χαρακτηριστικά αποθήκευσης. Δεδομένου ότι το ποσοστό απορροών αυξάνεται, αυτό σημαίνει ότι και το στάδιο (στάθμη ύδατος) και η ταχύτητα αυξάνονται. Οι γρήγορες αλλαγές στη ροή μπορούν να συνδεθούν με τις γρήγορες αλλαγές στη συγκέντρωση ιζημάτων, το PSD, και τη διανομή πυκνότητας. Παραδείγματος χάριν, ο Butler et al (1996a, 1996b) απέδειξαν ότι τα ιζήματα που συσσωρεύονται στους σωλήνες μπορούν να κινηθούν (ως στρώμα εδάφους ή ανασταλμένο φορτίο) ή να παραμείνουν ακίνητα ανάλογα με τη συγκέντρωση και τη διανομή του μεγέθους του ιζήματος και την ενέργεια της ροής.

Επομένως, η μέτρηση της πτώσης και της ροής είναι απαραίτητες για τη μέτρηση και την ερμηνεία της μεταφοράς ιζημάτων στην εθνική οδό και στα αστικά συστήματα απορροών (Church et al, 1999). Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη μέτρηση και την ερμηνεία

των ροών βροχόπτωσης και απορροών στην εθνική οδό και τα αστικά συστήματα συζητούνται από τους (Church et al, 1999). και δεν συμπεριλαμβάνονται στο παρόν.

Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας απορροών-μεταφορών βροχόπτωσης απαιτεί να έχει προηγηθεί σχεδιασμός και μέθοδος που χαρακτηρίζουν τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα στις μεταφορές ιζημάτων σε αυτά τα συστήματα. Τα σχέδια δειγματοληψίας για τη μελέτη της μόλυνσης της πηγής μπορούν να περιλάβουν ιδιαίτερη και/ή σύνθετη δειγματοληψία είτε χειροκίνητα είτε με αυτόματες δειγματοληπτικές μεθόδους (USEPA, 1992).

Τα ληφθέντα δείγματα μπορούν να αντιπροσωπεύσουν τις συγκεντρώσεις ιζημάτων για μόνο ένα μικρό χρονικό διάστημα. Τα σύνθετα δείγματα αναμιγνύονται ή συνδυάζονται με τα δείγματα που πρέπει να ζυγιστούν για να αντιπροσωπεύσουν τις συγκεντρώσεις και τα φορτία κατά τη διάρκεια της περιόδου ελέγχου (USEPA, 1992; Gray and Fisk, 1992).

Τα ληφθέντα δείγματα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου απορροών μπορούν να είναι από τη φύση τους περίπλοκα και αναλύονται ως ένα δείγμα ή από μαθηματική άποψη από μια ανάλυση των πολλαπλάσιων ιδιαίτερων δειγμάτων (Driscoll et al, 1991). Τα μεμονωμένα και (ή) σύνθετα δείγματα μπορούν να είναι αντιπροσωπευτικά του χώρου όπως εκείνα που συλλέγονται με τη μέθοδο Equal Discharge Increment (EDI) ή με τη μέθοδο Equal Width Increment (EWI) (Edwards and Glysson, 1999) ή μπορεί να είναι αντιπροσωπευτικά μόνο του σημείου του ρεύματος ρεύμα από το οποίο συλλέχθηκε το δείγμα.

Οι αυτόματες δειγματοληπτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν αντληθείσες δειγματοληπτικές συσκευές καθώς επίσης και παθητικές συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να συλλέγουν ένα ιδιαίτερο δείγμα. Το USEPA (1992) περιγράφει μερικά από τα σχετικά πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των χειροκίνητων και αυτόματων τεχνικών δειγματοληψίας. Η απόσταση ή το απρόσιτο μερικών περιοχών μελέτης καθιστά δύσκολο τον έλεγχο των περιόδων απορροών με χειροκίνητο τρόπο και μπορεί να είναι δύσκολο να φτάσει το προσωπικό στις περιοχές πριν από την αρχή της απορροής.

Οι δαπάνες που συνδέονται με την επέκταση του εκπαιδευμένου και κατάλληλα εξοπλισμένου προσωπικού, εκτός από τις αβεβαιότητες τις σχετικές με τη θέση και το συγχρονισμό της απορροής, μπορούν να είναι απαγορευτικές για τη χειρωνακτική δειγματοληψία σε περίοδο απορροών από καταιγίδες. Παραδείγματος χάριν, ο Thiem et al (1998) απασχόλησαν έναν μετεωρολόγο για να προβλέψουν καταιγίδες, αλλά, ακόμη και τότε είχαν δυσκολία στην εφαρμογή των χειροκίνητων προσπαθειών δειγματοληψίας επειδή η απορροή καταιγίδας προβλέφθηκε με μια ακρίβεια περίπου 50 τοις εκατό.

Η δυσκολία στη συλλογή ενός σχετικά μεγάλου αριθμού δειγμάτων κατά τη διάρκεια των απορροής καταιγίδας και των κινδύνων στο προσωπικό των τομέων το οποίο εργάζεται κάτω από δυσμενείς όρους (συμπεριλαμβανομένων του μποτιλιαρίσματος, του καιρού, της μειωμένης ορατότητας και των ταχύτατων αλλαγές στην εκτόνωση των νερών) μειώνει την πρακτικότητα των χειροκίνητων προσπαθειών δειγματοληψίας. Αντίθετα, οι αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές μπορούν να επεκταθούν από πριν και τα δείγματα μπορούν να ανακτηθούν μετά από την παύση της καταιγίδας, οπότε, με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι διαχειριστικές μέριμνες και αυξάνεται η ασφάλεια για το προσωπικό τομέων (Federal Interagency Sedimentation Project, 1981; USEPA, 1992).

Επίσης, η μεγάλη χρονική και χωρική αβεβαιότητα των βροχοπτώσεων και των απορροών, και ο συντονισμός μεταξύ της αυτόματης πτώσης, της ροής, και των οργάνων μέτρησης ποιότητας νερού και των αυτόματων δειγματοληπτικών συσκευών (Church et al, 1996) ευνοούν τη χρήση αυτών των συσκευών στον έλεγχο της ποιότητας απορροών στην εθνική οδό και τα αστικά συστήματα.

Παραδείγματος χάριν, ο Lewis (1996) περιγράφει μέσω μιας αυτόματης δειγματοληπτικής συσκευής ιζημάτων, βασισμένος σε πραγματικό χρόνο μετρήσεις θολότητας. Οι Edwards και Glysson (1999) περιγράφουν χειροκίνητες μεθόδους για τη συλλογή δειγμάτων ιζημάτων, οι οποίες, τυπικά, είναι οι καταλληλότερες για την παρακολούθηση υδάτων από συστήματα εθνικών οδών και αστικές απορροές. Οι αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως στα συστήματα εθνικών οδών και αστικών απορροών συζητούνται παρακάτω.

3.3.2 Αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές

Οι αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές περιλαμβάνουν τις ενεργές (δειγματοληπτικές συσκευές άντλησης) και παθητικές συσκευές δειγματοληψίας. Οι αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές άντλησης, συνήθως, συλλέγουν το νερό από την στήλη ύδατος μέσω αναρρόφησης και ελέγχουν το ποσοστό δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας την αντλία ταχύτητας (Dick, 1996). Οι παθητικές συσκευές δειγματοληψίας, συνήθως, εγκαθίστανται στην πορεία ροής και ελέγχουν το ποσοστό δειγματοληψίας ανάλογα με την τοποθέτηση, τον προσανατολισμό, και το σχέδιο της εισαγωγής νερού. Κάθε τύπος δειγματοληπτικής συσκευής έχει τα οφέλη και τους σχεδιαστικούς περιορισμούς του, οι οποίοι πρέπει να αναγνωριστούν και να ποσολογηθούν-μετρηθούν για να παρέχουν αντιπροσωπευτικά στοιχεία.

3.3.3 Δειγματοληπτικές συσκευές άντλησης

Οι αυτόματες δειγματοληπτικές συσκευές άντλησης γενικά αποτελούνται από

- (1) μια αντλία η οποία ανασύρει τα δείγματα ιζημάτων από την υδάτινη στήλη και, σε μερικές περιπτώσεις, για να παρέχει και έναν αυτοκαθαρισμό πριν την κάθε εισαγωγή δείγματος πριν από ή μετά από κάθε κύκλο δειγματοληψίας,
- (2) ένα σκεύος δείγματος που διατηρεί τα μπουκάλια των δειγμάτων στη θέση τους μέχρι να γεμίσουν,
- (3) ένα σύστημα διανομής δειγμάτων που εκτρέπει το δείγμα σε ένα ή περισσότερα μπουκάλια συλλογής δειγμάτων,
- (4) ένα σύστημα ελέγχου ενεργοποίησης που ενεργοποιεί τον κύκλο δειγματοληψίας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, και
- (5) ένα σύστημα εισαγωγής μέσω του οποίου τα δείγματα εξέρχονται από ένα σημείο στη διατομή της υδάτινης στήλης.

3.3.4 Διατάξεις δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν

Στο Σταθμό Δειγματοληψίας Γαζίου (ΣΔΓ) χρησιμοποιήθηκε αυτόματος δειγματολήπτης SIGMA 900 Max Portable Sampler της εταιρίας Hack. Σε αυτόν ήταν συνδεδεμένος αισθητήρας ταχύτητας ροής και βροχόμετρο. Η διάταξη που πραγματοποιήθηκε παρείχε έτσι την δυνατότητα δειγματοληψίας σύνθετων δειγμάτων ανά 0.5 m^3 απορροής. Έτσι αν οι όγκοι απορροής το επέτρεπαν γίνονταν άντληση μέχρι 24 συνολικά σύνθετων δειγμάτων σε κάθε επεισόδιο βροχής κατά το διάστημα 19/4/2007 έως 11/2/2008.

Στο σταθμό δειγματοληψίας Χερσονήσου υπήρχε η δυνατότητα επιπλέον συλλογής επεξεργασμένων δειγμάτων σε κάθε επεισόδιο βροχής από τέσσερις διαφορετικούς τεχνητούς υγροβιότοπους. Έτσι λήφθηκαν κατά το διάστημα των μετρήσεων ανά 15 ημέρες τα δεδομένα (βροχόπτωση, ταχύτητα ροής, θερμοκρασία) από το καταγραφικό συνεχούς λειτουργίας του Σταθμού Δειγματοληψίας Χερσονήσου (ΣΔΧ) και μέσω του διαδικτύου τα μετεωρολογικά δεδομένα από το σταθμό της Κνωσού (www.meteo.gr).



Εικόνα 1.1 Το σημείο επί της εθνικής οδού πριν τη διασταύρωση Γαζίου που συλλέγονται οι υδάτινες απορροές.



Εικόνα 1.2. Το τμήμα του αυτοκινητοδρόμου (200μέτρων) από τη δυτική πλευρά που εγκαταστάθηκε ο σταθμός δειγματοληψίας.

3.3.5 Μέθοδοι μέτρησης βροχόπτωσης

Οι μέθοδοι που επιτρέπουν την ακριβή μέτρηση της έντασης βροχόπτωσης καθώς και συγκεντρωτικά στοιχεία βροχοπτώσεων είναι απαραίτητα για τον προγραμματισμό, τον σχεδιασμό, τη συλλογή και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε ό,τι αφορά ποιοτικές μελέτες ύδατος. Ιστορικά αναφέρουμε ότι, ένα επίπεδο ακρίβειας 0.01 ιντσών (0.25mm) έχει θεωρηθεί ικανό να συγκρίνει τυχόν παραποιήσεις ή παραμορφώσεις που παρουσιάζονται κατά την καταγραφή βροχοπτώσεων σε αστικές περιοχές, για τον υπολογισμό της τοπικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης και για το επίπεδο ακρίβειας και άλλων οργάνων ελέγχου

(Alley, 1977). Τουλάχιστον ένα βροχόμετρο είναι απαραίτητο προκειμένου να παρέχει τις λεπτομερείς πληροφορίες βροχόπτωσης που απαιτούνται για μια επιτόπια μελέτη, αλλά και η λήψη στοιχείων από μη αυτόματα βροχόμετρα, τα οποία από μόνα τους δεν καταγράφουν δεδομένα, μπορεί να συμπληρώσει αυτές τις πληροφορίες, και (ή) να χρησιμοποιηθούν για να οριστούν οι συσχετισμοί μεταξύ των ελεγχόμενων περιοχών και της βροχόπτωσης. Γενικά μιλώντας, αυτά τα χειροκίνητα βροχόμετρα προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην μέτρηση της συνολικής βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου μέτρησης. Αυτά τα βροχόμετρα δεν παρέχουν άμεσα πληροφορίες για τον πραγματικό συγχρονισμό, τη διάρκεια, ή την ένταση της βροχόπτωσης που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου μέτρησης. Οποιοδήποτε ανοικτό σκεύος με σημειωμένη πάνω του μια μονάδα μέτρησης, τοποθετημένο ανάμεσα στο σημείο συλλογής της βροχόπτωσης και μετρώντας είτε το βάρος είτε το βάθος της συλλεγούσης βροχόπτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χειροκίνητο βροχόμετρο (USEPA, 1992). Τα χειροκίνητα βροχόμετρα μπορούν να παρέχουν άριστα στοιχεία επαλήθευσης (εξασφάλιση ποιότητας και ποιοτικού ελέγχου) επειδή κατασκευάζονται εύκολα και είναι ανέξοδα. Ένα ή περισσότερα χειροκίνητα βροχόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κοινού με ένα αυτόματο βροχόμετρο προκειμένου να παρέχουν απαραίτητες πληροφορίες σε περίπτωση που χαλάσει κάποιο άλλο όργανο. Ένας αριθμός αυτών των συσκευών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποκαταστήσει ή να συμπληρώσει τα βροχόμετρα και να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τυχόν ερωτήματα και υποθέσεις όσον αφορά την τοπική διανομή της συνολικής βροχόπτωσης μέσα και γύρω από μια περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα όμως στοιχεία από αυτά τα βροχόμετρα μπορεί να παρουσιάσουν λανθασμένα στοιχεία, μιας και το νερό μπορεί να εξατμιστεί ή να υπερχειλίσει του δοχείου, εάν ο χρόνος μεταξύ των χειροκίνητων μετρήσεων δεν υπολογιστεί σωστά. Οι οπτικές παρατηρήσεις μπορεί να είναι λανθασμένες λόγω parallax ή τυχόν μετατόπισης νερού, ή μετά από απορρόφηση νερού ενός ραβδίου μέτρησης. Κατά χρησιμοποίηση χειροκίνητων βροχόμετρων, τα δεδομένα χιονόπτωσης πρέπει να προέλθουν μετά από μετρήσεις του βάθους του χιονιού και της περιεκτικότητάς του σε νερό (Alley, 1977). Οι αντιπροσωπευτικές μετρήσεις χιονιού από τα χειροκίνητα βροχόμετρα στις εθνικές οδούς με προτεραιότητες διέλευσης, μπορούν να γίνουν εξαιρετικά δύσκολες λόγω των παραλλαγών που προκαλούνται από τους φυσικούς ανέμους αλλά και από τον αέρα που προκαλούν τα οχήματα όταν τρέχουν, καθώς επίσης και από τις διαδικασίες απομάκρυνσης του χιονιού. Τα βροχόμετρα καταγραφής (αυτόματων μετρήσεων) έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα χειροκίνητα. Τα βροχόμετρα καταγραφής μπορούν να καταγράψουν το συγχρονισμό, τη διάρκεια, και την ένταση της βροχόπτωσης που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της περιόδου

μέτρησης, καθώς επίσης και δείχνουν τη συνολική βροχόπτωση κάθε καταιγίδας. Ανάλογα με το σχέδιο του βροχόμετρου, το φαινόμενο της εξάτμισης του νερού δεν γεννά ζήτημα, γιατί τα ποσοστά εξάτμισης νερού μεταξύ καταγραφών μπορούν να υπολογιστούν από τις καταγραφές των αρχείων τους. Επίσης, τα αυτόματα βροχόμετρα σχεδιάζονται γενικά για να αποτρέψουν ή να μειώσουν τα λάθη από την υπερχειλίση. Τα περισσότερα αυτόματα βροχόμετρα, εντούτοις, έχουν μια τάση να καταγράφουν πιο αργά όταν η βροχή είναι μεγαλύτερη από 3.0 ίντσες ανά ώρα (Alley, 1977). Οι μελέτες σε περιοχές με μεγάλες διακυμάνσεις στις εντάσεις των βροχοπτώσεων, μπορεί να απαιτήσουν περισσότερα από ένα βροχόμετρα, κάθε ένα με διαφορετική ανάλυση σε κάθε περιοχή ελέγχου (Spangberg and Niemczynowicz, 1992). Η ύπαρξη ενός μηχανικού ζυγού μέτρησης βάρους, ενός φλοτέρ ή ενός βροχόμετρου με ανατρεπόμενο δοχείο είναι οι τρεις κύριοι τύποι καταγραφής βροχόπτωσης που γίνονται αποδεκτοί ευρέως και είναι άμεσα διαθέσιμοι (Alley, 1977; FHWA, 1985; USEPA, 1992). Τα βροχόμετρα με μηχανικό ζυγό μέτρησης βάρους μετρούν και καταγράφουν το βάρος του νερού στο συλλέκτη κάθε φορά ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Τα βροχόμετρα με φλοτέρ μετρούν τη συσσωρευμένη καταγράφοντας τη θέση του φλοτέρ μέσα στον συλλέκτη. Τα βροχόμετρα αυτά με το φλοτέρ μπορούν να αδειάσουν μέσω ενός σωλήνα σιφωνιού ή μέσω μιας αυτόματης αντλίας όταν έχουν γεμίσει. Τα βροχόμετρα με ανατρεπόμενο δοχείο μετρούν την βροχόπτωση καταγράφοντας την ώθηση σε ένα μικρό ταλαντωτή κάθε φορά που γεμίζει το δοχείο (ο κάδος) στο τέλος του άξονα, όπου τοποθετείται μια αιχμή και μετά εκκενώνεται το δοχείο. Τα βροχόμετρα με ανατρεπόμενο δοχείο έχουν πολύ καλή φήμη λόγω της αποδεδειγμένης δυνατότητάς τους, της εμπορικής διαθεσιμότητάς τους και της ευρύτητας της χρήσεώς τους (Alley, 1977). Το χιόνι είναι δυσκολότερο να μετρηθεί από ότι τη βροχή. Τα βροχόμετρα με μηχανικό ζυγό ανταποκρίνονται γενικά καλύτερα στο χιόνι από τα άλλα βροχόμετρα. Τα βροχόμετρα με φλοτέρ και τα βροχόμετρα με ανατρεπόμενο δοχείο δεν είναι κατάλληλα για το χιόνι εκτός αν θερμαίνονται. Οι απαιτήσεις για τα θερμαινόμενα βροχόμετρα αυξάνουν τις υπολογιστικές και ερμηνευτικές περιπλοκές λόγω της ανάγκης τους για καύσιμα με αποτέλεσμα να υπολογιστεί λανθασμένα η βροχόπτωση λόγω του νερού που εξατμίζεται με τη θέρμανση. Πρέπει να ληφθούν υπόψη εάν τα αρχικά δεδομένα χρειάζονται τυχόν βελτιώσεις, μετά από συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από ένα μετεωρολογικό ραντάρ και δορυφορικό σύστημα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών, προκειμένου τα παραπάνω να παρέξουν πληροφορίες για τοπικά χαρακτηριστικά βροχόπτωσης κατά τον προγραμματισμό μιας μελέτης ή για την επαλήθευση τυχόν συλλεγμένων στοιχείων. Το ραντάρ έχει μια χρονική προσωρινότητα (όπως 5 λεπτά) και μια χωρική προσωρινότητα (όπως 0.386 του

τετραγωνικού μιλίου) ανάλυση και εύρος μέχρι 130 μίλια (Smith, 1993). Οι μετρήσεις του ραντάρ υπόκεινται σε διάφορες πηγές αβεβαιότητας και μπορούν έτσι να μην ικανοποιούν το αρχικό σύστημα παρακολούθησης βροχόπτωσης, αλλά μπορούν να ληφθούν από τη Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, τις οργανώσεις ειδήσεων και τους αερολιμένες. Πολλές από αυτές τις οργανώσεις τοποθετούν αυτά τα στοιχεία στο Διαδίκτυο. Οι εκτιμήσεις βροχόπτωσης από δορυφορικές μετρήσεις είναι βασισμένες στα υπέρυθρα σύνολα εικόνων από σχηματισμούς σύννεφων. Αν και αυτές οι εκτιμήσεις δεν είναι ακριβείς, αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστούν οι βροχοπτώσεις σε περιοχές που δεν καλύπτονται από τα υπάρχοντα δίκτυα δεδομένων, χρησιμοποιώντας τις ακριβέστερες μεθόδους (Smith, 1993). Ο συνδυασμός λεπτομερούς καταγραφής των μεθόδων μέτρησης της βροχόπτωσης και των δεδομένων που εξάγονται από τα όργανα που χρησιμοποιούνται, είναι απαραίτητα για την επικύρωση των στοιχείων ελέγχου βροχόπτωσης. Παράγοντες σχετικά με χειρωνακτικές και ηλεκτρονικές συσκευές καταγραφής, όπως αρχεία βαθμονόμησης και συντήρησης, προγράμματα συντήρησης, διαστήματα μέτρησης, και δυσλειτουργίες εξοπλισμού, πρέπει να καταγράφονται και να αρχειοθετούνται στα αρχεία του προγράμματος μελέτης. Λεπτομέρειες σχετικές με την κατασκευή του εξοπλισμού και τη λειτουργία των βροχόμετρων (συμπεριλαμβανομένων και των προδιαγραφών εξοπλισμού) πρέπει επίσης να καταγράφονται και να αρχειοθετούνται στα αρχεία του προγράμματος. Τα αρχεία βροχόπτωσης στις δημοσιευμένες εκθέσεις πρέπει να περιλαμβάνουν τα διαστήματα των μετρήσεων και τις προδιαγραφές του εξοπλισμού μέτρησης που σχετίζονται με την ερμηνεία και τη βαθμονόμηση των στοιχείων. Η απλή καταγραφή της μάρκας και του μοντέλου μιας συσκευής δεν είναι ικανοποιητικά σαφή στοιχεία, εάν οι προδιαγραφές αλλάξουν ή εάν οι αναλυτικές πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες από τον κατασκευαστή.

3.3.6 Μέτρηση ροής ύδατος καταιγίδας

Η ακρίβεια και η αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων εν μέσω μιας καταιγίδας, για τον υπολογισμό των μολυσματικών φορτίων και των μέσων όρων καταγραφών συγκεντρώσεων, είτε από ένα φυσικό ρέμα, είτε από ένα τεχνητό κανάλι, σε μια εθνική οδό είτε σε έναν αστικό σωλήνα αποχέτευσης, είτε από σε ασφαλτοστρωμένο χώρο στάθμευσης, είτε σε χέρσο έδαφος, είναι βασισμένες σε πολλούς κοινούς παράγοντες που όλοι συμβάλλουν στην αβεβαιότητα ενός συνόλου στοιχείων. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν:

- Η αντιπροσωπευτικότητα της περιοχής που επιλέγεται σε σχέση με το ελεγχόμενο θέμα,

- Η δυνατότητα να ληφθούν οι ακριβείς μετρήσεις στον επιλεγμένο τόπο,
- Ο συγχρονισμός, η συχνότητα, και η διάρκεια των μετρήσεων, σχετικά με το συγχρονισμό, την ένταση, και τη διάρκεια της καταιγίδας, προκειμένου να αναγνωριστεί και να χαρακτηριστεί πλήρως το γεγονός, και
- Η δυνατότητα της μεθόδου μέτρησης να αξιολογήσει ακριβώς και σε μεγάλο εύρος το φαινόμενο, στη συχνότητα που απαιτείται προκειμένου να χαρακτηριστεί πλήρως το γεγονός..

Η επιλογή των αντιπροσωπευτικών περιοχών, η εξασφάλιση της καταλληλότητάς τους για την ακριβή μέτρηση της ροής, ο καθορισμός των κατάλληλων συχνοτήτων μέτρησης, και η επιλογή της καλύτερης μεθόδου εμπεριέχουν σημαντική προσπάθεια από μέρους των ερευνητών, αλλά είναι κρίσιμοι για τη λήψη ακριβών και αντιπροσωπευτικών δεδομένων. Η επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού τμήματος του σωλήνα για τη μέτρηση της ροής απαιτεί την ανάλυση ενός δικτύου σωληνώσεων επάνω από την εξεταζόμενη περιοχή για να προσδιοριστούν όλες οι συμβάλλουσες περιοχές και οι αναλύσεις του δικτύου σωληνών κάτω από την περιοχή για να προσδιοριστεί η δυνατότητα ροής. Δεδομένου ότι πολλές μετρήσεις ροής γίνονται για τον προσδιορισμό των μολυσματικών φορτίων, των παραγόντων που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού, στις ιδιότητες και τα συστατικά και η συλλογή των δειγματοληψιών ύδατος πρέπει επίσης να εξεταστεί κατά την επιλογή μιας περιοχής και τον καθορισμό της συχνότητας των μετρήσεων ροής. Αν και αυτή η έκθεση στόχο της έχει τις υδάτινες απορροές στα μικρά ρεύματα και στα συστήματα εθνικών οδών, πολλές από τις αρχές επάνω στις οποίες βασίζονται οι ακριβείς και αντιπροσωπευτικές μετρήσεις ροής στα μεγάλα ρεύματα, ισχύουν και για τις μετρήσεις μικρότερων ρευμάτων και τους σωλήνες αποχέτευσης, και άρα, και αυτά συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την έκθεση. Οι σημαντικές ερωτήσεις που πρέπει να εξεταστούν κατά την επιλογή μιας αντιπροσωπευτικής περιοχής οι ακριβείς και πλήρεις μετρήσεις ροής που μπορούν να ληφθούν παρατίθενται στα εξής τμήματα. Αν και ο χρόνος και η προσπάθεια που χρειάζονται για να εξασφαλιστούν ακριβείς και πλήρεις μετρήσεις ροής επί ενός αντιπροσωπευτικού χώρου μπορούν να είναι μεγάλοι, η καταγραφή και η υποβολή έκθεσης αυτής της προσπάθειας πρέπει να είναι ένας μάλλον απλός στόχος εάν κάθε βήμα της διαδικασίας περιγράφεται στις λεπτομερείς σημειώσεις των υπευθύνων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκλογής του χώρου. Για να εξασφαλιστεί ότι οι μετρήσεις ροής είναι και ακριβείς και αντιπροσωπευτικές, τα ενισχυτικά στοιχεία και οι πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για να ληφθούν οι τελικές αποφάσεις πρέπει να τεκμηριωθούν και να διαβιβαστούν με ένα προσιτό τρόπο, όπως μια έκθεση

περιγραφής προγράμματος, μια καταγραφή δεδομένων ή ένα παράρτημα σε μια τεχνική έκθεση, και (ή) να αρχειοθετηθούν σε ένα κρατικό ή ένα εθνικό κέντρο αρχείων.

3.3.7 Σχετικά με την μέτρηση της βροχόπτωσης

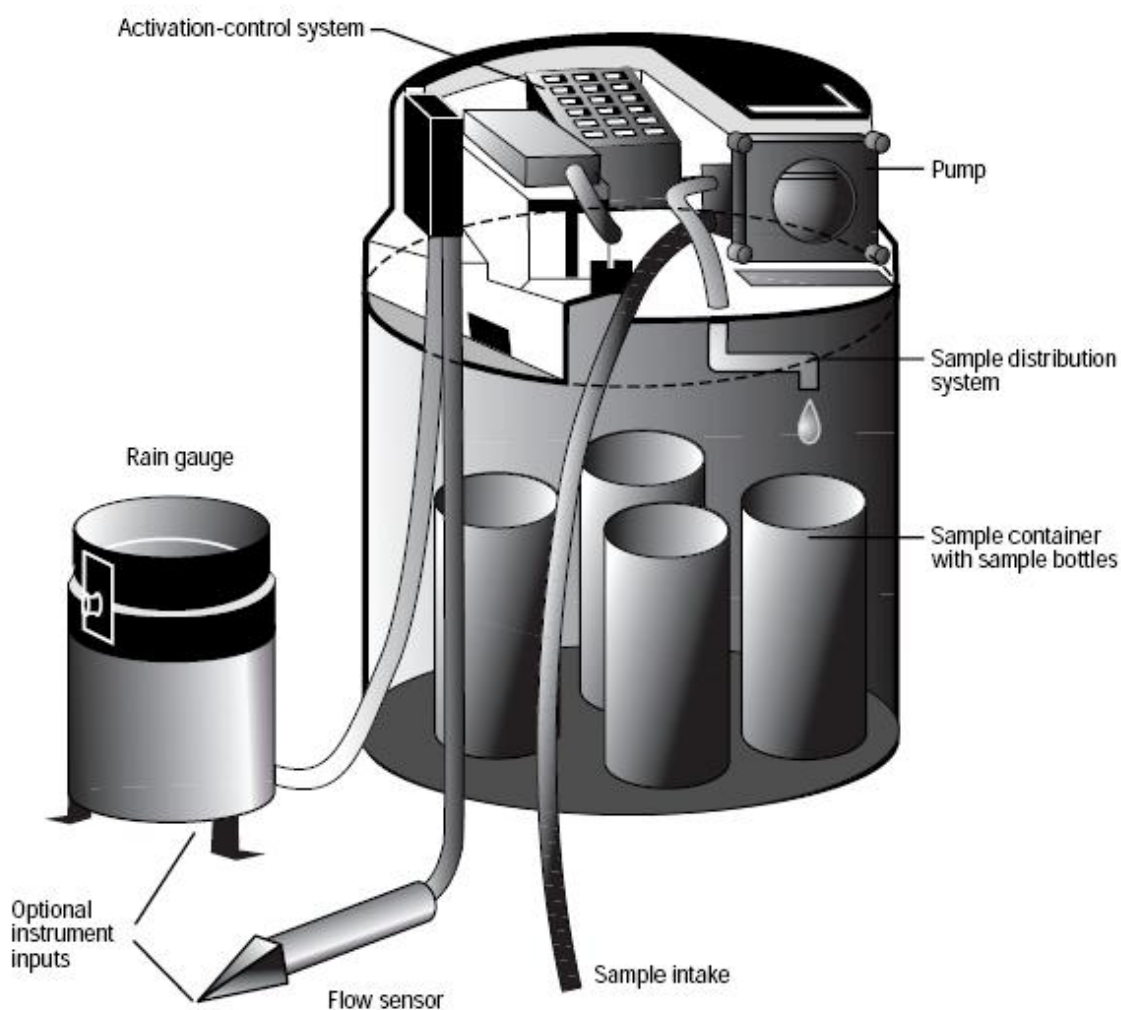
Ιδιαίτερη μνεία λήφθηκε για τις μετρήσεις βροχόπτωσης. Η κατάλληλη τοποθέτηση είναι απαραίτητη για τη συλλογή ακριβών και αντιπροσωπευτικών στοιχείων βροχόπτωσης. Οι μικρές περιοχές συλλογής και το μεγάλο ποσοστό των αδιαπέραστων επιφανειών, χαρακτηριστικών των εθνικών οδών προκαλούν μεγάλες διαφορές στη μετρημένη ροή σε λίγα λεπτά ανάλογα με τη διακύμανση της βροχόπτωσης (Harned, 1988). Η κατάλληλη τοποθέτηση μετρητών βοήθησε να εξασφαλιστεί ότι ακριβή και αντιπροσωπευτικά στοιχεία βροχόπτωσης συλλέχθηκαν επί των μεμονωμένων τόπων των σταθμών δειγματοληψίας και μετρήσεων και η ικανοποιητική πυκνότητα μετρητών που επίσης λήφθηκαν δεδομένα όπως της ΕΜΥ και με τη συνεργασία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών να γίνει συγκριτική μέτρηση και εκτίμηση της ακρίβειας με βάση μετρήσεις πενταλέπτου που γίνονται σε πλησίον μετεωρολογικούς σταθμούς σε απόσταση περίπου 1-2 χιλιομέτρων. Το μέγεθος των λαθών για κάθε μετρητή όμως συσχετίζεται με τη μεγάλη διακύμανση των τιμών βροχόπτωσης τόσο στο χώρο (τοπικά) όσο και στο χρόνο ενώ επίσης είναι μια συνάρτηση της ταχύτητας του αέρα και του τύπου της βροχόπτωσης (Smith, 1993). Τα αποτελέσματα του αέρα που δημιουργούνται με την κίνηση των οχημάτων που ταξιδεύουν με μεγάλες ταχύτητες, όσο και του νερού των εξατμίσεων σε περιπτώσεις υψηλού ψύχους και σχετικής υγρασίας που δημιουργούνται επί των εθνικών οδών, επομένως, είναι ένας παράγοντας που εξετάστηκε κατά την τοποθέτηση των μετρητών βροχόπτωσης για τη μελέτη αυτή. Οι μετρητές βροχόπτωσης και στα δύο σημεία δειγματοληψίας τοποθετήθηκαν επί της εθνικής οδού και ακριβώς δίπλα στα σημεία που γινόταν η μέτρηση της ταχύτητας των υδάτινων απορροών ελαχιστοποιώντας τα παραπάνω σφάλματα.

3.3.8 Σύστημα δειγματοληψίας υδάτινων απορροών

Το σύστημα δειγματοληψίας έπρεπε να έχει τις παρακάτω δυνατότητες

- Οι όγκοι δειγμάτων που λαμβάνονται πρέπει να καλύψουν τις ελάχιστες απαιτήσεις όγκου ανάλυσης δειγμάτων (ένα λίτρο).

- Η δειγματοληπτική συσκευή πρέπει να είναι ικανή να συλλέγει αυτόματα ένα σημαντικό αριθμό δειγμάτων σύνθετων και αντιπροσωπευτικών του συνολικού επεισοδίου βροχόπτωσης.
- Να μπορεί να μεταφέρεται και σε άλλα σημεία και να εγκαθίσταται σχετικά εύκολα.
- Ο κύκλος δειγματοληψίας να μπορεί να αρχίζει ως μια απόκριση προς την ανίχνευση βροχής του βροχόμετρου ή ως απάντηση σε μια συσκευή συγχρονισμού, μια αλλαγή ροής, ή ένα εξωτερικό σήμα.
- Να υπάρχει ικανότητα καταγραφής της ημερομηνίας και του χρόνου συλλογής των δειγμάτων. Επίσης να υπάρχει καταγραφικό (data logger) από το οποίο να μπορούν να συλλέγονται όλα τα δεδομένα (ροής, βροχόπτωσης και χαρακτηρισμού των δειγμάτων).
- Η παροχή για τη λειτουργία της συσκευής να μπορεί να είναι είτε εναλλασσόμενο ρεύμα είτε με μπαταρία.



Σχήμα 3.1 Διαγραμματικά το σύστημα αυτόματου δειγματολήπτη με περισταλτική αντλία που χρησιμοποιήθηκε (τροποποιημένο από τη USEPA, 1992).

Έτσι το σύστημα αυτόματου δειγματολήπτη που επιλέχτηκε περιγράφεται στο σχήμα 3.1 και παρουσιάζεται στην τελική του μορφή όπως εγκαταστάθηκε στην εικόνα 3.1. Ένας αισθητήρας ροής καταγράφει την συνολική ποσότητα απορροής που εξέρχεται από το φρεάτιο συλλογής απορροών των αυτοκινητοδρόμων. Επίσης ένα βροχόμετρο καταγράφει την ένταση και τη συνολική ποσότητα βροχόπτωσης σε πραγματικό χρόνο και τα δεδομένα αποθηκεύονται σε σύστημα data logger. Πριν από κάθε επεισόδιο βροχής προγραμματίζεται ο αυτόματος δειγματολήπτης ώστε να συλλέγει δείγματα όταν συγκεκριμένη ποσότητα απορροής έχει καταγραφεί από τον αισθητήρα ροής. Η ποσότητα αυτή ρυθμίζεται ανάλογα ώστε το εύρος του συνολικού αριθμού των δειγμάτων να περιέχει αντιπροσωπευτικές υποομάδες δειγμάτων από ολόκληρο το επεισόδιο της βροχής. Έτσι με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται σταθμισμένης μάζας σύνθετα δείγματα όπου οι συγκεντρώσεις των ρύπων που προκύπτουν σαν μέσος όρος των συγκεντρώσεων του συνόλου των δειγμάτων κάθε δειγματοληψίας. Αυτές οι συγκεντρώσεις έχουν καθιερωθεί στη διεθνή βιβλιογραφία ως μέσες συγκεντρώσεις επεισοδίου (Event Mean Concentration, EMC). Επίσης με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται τα ανθρώπινα λάθη, και μπορούν να συγκεντρωθούν με εντελώς επαναλήψιμο τρόπο (περιορίζοντας την επίδραση φαινομένων όπως καθίζησης ή προσρόφησης που μπορούν να λάβουν χώρα με άλλο τρόπο δειγματοληψίας) ένας ικανοποιητικός αριθμός δειγμάτων, έως και 24 σε κάθε επεισόδιο βροχής.



Εικόνα 3.1 Το σύστημα δειγματοληψίας που τοποθετήθηκε στο σταθμό δειγματοληψίας Γαζίου.

Κρίθηκε σκόπιμο να κατασκευαστεί μεταλλικός κλωβός ο οποίος προστάτευε το σύστημα δειγματοληψίας από τη βροχή και από τυχόν βανδαλισμούς και έτσι έγινε η εγκατάσταση μετά την αδειοδότηση του αρμόδιου φορέα (B.O.A.K.).

3.3.9 Συλλογή δεδομένων ξηρής εναπόθεσης

Η ξηρή εναπόθεση παρέχει ένα βασικό μηχανισμό για την απομάκρυνση ρύπων από την ατμόσφαιρα και αναπαριστά μια σημαντικότερη διαδικασία μεταφοράς και απομάκρυνσης ρύπων από ότι η υγρή εναπόθεση (Kobriger, 1984; Harned, 1988). Στερεά, διαλυτά άλατα, ιχνοστοιχεία και οργανικές ενώσεις που μπορεί να συνεισφέρουν στις επιφάνειες των αυτοκινητόδρομων, μέσω της ξηρής εναπόθεσης σημαντικές ποσότητες ρύπων εκπεμπόμενων τόσο από το υπόβαθρο της περιοχής όσο και από συγκεκριμένες πηγές (Sartor et al, 1972; Gupta et al, 1981). Οι Gupta και συνεργάτες (1981) ανέφεραν ότι τυπικές μηνιαίες φορτίσεις σκόνης στις ΗΠΑ μπορούν να ποικίλουν από 2,600 έως και 26,000 kg/km².

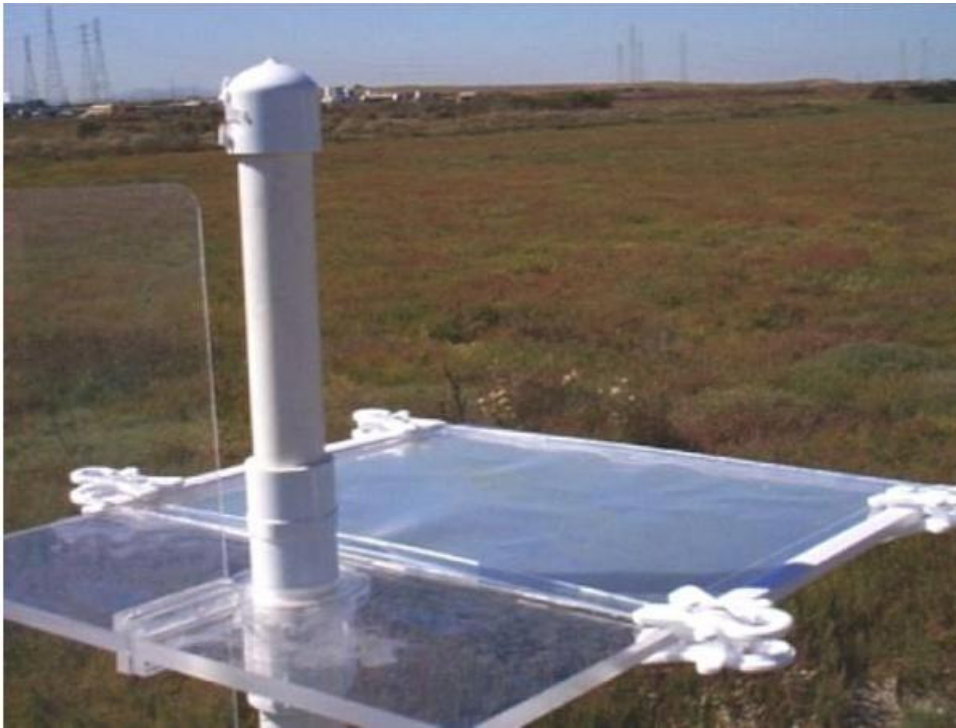
Ατμοσφαιρική ύλη που μπορεί να περιέχεται στην ξηρή εναπόθεση μπορεί να περιλαμβάνει κατακρημνιζόμενα σωματίδια, αερολύματα, αέρια και μια φάση εξατμιζόμενων ενώσεων σε ατμό.

Οι ταχύτητες της ξηρής εναπόθεσης εξαρτώνται από το μέγεθος την επιφάνεια πρόσπτωσης και τη μάζα του σωματιδίου (Legge, 1990). Τα μεγαλύτερα αερογενώς σχηματιζόμενα σωματίδια (διαμέτρου μεγαλύτερης από 2.5 μm) προέρχονται από φυσικές πηγές, μηχανική τριβή και διάβρωση και υπόκεινται σε βαρυτική καθίζηση. Αυτά τα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα κυρίως μέσω της ξηρής εναπόθεσης (Holsen και Noll, 1992). Τα μικρότερα σωματίδια (από 0.1 έως 2.5 μm) συντίθενται από διαδικασίες συσσωμάτωσης και πρωτογενή παραγωγή αερολυμάτων, και απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με υγρή εναπόθεση και με ξηρή σωματιδιακή εναπόθεση. Τα μικρότερα απαντώμενα σωματίδια (μικρότερα από 0.1 μm) είναι προϊόντα δευτερογενών διαδικασιών αέριας ρύπανσης και απομακρύνονται κυρίως με σωματιδιακή εναπόθεση (Holsen και Noll, 1992).

Η εναπόθεση των αερίων είναι μέρος της ξηρής εναπόθεσης και λαμβάνει χώρα μέσω προσρόφησης σε φυτά, έδαφος και άλλες επιφάνειες. Η μεταφορά μέσω εναπόθεσης αυξάνει με τις κοιλότητες και ανομοιομορφίες και την τραχύτητα της επιφάνειας, με την οποία μπορεί να μετακινηθεί μάζα διαμέσου του οριακού στρώματος μέσα στις επιφάνειες απόθεσης (Hicks και συνεργάτες, 1991). Η ξηρή εναπόθεση των αερίων επάνω στις επιφάνειες εθνικών οδών δεν έχει ερευνηθεί διεξοδικά. Ενώ η μέτρηση της υγρής εναπόθεσης από την ανάλυση του ύδατος που συλλέχτη σε έναν κατάλληλα κατασκευασμένο κάδο είναι σχετικά απλή, η συλλογή της ξηράς απόθεσης είναι σύνθετη επειδή η ξηρή εναπόθεση εξαρτάται από διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης επιφάνειας συλλογής. Οι Vandenberg και Knoerr (1985), παραδείγματος χάριν, μέτρησαν την ακόλουθη διακύμανση για το θειικό ιόν: 1.1, 3.2 and 5.8 $\text{mg SO}_4^{2-}/\text{m}^2/\text{d}$ για τρυβλίο petri, εσωτερική επιφάνεια ενός κάδου, και επιφάνειες φίλτρων τεφλόν, αντίστοιχα. Εναπόθεση για χημικά είδη N και S εξαρτάται ιδιαίτερα από τον τύπο επιφάνειας, επειδή οι αέριες φάσεις, του νιτρικού οξέος (HNO_3) και του διοξειδίου του θείου (SO_2), είναι σημαντικά συστατικά της συνολικής εναπόθεσης (Hicks and others, 1991; Meyers and others, 1998).

Οι ταχύτητες εναπόθεσης μπορούν να καθοριστούν με προσομοίωση μοντέλου και να συγκριθούν με ταχύτητες εναπόθεσης σε ειδικές επιφάνειες. (Lin και συνεργάτες, 1993). Στην τελευταία αναφορά, η εναπόθεση αυτή γίνεται πάνω σε περιστρεφόμενη επιφάνεια με βάση πολυβινυλοχλωριδίου που έχει την μια άκρη υπό γωνία 10 μοιρών με την οριζόντιο, και στο οποίο τοποθετούνται φύλλα Mylar με μια λεπτή στρώση της αλοιφής (λιπαντικού) Apezion L

(Lin and others, 1993). Το σύστημα κατευθύνεται προς την κατεύθυνση του ανέμου με ανεμοδείκτη (εικόνα 3.2). Έτσι συλλέγονται στα επιστρωμένα φύλλα δείγματα ξηρής εναπόθεσης με μια ελάχιστη διατάραξη από στροβιλώδη ροή ανέμου και βελτιστοποιώντας την αναπαραγωγικότητα των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έχουν δείξει ότι οι ταχύτητες εναπόθεσης μπορούν να οριστούν για όλα τα είδη ξηρής εναπόθεσης σαν μια συνάρτηση των συγκεντρώσεων στον αέρα.



Εικόνα 3.2 Σύστημα συλλογής ξηρής εναπόθεσης (όπως προτάθηκε από τους Lin και συνεργάτες 1993).

Για τα σωματίδια, οι ταχύτητες εναπόθεσης είναι συνάρτηση της στροβιλώδους ροής, της τραχύτητας της επιφάνειας συλλογής, της προσκολλητικής ικανότητας και της ταχύτητας πτώσης η οποία διαφέρει ανάλογα του μεγέθους τους. Σωματίδια στον αέρα μπορούν να διαχωριστούν βάση μεγέθους χρησιμοποιώντας περιστροφικής επαφής δειγματολήπτες για μεγαλύτερα σωματίδια (6.5 to 36.5 μ m) και κλασική ροής δειγματολήπτες για μικρότερα σωματίδια (0.43 to 10 μ m) (Holsen). Παρόλα αυτά η εναπόθεση σε ειδικές επιφάνειες έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με του ανοιχτού δοχείου συλλογής δειγματολήπτες σε σχέση με την επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων και την απόκριση στην συνολική εναπόθεση αφού η στροβιλώδη ροή του αέρα ελαχιστοποιείται. Παρόλα αυτά η εναπόθεση σε ειδικές επιφάνειες πρέπει ακόμη να προσαρμοστεί για να εφαρμοστεί σε επιφάνειες αυτοκινητοδρόμων για να προσμετρούνται διαδικασίες στον αυτοκινητόδρομο, εξαιτίας των ιδιοτήτων του

περιβάλλοντος αυτού, όπως η στρόβιλοι εξαιτίας της κυκλοφορίας και η τραχύτητα της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Στην περισσότερο εκτενή μελέτη ενός σημείου αυτοκινητοδρόμου με σύστημα συλλογής των απορροών στο Hubbard Brook, New Hampshire, συλλέχθηκαν δείγματα μικτής εναπόθεσης. Οι ερευνητές (Likens και Bormann, 1995) εκεί διαπίστωσαν ότι αν και οι δειγματολήπτες αυτοί δεν καταφέρνουν ποσοτικοποίηση της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης των μικροσωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 1 μm τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης για Ca, Mg, Na, K, και Cl (στοιχεία που εμπεριέχονται κυρίως σε μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια), είναι αρκετά ακριβής. Μεικτή εναπόθεση για το N και το S, τα οποία έχουν μια σημαντική συνεισφορά στην αέριας φάσης εναπόθεση, προσδιορίστηκαν με προσέγγιση προς τα επάνω στα ισοζύγια της μελέτης στο Hubbard Brook (Likens and Bormann, 1995). Εάν οι δειγματολήπτες μεικτής εναπόθεσης θεωρηθεί ότι μπορούν να προσδιορίσουν ροές μεγάλων σωματιδίων σωστά, τότε αυτοί μπορεί να είναι κατάλληλοι για να προσδιορίζουν υπο-περιεχόμενες ροές των οποίων η ξηρή εναπόθεση καθορίζεται από ροές μεγάλων σωματιδίων.

Επίσης η εναπόθεση οργανικών ενώσεων που προέρχονται τόσο από εκπομπές οχημάτων όσο και από βιομηχανικές χρήσεις αποτελούν σημαντικό αντικείμενο έρευνας της επίπτωσης της χρήσης των αυτοκινητοδρόμων στο περιβάλλον. Οι εκπομπές ρύπων οχημάτων είναι μια καλά πιστοποιημένη πηγή πτητικών, ημιπτητικών και άλλων οργανικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. (Harrison and Johnston, 1985; Westerholm and others, 1988; Gardner and others, 1995). Οι οργανικές ενώσεις είναι κοινό συστατικών των υδάτινων απορροών. (Lopes and Dionne, 1998). Οι πτητικές οργανικές ενώσεις τείνουν να σχηματίζουν σωματιδιακή και υγρή φάση στην αέρια φάση που περιέχονται. Οι ημιπτητικές οργανικές ενώσεις γενικά κατανέμονται μεταξύ της σωματιδιακής και της υδατικής φάσης και γιαυτό τον λόγο εναποτίθενται κυρίως κοντά στους αυτοκινητοδρόμους. (Harrison και Johnston, 1985). Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, οργανικές ημιπτητικές ενώσεις και τα παράγοντά τους είναι μεταξύ των οργανικών ενώσεων με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον εξαιτίας της επίπτωσης τους στην ανθρώπινη υγεία.



Εικόνα 3.3 Συλλογή ξηρής εναπόθεσης στο δρόμο χαμηλής κυκλοφορίας (πλησίον του ΤΕΙ Κρήτης).

Τροποποιώντας και απλοποιώντας το σύστημα του Lin και των συνεργατών του εγκαταστάθηκαν σε διαφορετικά σημεία και αποστάσεις από την εθνική οδό το απεικονιζόμενο σύστημα συλλογής της ξηρής εναπόθεσης. Ξηρή εναπόθεση συλλέχθηκε και με τη μέθοδο του δειγματολήπτη ανοικτού δοχείου πλησίον των αυτοκινητοδρόμων όπως περιγράφεται από τους Majewski and Capel (1995).

3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

3.4.1 Προσδιορισμός ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών

Ο προσδιορισμός των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την αντίστοιχη μέθοδο, που περιγράφεται στο βιβλίο “ Standard Methods for the examination of water and wastewater ”.

Ολικά αιωρούμενα στερεά (ΟΑΣ) χαρακτηρίζονται τα μη διηθούμενα στερεά. Για τον προσδιορισμό τους, γνωστή ποσότητα καλώς αναμεμειγμένου δείγματος διηθείται σε προζυγισμένο ηθμό ινών ύαλου. Το υλικό που κατακρατείται στον ηθμό ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε φούρνο στους 103 –105°C. Η αύξηση του βάρους του ηθμού αντιπροσωπεύει τα ολικά αιωρούμενα στερεά.

Τα πτητικά αιωρούμενα στερεά αποτελούν το κλάσμα των ολικών αιωρούμενων στερεών, το οποίο εξαερώνεται στους 550°C. Για τον προσδιορισμό τους, ο ηθμός στον οποίο έχουν κατακρατηθεί τα ολικά αιωρούμενα στερεά πυρακτώνεται, μέχρι σταθερού βάρους σε πυραντήριο στους 550°C. Η μείωση του βάρους του ηθμού αντιστοιχεί στα πτητικά αιωρούμενα στερεά.

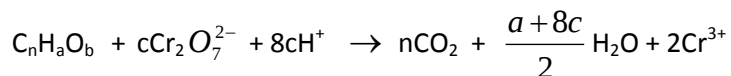
3.4.2 Μέτρηση pH

Η μέτρηση του pH γινόταν με τη χρήση φορητού πεχαμέτρου HI 8224 της Hanna.

3.4.3 Προσδιορισμός χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (ΧΑΟ - COD)

Ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (ΧΑΟ) ορίζεται η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου, που απαιτείται για την οξείδωση των συστατικών ενός δείγματος από ισχυρά οξειδωτικό μέσο. Ο προσδιορισμός του ΧΑΟ βασίζεται στο γεγονός ότι όλες οι οργανικές ενώσεις, με ελάχιστες εξαιρέσεις, μπορούν να οξειδωθούν από ισχυρά οξειδωτικά. Η οξείδωση του οργανικού υλικού ενός διαλύματος γίνεται από περίσσεια διχρωμικού καλίου ($K_2Cr_2O_7$) με θέρμανση και σε ισχυρά όξινη συνθήκες. Ως καταλύτης για την οξείδωση των αλειφατικών ενώσεων χρησιμοποιείται θειικός άργυρος ($AgSO_4$). Για την αποφυγή της δέσμευσης των ιόντων αργύρου από χλωριούχα, βρωμιούχα και ιωδιούχα ιόντα, τα οποία συνήθως υπάρχουν στα απόβλητα, γίνεται προσθήκη ιόντων υδραργύρου με τη μορφή θειικού υδραργύρου ($HgSO_4$), τα οποία συμπλοκοποιούνται με τα ιόντα αλογόνων, οδηγώντας τα σε ίζημα.

Η αντίδραση οξείδωσης του οργανικού υλικού από τα διχρωμικά ιόντα περιγράφεται γενικά από την εξίσωση:



$$\text{όπου } c = \frac{2}{3}n + \frac{a}{6} - \frac{b}{3}$$

Ο προσδιορισμός του διαλυτού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου έγινε με τη μέθοδο της κλειστής επαναρροής που περιγράφεται στο Standard Methods, με φωτομέτρηση στα 600 nm των ιόντων Cr^{3+} που προκύπτουν από την οξείδωση του οργανικού υλικού, ενώ του ολικού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, με τη μέθοδο της ανοικτής επαναρροής με τιτλοδότηση των ιόντων Cr^{3+} με αραιό δ/μα H_2SO_4 (0.02N) παρουσία δείκτη.

3.4.4 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN)

Το δείγμα αναλύεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Η μέθοδος στηρίζεται στη μετατροπή των οργανικών και ανόργανων ενώσεων του αζώτου σε νιτρικά με τη χώνευση του δείγματος 10 ml στους 120 °C επί 1 ώρα, με ένα οξειδωτικό αντιδραστήριο. Για κάθε μέτρηση απαιτούνται 1 ml δείγματος και 9 ml απιονισμένου νερού.

Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αντιδραστήρια της εταιρίας Merck 1.14537.0001 για εύρος τιμών από 0,5 – 15,0 mg/l. Στη συνέχεια ακολουθεί προσδιορισμός με φασματοφωτόμετρο στα 338nm.

3.4.5 Προσδιορισμός ολικού φωσφόρου (TP)

Πρακτικά ακολουθούμε τη σειρά των εργασιών που περιλαμβάνονται στη μέθοδο 1.14546.0001 0,5 – 25,0 mg/l της εταιρίας Merck. Η μέτρηση γίνεται με εισαγωγή 5 ml αδιήθητου δείγματος, ανακάτεμα και μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο στα 313nm.

3.4.6 Προσδιορισμός NO_3

Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αντιδραστήρια της εταιρίας Merck 1.14542.0001 για εύρος τιμών από 0,5 – 18,0 mg/l.

Απαιτούνται 1,5 ml δείγματος και η μέτρηση γίνεται στο φασματοφωτόμετρο στα 517 nm.

3.4.7 Προσδιορισμός PAH

3.4.7.1 Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) (Pecsok et al, 1980)

Η χρωματογραφία είναι μια τεχνική διαχωρισμού μιγμάτων που στηρίζεται στις διαφορετικές κατανομές των συστατικών μεταξύ δύο φάσεων. Η μια φάση παραμένει σταθερή στο σύστημα και λέγεται ακίνητη φάση ενώ η άλλη λέγεται κινητή φάση και διέρχεται μέσα ή επάνω από την επιφάνεια της σταθερής. Η κινητή φάση προκαλεί μετατόπιση των συστατικών ενός μίγματος σε διαφορετικές θέσεις μέσα στην χρωματογραφική στήλη, με αποτέλεσμα το διαχωρισμό τους.

Στην υγρή χρωματογραφία η ακίνητη φάση αποτελείται από κάποιο πορώδες μέσο και η κινητή φάση που διέρχεται μέσα από την στήλη αποτελείται από κάποιο υγρό. Υπάρχουν τέσσερα βασικά είδη χρωματογραφίας: α) η χρωματογραφία προσρόφησης β) η χρωματογραφία κατανομής, γ) η χρωματογραφία ιονανταλλαγής και δ) η χρωματογραφία πηκτώματος.

Η υγρή χρωματογραφία επιτυγχάνει μεγαλύτερη απόδοση με χαμηλές ταχύτητες ροής, που συνεπάγεται μεγαλύτερη διάρκεια διαχωρισμού. Η ανεπιθύμητη αυτή κατάσταση οφείλεται στις χαμηλές ταχύτητες διάχυσης που είναι χαρακτηριστικό των υγρών φάσεων. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η αύξηση της θερμοκρασίας της στήλης ή η ελάττωση της απόστασης μέσω της οποίας διαχέονται τα μόρια, με τη χρήση μικρότερων σωματιδίων ως υλικό πλήρωσης της στήλης. Η δεύτερη λύση εφαρμόζεται στην υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης ή πίεσης (HPLC), προσδίδοντας στη μέθοδο πολλά πλεονεκτήματα, με βασικότερα την μείωση του χρόνου των αναλύσεων (λόγω υψηλών πιέσεων) και τη χρήση της για τον διαχωρισμό ουσιών ευπαθών σε υψηλές θερμοκρασίες π.χ. πρωτεϊνών. Η HPLC εφαρμόζεται ευρέως για την ανάλυση δειγμάτων που είναι δυνατόν να περιέχουν ορμόνες, φάρμακα, βιταμίνες, νουκλεϊκά οξέα, πολυπυρηνικούς (καρκινογόνους) υδρογονάνθρακες, εντομοκτόνα, συνθετικές οργανικές ενώσεις, τοξίνες σε τρόφιμα και γενικά πλήθος οργανικών ενώσεων. Αναλύσεις αυτού του είδους, χρησιμοποιούνται στις έρευνες συνθετικής χημείας, μεταβολικών μελετών και ανάλυση περιβαλλοντικών δειγμάτων (Δρίλλια, 2005).

Για τις αναλύσεις των PAH έγινε χρήση χρωματογράφου HPLC Varian 9010, εφοδιασμένου με ανιχνευτή UV Star 9050 και ανιχνευτή φθορισμού ProStar 363, επίσης από τη Varian. Οι στήλες που χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα με την ουσία, ήταν: α) αντιστρόφου φάσεως τύπου

X-TerraTM RP₁₈ 5µm column, Waters και β) αντιστρόφου φάσεως τύπου CC Hypersil 130-5 BDS C₈, Macherey-Nagel. Τέλος , οι διαλύτες έκλουσης (εκλούτες), που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μεθανόλη και ακετονιτρίλιο υψηλής καθαρότητας για υγρή χρωματογραφία και νερό επεξεργασμένο με σύστημα καθαρισμού Milli-Q(Millipore).

Κεφάλαιο 4

Μετρήσεις – Αποτελέσματα

4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

4.1.1 Καταγραφέας δεδομένων κυκλοφορίας

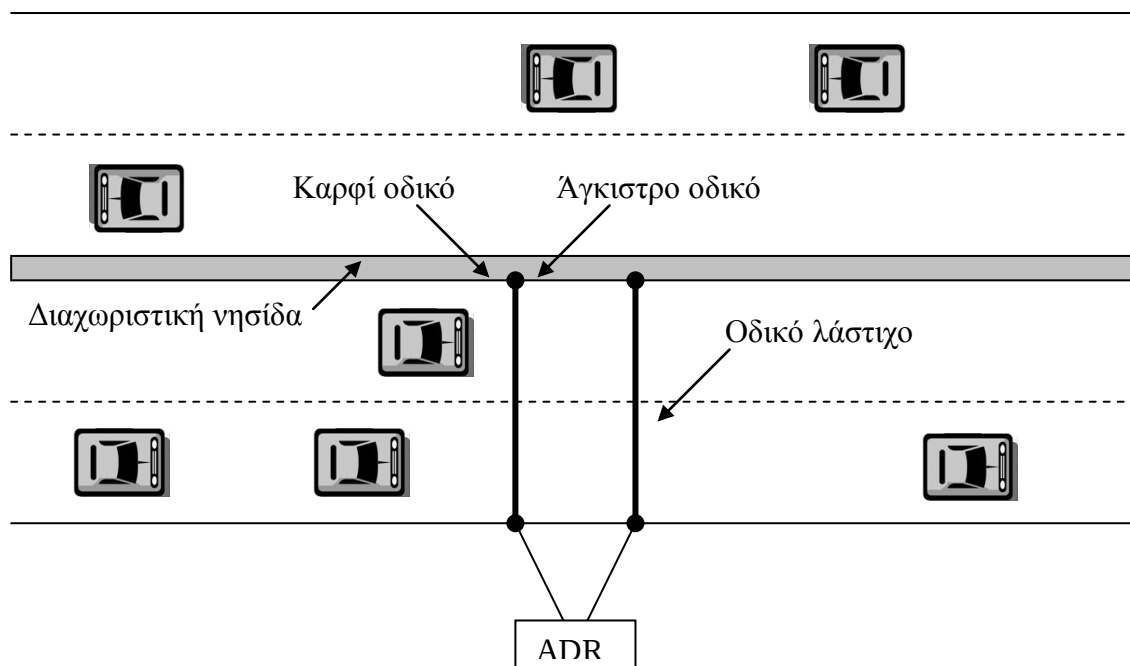
Για τη συλλογή των δεδομένων κυκλοφορίας χρησιμοποιήθηκε ο καταγραφέας μοντέλο ADR1000 με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, εμπορικά διαθέσιμη διάταξη που ικανοποιούσε όλα τα κριτήρια που περιγραφόταν στην πρόταση αντί να κατασκευαστεί πρωτότυπη συσκευή καταγραφής κάτι που διευκόλυνε και επιτάχυνε την φάση καταγραφής κυκλοφοριακών δεδομένων. Ο ADR 1000 αποτελεί ένα από τα πιο προηγμένα, αλλά παράλληλα απλά στη λειτουργία τους, όργανα για τη μέτρηση, κατηγοριοποίηση και παρακολούθηση της κυκλοφορίας. Είναι πλήρως αυτόνομο και περιλαμβάνει οθόνη και πληκτρολόγιο, συσκευές που επιτρέπουν την εκτέλεση διευθετήσεων, τη συλλογή στοιχείων και την απευθείας παρακολούθηση.

Ανάλογα με την εκάστοτε διάταξη, ο ADR έχει τη δυνατότητα να καταγράψει το συνολικό κυκλοφοριακό φόρτο, καθώς και την κατεύθυνση, τη χρονική διάρκεια επακολουθίας, το διάκενο, την ταχύτητα, την κατηγοριοποίηση των αξόνων, το μήκος και το βάρος των οχημάτων κ.ο.κ. . Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής λεπτομερειών ανά όχημα για μελλοντικές αναλύσεις. Όσον αφορά την κατηγοριοποίηση των αξόνων, μπορούν να δοθούν οι σχετικοί πίνακες, οι οποίοι συμφωνούν με τα ισχύοντα πρότυπα της FHWA, ή εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πίνακες της συνήθους κατηγοριοποίησης. Ο προηγμένος καταγραφέας δεδομένων χρησιμοποιείται από όλους τους εμπλεκόμενους με τις συγκεκριμένες εφαρμογές δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς με απόλυτη επιτυχία και ακρίβεια (ΥΠΕΧΩΔΕ, NAMA, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ, ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ, τις κατά τόπου ΔΕΣΕ σε όλη την Ελλάδα, κλπ.). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ADR 1000 είναι :

Εξωτερικό Περίβλημα : Rugged, αδιάβροχο εξωτερικό περίβλημα με

Βάρος	:	4,5kg (χωρίς την μπαταρία)
Διαστάσεις	:	21 cm x 23,5 cm x 32 cm
Ρυθμός Μέτρησης	:	Καλύτερος από 40 οχήματα ανά δευτερόλεπτο
Διάκενα	:	1, 2, 5, 6, 10 ,15 ,30 ,60 λεπτά 2, 3, 6, 12 ή 24 ώρες
Τροφοδοσία	:	Επαναφορτιζόμενη lead/acid, D cells, ηλιακός συλλέκτης
Αυτονομία	:	Τυπικά 8 έως 16 εβδομάδες
Αισθητήρες	:	2 ή 4 οδικά λάστιχα (tubes)

Η διάταξη τοποθετήθηκε στην εθνική οδό στους δυο σταθμούς δειγματοληψίας με τον τρόπο που προτείνει ο κατασκευαστής και συνοπτικά παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



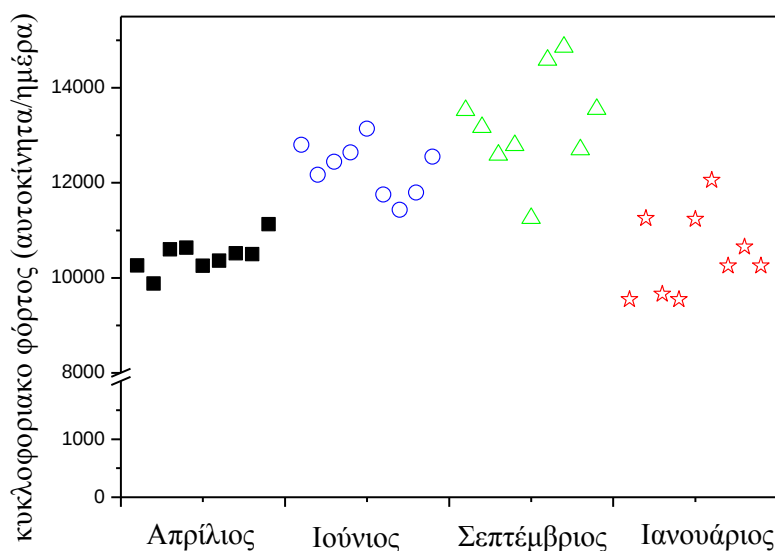
Ο μετρητής τοποθετούνταν με συχνότητα μια φορά το μήνα και για 15 ημέρες από τον Ιανουάριο έως το μήνα Δεκέμβριο. Ανά 5 ημέρες λαμβάνονταν μέσω της θύρας διεπικοινωνίας του καταγραφέα τα δεδομένα που είχαν ληφθεί μέχρι τότε.

4.1.3 Μετρήσεις κυκλοφορίας σε αυτοκινητόδρομους

Παρακάτω αναλύονται περιληπτικά τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στους σταθμούς δειγματοληψίας.

4.1.3.α Γάζι

Στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η διακύμανση στην ημερήσια κυκλοφορία των οχημάτων στην περίοδο ενός έτους. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες αυξομειώσεις στο πλήθος των οχημάτων που εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος αυτοκινητόδρομος. Όπως βλέπουμε κατά τον μήνα Σεπτέμβριο η κίνηση των οχημάτων στην περιοχή του Γαζίου ήταν ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες.

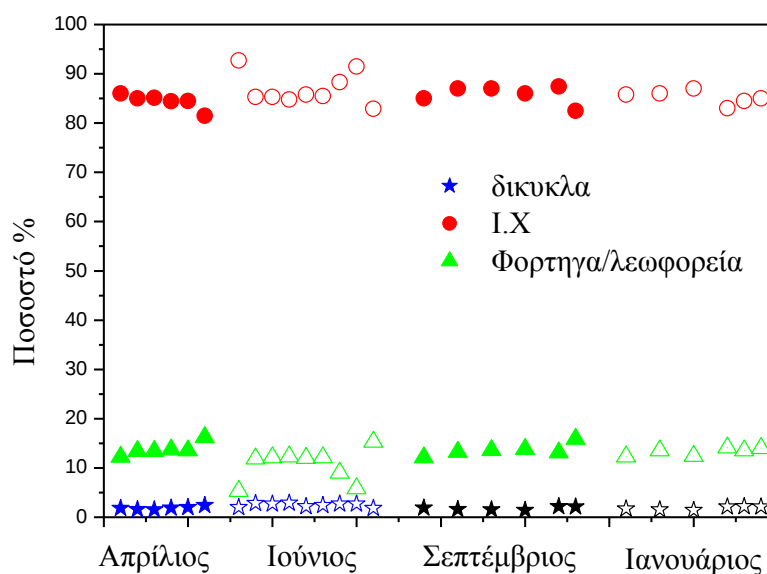


Διάγραμμα 4.1 Μεταβολή του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου κατά την διάρκεια του έτους στο Γάζι.

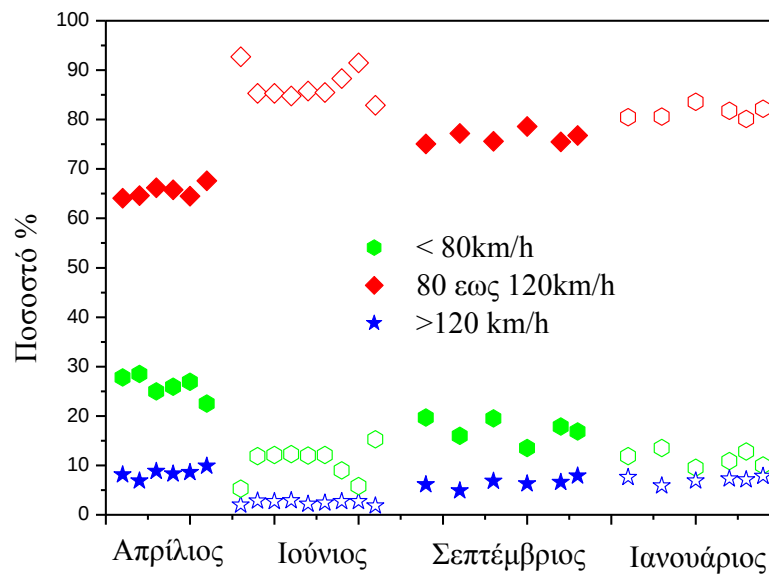
Το τμήμα αυτό του οδικού άξονα εξυπηρετεί πολίτες που διασχίζουν τις πρωτεύουσες των νομών της Κρήτης αλλά ταυτόχρονα χρησιμοποιείται και από πολλούς εργαζόμενους του Ηρακλείου που ο χώρος εργασίας τους απαιτεί την μετακίνηση τους μέσω της εθνικής οδού. Το καλοκαίρι επιπρόσθετα τον δρόμο αυτό διασχίζει ένας σημαντικός αριθμός ενοικιαζόμενων αυτοκινήτων από τουρίστες που κατακλύζουν το νησί. Θα ανέμενε κανείς αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου τους καλοκαιρινούς μήνες, όμως το κλείσιμο των σχολείων τον Ιούνιο και οι καλοκαιρινές άδειες πολλών εργαζομένων φαίνεται να αντισταθμίζουν την αύξηση που υπάρχει στα ενοικιαζόμενα αυτοκίνητα. Ο Σεπτέμβριος

λογικά, λοιπόν είναι ο μήνας με την μεγαλύτερη κίνηση μια και είναι ακόμα σε εξέλιξη η τουριστική περίοδος και συνάμα πολλοί εργαζόμενοι επιστρέφουν στις δουλειές τους.

Από το διάγραμμα 4.2 είναι φανερό ότι ο μεγαλύτερος όγκος των οχημάτων που κινούνται επί της εθνικής οδού είναι ιδιωτικής χρήσης. Αυτό εξηγείται εν μέρει από το γεγονός ότι δεν υπάρχουν σημαντικές μετακινήσεις φορτηγών μεταξύ των πόλεων της Κρήτης αλλά κυρίως από την ενδοχώρα των νομών προς τα λιμάνια του Ηρακλείου και των Χανίων αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.2 Κατηγοριοποίηση των οχημάτων που κινούνται επί του δρόμου στο Γάζι..

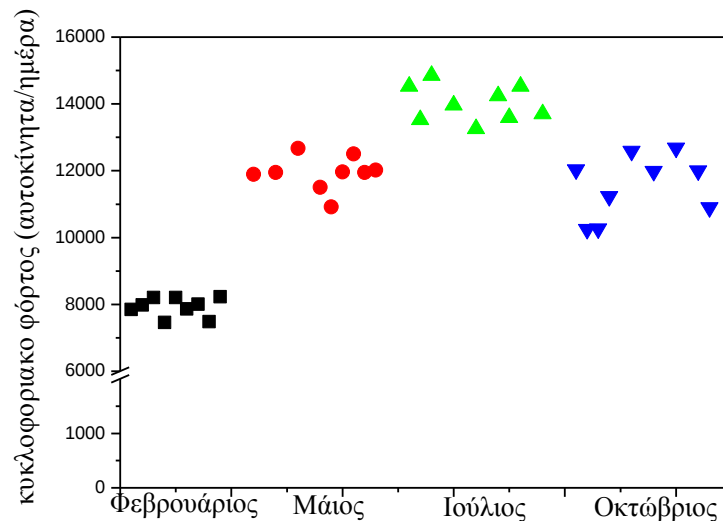


Διάγραμμα 4.3 Ταχύτητα των οχημάτων που κινούνται επί του δρόμου στο Γάζι..

Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δρόμου προκύπτει ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στο είδος των αυτοκινήτων που διασχίζουν το δρόμο.

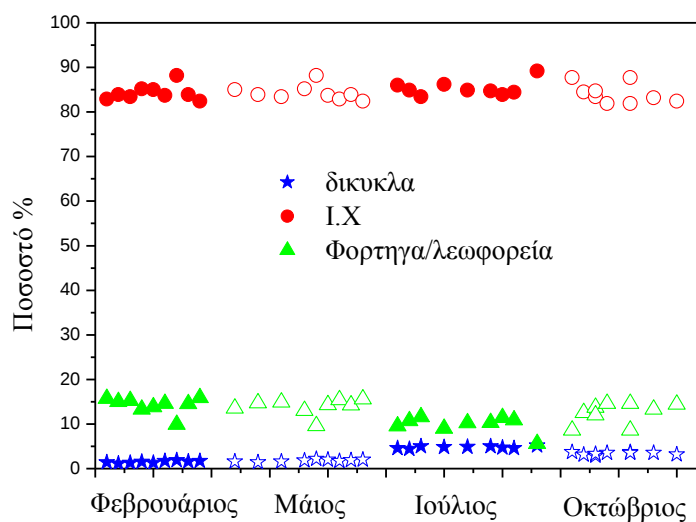
4.1.3.β Χερσόνησος

Στο διάγραμμα 4.4 παρουσιάζεται η μεταβολή της κυκλοφοριακής κίνησης στην εθνική οδό στο σημείο της Χερσονήσου. Σε αντίθεση με το Γάζι, εδώ παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση της κυκλοφοριακής κίνησης κατά την διάρκεια του έτους. Η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα τουριστική και γι αυτό το λόγο παρουσιάζεται ανάλογα αυξημένη κίνηση τους καλοκαιρινούς μήνες (14123 όχημα/ημέρα). Από την άλλη μεριά το χειμώνα η κίνηση πέφτει κατακόρυφα (7482 όχημα/ημέρα). Η αυξημένη κίνηση τους καλοκαιρινούς μήνες που διαρκεί η ξηρική περίοδος αναμένεται να συγκεντρώσει στον δρόμο σημαντικό αριθμό χημικών ενώσεων και κατά συνέπεια τα πρωτοβρόχια του Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου θα δώσουν απορροές από τον αυτοκινητόδρομο σημαντικά βεβαρημένες σε οργανικούς ρύπους.



Διάγραμμα 4.4 Ημερήσια μεταβολή του κυκλοφοριακού φόρτου στην Χερσόνησο.

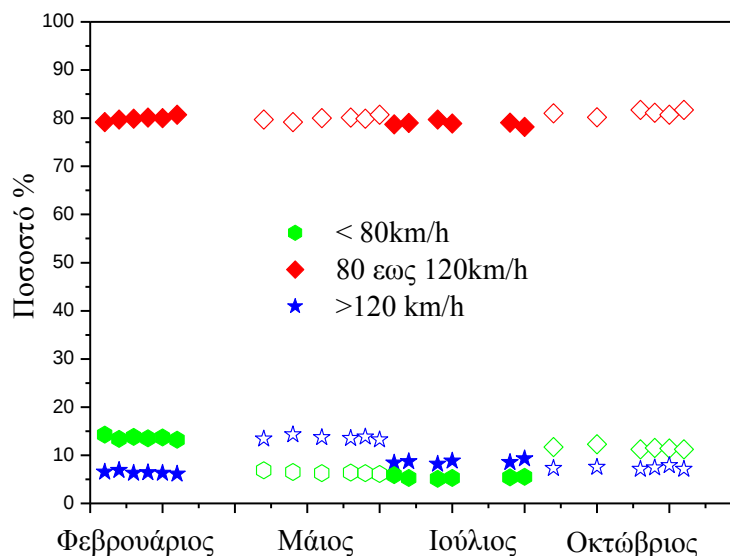
Στο διάγραμμα 4.5 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των οχημάτων που κινούνται στην οδό. Είναι φανερό ότι ο μεγαλύτερος όγκος των οχημάτων που κινούνται επί της εθνικής οδού είναι ιδιωτικής χρήσης. Παρατηρείται μια μικρή αύξηση των δικύκλων το καλοκαίρι κάτι που αναμένεται λόγω της αυξημένης χρήσης τους από τους επισκέπτες της περιοχής.



Διάγραμμα 4.5 Κατηγοριοποίηση των οχημάτων που κινούνται επί του δρόμου.

Οι ταχύτητες των οχημάτων που κινούνται στο σημείο αυτό της εθνικής οδού είναι συγκρίσιμες με αυτές που διαπιστώθηκαν στο Γάζι. Ωστόσο, παρατηρείται μια μικρή αύξηση του ποσοστού των οχημάτων που κινούνται με ταχύτητες μεγαλύτερες από 120 χλμ/ωρα.

Αυτό ίσως να οφείλεται στην ύπαρξη πολλών κέντρων διασκέδαστων που υπάρχουν στην περιοχή με αποτέλεσμα ιδιαίτερες τις νυκτερινές ώρες να παρατηρούνται παραβάσεις του Κ.Ο.Κ.



Διάγραμμα 4.6 Ταχύτητα των οχημάτων που κινούνται επί του δρόμου στην Χερσόνησο.

4.1.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κυκλοφορίας στους αυτοκινητόδρομους

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της ετήσια παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας των αυτοκινητόδρομων. Όπως βλέπουμε από τον πίνακα 4.1 ο μέσος αριθμός των οχημάτων στο Γάζι είναι περίπου 11000 οχήματα ενώ στην Χερσόνησο 13000 οχήματα. Περίπου το 85% των αυτοκινήτων είναι Ι.Χ. Οι ταχύτητες που παρατηρούνται στα οχήματα στην Χερσόνησο είναι μεγαλύτερες από το Γάζι. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και τα δυο σημεία αυτά βρίσκονται στον βόρειο οδικό άξονα Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ) που συνδέει τις τέσσερις πρωτεύουσες των νομών. Επομένως αναμένονταν παρόμοια ποιοτικά χαρακτηριστικά. Οι επιμέρους διακυμάνσεις μεταξύ των δύο αυτών σημείων οφείλονται σε κάποιες ιδιαιτερότητες που έχει η κάθε περιοχή. Η διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου ήταν μεγαλύτερη στο σημείο της εθνικής οδού στην Χερσόνησο, εκεί βρέθηκε τόσο η μέγιστη (το καλοκαίρι) όσο και η ελάχιστη τιμή (το χειμώνα) που καταγράφηκε συνολικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην Χερσόνησο παρατηρείται αλματώδη αύξηση του πληθυσμού τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας των τουριστών που κατακλύζουν την περιοχή.

Πίνακας 4.1 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή του κυκλοφοριακού φόρτου, του είδους και της ταχύτητας των οχημάτων που κινούνται στα σημεία δειγματοληψίας.

Αυτοκινητόδρομος	min	max	Mean
<u>Γαζί</u>			
Κυκλοφορία	6867	16528	11459 ± 3341
Κατηγοριοποίηση			
Δίκυκλα	1,5	2,4	1,9
IX	81,5	86	84,4
Φορτηγά	12,2	16,2	13,7
Ταχύτητα			
<80 km/h	20,5	29,5	26,1
80~120 km/h	64,1	77,6	65,5
<120km/h	6,9	9,9	8,5
<u>Χερσονησος</u>			
Κυκλοφορία	6089	19569	13052 ± 3511
Κατηγοριοποίηση			
Δίκυκλα	1,4	2,2	1,8
IX	82,4	88,2	84,3
Φορτηγά	9,6	15,6	13,9
Ταχύτητα			
<80 km/h	11,2	16,3	13,7
80~120 km/h	79,2	83,7	79,9
<120km/h	5,1	7,9	6,4

4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΩΝ

4.2.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής

- Λαμβάνονταν ανά 15 ημέρες τα δεδομένα (βροχόπτωση, ταχύτητα ροής, θερμοκρασία) από το καταγραφικό συνεχούς λειτουργίας του Σταθμού Δειγματοληψίας Χερσονήσου (ΣΔΧ),
- Λαμβάνονταν ανά 15 ημέρες τα δεδομένα ενώ γίνονταν αναλυτική καταγραφή σε ειδική φόρμα (ταχύτητες ροής, βροχόπτωση, συνολικοί όγκοι απορροών ανά επεισόδιο βροχής, υδατογραφήματα) από το σύστημα αυτόματου δειγματολήπτη – ροόμετρου του Σταθμού Δειγματοληψίας Γαζίου (ΣΔΓ). Στα ίδια διαστήματα γίνονταν επαναφόρτιση της μπαταρίας,
- Λήφθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα τόσο από το μετεωρολογικό σταθμό του ΤΕΙ, όσο και από το μετεωρολογικό σταθμό του λιμένα Ηρακλείου και της Κνωσού σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και την ΕΜΥ. Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται σε πίνακες excel ως εξής:

Πίνακας 4.2 Δεδομένα κλιματολογικών συνθηκών και βροχόπτωσης

		Temp	Wind	Wind	Heat	Rain		
Date	Time	Out	Speed	Dir	Index	Bar	Rain	Rate
20.10.07	21:20	19.0	1.6	WSW	19.6	1008.9	0.00	0.0
20.10.07	21:30	19.0	4.8	NW	19.6	1009.0	0.20	0.0
20.10.07	21:40	19.0	3.2	NW	19.6	1009.0	0.60	4.2
20.10.07	21:50	18.9	1.6	NNE	19.6	1008.9	0.20	3.4
20.10.07	22:00	18.9	1.6	NE	19.6	1009.0	0.40	10.2
20.10.07	22:10	19.3	0.0	NE	20.0	1009.0	0.20	9.6
20.10.07	22:20	19.9	11.3	SSW	20.8	1008.8	0.00	0.0

Πίνακας 4.3 Ημέρες χωρίς να βρέξει (ADP), συνολική ροή ύδατος από το δειγματολήπτη (Total Flow), και συνολική βροχόπτωση (Total Event Rain)

DATE	ADP	Total Flow	Total Event Rain
19/4/2007	0	231,00	3
18/5/2007	16	317,00	1,2
19/5/2007	0	656,00	7,8
20/10/2007	4	442,00	10,8
23/10/2007	0	216,00	1,8
19/11/2007	0	376,00	0,2

9/12/2007	2	156,00	4,6
19/12/2007	0	454,00	18
20/12/2007	0	271,00	4,6
14/1/2008	4	366,00	0,2
19/1/2008	4	343,00	1,2
7/2/2008	7	107,00	0,6
8/2/2008	0	774,00	9,2
11/2/2008	0	190,00	5,2
Άθροισμα		4899,00	68,40
		5633,85	78,66

4.2.2 Συλλογή υγρών δειγμάτων

- Συλλέγονταν μετά από κάθε επεισόδιο βροχής 6-8 δείγματα από τον ΣΔΧ, και μεταφέρονταν στο εργαστήριο το πολύ εντός 2 ωρών.
- Συλλέγονταν από τον ΣΔΓ όλα τα δείγματα (24) που συλλέγει ο αυτόματος δειγματολήπτης και εντός 2 ωρών μεταφέρονταν στο εργαστήριο για ανάλυση ενώ γινόταν και επανατοποθέτηση κενών φιαλών,

Τα δείγματα αναλύθηκαν για COD, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C., TSS, TN, TP, NO₃, και PAHs.

4.2.3 Ξηρή εναπόθεση (Ξ.Ε.)

Λήφθηκαν δείγματα ξηρής εναπόθεσης μόνο από το ΣΔΓ κατά τις ξηρές περιόδους και συνολικά σε 5 διαφορετικές ημερομηνίες.

- Η συλλογή της Ξ.Ε. σύμφωνα με τους **Yi et all** (1997).

Σε κόλλες mylar films, αφού ξεπλυθούν διαδοχικά με μεθανόλη, 2% νιτρικό οξύ κ dH₂O, απλώνονται 150mg L-Apiezon και ζυγίζονται πριν και μετά. Έπειτα εκτίθενται στον αέρα για 24 ώρες. Μετά οι επιφάνειες αυτές διαβρέχονται 3 φορές με 15ml n-εξάνιο και τα εκχυλίσματα αυτά αναλύονται για μέταλλα (Cu, Ni, Pb, Zn) και PAHs (στην HPLC). Λαμβάνεται και 1 Blank κάθε φορά.

Οι κόλλες αυτές θα τοποθετούνται σε 2 γυάλινα ταμπλό, τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους και σε ύψος 2m περίπου από το έδαφος. Το παράλληλο με το έδαφος ταμπλό θα έχει μια ελαφριά κλίση προς τα κάτω 10°.

➤ Επίσης συλλογή Ξ.Ε. έγινε και με τη μέθοδο του δειγματολήπτη ανοικτού δοχείου πλησίον των αυτοκινητοδρόμων όπως περιγράφεται από τους Majewski και Capel (1995). Τοποθετούνται 2 ανοιχτά κυλινδρικά δοχεία από PET, διαστάσεων περίπου
-ανοιχτή επιφάνεια 0,0615m²,
-ύψος 35cm.

Το ένα πληρώνεται με γυάλινες σφαίρες και το άλλο μένει ως έχει. Αυτά αφήνονται για 3 ημέρες (ανά 72 ώρες δειγματοληψία) και ξεπλένονται 3x100 με dH₂O. Τα εκχυλίσματα αυτά θα αναλύονται για TSS, μέταλλα, PAHs, NO₃, TP, TN και MOG.

Επιπλέον μετά από κάποια επεισόδια βροχής λήφθηκαν δείγματα μεικτής υγρής/ξηρής εναπόθεσης από το δειγματολήπτη ανοικτού δοχείου που περιέχει υάλινες σφαίρες αφού έχει γίνει πλήρης εξάτμιση της υγρής εναπόθεσης. Αυτό γίνεται γιατί μετά από κάθε βροχή η ατμόσφαιρα καθαρίζει από ρύπανση υποβάθρου ενώ και οι εκπομπές της κίνησης είναι μεγιστοποιημένες και ευκολότερα παρατηρούμενες.

4.2.4 Μετρήσεις εκπομπών αερίων ρύπων από εξατμίσεις.

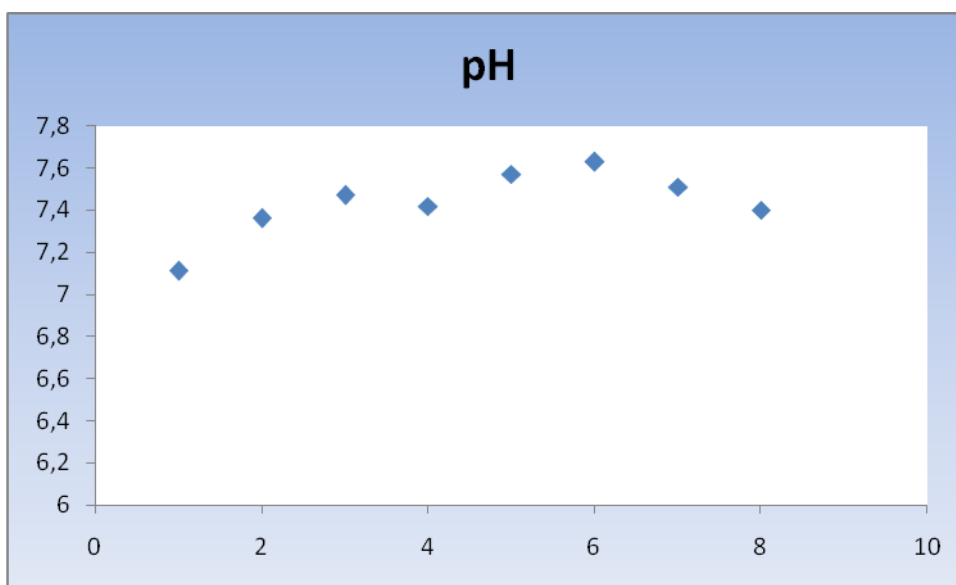
Σε τυχαίες δειγματοληψίες σε οχήματα που εξετάζονταν σε ιδιωτικά ΚΤΕΟ του Ηρακλείου πραγματοποιήθηκαν και αναλύθηκαν δείγματα των αερίων εξάτμισης ως προς άκαυστους υδρογονάνθρακες και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (Σ16 ΠΑΥ). Έτσι έγινε μια εκτίμηση της συνεισφοράς του κάθε οχήματος ανάλογα τον τύπο του (πετρελαιοκίνητο, βενζινοκίνητο) και την ηλικία σε αυτούς τους δύο βασικούς ρύπους που θεωρείται ότι συνεισφέρουν στην ποιότητα των απορροών των αυτοκινητοδρόμων και συγκεκριμένα θεωρείται ότι θα συνεισφέρουν θετικά στο COD και στο άθροισμα των ΠΑΥ.

4.2.5 Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων

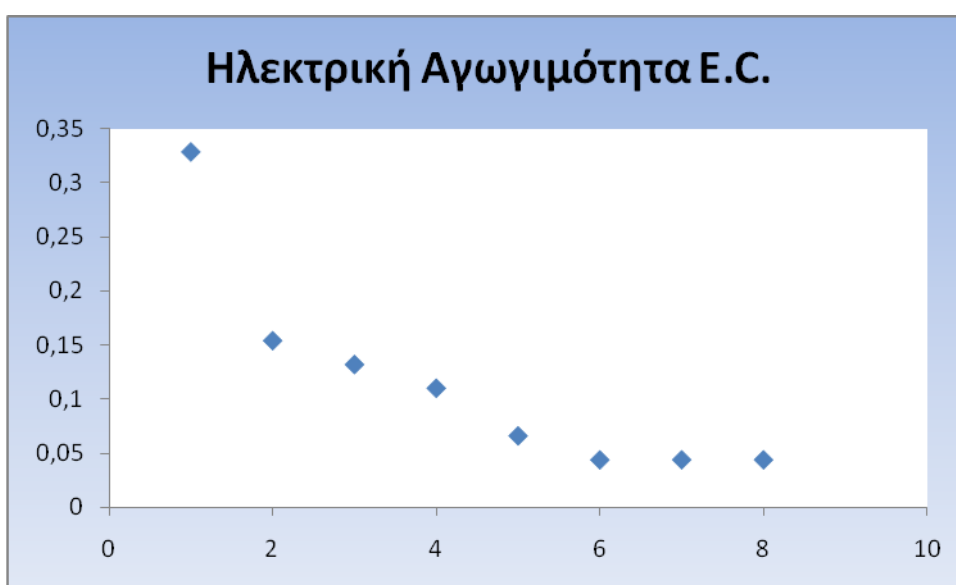
Παρακάτω παρατίθενται σε διαγράμματα (4.7-4.13) η χαρακτηριστική διακύμανση ρύπων για ένα συγκεκριμένο επεισόδιο βροχής ως προς τα κυβικά συνολικής απορροής που έλαβε χώρα την 19/01/2008. Είναι φανερό πως στο συγκεκριμένο επεισόδιο που είχαν μεσολαβήσει

προηγούμενα βροχές, οι συγκεντρώσεις ρύπων διατηρήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα, ενώ οι ρύποι ξεπλένονται σημαντικά και υφίστανται μείωση στα 6 πρώτα κυβικά απορροής.

Το pH στο 1 κυβικό απορροής έχει τιμή ~ 7.1 ενώ σταδιακά παρατηρείται μια μικρή αύξηση, από την άλλη μεριά η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται σε σημαντικό βαθμό και σταθεροποιείται σε τιμές κοντά στα 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Γενικά στην βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας για βρόχινο νερό από 5 μέχρι 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η αρχική τιμή των 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που καταγράφεται αρχικά οφείλεται στην σκόνη που έχει επικαθίσει στην οδό και αρχίζει να ξεπλένεται με την βροχή.



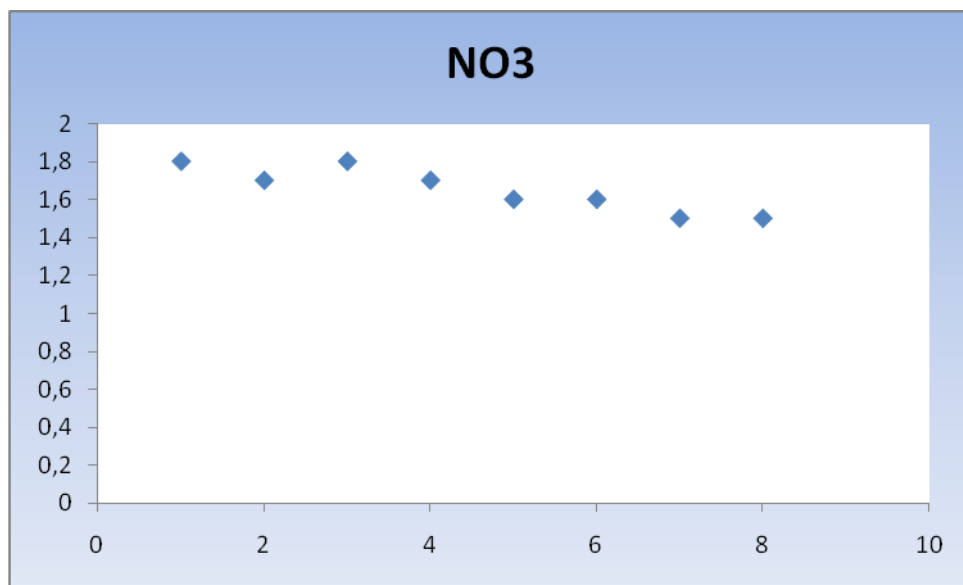
Διάγραμμα 4.7 Μεταβολή του pH στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m^3).



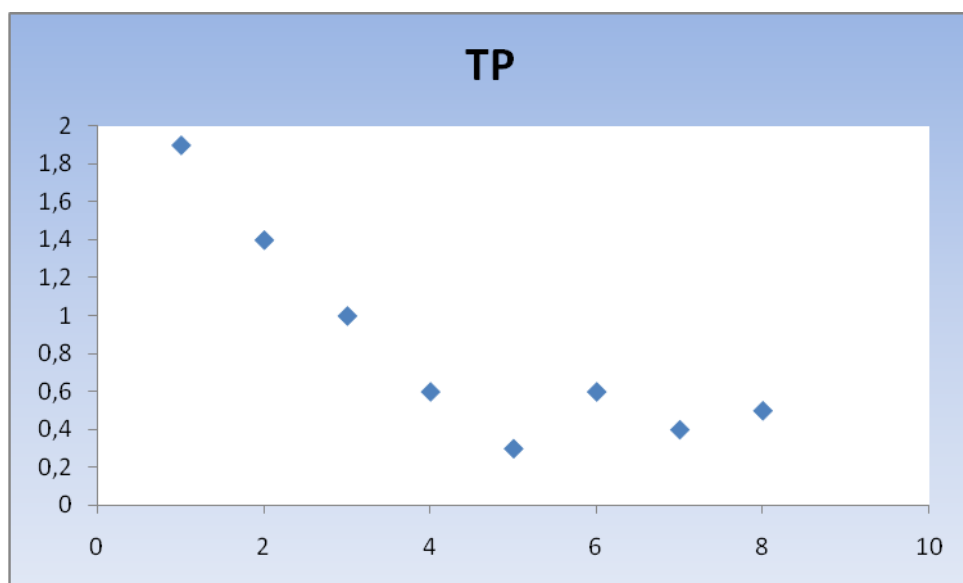
Διάγραμμα 4.8 Μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ms/cm) στην απορροή του

αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m^3).

Στα διαγράμματα 4.9, 4.10 παρουσιάζεται η μείωση θρεπτικών στοιχείων (νιτρικών-φωσφόρου) που συναντούνται στα απόνερα. Γενικά οι συγκεντρώσεις αυτών των ενώσεων είναι σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με αυτά που καταγράφονται σε άλλα υγρά απόβλητα (πχ αστικά) και δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για την διαχείριση των απορροών. Ωστόσο παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσης του φωσφόρου σε σχέση με την ποσότητα της βροχόπτωσης.

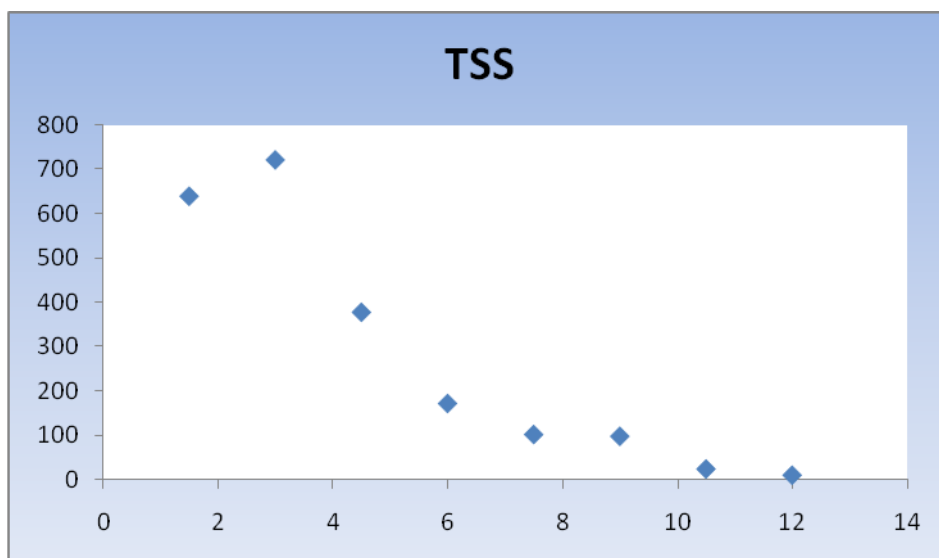


Διάγραμμα 4.9 Μεταβολή της συγκέντρωσης νιτρικών (mg/l) στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m^3).

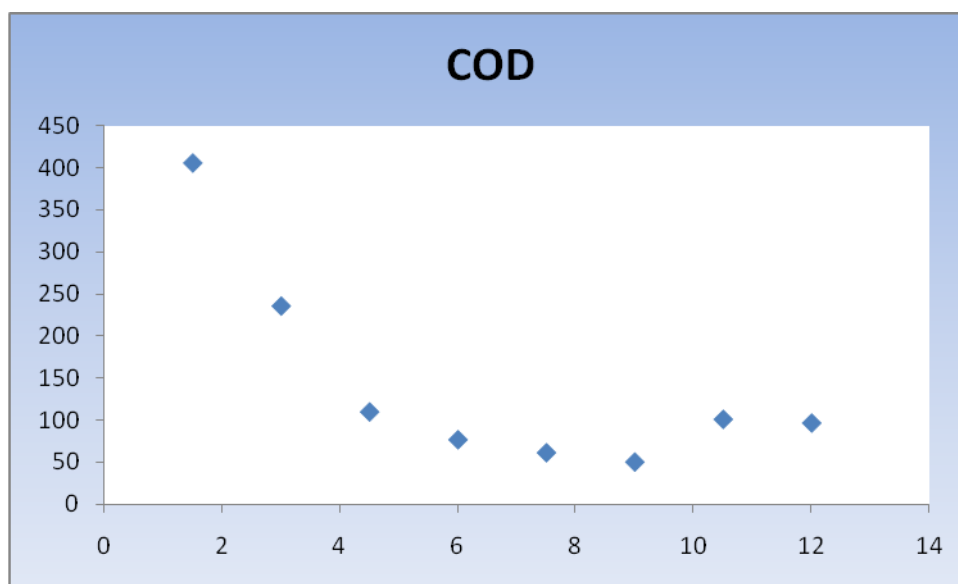


Διάγραμμα 4.10 Μεταβολή της συγκέντρωσης του φώσφορου (mg/l) στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m³).

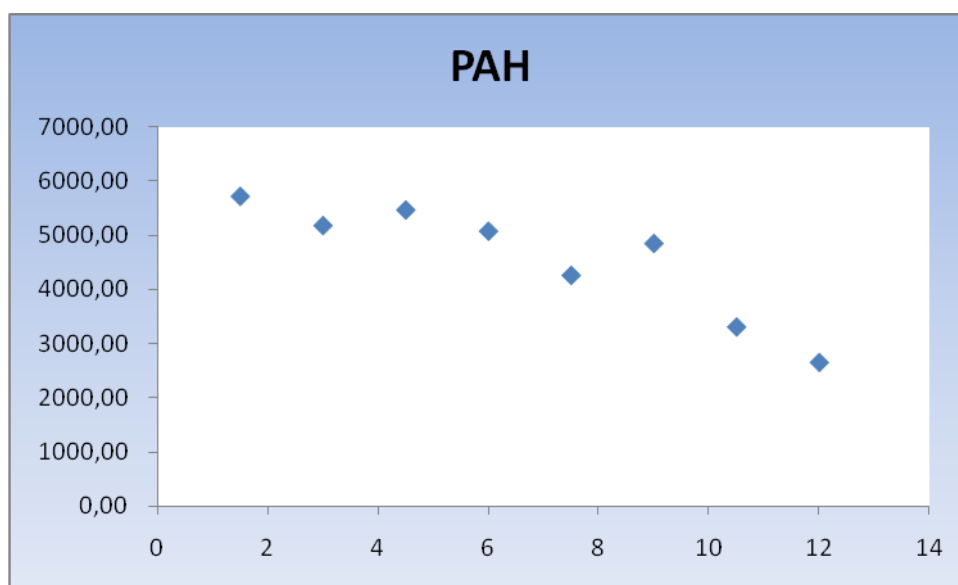
Μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές παράμετρος αποτελεί η συγκέντρωση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD). Όπως βλέπουμε από το διάγραμμα 4.12 η συγκέντρωση του COD μειώνεται δραστικά από μια τιμή 280 mg/l σε περίπου 50mg/l μετά από 6 m³ απορροής. Επομένως μια μονάδα τεχνητού υδροβιοτόπου που συνήθως κατασκευάζεται για την επεξεργασία των υδάτινων απορροών πρέπει να διαστασιολογηθεί έτσι ώστε να διαχειριστεί αυτά τα 6 m³ αποβλήτων και όχι το σύνολο της απορροής. Παρόμοια δραστική μείωση όπως ήταν αναμενόμενο βρέθηκε και για την συγκέντρωση των TSS (Διάγραμμα 4.11).



Διάγραμμα 4.11 Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών (mg/l) στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m³).



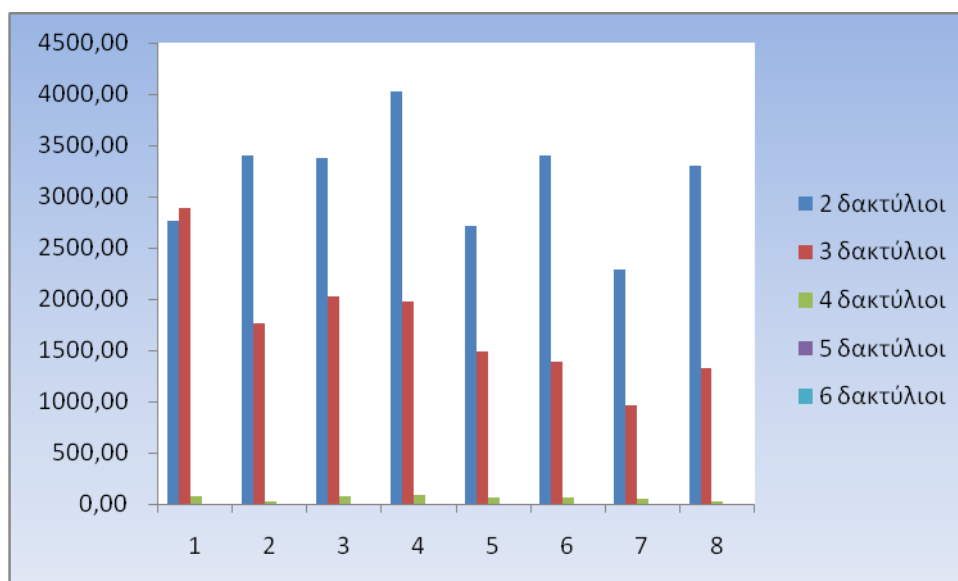
Διάγραμμα 4.12 Μεταβολή της συγκέντρωσης του COD (mg/l) στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m³).



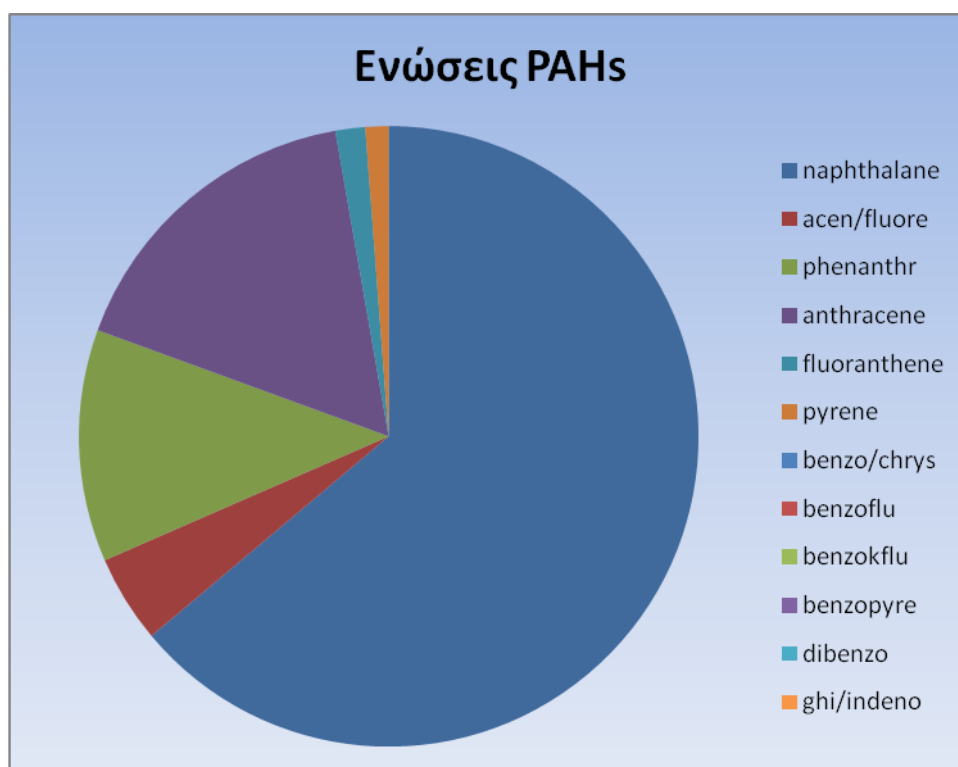
Διάγραμμα 4.13 Μεταβολή της συγκέντρωσης των PAHs (μg/l) στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m³).

Στο διάγραμμα 4.13 παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs) που μετρήθηκαν στην απορροή. Παρόλο που είναι φανερό η μείωση της συγκέντρωσης του θα πρέπει να σημειωθεί ότι παραμένουν σημαντικές ποσότητες στην απορροή και μετά τα 8 m³. Λόγω του υδροφοβικού τους χαρακτήρα, τα PAHs δεν ξεπλένονται εύκολα από την ασφάλτο. Κατά συνέπεια για να απομακρύνουμε τους καρκινογόνους αυτούς ρύπους από τις υδάτινες απορροές των αυτοκινητοδρόμων θα πρέπει

να διαχειριστούμε μεγαλύτερες ποσότητες από αυτές που εκτιμούνται με βάση τις τυπικές φυσικοχημικές παραμέτρους (TSS, COD, TN, TP).



Διάγραμμα 4.14 Μεταβολή της συγκέντρωσης των PAHs (μg/l), χωρισμένοι σε επιμέρους δακτυλίους, στην απορροή του αυτοκινητόδρομου σε συνάρτηση με τον όγκο των απόνερων (m³).



Διάγραμμα 4.15 Ποσοστό των πολυαρωματικών ενώσεων στις απορροές των εθνικών οδών

Όπως παρατηρούμε από τα δυο τελευταία διαγράμματα 4.14, 4.15 οι ενώσεις με τους λιγότερους δακτυλίους (2,3 και 4 δακτυλίους) συναντώνται περισσότερο στα απόνερα των εθνικών οδών. Έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό έχει η ένωση ναφθαλένιο (2 δακτύλιοι) με τη συγκέντρωση του να ξεπερνάει το 50% του συνολικού, σχεδόν σε όλα τα επεισόδια βροχής. Αυτό οφείλεται στο ότι οι ενώσεις αυτές όσο περισσότερους βενζολικούς δακτυλίους έχουν τόσο περισσότερο αυξάνεται ο υδροφοβικός τους χαρακτήρας και αντίθετα μειώνεται η υδατοδιαλυτότητα τους. Έτσι αυξάνεται η δυσκολία απόπλυση τους. Για αυτό το λόγο δύσκολα συναντάμε ενώσεις PAH με περισσότερους από 4 δακτυλίους.

Συμπεραίνοντας, μπορούμε να πούμε ότι όλες οι φυσικοχημικές παράμετροι που σχετίζονται με την ρύπανση των υδάτινων απορροών από τους αυτοκινητόδρομους παρουσιάζουν (λιγότερο ή περισσότερο) μειωμένες συγκεντρώσεις όσο αυξάνει ο όγκος απορροής. Αυτό δείχνει ότι αν διαχειριστούμε κατάλληλα συγκεκριμένα κυβικά απορροής των δρόμων τότε θα επιτύχουμε απορρύπανση της μεγαλύτερης ποσότητας των αποβλήτων αυτών.

Πίνακας 4.4 Εκπομπές ρύπων εξάτμισης ενδιαφέροντος για συσχέτιση με α) COD β)PAH

Είδος Αυτοκινήτου	HC (Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες) μg/Km	PAHs (Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες) μg/Km
Βενζινοκίνητο καταλυτικό	1154,18	65
Βενζινοκίνητο μη καταλυτικό (πριν από 12 έτη κυκλοφορίας)	2912,19	1207
Πετρελαιοκίνητο βαριάς χρήσης	6175,66	209

Στον πίνακα 4.4 φαίνεται η συσχέτιση των ρύπων που εκπέμπονται από τις μηχανές των αυτοκινήτων με την αύξηση του οργανικού φορτίου (COD) στις υδάτινες απορροές. Τα οχήματα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο (κυρίως τα φορτηγά) εκπέμπουν σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες άκαυστων υδρογονανθράκων. Από την άλλη μεριά τα βενζινοκίνητα

μη καταλυτικά οχήματα εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs) που είναι γνωστές καρκινογόνες ενώσεις.

Στους πίνακες 4.5, 4.6 παρουσιάζονται μετρήσεις ξηρής και υγρής εναπόθεσης την περίοδο βροχοπτώσεων ενώ στον πίνακα 4.7 ποιοτικές και ποσοτικές τιμές υδατικών απορροών αυτοκινητοδρόμων σε διαφορετικά επεισόδια βροχής. Όπως βλέπουμε η ποσότητα των στερεών, του οργανικού φορτίου και των PAHs που συσσωρεύονται στον δρόμο και στην συνέχεια ξεπλένονται την περίοδο της βροχόπτωσης ποικίλουν ανάλογα με την περίοδο και το ύψος της βροχόπτωσης.

Πίνακας 4.5 Ενδεικτικές μετρήσεις ξηρής και υγρής εναπόθεσης την περίοδο βροχοπτώσεων.

Παράμετρος	Μεικτή Υγρή-Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Οκτώβριος	Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Οκτώβριος (dissolved in dd)	Μεικτή Υγρή- Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Νοέμβριος	Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Νοέμβριος (dissolved in dd)	Μεικτή Υγρή- Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Δεκέμβριος	Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Δεκέμβριος (dissolved in dd)	Μεικτή Υγρή-Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Ιανουάριος	Ξηρή Εναπόθεση μέση τιμή φόρτισης Ιανουάριος (dissolved in dd)
pH	6.7	7.0	6.6	6.9	6.3	6.9	6.3	7.1
E.C. $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.12	0.06	0.13	0.08	0.17	0.08	0.19	0.04
COD $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$	32	23	31	24	30	25	24	23
TP $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$	1.1	0.04	1.4	0.06	1.0	0.09	1.02	0.15
TSS $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$	72	34	70	16	67	18	65	27

Στο πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι συνηθέστεροι φυσικοχημικοί παράμετροι που έλαβαν χώρα σε περίοδο βροχοπτώσεων από την ξηρή και την υγρή εναπόθεση. Παρατηρούμε ότι το COD παρουσιάζει ένα μέγιστο τον Οκτώβρη που βρισκόμαστε κοντά στη μέγιστη χρήση του δρόμου (τέλος τουριστικής περιόδου) και στη μεγάλη απουσία βροχόπτωσης. Το ίδιο ισχύει για τις τιμές του TP και των TSS. Οι τιμές της μεικτής εναπόθεσης είναι πάντα μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της ξηρής λόγω του συντριπτικά μεγαλύτερου ποσοστού σωματιδίων που

κατακρημνίζονται κατά την υγρή εναπόθεση.

Πίνακας 4.6 Μετρήσεις πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων ξηρής και υγρής εναπόθεσης την περίοδο βροχοπτώσεων.

Μήνες	PAH	PAH
	Μεικτή Υγρή - Ξηρή Εναπόθεση ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	Ξηρή Εναπόθεση ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)
Οκτώβριος	15,67630746	1,588231435
Νοέμβριος	12,00861216	8,749338197
Δεκέμβριος	9,142082562	6,974511013
Ιανουάριος	16,31496178	2,860198064
Φεβρουάριος	7,125081865	3,836583748
Απρίλιος	31,83281825	18,05217931

Ομοίως και με τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες παρατηρούμε ότι στην μεικτή υγρή ξηρή εναπόθεση είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές τις ξηρής εναπόθεσης. Το μήνα Απρίλιο οι τιμές αυξάνονται πολύ περισσότερο από τους υπόλοιπους μήνες και αυτό οφείλεται στη μεγάλη περίοδο που παρατηρήθηκε απουσίας βροχόπτωσης και στην αύξηση της κυκλοφορίας.

Πίνακας 4.7 Ποιοτικές και ποσοτικές τιμές υδατικών απορροών αυτοκινητοδρόμων σε διαφορετικά επεισόδια βροχής.

Ημερομηνία	Ξηρή Περίοδος (days)	Βροχόπτωση (mm)	Ροή (m ³)	TSS mg/l	PAH μg/l	COD mg/l	Cu μg/l	Ni μg/l	Pb μg/l	Zn μg/l
19/4/2007	0	3	23,1	156,41	1789,36	40,0	24	88	21	114
18/5/2007	16	1,2	31,7	282,2075	5231,90	1341,91	50	173	108	224
19/5/2007	0	7,8	65,6	215,4	2231,90	705,25	21	93	32	332
20/10/2007	4	10,8	44,2	609,3325	10873,46	195,58	32	82	63	111
23/10/2007	0	1,8	21,6	176,1667	4596,97	144,0	18	87	45	178
19/11/2007	0	0,2	37,6	268,25	1062,44	101,0	39	94	16	185
9/12/2007	2	4,6	15,6	103,25	4776,39	37,13	22	58	32	351
19/12/2007	0	18	45,4	53	1443,16	118,16	4	28	7	109
20/12/2007	0	4,6	27,1	425,875	4631,53	439,23	16	17	23	124
14/1/2008	4	0,2	36,6	595,6	438,26	194,12	19	11	72	154
19/1/2008	4	1,2	34,3	379,4286	4944,85	142,73	53	281	173	667
7/2/2008	7	0,6	10,7	928,75	8083,70	258,59	28	188	111	265
8/2/2008	0	9,2	77,4	544,67	2105,16	195,67	33	218	123	224
11/2/2008	0	5,2	19,0	562,25	4185,57	156,81	101	119	107	156
ΑΘΡΟΙΣΜΑ		68,4	489,9	5300,59	56394,64	4070,20				

Πίνακας 4.8 Φορτίσεις για TSS, PAH, COD και βαρέα μέταλλα

Ημερομηνία	Φόρτιση TSS (gr)	Φόρτιση PAH (mg)	Φόρτιση COD (mg)	Φόρτιση Cu (mg)	Φόρτιση Ni (mg)	Φόρτιση Pb (mg)	Φόρτιση Zn (mg)
19/4/2007	3,61E+03	4,13E+04	9,24E+05	5,54E+02	2,03E+03	4,85E+02	2,63E+03
18/5/2007	8,95E+03	1,66E+05	4,25E+07	1,59E+03	5,48E+03	3,42E+03	7,10E+03
19/5/2007	1,41E+04	1,46E+05	4,63E+07	1,38E+03	6,10E+03	2,10E+03	2,18E+04
20/10/2007	2,69E+04	4,81E+05	8,64E+06	1,41E+03	3,62E+03	2,78E+03	4,91E+03
23/10/2007	3,81E+03	9,93E+04	3,11E+06	3,89E+02	1,88E+03	9,72E+02	3,84E+03
19/11/2007	1,01E+04	3,99E+04	3,80E+06	1,47E+03	3,53E+03	6,02E+02	6,96E+03
9/12/2007	1,61E+03	7,45E+04	5,80E+05	3,43E+02	9,05E+02	4,99E+02	5,48E+03
19/12/2007	2,41E+03	6,55E+04	5,36E+06	1,82E+02	1,27E+03	3,18E+02	4,95E+03
20/12/2007	1,15E+04	1,26E+05	1,19E+07	4,34E+02	4,61E+02	6,23E+02	3,36E+03
14/1/2008	2,18E+04	1,60E+04	7,10E+06	6,95E+02	4,03E+02	2,64E+03	5,64E+03
19/1/2008	1,30E+04	1,70E+05	4,90E+06	1,82E+03	9,64E+03	5,93E+03	2,29E+04
7/2/2008	9,94E+03	8,65E+04	2,77E+06	3,00E+02	2,01E+03	1,19E+03	2,84E+03
8/2/2008	4,22E+04	1,63E+05	1,51E+07	2,55E+03	1,69E+04	9,52E+03	1,73E+04
11/2/2008	1,07E+04	7,95E+04	2,98E+06	1,92E+03	2,26E+03	2,03E+03	2,96E+03
Μέσος όρος	1,29E+04	1,25E+05	1,11E+07	1,07E+03	4,03E+03	2,37E+03	8,05E+03
Άθροισμα	1,81E+05	1,75E+06	1,56E+08	1,50E+04	5,65E+04	3,31E+04	1,13E+05

4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.3.1 Πολυπαραγοντική Ανάλυση Διακύμανσης (Multivariate Linear Regression)

Καλύτερη μέθοδος συσχέτισης περισσοτέρων μεταβλητών είναι η Πολυπαραγοντική Ανάλυση Διακύμανσης (Multivariate Linear Regression). Σύμφωνα με αυτήν μπορούν να συσχετιστούν ταυτόχρονα η διακύμανση πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών με τη διακύμανση διαφόρων μέσων συγκεντρώσεων ρύπων. Έτσι κατορθώθηκε να γίνει η εξαγωγή των σχέσεων που δίνονται παρακάτω και υπολογίζουν τη διακύμανση των συγκεντρώσεων διαφόρων ρύπων με δεδομένα κάποιες από τις παρατηρούμενες μεταβλητές.

Για παράδειγμα η διακύμανση του COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, συσχετιζόμενο με την οργανική φόρτιση ρύπων) μεταξύ δυο επεισοδίων βροχής μπορεί να συσχετιστεί με τις παραμέτρους ενδιάμεση ξηρική περίοδος (ADR), μεταξύ δυο επεισοδίων βροχής, βροχόπτωση (BER) και συνολική ποσότητα βροχόπτωσης στο δεύτερο επεισόδιο βροχής (TER). Η πρώτη μεταβλητή θεωρείται ότι συνεισφέρει θετικά στις τιμές του COD και κατά τη ξηρική περίοδο γίνονται η εναπόθεση σωματιδίων στις επιφάνειες της οδού, η μεταξύ των δύο επεισοδίων βροχόπτωση ξεπλένει μέρος της εναπόθεσης αυτής ενώ η ποσότητα της βροχόπτωσης στο δεύτερο επεισόδιο βροχής αραιώνει ουσιαστικά τη συγκέντρωση των ρύπων. Έτσι προκύπτει η σχέση που συσχετίζει την μεταξύ δυο επεισοδίων διαφορά στη συγκέντρωση COD ως εξής $DCOD = (aADR - bBER) \times cTER^{-1}$ και κάνοντας γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης των δυο μόνο παραγόντων (της πραγματικής διαφοράς του COD μεταξύ δυο επεισοδίων βροχής και της συνάρτησης DCOD) βρίσκουμε πάρα πολύ ικανοποιητική συσχέτιση ($R^2=0.9936$).

Πίνακας 4.9 Συντελεστές βαρύτητας των τριων εξαρτημένων μεταβλητών που περιγράφουν καλύτερα τα 5 διαφορετικά συσχετιζόμενα δεδομένα μεταβολών του COD.

DCOD	ADR	BER	TER
-171	1	18,6	0,2
-159	2	77,2	4,6
308	3	18	4,6
-2100	4	12,2	10,8
1319	16	1,2	3

Η μέθοδος της πολυπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης εφαρμόστηκε σε μια πλειάδα εξαρτημένων μεταβλητών όπως του κυκλοφοριακού φόρτου (μέση ημερήσια κίνηση οχημάτων ανά έτος, AADT, και του είδους του αυτοκινητοδρόμου που προκύπτει από κατηγοριοποίηση της προηγούμενης κίνησης σε τρεις τάξεις), του ατμοσφαιρικού υποβάθρου (BACKGROUND) και της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης (TRAIN), καθώς και του μέσου αριθμού των επεισοδίων βροχής και άρα της συνολικής ξηρικής περιόδου (ADR) και των αποκρίσεων σε συγκεντρώσεις και φορτίσεις ρύπων, ως συνάρτηση των προηγούμενων παραμέτρων οπότε προέκυψαν οι παρακάτω εξισώσεις.

$$[\text{COD}] = [80.432 * \text{WP}/\text{ANRE} - 63.727] * \text{CLASS}$$

$$[\text{PAH } \mu\text{g m}^{-1} \text{ d}^{-1}] = [0.0035\text{AADT} + 64.424] * \text{CLASS} * \text{BACKGROUND}$$

$$[\text{PAH } \mu\text{g m}^{-2} \text{ y}^{-1}] = [0.0035\text{AADT} + 64.424] * \text{CLASS} * \text{BACKGROUND} * 365 * \text{W}$$

$$[\text{mg Cu y}^{-1}] = [\text{Cu}] * 0,65 * \text{TRAIN} * \text{W} * \text{L} / 1000000$$

$$[\text{mg Pb y}^{-1}] = [\text{Cu}] * 0,65 * \text{TRAIN} * \text{W} * \text{L} / 1000000$$

$$[\text{mg Ni y}^{-1}] = [\text{Cu}] * 0,65 * \text{TRAIN} * \text{W} * \text{L} / 1000000$$

$$[\text{mg Cd y}^{-1}] = [\text{Cu}] * 0,65 * \text{TRAIN} * \text{W} * \text{L} / 1000000$$

Αρχικά έγινε ανάλυση των ποιών είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι που πρέπει να εισάγονται από το χρήστη και βάση αυτών να γίνονται οι υπολογισμοί. Αυτές ήταν το μήκος και το πλάτος της επιφάνειας συλλογής στον αυτοκινητόδρομο (W, L), η μέση ετήσια βροχόπτωση (ANRE), και ο μέσος ετησίως αριθμός οχημάτων ανά ημέρα (MAADT).

Έγινε βαθμονόμηση των παραμετροποιημένων μεταβλητών ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων υποβάθρου (BACKGROUND) και επίδραση της τάξης του φόρτου της

κίνησης CLASS από τα δεδομένα χαμηλής κίνησης κυκλοφορίας και τις μετρήσεις εντός του συνεργαζόμενου ΚΤΕΟ στη συνεισφορά ρύπων εξάτμισης (σε υδρογονάνθρακες και PAHs) των μεμονωμένων οχημάτων που εξετάστηκαν εκεί. Ζητούμενες απόκρισης τιμών εξόδου για το πρόγραμμα ήταν η συνολική ποσότητα απορροής και η μέση τιμή ανά επεισόδιο, οι φορτίσεις και μέσες συγκεντρώσεις ρύπων που συσχετίζονται με την κίνηση των οχημάτων όπως Cu, Ni, Cd, Pb και PAHs. Στο πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα παραμετροποίησης των μεταβλητών dispersion storage (συντελεστής του ποσοστού όγκου που απορρέει ως προς τη συνολική βροχόπτωση, τυπικές τιμές για τα τρία σημεία δειγματοληψίας στην παρούσα μελέτη 0,65) και τη συνεισφορά του ατμοσφαιρικού υποβάθρου αλλά και της παρακείμενης χρήσης γης, ώστε να προσεγγίζονται καλύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια τα στοιχεία που προστίθενται και από άλλες βιβλιογραφικές πηγές αλλά και από τη μεταγενέστερη συνέχεια της έρευνας και συμπλήρωση των δεδομένων με περισσότερες τιμές δεδομένων.

Σχηματικά ένα διάγραμμα ροής του μοντέλου που κατασκευάστηκε έχει ως εξής:

INPUT

WRITE

“Determine class of Annual Average Daily Traffic (AADT) in Vehicles Per Day”

READ AADT

IF AADT < 30,000 WRITE “NON URBAN ”

THEN CLASS=1.0

ELSEIF 30,000 < AADT < 60,000 WRITE “URBAN LOW TRAFFIC LOAD

THEN CLASS=1.02

ELSEIF 60,000 < AADT < 100,000 WRITE “URBAN “MEDIUM TRAFFIC
LOAD”

THEN **CLASS=1.03**

ELSEIF 100,000< AADT <200,000 WRITE ``URBAN MEDIUM - HIGH TRAFFIC
LOAD``

THEN **CLASS=1.04**

ELSEIF AADT > 200,000 WRITE ``URBAN HIGH TRAFFIC LOAD``

THEN **CLASS=1.05**

WRITE GIVE AVERAGE TOTAL MEAN ANNUAL RAINFALL EXPECTED, IN
MM``

READ **TRAIN**

WRITE GIVE DURATION OF WET SEASON IN DAYS

READ **WP**

WRITE MEAN NUMBER OF TOTAL ANNUAL RAINING EVENTS

READ **ANRE**

WRITE GIVE HIGHWAY LENGTH IN M

READ **L**

WRITE GIVE HIGHWAY LANES WIDTH IN M

READ **W**

WRITE DETERMINE NEAR BY LAND USE FOR AGRICULTURE 0, URBAN 1,
INDUSTRIAL 2

READ **LAND_USE**

IF **LAND_USE**=0 THEN **BACKGROUND**=1.0

IF **LAND_USE**=0 THEN **BACKGROUND**=1.01

IF **LAND_USE**=0 THEN **BACKGROUND**=1.03

CALCULATION**MODEL PARAMETERS**

TER=Ln[(**TRAIN**/**ANRE**)]

ADP=Ln(**WP**/**ANRE**)

ACCU =(**TRAIN**)^{0,333}

CATCH=Ln(**W*****L***10,000)

MAADT=**AADT**/1,000,000

OUTPUT

WRITE ESTIMATED TOTAL YEARLY HIGHWAY RUNOFF QUANTITY IN M³
[HRO VOLUME] = **W*****L***0,65***TRAIN**/1000

WRITE ESTIMATED TOTAL VOLUME OF HIGHWAY RUNOFF EXPECTED
IN EACH EPISODE

[HRO VOLUME / RAIN EPISODE] = [HRO VOLUME]/**ANRE**

WRITE COD MEAN EVENT CONCENTRATION

[COD]=[80.432 * **WP**/**ANRE**-63.727]***CLASS**

WRITE COD ANNUALLY MASS LOADING

$$[\text{KgCOD m}^{-2} \text{ y}^{-1}] = 0.65 * [\text{COD}] * W * L * \text{TRAIN}$$

WRITE COD DAILY MASS FLOW PER METER OF HIGHWAY

$$[\text{KGCOD m}^{-1} \text{ d}^{-1}] = 0.65 * [\text{COD}] * W * \text{TRAIN} / 365,000$$

WRITE PAH FLOW in $\mu\text{g m}^{-1} \text{ d}^{-1}$

$$[\text{PAH } \mu\text{g m}^{-1} \text{ d}^{-1}] = [0.0035\text{AADT} + 64.424] * \text{CLASS} * \text{BACKGROUND}$$

WRITE PAH ANNUALY MASS LOADING PER SQUARE METER

$$[\text{PAH } \mu\text{g m}^{-2} \text{ y}^{-1}] = [0.0035\text{AADT} + 64.424] * \text{CLASS} * \text{BACKGROUND} * 365 * W$$

WRITE ESTIMATION OF METALS MEAN CONCENTRATION IN $\mu\text{g/l}$

$$[\text{Cu}] = e^{[2.944 + 0.233 * \text{TER} + 0.127 * \text{ADP} - 0.247 * \text{ACCU} + 0.077 * \text{CATCH} + 5.66 * \text{MAADT}]}$$

$$[\text{Pb}] = e^{[2.441 + 0.148 * \text{ADP} - 0.340 * \text{ACCU} + 0.130 * \text{CATCH} + 9.21 * \text{MAADT}]}$$

$$[\text{Ni}] = e^{[2.386 - 0.238 * \text{TER} + 0.161 * \text{ADP} - 0.235 * \text{ACCU}]}$$

$$[\text{Cd}] = e^{[-0.129 - 0.131 * \text{TER} + 0.129 * \text{ADP} - 0.343 * \text{ACCU} + 0.081 + 2.893 * \text{MAADT}]}$$

WRITE ESTIMATION OF METALS MASS LOADS PER YEAR

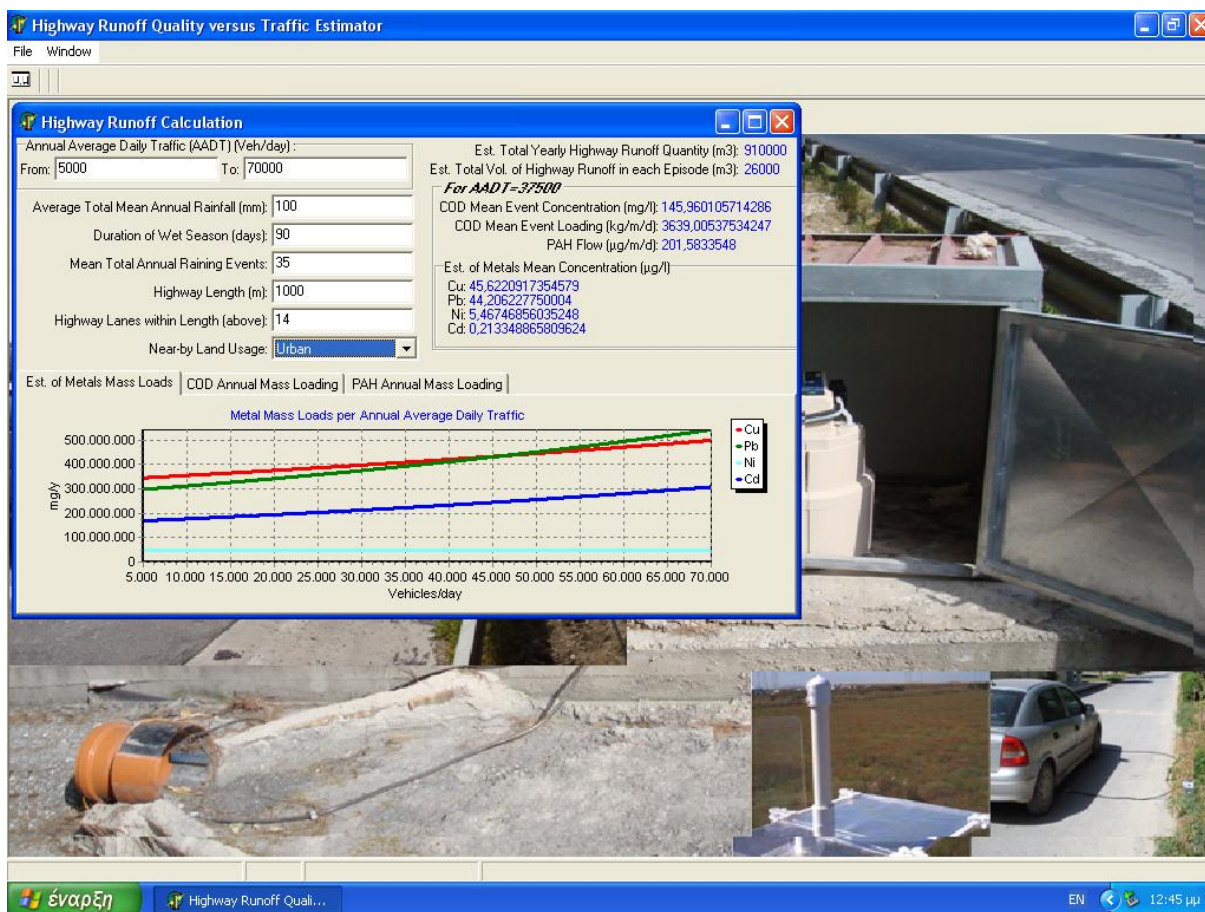
$$[\text{mg Cu}] = [\text{Cu}] * 0.65 * \text{TRAIN} * W * L / 1000000$$

$$[\text{mg Pb}] = [\text{Cu}] * 0.65 * \text{TRAIN} * W * L / 1000000$$

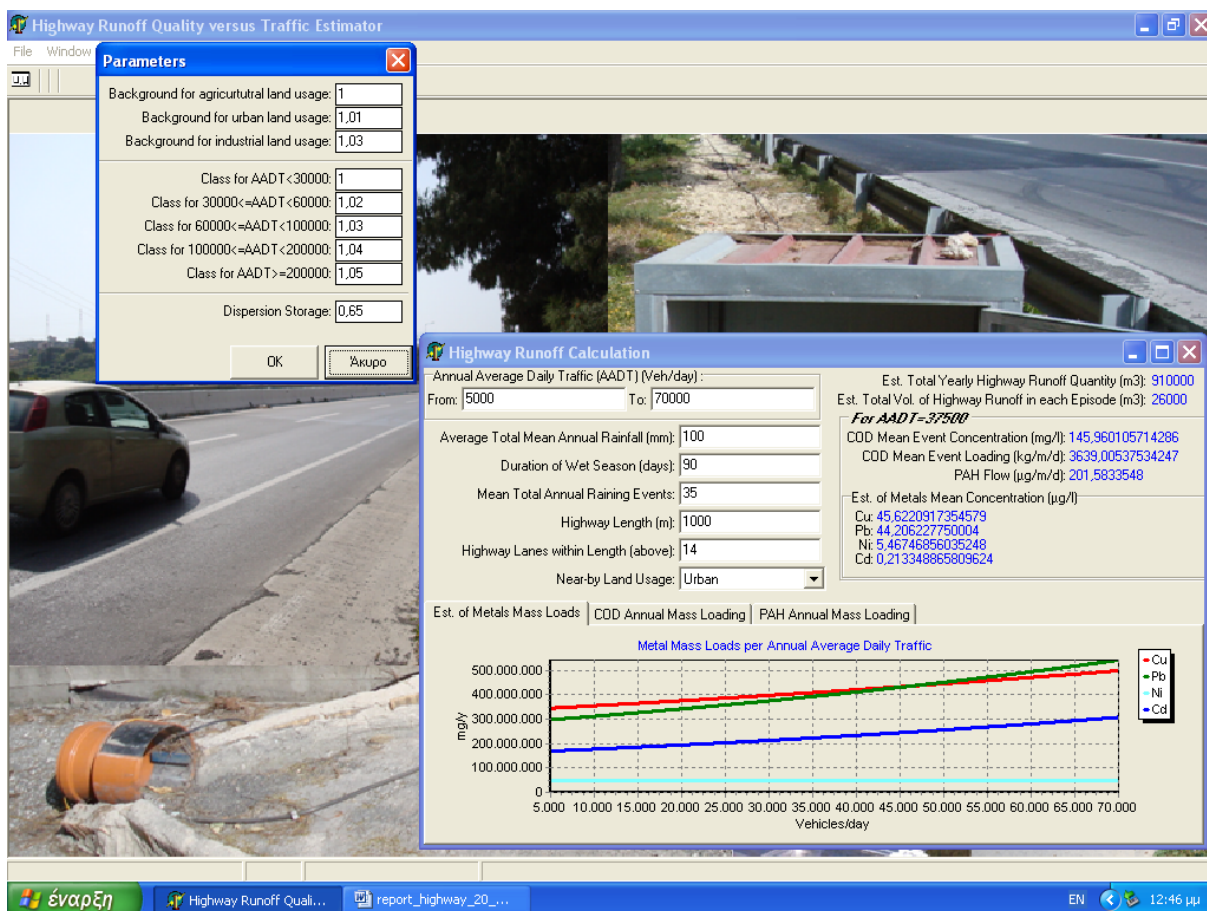
$$[\text{mg Ni}] = [\text{Cu}] * 0.65 * \text{TRAIN} * W * L / 1000000$$

$$[\text{mg Cd}] = [\text{Cu}] * 0.65 * \text{TRAIN} * W * L / 1000000$$

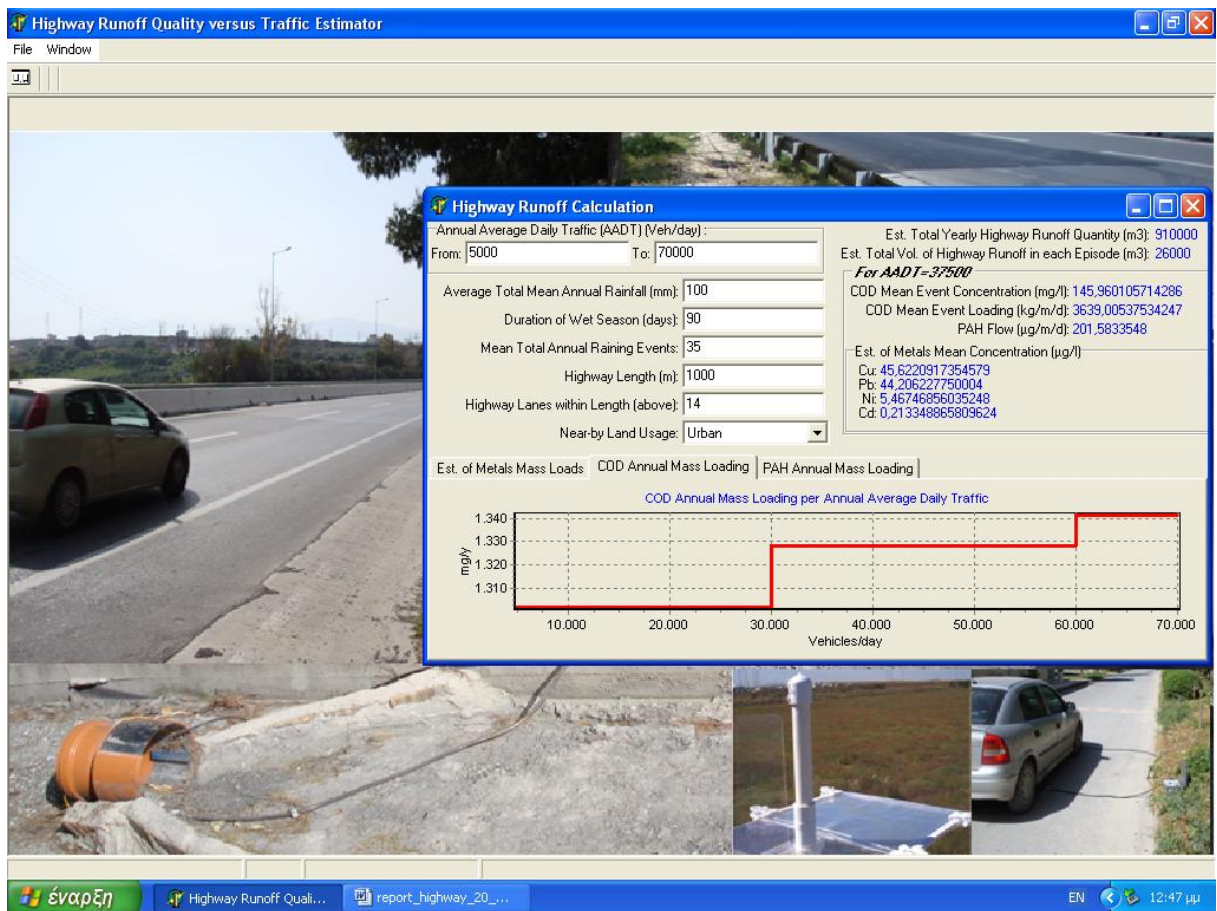
Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα υπολογισμών του μοντέλου για διαφορετικά σενάρια κυκλοφορίας και βροχόπτωσης.



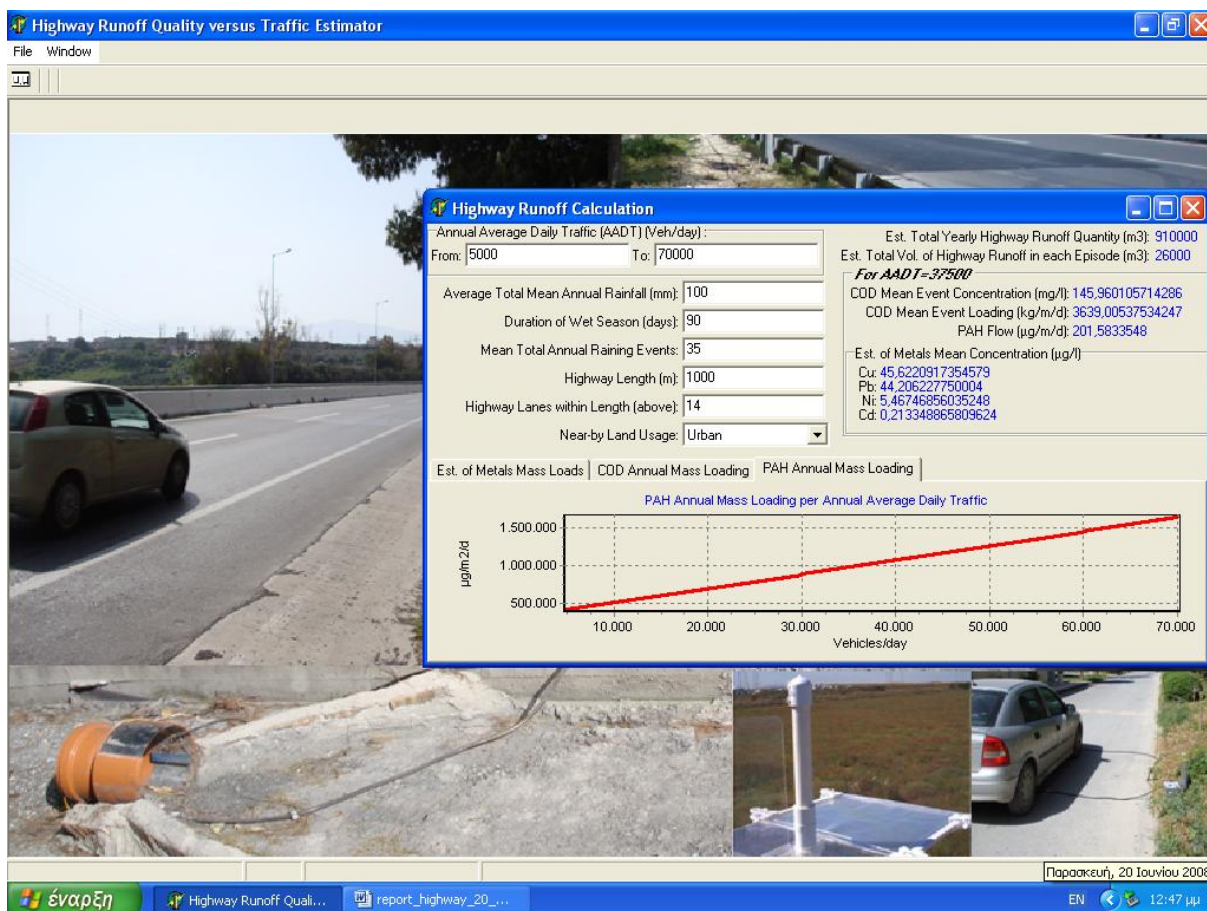
Σχήμα 4.2 Αρχικοί υπολογισμοί για τις ρυπαντικές παραμέτρους των υδάτινων απορροών για ένα εύρος τιμών κυκλοφοριακού φόρτου.



Σχήμα 4.3 Παράμετροι του μοντέλου.



Σχήμα 4.4 Εκτίμηση της διακύμανσης του COD των υδάτινων απορροών για ένα εύρος μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου.



Σχήμα 4.5 Εκτίμηση της διακύμανσης της φόρτισης σε Σ16PAHs των υδάτινων απορροών για ένα εύρος μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου.

4.3.2 Εκτίμηση και ρύθμιση του μοντέλου

Για τη ρύθμιση του μοντέλου αναλύθηκαν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν σε αυτοκινητόδρομο στο Austin του Texas από την ερευνητική ομάδα του Prof. Barrett. Ο αυτοκινητόδρομος βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της πόλης που ονομάζεται Barton Creek. Το σημείο αυτό υπολογίζεται ότι εξυπηρετεί περίπου 43.000 οχήματα ημερησίως. Η επιφάνεια που συλλέγονταν τα απόνερα ήταν για έκταση 20 m² ενώ οι δειγματολήπτες μπορούσαν να συλλέξουν 5 λίτρα δείγματος. Με βάση τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι το κατώφλι βροχόπτωσης μετά από το οποίο μπορούσαν να συλλεχθούν απορροές ήταν τα 13mm. Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή των δεδομένων που γνωρίζαμε για το συγκεκριμένο σημείο δειγματοληψίας στο μοντέλο και εκτιμήθηκαν οι συγκεντρώσεις των ρύπων. Οι τιμές

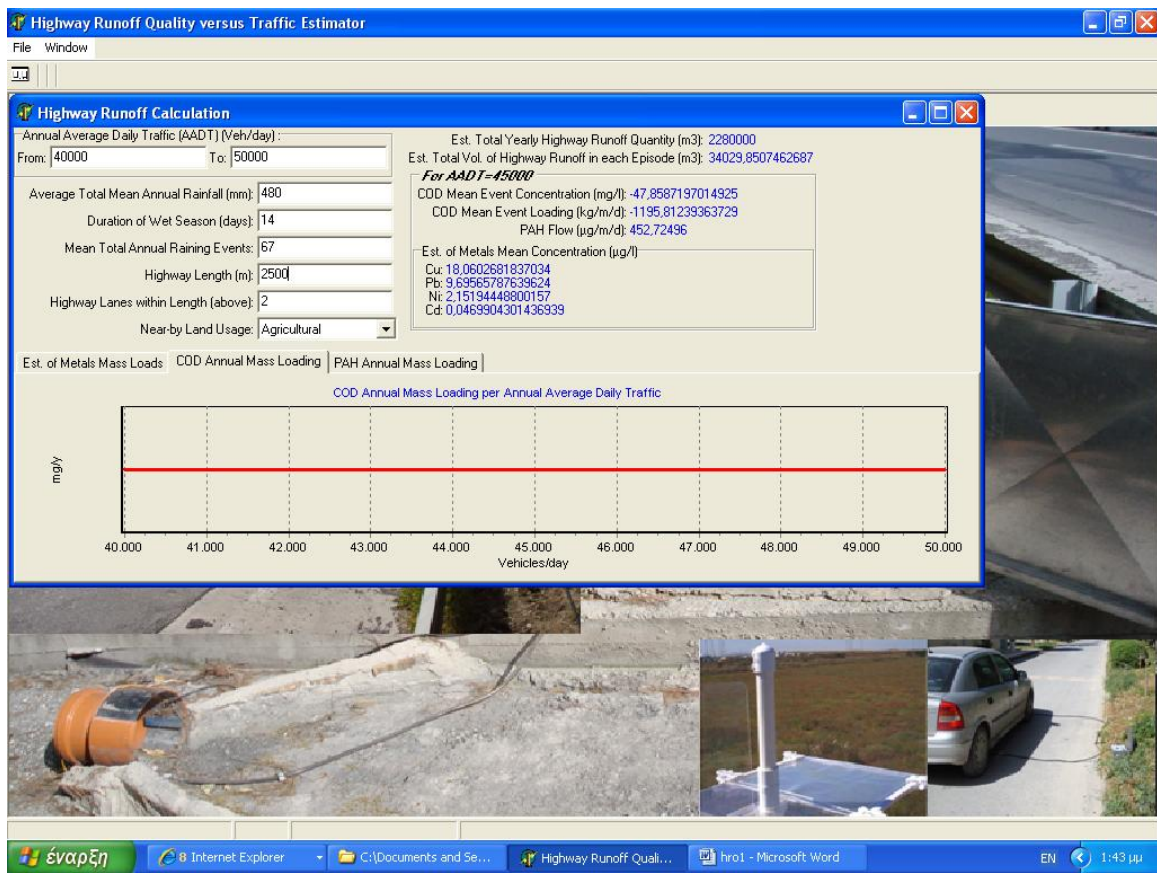
που προέβλεψε το μοντέλο συγκρίθηκαν με τις πραγματικές. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η σύγκριση αυτών των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών στις απορροές.

Πίνακας 4.10 Μέσες μετρούμενες συγκεντρώσεις ανά επεισόδιο βροχής στο Austin, Texas, USA.

Παράμετρος	Βροχόπτωση (mm)					Αρχική εκτίμηση του μοντέλου
	13	44.5	41.9	20	64	
Cu (μg/l)	23.9	16.9	28.4	29.7	35.3	7.4
Pb (μg/l)	6.17	7.56	15	9.93	24.2	2.2
Zn (μg/l)	207	101	157	163	209	16
COD (mg/l)	72	29	65	84	70	180

Όπως μπορούμε να δούμε το μοντέλο υποεκτίμησε την συγκέντρωση των μετάλλων στην απορροή, οι τιμές που προέβλεψε για το Cu και το Pb ήταν 7,4 και 2.2 μg/l αντίστοιχα. Από την άλλη μεριά οι μετρούμενες τιμές για το οργανικό φορτίο ήταν υπερτιμημένες σε σχέση με τις πραγματικές.

Με την είσοδο και των νέων δεδομένων που προέκυψαν, διορθώθηκαν οι υπολογισμοί της εκτίμησης της συγκέντρωσης των μετάλλων και του οργανικού φορτίου. Μετα την ρύθμιση του μοντέλου οι τιμές που προβλέπει για το Cu και τον Pb καθώς και για το COD ήταν 18μg/l , 9.69 μg/l και 47,85 mg/l αντίστοιχα.



Σχήμα 4.6 Εκτίμηση του μοντέλου για τις συγκεντρώσεις των ρύπων στον αυτοκινητόδρομο του Austin, Texas μετά τις ρυθμίσεις

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση - Σχόλια

Συσχέτιση τιμών ρυπαντών με βιβλιογραφικά δεδομένα και συγκρίσεις επεισοδίων βροχόπτωσης.

Σύγκριση τιμών βαρέων μετάλλων

Συγκρίνοντας τις δικές μας τιμές των μετάλλων με τις αντίστοιχες του Thomson (1996) πίνακας 5.1 παρατηρούμε ότι όσον αφορά το χαλκό και τον ψευδάργυρο οι μέσες τιμές είναι αρκετά κοντά αντίθετα με το μόλυβδο όπου στις δικές μας μετρήσεις οι τιμές είναι πιο μικρές και το νικέλιο που είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του Thomson. Αυτό μπορεί να οφείλεται στον κάθετο περιορισμό χρήσης βενζίνης με πρόσθετα μολύβδου από το 1996 και μετά και στην αύξηση της χρήσης νικελιωμένων μερών σε διάφορα τμήματα των οχημάτων όπως σε τακάκια δισκόφρενα. Legret and Pagotto (1999), Armstrong 1994, Hildemann και συνεργάτες (1991). Η σύνθεση των φρένων των αυτοκινήτων για παράδειγμα έχει αλλάξει καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου που τηρούνται αρχεία για τις μελέτες οδός-απορροών λόγω ρυθμιστικών/νομοθετικών αλλαγών Armstrong, 1994.

Πίνακας 5.1 Σύγκριση τιμών μετάλλων με αντίστοιχες του Thomson (1996)

	Γάζι			Thomson		
	Μέση τιμή	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση τιμή	Ελάχιστη	Μέγιστη
Pb	66,64	109	667	207,3	11	2100
Zn	228,14	7	173	173,9	10	1200
Ni	109,79	11	281	10,42	1	57
Cu	32,86	4	101	46,51	3	780

Λόγος απορροής προς βροχόπτωση (runoff coefficient)

Ο λόγος πραγματικής απορροής προς το συνολικό όγκο βροχόπτωσης (λαμβάνοντας τις μέσες τιμές) είναι περίπου 0,5 (runoff coefficient). Δεν λαμβάνεται ολόκληρη η ποσότητα της βροχόπτωσης ως απορροή γιατί:

α. Υπάρχει διήθηση στο υπέδαφος

β. Εξάτμιση

γ. Φαινόμενα απότομης αλλαγής της ροής του νερού εξαιτίας πλάγιων ανέμων ή της κίνησης.

Πίνακας 5.2

	Βροχόπτωσης (mm)	Ροή (m³)	Θεωρητική απορροή (m³)
19/4/2007	3	23,1	14,4
18/5/2007	1,2	31,7	5,76
19/5/2007	7,8	65,6	37,44
20/10/2007	10,8	44,2	51,84
23/10/2007	1,8	21,6	8,64
19/11/2007	0,2	37,6	0,96
9/12/2007	4,6	15,6	22,08
19/12/2007	18	45,4	86,4
20/12/2007	4,6	27,1	22,08
14/1/2008	0,2	36,6	0,96
19/1/2008	1,2	34,3	5,76
7/2/2008	0,6	10,7	2,88
8/2/2008	9,2	77,4	44,16
11/2/2008	5,2	19	24,96
ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ	4,9	35,0	23,45

Ετήσια εκτίμηση φορτίσεων των υδατινων απορροών του εξεταζόμενου αυτοκινητοδρόμου

Οι ρυθμοί των ρυπαντικών απορροών, αποκαλούνται μερικές φορές παράγοντες φόρτισης, και μπορούν να εκφραστούν με διάφορους τρόπους. Ένας παράγοντας φόρτισης σε κοινή χρήση για την απορροή εθνικών οδών είναι μάζα/άξονας - χλμ ή μάζα/όχημα-χλμ. Οι παράγοντες φόρτισης για άλλες χρήσεις γης είναι συνήθως στις μονάδες συγκέντρωσης (λόγος μάζας/όγκου) ή τη μάζα/τις μονάδες περιοχής.

Οι ετήσιες φορτίσεις σε ρύπους αν λάβουμε υπόψη ότι εμείς μετρήσαμε την συνολική φόρτιση σε ρύπου από 68,4 mm συνολικού όγκου βροχοπτώσεων ενώ οι ετήσιες βροχοπτώσεις για το συγκεκριμένο σημείο κατά τη περίοδο μελέτης ήταν 364,2mm τότε προκύπτει ο πίνακας 5.3.

Πίνακας 5.3 Αθροίσματα φορτίσεων ρύπων για συνολικό όγκο 68,4 mm και ετήσιου όγκου βροχοπτώσεων (364,2 mm).

	Φόρτιση TSS (gr)	Φόρτιση PAH (mg)	Φόρτιση COD (mg)	Φόρτιση Cu (mg)	Φόρτιση Ni (mg)	Φόρτιση Pb (mg)	Φόρτιση Zn (mg)
68,4 mm	1,81E+05	1,75E+06	1,56E+08	1,50E+04	5,65E+04	3,31E+04	1,13E+05
364,2 mm	9,62E+05	9,34E+06	8,31E+08	8,00E+04	3,01E+05	1,76E+05	6,00E+05

Επίδραση της βροχόπτωσης στη ρυπογόνο σύσταση

- Επεισόδια βροχόπτωσης με περίπου ίσα χιλιοστά βροχόπτωσης

Πίνακας 5.4 Σύγκριση φορτίσεων ρύπων με ίσα χιλιοστά βροχόπτωσης

Ημερομηνία	Ξηρή περίοδος (days)	Βροχόπτωση (mm)	Ροή (m ³)	Φόρτιση TSS (gr)	Φόρτιση PAH (mg)	Φόρτιση COD (mg)
9/12/2007	2	4,6	15,6	1,61E+03	7,45E+04	5,80E+05
20/12/2007	0	4,6	27,1	1,15E+04	1,26E+05	1,19E+07

Παρόλο που τα δυο αυτά επεισόδια έχουν ίσα χιλιοστά βροχόπτωσης παρατηρούμε ότι οι φορτίσεις διαφέρουν κατά μια τάξη τουλάχιστον για τα TSS, COD και PAHs. Αυτό οφείλεται στη διάρκεια της βροχόπτωσης και αποδεικνύεται από τη ροή η οποία είναι σχεδόν διπλάσια στις 20/12/2007.

- Επεισόδια βροχόπτωσης με μεγάλη διαφορά στα χιλιοστά βροχόπτωσης

Πίνακας 5.5 Σύγκριση φορτίσεων ρύπων με άνισα χιλιοστά βροχόπτωσης

Ημερομηνία	Ξηρή περίοδος (days)	Βροχόπτωση (mm)	Ροή (m ³)	Φόρτιση TSS (gr)	Φόρτιση PAH (mg)	Φόρτιση COD (mg)
18/5/2007	16	1,2	31,7	8,95E+03	1,66E+05	4,25E+07
19/12/2007	0	18	45,4	2,41E+03	6,55E+04	5,36E+06
11/2/2008	0	5,2	19,0	1,07E+04	7,95E+04	2,98E+06

Από τον παραπάνω πίνακα 5.5 παρατηρούμε πόσο σημαντικό ρόλο έχει η ξηρή περίοδος στις φορτίσεις των ρύπων των υδάτινων απορροών εθνικών οδών. Ενώ στις 18/5/2007 η βροχόπτωση είναι η μικρότερη λόγω της υψηλής περιόδου ξηρασίας οι φορτίσεις είναι μεγαλύτερες.

Επίδραση της ξηρικής περιόδου

Από τον πίνακα 4.7 παρατηρούμε ότι όταν οι μέρες ξηρής περιόδου αυξάνονται τότε αυξάνονται και οι τιμές στις συγκεντρώσεις των PAH, και συγκεκριμένα στις ημερομηνίες 18/5, 20/10 και 7/2 οι τιμές των PAH είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες. Το ίδιο συμβαίνει και με τις τιμές του COD, ειδικά στη μεγαλύτερη ξηρή περίοδο (18/5, 16 ημέρες ξηρής περιόδου) το COD φτάνει στα 1341,9 µg/l.

Πίνακας 5.6 Συνεισφορά της ξηρής εναπόθεσης στο ισοζύγιο μάζας των PAH .

PAH Μεικτή Υγρή - Ξηρή Εναπόθεση ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	PAH Ξηρή Εναπόθεση ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)	Συσσωρευση από μεικτή υγρή ξηρή εναπόθεση PAH (mg)	Συσσωρευση από ξηρή εναπόθεση PAH (mg)
15,35	7,01	1361,06	6140,91

Στον πίνακα 5.6 έχουμε τους μέσους όρους των φορτίσεων / m^2 /ημέρα των PAH που προκύπτουν από την μεικτή υγρή ξηρή εναπόθεση και από την ξηρή εναπόθεση. Επίσης στις 2 τελευταίες στήλες βρίσκουμε τις αντίστοιχες συσσωρεύσεις PAH σε mg.

Επίδραση της κυκλοφορίας

Για να γίνει εξέταση της επίδρασης της κίνησης στη σύσταση των απορροών απαιτούνται πολλά διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας σε ένα μεγάλο εύρος μεγεθών κυκλοφοριακού φόρτου. Στη συγκεκριμένη έρευνα στο κύρια εξεταζόμενο σημείο η εποχιακή διακύμανση κατά την οποία παρατηρείται μια μικρή αύξηση της κίνησης κατά τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες και όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.3 οι πρώτες βροχές του Οκτωβρίου παρατηρούνται οι υψηλότερες φορτίσεις σε ρύπους. Αυτό λοιπόν οφείλεται τόσο στην αύξηση της κίνησης κατά αυτούς τους μήνες όσο και στη μεγάλη ξηρική περίοδο. Συγκρίνοντας τις μετρήσεις ξηρής εναπόθεσης στο σημείο χαμηλής κυκλοφορίας και στους μήνες που παρατηρείται αύξηση της κυκλοφορίας παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή αύξηση στην ταχύτητα συσσωρευσης σωματιδίων που περιέχουν PAHs αλλά η αύξηση αυτή δεν είναι ανάλογη της αύξησης της κίνησης και στις δυο περιπτώσεις. Αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στην ύπαρξη ρύπανσης υποβάθρου όσο και σε διακυμάνσεις μετεωρολογικών (π.χ. ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου) και άλλων τοπικών δεδομένων.

Βιβλιογραφία

Alley, W.M., 1977, Guide for collection, analysis, and use of urban stormwater data: A Conference Report, Easton, Md., November 28–December 3, 1976: American Society of Civil Engineers

Ankley, G.T., Collyard, S.A., Monson, P.D., Kosian, P.A. (1994) Influence of ultraviolet light on the toxicity of sediments contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Toxicol. Chem.* **13**, 1791–1796.

Aryala R.K., H. Furumaia, F. Nakajimab, M. Bollerc Dynamic behavior of fractional suspended solids and particlebound polycyclic aromatic hydrocarbons in highway runoff

Athayde, D.N., Shelley, P.E., Driscoll, E.D., and Boyd, G., 1983, Results of the nationwide urban runoff program, volume I, final report: U.S. Environmental Protection Agency

Awata, A., Bates, S., Knaub, D., Popelka R. (1998) Polynuclear Aromatic Hydrocarbons: Properties and Environmental Fate. Clemson University, Pesticide information program.

Barrett, M.E., Zuber, R.D., Collins, E.R., III, Malina, J.F., Jr., Charbeneau, R.J., and Ward, G.H., 1993, A review and evaluation of literature pertaining to the quality and control of pollution from highway runoff and construction: Austin, Tex., Center for Research in Water Resources, Bureau of Engineering Research, The University of Texas, Balcones Research Center

Barrett, M.E., Zuber, R.D., Collins, E.R., Malina, J.F., Charbeneau, R.J., and Ward, G.H., 1995, A review and evaluation of literature pertaining to the quantity and control of pollution from highway runoff and construction (2d ed.): Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin

Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Dizer, H., Hansen, P.D. (1999) Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. *Environ Toxicol Chem.* **15**, 765-776.

Berset, J.D., Holzer, R. (1999) Determination of coplanar and ortho substituted PCBs in some sewage sludges of Switzerland using HRGC/ECD and HRGC/MSD. *Chemosphere.* **32**, 2317-2333

Bjorseth, A., Knutzen, J., Skei, J. (1979) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels from Saudafjord. W. Norway., by glass capillary gas chromatography. *Sci Tot Environ.* **13**, 71-86

Blanchard, M., Teil, M.J, Ollivon, D., Legenti, L. and Chevreuil, M. (2004) Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorobiphenyls in wastewaters and sewage sludges from the Paris area (France). *Environ Res.* **95**, 184-197.

Blumer M. (1976) Polycyclic aromatic compounds in nature, *Scientific America March.* 35-45.

Bricker, O.P., and Rice, K.C., 1993, Acid rain: Annual Review of Earth and Planetary Sciences

Brown, T., Burd, W., Lewis, J., and Chang, G., 1995, Methods and procedures in stormwater data collection, in Torno, H.C., ed., Stormwater NPDES Related Monitoring Needs: Crested Butte, Colo., American Society of Civil Engineers, August 7–12, 1994

Buchanan, T.J., and Somers, W.P., 1969, Discharge measurements at gaging stations: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chap. A8, 65 p. (Fourth printing, 1984).

Butler, D., May, R.W.O., and Ackers, J.C., 1996a, Sediment transport in sewers Part 1—Background: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy, v. 118, no. 2, p. 103–112.

Butler, D., May, R.W.O., and Ackers, J.C., 1996b, Sediment transport in sewers Part 2—Design: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy, v. 118, no. 2, p. 113–120.

Cerniglia C.E. (1992) Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Biodegradation*. **3**, 351-368

Carter, R.W., and Davidian, Jacob, 1968, General procedure for gaging streams: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chap. A6, 13 p. (Third printing, 1977).

Chui, T.W.D., Mar, B.W., and Horner, R.R., 1982, Pollutant loading model for highway runoff: Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE 108, No. EE6 (ASCE), p. 1193–1210

Church, P.E., Armstrong, D.S., Granato, G.E., Stone, V.J., Smith, K.P., and Provencher, P.L., 1996, Effectiveness of highway-drainage systems in preventing contamination of ground water by road salt, Route 25, southeastern Massachusetts—Description of study area, data collection programs, and methodology: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-317

Dick, E.M., 1996, Automatic water and wastewater sampling, in Keith, L.H., ed., Principles of Environmental Sampling (2d ed.): Washington, D.C., American Chemical Society, p. 237–258.

Djomo, J.E., Dauta, A., Ferrier, V., et al. (2004) Toxic effects of some major polyaromatic hydrocarbons found in crude oil and aquatic sediments on *Scenedesmus subspicatus*. *Water Res.* **38**, 1817-1821.

Driscoll, E.D., Shelley, P.E., and Strecker, E.W., 1990a, Pollutant loadings and impacts from highway stormwater runoff, volume I, Design procedure: U.S. Federal Highway Administration Final Report.

Driscoll, E.D., Shelley, P.E., and Strecker, E.W., 1990b, Pollutant loadings and impacts from highway stormwater runoff, volume IV, Research report data appendix: U.S. Federal Highway Administration Final Report.

Driver, N.E., and Tasker, G.D., 1990, Techniques for estimation of storm-runoff loads, volumes and selected constituent concentrations in urban watersheds in the United States: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2363, 44 p.

Edwards, T.K., and Glysson, G.D., 1999, Field methods for measurement of fluvial sediment: U.S. Geological Survey Open-File Report 86-531, 118 p.

Ellis, J.B., Revitt, D.M., Harrop, D.O., and Beckwith, P.R., 1987, The contribution of highway surfaces to urban stormwater sediments and metal loadings: The Science of the Total Environment

Franz, T.P., Eisenreich, S.J., and Swanson, M.B., 1991, Evaluation of precipitation samplers for assessing atmospheric fluxes of trace organic contaminants: Chemosphere

Freeman D.J. and Cattell F.C.R. (1990) Woodburning as a source of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ Sci Technol.* **24**, 1581-1585.

Gardner, B., Hewitt, C., and Jones, K., 1995, PAH's in air adjacent to two inland water bodies: Environmental Science and Technology

Gay, F.B., and Melching, C.S., 1995, Relation of precipitation quality to storm type, and constituent loads in Massachusetts, 1983–85: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report

Granato, G.E., Bank, F.G., and Cazenias, P.A., 1998, Data quality objectives and criteria for basic information, acceptable uncertainty, and quality assurance and quality control documentation: U.S. Geological Survey Open-File Report

Gray, J.R., and Fisk, G.G., 1992, Monitoring radionuclide and suspended-sediment transport in the Little Colorado River Basin, Arizona and New Mexico, USA, *in* Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins: Oslo, Norway, Proceedings of the International Symposium, August 24–28, 1992, IAHS Publication No. 210, p. 505–516.

Guerard, Paul, and Weiss, W.B., 1995, Water quality of storm runoff and comparison of procedures for estimating storm-runoff loads, volume, event-mean concentrations, and the mean load for a storm for selected properties and constituents for Colorado Springs, southeastern Colorado, 1992: U.S. Geological Survey Water- Resources Investigations Report

Gupta, M.K., Agnew, R.W., and Kobriger, N.P., 1981, Constituents of highway runoff, volume I, State-of-the-art report: U.S. Federal Highway Administration Report

Halsall, C.J Barie, L.A., Fellin, P., Muir, D.C.G., Billeck, B.N., Lockhart, L., Rovinsky, F.y., Kononov, E.Y, Pastukhov, B. (1997) Spatial and temporal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the arctic atmosphere. *Environ Sci Technol.* **31**, 3593-3599.

Harned, D.A., 1988, Effects of highway runoff on streamflow and water quality in the Sevenmile Creek Basin, a rural area in the Piedmont Province of North Carolina, July 1981 to July 1982: U.S. Geological Survey Water

Harrison, R.M., and Johnston, W.R., 1985, Deposition fluxes of lead, cadmium, copper and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) on the verges of a major highway: The Science of the Total Environment

Harrison, R.M., and Wilson, S.J., 1985, The chemical composition of highway drainage waters II—Chemical associations of metals in the suspended sediments: Science of the Total Environment

Helsel, D.R., and Hirsch, R.M., 1992, Statistical methods in water resources: New York, Elsevier, Studies in Environmental Science 49

Hewitt, C.H., and Rashed, M.B., 1990, An integrated budget for selected pollutants for major rural highway: The Science of the Total Environment

Hicks, B.B., Hosker, R.P., Meyers, T.P., and Womack, J.D., 1991, Dry deposition inferential measurement techniques—I. design and tests of a prototype meteorological and chemical system for determining dry deposition: Atmospheric Environment

Hoffman, E.J., Latimer, J.S., Hunt, C.D., Mills, G.L., and Quinn, J.G., 1985, Stormwater runoff from highways: Water, Air, and Soil Pollution.

Holsen, T.M., and Noll, K.E., 1992, Dry deposition of atmospheric particles—Application of current models to ambient data: Environmental Science and Technology

Hontela, A., P. Dumont, D. Duclos, and R. Fortin. (1995) Endocrine and metabolic dysfunction in yellow perch, *Perca flavescens*, exposed to organic contaminants and heavy metals in the St. Lawrence River. *Environmental Toxicology and Chemistry* **14**,725-731.

Irish, L.B., Lesso, W.G., Barrart, M.E., Malina, J.F., Charbeneau, R.J., and Ward, G.H., 1996, An evaluation of the factors affecting the quality of highway runoff in the Austin, Texas area: U.S. Federal Highway Administration, Texas Department of Transportation, Interim Report.

Joo-Hyon Kanga, Masoud Kayhanianb, Michael K. Stenstroma :Predicting the existence of stormwater first flush from the time of concentration

Juhasz A.L. and Naidu R. (2000) Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo[a]pyrene. *International Biodeterioration & Biodegradation*. **45**, 57-88.

Kayhaniana M, C. Stranskyb, S. Bayc, S.-L. Laud, M.K. Stenstromd :Toxicity of urban highway runoff with respect to storm duration

Kerri, K.D., Racin, J.A., and Howell, R.B., 1985, Forecasting pollutant loads from highway runoff: Washington, D.C., Transportation Research Board, Transportation Research Record 1017, p. 39–46.

Kilpatrick, F.A., and Schneider, V.R., 1983, Use of flumes in measuring discharge: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chap. A14, 46 p.

Kilpatrick, F.A., and Cobb, E.D., 1985, Measurement of discharge using tracers: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chap. A16, 52 p.

Kilpatrick, F.A., Kaehrle, W.R., Hardee, Jack, Cordes, E.H., and Landers, M.N., 1985, Development and testing of highway storm-sewer flow measurement and recording system: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-4111, 98 p.

Kobriger, N.P., Meinholz, T.L., Gupta, M.K., and Agnew, R.W., 1981, Constituents of highway runoff—Volume III, predictive procedure for determining pollution characteristics in highway runoff: Federal Highway Administration Final Report FHWA/RD-81/044, 205 p.

Kobriger, N.P., and Geinopolos, A., 1984, Sources and migration of highway runoff pollutants, volume III: U.S. Federal Highway Administration Research Report

Lee-Hyung Kim^a, Masoud Kayhanian^b, Kyung-Duk Zoh^c, Michael K. Stenstrom^d
Modeling of highway stormwater runoff

Legge, A.H., 1990, Sulphur and nitrogen in the atmosphere, in Legge, A.H. and Krupa, S.V., Acidic deposition: sulphur and nitrogen oxides: Chelsea, Mich., Lewis Publishers

Lewis, Jack, 1996, Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation: Water Resources Research, v. 32, no. 7, p. 2299–2310.

Likens, G.E., and Bormann, F.H., 1995, Biogeochemistry of a forested ecosystem (2d ed.): New York, Springer-Verlag

Lin, J.-M., Fang, G.-C., Holsen, T.M., and Noll, K.E., 1993, A comparison of dry deposition modeled from size distribution data and measured with a smooth surface for total particle mass, lead and calcium in Chicago: Atmospheric Environment

Lopes, T.J., and Dionne, S.G., 1998, A review of semivolatile and volatile organic compounds in highway runoff and urban stormwater: U.S. Geological Survey

Lucas N. (1995) Conatmination des eaux souterraines de la Seine-Maritime par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques. These de Doctorat Ecole Nationale de la Sante Publique.

Majewski, M.S., and Capel, P.D., 1995, Pesticides in the atmosphere, distribution, trends, and governing factors—Pesticides in the hydrologic system: Chelsea, Mich., Ann Arbor Press

Marsalek, J., 1973, Instrumentation for field studies of urban runoff: Research Program for the Abatement of Municipal Pollution under the Provisions of the Canada-Ontario Agreement on Great Lakes Water Quality, Ontario Ministry of the Environment, Project 73-3-12, 74 p.

Meyers T.P., Sims P.F., Finkelstein P., Clarke J., and Ellestad T.G., 1998, A multilayer model for inferring dry deposition using standard meteorological measurements: Journal of Geophysical Research, D— Atmospheres

Moe, R.D., Bullin, J.A., and Longheed, M.J., 1982, Atmospheric particulate analysis and impact of highway runoff on water quality in Texas: Texas Department of Transportation, Federal Highway Administration Report

Nakajima, D., Kojima, E., Iwaya, S., Susuki, J., Susuki, S. (1996) Presence of 1-hydroxypyrene conjugates on woody plant leaves and seasonal changes in their concentrations. *Environ Sci Technol.* **27**, 1675-1679.

Narbonne, J.F., Djomo, J.E., Ribera, D., Ferrier, V., Garrigues, P. (1999) Accumulation kinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed to sediment by the mollusk *Corbicula fluminea*. *Ecotoxicol Environ Saf.* **42**, 1–8.

Natural Resources Conservation Service, 1996, National Handbook of Water Quality Monitoring: U.S. Department of Agriculture, National Water Quality Handbook, Part 600, variously paged.

Pham T. and Proulx S. (1997) PCBs and PAHs in the Montreal urban community (Quebec, Canada) wastewater treatment plant and in the effluorantheneent plume in the St Lawrence River. *Water Res.* **31**, 1887-1896.

Ramadah, T., Alfheim, I., Rustad, S., Olsen, T. (1982) Chemical and biological characterisation of emissions from small residential stoves burning wood and charcoal. *Chemosphere*. **11**, 601-611.

Rantz, S.Z., 1982a, Measurement and computation of streamflow: Volume 1. Measurement of stage and discharge: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, p. 1–284.

Robertson, J.K., and Wilson, J.W., 1985, Design of the National Trends Network for monitoring the chemistry of atmospheric precipitation: U.S. Geological Survey Circular 964

Sanderson, H.P., Bradt, P., and Katz, M., 1963, A study of dustfall on the basis of replicated latin square arrangements of various types of collectors, *in* Proceedings of the 56th annual meeting of Air Pollution Control Authority: Detroit, Mich

Santodonato J. (19 97) Review of the estrogenic and antiestrogenic activity of polycyclic aromatic hydrocarbons: relationship to carcinogenicity. *Chemosphere*. **34**, 835-848.

Sartor, J.D., Boyd, G.B., and Agardy, F.J., 1972, Water pollution aspects of street surface contaminants: Atlanta, Ga., Proceedings of the 45th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, October

Schroder, L.J., and Hedley, A.G., 1986, Variation in precipitation quality during a 40-hour snowstorm in an urban environment—Denver, Colorado: International Journal of Environmental Studies

Shaheen, J.D., and Boyd, G.B., 1975, Contributions of urban roadway usage to water pollution: U.S. Environmental Protection Agency Final Report EPA

Shelley P.E., and Gaboury, D.R., 1986, Estimation of pollution from highway runoff—Initial results: *in* Urbonas, B., and Roesner, L.A., eds., Urban Runoff Quality- Impact and Enhancement Technology: Henniker, N.H., Proceedings of an Engineering Foundation Conference, June 23–27, 1986, American Society of Civil Engineers

Sims R.C. and Overcash M.R. (1983) Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil-plant systems. *Residue Reviews*. 88

Smith, J.A., 1993, Precipitation, chap. 3, *in* Maidment, D.R., ed., Handbook of Hydrology: New York, McGraw-Hill

Spangberg, A., and Niemczynowicz, J., 1992, High resolution measurements of pollution wash-off from an asphalt surface: Nordic Hydrology.

Stanley, D.L., Shampine, W.J., and Schroder, L.J., 1992, Summary of the U.S. Geological Survey national field quality assurance program from 1979 through 1989: U.S. Geological Survey Open-File Report 92-163, 14 p.

Stanley, D.L., 1995, Standard procedures and quality-control practices for the U.S. Geological Survey National Field Quality Assurance Program from 1982 through 1993: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-317, 75 p.

Stensland, G.J., Whelpdale, D.M., and Oehlert, Gary, 1986, Precipitation chemistry, in Acid deposition, long-term trends: Washington, D.C., National Research Council, National Academy Press

Sverdrup, L.E., Krogh, P.H., Nielsen, T., Kjær, C., Stenersen, J. (2003) Toxicity of eight polycyclic aromatic compounds to red clover (*Trifolium pratense*), ryegrass (*Lolium perenne*), and mustard (*Sinapsis alba*). *Chemosphere*. **53**, 993–1003.

Thiem, L.T., Alkhatib, E.A., Bade, S.K., and Panganamamula, A., 1998, Characterization of roadway runoff prior to treatment: Federal Highway Administration, Rhode Island State Department of Transportation Final Report FHWA-RI-RD-98-01, 108 p.

Thoman, R.V., and Mueller, J.A., 1987, Principles of surface water quality modeling and control: New York, Harper and Row, Publishers

Thomson, N.R., McBean, E.A., and Mostrenko, I.B., 1996, Prediction and characterization of highway stormwater runoff quality: Ontario, Ministry of Transportation, Research and Development Branch

Tsapakis M., Stephanou, E.G., Karakassis, I. (2003) Evaluation of atmospheric transport as a nonpoint source of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments of the Eastern Mediterranean. *Marine Chemistry*. **80**, 283-298.

U.S. Environmental Protection Agency, 1996a, National air pollutant emission trends, 1990–1995: Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, N.C.,

U.S. Environmental Protection Agency, 1996b, The National Sediment Quality Survey—A report to Congress on the extent and severity of sediment contamination in surface waters of the United States: Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency

U.S. Environmental Protection Agency, 1996c, Drinking water regulations and health advisories: Washington, D.C., Office of Water, October 1996.

U.S. Environmental Protection Agency, 1998, Contaminated sediment news: Office of Water, EPA 823-N-97-007,

Vandenberg, J.J., and Knoerr, K.R., 1985, Comparison of surrogate surface techniques for estimation of sulfate dry deposition: Atmospheric Environment

von Guerard, Paul, and Weiss, W.B., 1995, Water quality of storm runoff and comparison of procedures for estimating storm-runoff loads, volume, event-mean concentrations, and the mean load for a storm for selected properties and constituents for Colorado Springs, southeastern Colorado, 1992: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report

Wagrowski D.M. and Hites R.A. (1997) Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban and rural vegetation. *Environ Sci Technol.* **31**, 279-282.

Ward, N.I., 1990, Multielement contamination of British motorway environments: Science of the Total Environment

Westerholm, R.N., Alsberg, T.E., Frommelin, A.B., Strandell, M.E., Rannug, U., Winqvist, L., Grigoriadis, V., and Egeback, K., 1988, Effect of fuel polycyclic aromatic hydrocarbon content on the emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagenic substances from a gasoline-fueled automobile: Environmental Science and Technology

Whitfield, P.H., 1988, Goals and data collection designs for water quality monitoring: Water Resources Bulletin

Wild S.R. and Jones K.C. (1989) The effect of sludge treatment on the organic contaminant content of sewage sludge. *Chemosphere.* **19**(10), 165-177.

Willoughby, T.C., 1995, Quality of wet deposition in the Grand Calumet River watershed, northwestern Indiana, June 30, 1992–August 31, 1993: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95

Wilson S.C and Jones K.C. (1993) Bioremediation of soils contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Environ Poll.* **88**, 229-249.

Young, G.K., Stein, S., Cole, P., Kammer, T., Graziano, F., and Bank, F., 1996, Evaluation and management of highway runoff water quality: U.S. Federal Highway Administration Final Report

Zarriello, P.J., 1998, Comparison of nine uncalibrated runoff models to observe flows in two small urban watersheds, *in* Proceedings of the First Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, April 1998: Las Vegas