



Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Τμήμα Γεωγραφίας

Π.Μ.Σ. «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία & Διαχείριση του χώρου:

Γεωπληροφορική»

**Θέμα μεταπτυχιακής διατριβής «Βελτιστοποίηση δρομολογίων συλλογής
αστικών απορριμμάτων με την αξιοποίηση των Συστημάτων
Γεωγραφικών Πληροφοριών»**

Φοιτήτρια: Αικατερίνη Δημητράκη

Επιβλέπων: Χρίστος Χαλκιάς

Μέλη συμβουλευτικής επιτροπής:

Κάτια Λαζαρίδη

Ισαάκ Παρχαρίδης

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Κ. Χαλκιά για την άμεση και εποικοδομητική παρέμβασή του, καθώς και για την άρτια καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπαλλήλους της υπηρεσίας καθαριότητας για την άμεση ανταπόκριση σχετικά με τα στοιχεία που ζητήθηκαν από την υπηρεσία. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, που στάθηκαν αρωγοί σε αυτή μου την προσπάθεια, τόσο κατά τη διάρκεια των μαθημάτων όσο και στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	5
Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1	12
1.1. Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	12
1.2. Χρήση και εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών	15
1.3. Βασικά συστατικά στοιχεία ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών	16
1.3.1. Τύποι δεδομένων (Διανυσματικά και ψηφιδωτά δεδομένα)	17
1.4. Βασικές δυνατότητες και εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών	19
1.5. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και διαχείριση	20
1.5.1. Χρήση των Γ.Σ.Π. για τη διαχείριση αποβλήτων-απορριμμάτων	20
1.5.2. Εφαρμογές των Γ.Σ.Π. για τη διαχείριση αποβλήτων-απορριμμάτων	21
1.5.3. Ανασκόπηση και αποδελτίωση των επιστημονικών ερευνών για τη χρήση Γ.Σ.Π. στη διαχείριση αποβλήτων-απορριμμάτων	23
1.5.4. Ο ρόλος των Γ.Σ.Π στην αποτελεσματική διαχείριση των αστικών απορριμμάτων	32
1.5.5. Ανάπτυξη μοντέλου	33
1.5.5 Συμπεράσματα	37
Κεφάλαιο 2	40
2.1.Ορισμός δικτύου	40
2.2. Βασικά στοιχεία δικτύου	41
2.2.1. Άλλες βασικές έννοιες	42
2.2.2. Η δρομολόγηση στο οδικό δίκτυο	42
2.2.3. Γραφική απεικόνιση δικτύου	43
2.3. Τύποι και βασικές λειτουργίες των δικτύων	44
2.4. Προβλήματα και παραδείγματα	46
2.4.1. Προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων των συντομότερων μονοπατιών (multicriteria shortest-paths problems)	47
2.4.2. Δυναμικά προβλήματα ελάχιστης διαδρομής	48
2.5. Θεωρητική προσέγγιση των δικτύων βέλτιστων διαδρομών	49
2.5.1. Αλγόριθμοι Συντομότερης διαδρομής σε οδικά δίκτυα	49
2.5.2. Κόστος στα χωρικά δίκτυα	50
2.6. Δίκτυα και GIS (Network Analysis)	52
Κεφάλαιο 3	53
3.1. Κατανομή των κάδων απορριμμάτων	53
3.1.1. Στόχοι της χωροθέτησης των κάδων	55
3.1.2. Ποσοτική και ποιοτική ανάλυση απορριμμάτων	57
3.2. Δρομολόγηση απορριμματοφόρων οχημάτων	57
3.3. Το πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων	59
3.3.1. Ελαχιστοποίηση κόστους δρομολόγησης	60
3.3.2. Παραλλαγές του προβλήματος δρομολόγησης	60
3.4. Βελτιστοποίηση διαδρομών οχημάτων, σχεδιασμός και επίλυση προβλήματος	61
Κεφάλαιο 4	66

4.1. Κατανάλωση καυσίμων	66
4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων.....	67
4.3 Μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμων	69
4.4.Μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμων και σχεδιασμός εμπορευματικών μεταφορών	70
4.5 Συμπεράσματα	73
Κεφάλαιο 5	75
5.1. Το λογισμικό ARCGIS 10.3.	75
5.1.1. Η εφαρμογή/extension του λογισμικού Network Analyst.....	76
5.1.2. Προσέγγιση του αλγόριθμου Dijkstra στα Network Analysis	78
5.2. Γεωγραφική θέση.....	80
5.3. Δημογραφικά στοιχεία.....	81
5.4. Σύντομη περιγραφή της μελέτης	82
5.4.1. Δεδομένα	83
5.5. Ανάλυση εφαρμογής Network analysis	84
5.6. Περιοχή μελέτης.....	86
5.7 Ανθρώπινο δυναμικό και υλικοτεχνικός εξοπλισμός	87
5.7.1. Οχήματα του κλάδου καθαριότητας του Δήμου.....	87
5.8. Εφαρμογή προς επίλυση προβλήματος	89
5.9. Εφαρμογή και επεξεργασία με το Network Analyst	91
5.10. Αποτελέσματα	96
5.11 Συμπεράσματα	97
5.12 Πρόταση για το μέλλον.....	98
Συμπεράσματα	100
Βιβλιογραφία	101

Περίληψη

Η ραγδαία ανάπτυξη της πληροφορικής στις μέρες μας έχει σαν αποτέλεσμα μεταξύ άλλων τη δημιουργία και εξάπλωση νέων επιστημονικών κλάδων. Η επιστήμη της γεωπληροφορικής και κατ' επέκταση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών παρουσιάζει συνεχή ανάπτυξη τόσο παγκόσμια όσο και στον Ελληνικό χώρο.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σπουδαιότητα των ΣΓΠ στην επίλυση πραγματικών και μείζονος σημασίας χωροταξικών προβλημάτων. Συγκεκριμένα ο προσδιορισμός χώρου απόθεσης των απορριμμάτων και γενικά ο σχεδιασμός της διαχείρισης των απορριμμάτων από τη συγκομιδή τους μέχρι και τη χωροθέτηση τους είναι ένα δύσκολο έργο το οποίο απαιτεί την αξιολόγηση περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και χωρικών παραμέτρων.

Σε πρώτη φάση γίνεται μια αναφορά στα ΓΠΣ η οποία περιλαμβάνει τις βασικές έννοιες, τους τύπους, τις συνιστώσες καθώς και το μέλλον των συστημάτων αυτών.

Κατόπιν αναλύονται τα δίκτυα, η σχέση τους με τα ΓΣΠ και δίνονται κάποια παραδείγματα αξιοποίησης των δικτύων σε διάφορους τομείς.

Έπειτα γίνεται μια ανάλυση σχετικά με την κατανομή των κάδων στο χώρο, τη δρομολόγηση των απορριμματοφόρων και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι δρομολογήσεις αυτών.

Η καταναλωση καυσίμων είναι μία σημαντική παράμετρος της βελτιστοποίησης των διαδρομών και έτσι γίνεται μία σημαντική αναφορά σε αυτήν.

Στη συνέχεια παρατίθενται στοιχεία που αφορούν δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον Δήμο Ηρακλείου, όπως ο ακριβής αριθμός εργαζομένων στην καθαριότητα του Δήμου, οι ισχύουσες διαδρομές των οχημάτων για την αποκομιδή απορριμμάτων από τους πράσινους κάδους του Δήμου, καθώς και η παράθεση εναλλακτικών σεναρίων ως προς την εύρεση νέων διαδρομών. Επίσης, αναφέρεται η μεθοδολογία της εύρεσης των βέλτιστων διαδρομών των απορριμματοφόρων.

Τα αποτελέσματα της διερεύνησης έδειξαν ότι η χρησιμοποίηση τέτοιων μοντέλων αποτελούν μια αξιόπιστη βάση με σκοπό την αποτελεσματικότερη και αρτιότερη οργάνωση για την αντιμετώπιση καθημερινών σύνθετων προβλημάτων.

Abstract

The rapid development of information technology nowadays results the creation and spread of new disciplines. The science of Geoinformatics and therefore GIS shows continuous growth both worldwide and in the Greek area.

Purpose of this thesis is the importance of the GIS to solve real and major spatial problems. Specifically, the space determination disposal of waste and general planning of waste management from harvest until their location is a difficult task requiring the evaluation of environmental, economic, social and spatial parameters.

In the first phase a reference is made to the basic GIS concepts, formulas, components and the future of these systems.

Then the networks are analyzed, their relationship with the GIS and some examples of use of the network in various fields are given.

Then an analysis is done on the distribution of bins on site, the routing of garbage and problems faced by these routes.

Fuel consumption is an important parameter of optimization of routes and thus become an important reference in it.

Below are details on data collected by the Municipality of Heraklion, as the exact number of employees in the cleanliness of the Municipality, the current paths of vehicles for waste collection from Municipality's green bins, and the juxtaposition of alternative scenarios regarding finding new routes. Also, indicate the methodology of finding the best routes of garbage.

The results of the investigation showed that the use of such models form a reliable basis for more efficient and better organization to address complex problems everyday.

Εισαγωγή

Ως μόλυνση χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε ύπαρξη παθογόνων μικροβίων είτε σε αντικείμενα κοινής χρήσης είτε ειδικότερα στην επιφάνεια ενός ζωντανού οργανισμού. Ως μόλυνση επίσης χαρακτηρίζεται και η διείσδυση μικροβίων είτε σε επιφάνειες είτε σε οργανισμούς. Ο όρος μόλυνση του περιβάλλοντος, αναφέρεται ουσιαστικά στη ρύπανση περιβάλλοντος. Η ρύπανση του περιβάλλοντος, πηγάζει από τα πολυάριθμα περιβαλλοντικά προβλήματα που καθημερινά αυξάνονται με ρυθμούς γεωμετρικής προόδου.

Σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα, στα οποία καλείται να δώσει λύση ο σύγχρονος άνθρωπος είναι:

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Η τρύπα του όζοντος
- Η ατμοσφαιρική ρύπανση
- Η ρύπανση των νερών
- Η καταστροφή των δασών
- Η μείωση της βιοποικιλότητας
- Η διάθεση και η διαχείριση των απορριμμάτων ή αποβλήτων.

Ως απορρίμματα ή απόβλητα ορίζονται τα υπολείμματα τροφών και τα απορριφθέντα αντικείμενα όταν πλέον έχουν παύσει να εξυπηρετούν τον αρχικό σκοπό για τον οποίο έχουν κατασκευαστεί. Τα αντικείμενα αυτά πλέον, μετά την λήξη της εκμετάλλευσής τους, θεωρούνται περιττά στον άνθρωπο, που προβαίνει στην ρίψη τους. Τα απορρίμματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τα στερεά απόβλητα και η δεύτερη τα υγρά απόβλητα (γνωστά σε όλους ως λύματα). Τα στερεά απόβλητα, προκύπτουν ως αποτέλεσμα των οικιακών και άλλων καταναλώσεων και συγκεντρώνονται σε ειδικά κατασκευασμένους για τον σκοπό αυτό κάδους.

Βάσει την προέλευσής τους τα στερεά απόβλητα διαχωρίζονται στις κατηγορίες, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Προέλευση στερεών αποβλήτων	Δραστηριότητες ή εγκαταστάσεις όπου παράγονται	Τύποι και συστατικά αποβλήτων
Οικιακά	Κατοικίες και πολυκατοικίες	Τροφικά υπολείμματα, χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, δέρματα, γυαλιά, μέταλλα, τέφρα, ξυλεία, απόβλητα κήπων, ογκώδη αντικείμενα, ηλεκτρικά είδη κ.α.
Εμπορικά – Βιομηχανικά	Καταστήματα, Εστιατόρια, Γραφεία, Αγορές, ξενοδοχεία, μικρές βιοτεχνίες, τυπογραφεία, συνεργεία, ελαφρά και βαριά βιομηχανία κ.α.	Τροφικά υπολείμματα, χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, δέρματα, γυαλιά, μέταλλα, τέφρα, ξυλεία, απόβλητα κήπων, ογκώδη αντικείμενα, επικίνδυνα τοξικά απόβλητα, ηλεκτρικά είδη κ.α.
Ιδρυμάτων (κοινοφελών χώρων)	Σχολεία, νοσοκομεία, διοικητήρια κ.α. (δεν περιλαμβάνονται τα μολυσματικά απόβλητα)	Τροφικά υπολείμματα, χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, δέρματα, γυαλιά, μέταλλα, τέφρα, ξυλεία, απόβλητα κήπων, ογκώδη αντικείμενα, ηλεκτρικά είδη κ.α.
Κατασκευών και κατεδαφίσεων	Νεοαναγερθείσες οικοδομές, δρόμοι, κατεδαφίσεις κ.α.	Ξυλεία, σκυρόδεμα, τούβλα, καλώδια, μέταλλα, χώματα, πέτρες κ.α.
Καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων	Καθαρισμός οδών, Πάρκων, παραλιακών χώρων, χώρων αναψυχής κ.α.	Σκουπίδια, ξυλεία, κλαδιά κ.α.
Εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων	Καύση αποβλήτων, βιολογικοί καθαρισμοί, σιπτικές δεξαμενές κ.α.	Τέφρα, ίλος (λυματολάσπη) κ.α.

Πίνακας 1: Κατηγορίες στερεών αποβλήτων¹

Συγκριτικά με άλλες περιοχές της Ελλάδας, μπορούμε να διακρίνουμε τις διαφορές σχετικά με τους τύπους και τα συστατικά απορριμμάτων, στον παρακάτω πίνακα.

¹ Παναγιωτακόπουλος, 2007

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΑΘΗΝΑ (1985)	ΑΘΗΝΑ (1990)	ΑΘΗΝΑ (1998)	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ (1987)	ΧΑΝΙΑ (1991)	ΡΟΔΟΣ (1989)	ΗΡΑΚΛΕΙΟ (1987)
ΟΡΓΑΝΙΚΑ	59,8	48,5	46,50	51,7	55,2	43	52,5
ΧΑΡΤΙ	19,2	22,0	23,44	17,7	18,9	17	17,2
ΓΥΑΛΙ	2,5	3,5	3,45	4,1	3,8	14	1,4
ΠΛΑΣΤΙΚΑ	7,0	10,5	10,80	7,2	8,6	10	14,3
ΜΕΤΑΛΛΑ	3,8	4,2	3,74	5,9	3,8	10	2,8
ΛΟΙΠΑ	7,7	11,3	12,07	13,4	9,7	6,0	11,8

Πίνακας 2: Ποιοτική Σύσταση Απορριμμάτων σε διάφορες περιοχές της χώρας²

Τα υγρά λύματα από την άλλη, είναι αυτά τα οποία διοχετεύονται μέσω των σωληνώσεων των οικιών, στις αποχετεύσεις. Ιδιαίτερα επικίνδυνα και κρίσιμης σημασίας για τη ζωή των έμβιων όντων θεωρούνται τα τοξικά απόβλητα όπως επίσης και τα πυρηνικά απόβλητα.

Από τις προηγούμενες κατηγορίες αποβλήτων, τα απορρίμματα που συγκεντρώνονται στους «πράσινους» κάδους συλλογής, είναι τα λεγόμενα οικιακά απόβλητα (στερεής μορφής) και όσα προκύπτουν από τα εμπορικά καταστήματα, βιομηχανίες κτλ.

Τόσο για τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος όσο και για την οικονομική αξιοποίηση των απορριμμάτων, εφαρμόζεται η ανακύκλωση των απορριμμάτων, μέσω φορέων διαχείρισης αντίστοιχων απορριμμάτων. Τα απορρίμματα αυτά συλλέγονται στους λεγόμενους «μπλε» κάδους.

Η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα στις αναπτυσσόμενες χώρες τα τελευταία 20 χρόνια, έχει μετατρέψει τη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων σε σπουδαίο παράγοντα

² Ε.Π.Τ.Α. Ε.Π.Ε., Ιανουάριος 2007

βιωσιμότητας των πόλεων εξαιτίας των όλο και αυξανόμενων απορριμμάτων που παράγονται στις πόλεις. Οι αρχές των πόλεων δαπανούν μεγάλα χρηματικά ποσά για την αποκομιδή των απορριμμάτων από τις πόλεις. Το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων οφείλεται εκτός από την αύξηση του πληθυσμού στις πόλεις και την αύξηση της κατανάλωσης και στις ελλειπείς προσπάθειες των αρχών για τη διαχείριση του προβλήματος.

Για αυτό το λόγο, η βελτιστοποίηση των δρομολογίων των φορτηγών αποκομιδής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την αποδοτικότερη και οικονομικότερη αποκομιδή των απορριμμάτων. (Gosha et al, 2006)

Η δημιουργία ενός μοντέλου βελτιστοποίησης των διαδρομών των φορτηγών αποκομιδής των απορριμμάτων μέσω GIS είναι μια λύση που εξετάζεται. Το μοντέλο αυτό θα δημιουργήσει εκείνες τις διαδρομές οι οποίες θα έχουν το λιγότερο δυνατό κόστος, με τις λιγότερες δυνατές αποστάσεις να διανύονται λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα του πληθυσμού, την χωρητικότητα των φορτηγών, το οδικό δίκτυο και τους κάδους απορριμμάτων.

Στην Ινδία, το 85% των εξόδων για την διαχείριση των αστικών απορριμμάτων ξοδεύονται στην αποκομιδή ενώ στον Δήμο της Αθήνας το κόστος αυτό κυμαίνεται από το 60%-80% . Αυτό είναι από μόνο του ικανό να καταλάβουμε πόσο σημαντικό ρόλο θα παίξει η εφαρμογή ενός μοντέλου που θα βελτιστοποιήσει τις διαδρομές των φορτηγών αποκομιδής. (Gosha et al, 2006)

Οι Chalkias & Lasaridi (2014) υποστηρίζουν πως οι Δήμοι που διαχειρίζονται αστικά απορρίμματα θα πρέπει να βρουν τρόπους οικονομικής και αποδοτικής διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων καθώς και της διαλογής αυτών.

Το κόστος της διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων είναι ένα πολύπλοκο και πολυπαραμετρικό σύστημα που επηρεάζει το συνολικό κόστος της διαχείρισης και εξαρτάται από γεωγραφικές, οικονομικές και τεχνολογικές παραμέτρους.

Στα ίδια συμπεράσματα σε ότι αφορά την πολυπλοκότητα της αποκομιδής των απορριμμάτων και την βελτιστοποίηση των διαδρομών καταλήγουν και οι Karadimas et al (2006).

Ενώ όπως αναφέρουν και οι Karadimas et al (2006) η μεταφορά των απορριμμάτων, οι αποστάσεις που διανύονται, οι στάσεις που πραγματοποιούνται και συνολικά οι διαδρομές

που χρειάζονται, από θέμα κόστους, είναι το υψηλότερο καθώς αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα καύσιμα που δαπανώνται και το εργατικό προσωπικό που εργάζεται.

Ένα μοντέλο αποκομιδής των απορριμμάτων μέσω GIS θα περιλαμβάνει τον σχεδιασμό της βέλτιστης διαδρομής με βάση την τοποθεσία των κάδων και των διαθέσιμων φορτηγών. Επιπλέον θα δημιουργηθεί μια χωρική βάση δεδομένων με το οδικό δίκτυο, τις θέσεις των κάδων και των χώρων απόθεσης των απορριμμάτων χρησιμοποιώντας και δορυφορικές εικόνες.

Οι Karadimas et al (2006) αναγνωρίζοντας την σημαντικότητα της αποκομιδής των απορριμμάτων με ένα αποδοτικό και οικονομικό τρόπο εφαρμόζουν τον αλγόριθμο ACS (Ant Colony System) μέσω του προγράμματος GIS.

Key words: Ρύπανση περιβάλλοντος, απορρίματα, διαχείριση απορριμμάτων, διαδρομές οχημάτων αποκομιδής απορριμμάτων, βελτιστοποίηση διαδρομών, ArcGIS, Network analysis.

Κεφάλαιο 1

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εκτενής αναφορά στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Η χρήση τους, τα συστατικά στοιχεία τους, τα δεδομένα που επεξεργάζονται και οι εφαρμογές αυτού, θα μας απασχολήσουν σε όλη τη διάρκεια του.

1.1. Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, είναι ευρύτατα γνωστά και παγκοσμίως αποδεκτά στον τομέα λήψεων αποφάσεων, έχοντας ως βάση τη χωρική πληροφορία. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ή Geographic Information Systems (G.I.S)³ είναι τα συστήματα αυτά, τα οποία εμφανίζουν αλματώδη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και γίνεται χρήση αυτών σε μεγάλο βαθμό από πολλές επιχειρήσεις, πανεπιστήμια και σε διάφορους κυβερνητικούς και μη οργανισμούς, ακόμα και από ιδιώτες σε πολυάριθμες και ποικίλες εφαρμογές.

Πριν πραγματοποιηθεί η εμφάνιση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών υπήρχαν δύο διαφορετικά πακέτα λογισμικού (software) στην αγορά. Η πρώτη ομάδα υπήρξε η πλέον ενδεδειγμένη απλά και μόνο για την διαχείριση των χωρικών δεδομένων (spatial graphics). Την ομάδα αυτή την αποτελούσαν τα επονομαζόμενα σχεδιαστικά προγράμματα της αγοράς, όπως το AutoCAD και το ArchiCAD. Τα λογισμικά αυτά ήταν κατάλληλα για την σχεδίαση και διαχείριση των αρχιτεκτονικών σχεδίων. Λογισμικά όπως, το CorelDraw και το Adobe Illustrator χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία καλλιτεχνικών σχεδίων, γραφιστικών, γραφικών κ.α.

Η δεύτερη ομάδα λογισμικών από την άλλη, ήταν κατάλληλη μόνο για περιπτώσεις όπως, η διαχείριση περιγραφικών δεδομένων, τα οποία είναι συνήθως αποθηκευμένα σε μορφή πινάκων ή βάσεων δεδομένων, δηλαδή σε στήλες και γραμμές.

Τα λογισμικά της δεύτερης ομάδας είναι τα ονομαζόμενα και ως προγράμματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων όπως: π.χ Oracle, Dbase, Foxbase, DB2, Infromix κλπ.

³ Για οικονομία χώρου και χρόνου, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών θα αναφέρονται και ως Γ.Σ.Π ή Σ.Γ.Π ή GIS

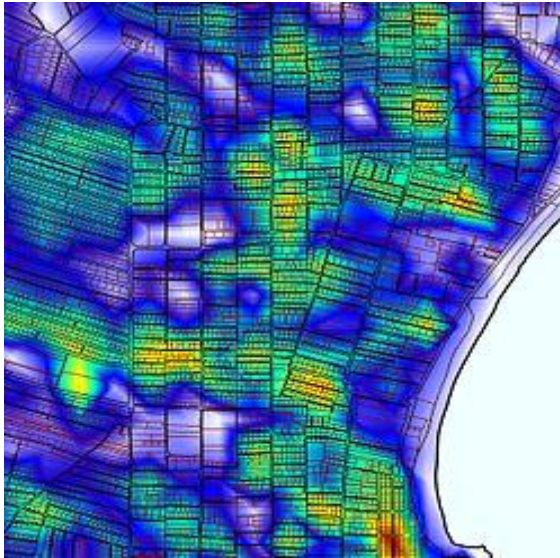
Το ΓΣΠ είναι ουσιαστικά και κατά βάση μία οργανωμένη και ορθολογική μορφή διαχείρισης των χωρικών δεδομένων (ευρύτατα γνωστή και ως *spatial data*) και των αντίστοιχων με αυτών ιδιοτήτων. Στην αυστηρά προκαθορισμένη μορφή και εικόνα του είναι δυνατόν να ειπωθεί πως είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό:

- να ενσωματώσει
- να αποθηκεύσει
- να προσαρμόσει
- να αναλύσει και
- να παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες.

Στην γενική του μορφή, ένα ΣΓΠ αποτελεί ένα χρήσιμο και αποτελεσματικό εργαλείο ενός "έξυπνου χάρτη". Ο χάρτης αυτός είναι τέτοιος, ώστε να παρέχει τη δυνατότητα σε όλους τους χρήστες του να είναι σε θέση να διαμορφώσουν μία σαφή, αρκούντως ρεαλιστική και συνολική αντίληψη του πραγματικού κόσμου. Επίσης παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να θέσουν πολυάριθμα ερωτήματα και ποικίλους προβληματισμούς, χωρικού ή απλά περιγραφικού χαρακτήρα όπως π.χ. οι πολυάριθμες αναζητήσεις που πραγματοποιούνται από τον χρήστη. Έτσι οι χρήστες βρίσκονται σε θέση να εκτιμήσουν σωστά και να αναλύσουν κατάλληλα όλα εκείνα τα ισχύοντα χωρικά δεδομένα, όπως επίσης και να προσαρμόσουν τα δεδομένα αυτά, και στη συνέχεια να τα αναπαραστήσουν κατάλληλα σε αντίστοιχα αναλογικά μέσα (όπως για παράδειγμα οι εκτυπώσεις χαρτών και αντίστοιχων διαγραμμάτων) ή σε πολυάριθμα ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο διαδίκτυο).

Τα συστήματα GIS, καθώς και τα σχεδιαστικά συστήματα CAD, αποτυπώνουν πλήρως τα χωρικά δεδομένα μιας γεωγραφικής περιοχής σε ένα κατάλληλο γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Ένα βασικό και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των Γ.Σ.Π είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται στενά και άρρηκτα με τα αντίστοιχα περιγραφικά. Ως ενδεικνυόμενο παράδειγμα παρατίθεται ακολούθως η σύνδεση μιας ομάδας πολλών σημείων, τα οποία αναπαριστούν συγκεκριμένες θέσεις πόλεων με ένα πίνακα. Κατά τη σύνδεση των δύο παραπάνω προαναφερθέντων στοιχείων, κάθε μία διαφορετική εγγραφή ενός στοιχείου, εκτός από τη θέση του επί του χάρτη, είναι δυνατόν να περιέχει επιπλέον και κάποιες άλλες πληροφορίες. Πληροφορίες που είναι δυνατόν να εμπεριέχονται είναι οι ακόλουθες:

ονομασία, πληθυσμός κλπ. Ακολουθούν στη συνέχεια οι εικόνες 2 και 3, στις οποίες απεικονίζεται η οικιστική πυκνότητα δύο διαφορετικών περιοχών.



Εικόνα 1: Τηλεπισκοπική εικόνα πυκνότητας πληθυσμού



Εικόνα 2: Γ.Σ.Π. οικιστικής πυκνότητας

Οι παραπάνω εικόνες⁴ είναι ενδεικτικές και κατάλληλες για την λήψη αποφάσεων από τις αρμόδιες αρχές. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ενδεχόμενη μελλοντική ανάπτυξη υποδομών σε ΟΤΑ.

Τα Γ.Σ.Π. είναι επί της ουσίας διαδεδομένα συστήματα πληροφορικής (Information Systems) τα οποία, παρέχουν τις δυνατότητες:

- ✓ της συλλογής
- ✓ της διαχείρισης
- ✓ της αποθήκευσης
- ✓ της επεξεργασίας
- ✓ της ανάλυσης
- ✓ της οπτικοποίησης

των χωρικών δεδομένων, στο κατάλληλο ψηφιακό περιβάλλον. Τα δεδομένα αυτά συνήθως καλούνται και γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial data).

⁴ Πηγή εικόνων: ΟΠΕΚΕΠΕ

Οι πηγές των δεδομένων των Γ.Σ.Π είναι οι ακόλουθες:

- Αναλογικοί χάρτες. Πρόκειται για χάρτες, των οποίων η χρήση γίνεται αφού έχουν προηγουμένως ψηφιοποιηθεί με αυτόματο σαρωτή
- Τα ψηφιακά αρχεία χαρτών
- Τα αρχεία πινάκων ή κειμένων
- Οι αεροφωτογραφίες
- Οι Ορθοφωτογραφίες και οι ορθοφωτοχάρτες
- Οι δορυφορικές εικόνες
- Τα αρχεία από ψηφιακές κάμερες
- Τα σχεδιαστικά αρχεία CAD

1.2. Χρήση και εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

Υπάρχει ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών και τομέων στο οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί και να εφαρμοστεί ένα Γ.Σ.Π. Θα αναφερθούν ενδεικτικά μερικές από τις πιο βασικές εφαρμογές και δυνατότητες τους:

- Η πιστοποίηση των χωρικών σχέσεων μεταξύ των διαφόρων αντικειμένων, όπως για παράδειγμα ποιά οικόπεδα βρίσκονται αριστερά και δεξιά από ένα δρόμο ή από κάποια άλλη εδαφική ιδιοκτησία
- Όταν απαιτείται βοήθεια στη χωροθέτηση λειτουργιών όπως για παράδειγμα στη χωροθέτηση ενός σχολείου
- Σε περιπτώσεις όπου επιχειρείται η κατασκευή διαφόρων ποιοτικών χαρτών όπως για παράδειγμα η κατασκευή χαρτών δικτύων υποδομής (χάρτες από έργα υποδομής Οργανισμών, όπως ΔΕΗ, ΟΤΕ, ΕΥΔΑΠ κ.α.)
- Χάρτες που αναφέρονται στη μόλυνση του περιβάλλοντος
- Χάρτες αναγλύφων
- Ανάλυση των δεδομένων, όπως για παράδειγμα η μεταβολή των μορφών των παράκτιων περιοχών

- Παροχή βοήθειας στην αναγκαία και απαιτούμενη, όταν χρειάζεται, λήψη αποφάσεων
- Βελτίωση των επιστημονικών μεθόδων της έρευνας και ανάλυσης.

1.3. Βασικά συστατικά στοιχεία ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

Τα στοιχεία που οργανώνει και διαχειρίζεται αποτελεσματικά ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών μπορεί να είναι χωρικά είτε μη χωρικά στοιχεία και διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- α) τις χαρτογραφικές πληροφορίες (πρόκειται για τα χωρικά δεδομένα) και
- β) τις περιγραφικές – στατιστικές πληροφορίες (γίνεται αναφορά για μη χωρικά ή ποιοτικά ή θεματικά ή περιγραφικά δεδομένα) (Παππάς, 2011).

- Χαρτογραφικές πληροφορίες. Πρόκειται για πληροφορίες, με τις οποίες ορίζονται κατάλληλα τα δεδομένα που μπορούν να περιγραφούν με τη μορφή συντεταγμένων (x,y) . Παρέχεται έτσι, με αυτόν τον τρόπο, η δυνατότητα της απεικόνισης του χώρου σε δύο επίπεδα υπό συγκεκριμένη κλίμακα. Επιπρόσθετα, η χαρτογραφική πληροφορία αναφέρεται κατά κύριο λόγο στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας γεωγραφικής πληροφορίας όπως για παράδειγμα, τα γεωγραφικά όρια μιας πόλης, η θέση της πόλης αυτής σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, η μορφή, οι σχέσεις κ.λπ.
- Περιγραφικές πληροφορίες. Με αυτόν τον χαρακτηρισμό, ορίζονται εκείνα τα δεδομένα που αποδίδουν τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο χώρο. Τέτοια δεδομένα είναι πιθανόν να είναι τα ακόλουθα : ο πληθυσμός μιας περιοχής, η χρήση γης κ.λπ. (τιμές και χαρακτηριστικά). Οι περιγραφικές πληροφορίες χωρίζονται με την σειρά τους στις ακόλουθες κατηγορίες (Μανιάτης, 1993): η ονομαστική (ενδεικτικά αναφέρεται η χρήση γης), η τακτική (π.χ. το μέγεθος που παίρνει διαφορετικές και ποικίλες τιμές μικρή, μεσαία, μεγάλη), η κατά διαστήματα (π.χ. το εμβαδόν που μετριέται σε τετραγωνικά μέτρα) και η αναλογική (π.χ. το υψόμετρο που μετριέται σε μέτρα).

Συμπερασματικά, είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι οι θέσεις των γεωμετρικών στοιχείων καθορίζονται στο χώρο από συγκεκριμένες συντεταγμένες και οι θέσεις αναφέρονται πολύ

συχνά ως γεωμετρικά δεδομένα σε αντιδιαστολή με τα περιγραφικά δεδομένα (attribute data). Σε συνδυασμό, με όσα ήδη αναφέρθηκαν, τα περιγραφικά δεδομένα είναι εκείνες οι πληροφορίες που συνοδεύουν τα γεωμετρικά δεδομένα σε ένα Γ.Σ.Π.

Η πληροφορία που εμπεριέχεται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχει κατά κανόνα τρεις κύριες διαστάσεις:

- Χώρος αναφοράς
- Χρόνος αναφοράς και
- Θέμα αναφοράς

Πιο συγκεκριμένα, είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι η κάθε πληροφορία που περιέχεται μέσα στο Γ.Σ.Π πρέπει και οφείλει να συνδέεται άρρηκτα με μία χωρική, χρονική και θεματική πληροφορία. Επομένως, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, είναι δυνατόν να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο, κάθε φαινόμενο θα έχει και μία συγκεκριμένη τιμή.

1.3.1. Τύποι δεδομένων (Διανυσματικά και ψηφιδωτά δεδομένα)

Τα δεδομένα που διαχειρίζεται ένας χρήστης Γ.Σ.Π είναι δύο τύπων, τα διανυσματικά δεδομένα και τα ψηφιδωτά δεδομένα. Παρακάτω αναλύονται οι δύο τύποι δεδομένων, ανάλογα με τον τρόπο χρήσης και εφαρμογής τους.

Η **διανυσματική δομή (Vector data)** των δεδομένων στηρίζεται κυρίως στις αρχές και τα δεδομένα της Ευκλείδειας γεωμετρίας και αναπαριστά κατάλληλα τα χωρικά φαινόμενα. Οι τρεις βασικές αρχές της είναι: το σημείο, για τα αντικείμενα που δεν έχουν διαστάσεις, η γραμμή, για όλα τα μονοδιάστατα αντικείμενα και τέλος το πολύγωνο, για τη δισδιάστατη απεικόνιση. Οι σχέσεις μεταξύ των τριών προαναφερθέντων στοιχείων συνοψίζονται κυρίως στο γεγονός ότι τα πολύγωνα αποτελούνται από γραμμές που ενώνουν σημεία.

Η **ψηφιδωτή δομή (Raster data)** των δεδομένων αποτελείται κυρίως από μικρά επαναλαμβανόμενα, συστατικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι τετράγωνα στοιχεία, που είναι γνωστά από τις ψηφιακές εικόνες και έχει επικρατήσει διεθνώς να λέγονται εικονοστοιχεία (ευρύτερα γνωστά ως pixels). Η ψηφιδωτή δομή των δεδομένων είναι ένας πίνακας ο οποίος αποτελείται από εικονοστοιχεία, τα οποία είναι διατεταγμένα σε έναν

ορθογώνιο κάναβο. Κατά συνέπεια, είναι δυνατόν να γίνει η αναφορά σε κάθε εικονοστοιχείο, με βάση πάντα τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες συντεταγμένες του στοιχείου αυτού.

Στον πίνακα 2, μπορεί κανείς να διακρίνει την διαφοροποίηση των διανυσματικών με τα ψηφιδωτά δεδομένα, αλλά και να κάνει συγκριτική ανάλυση μεταξύ τους, βάσει των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους.

ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗ ΔΟΜΗ (Vector)	ΨΗΦΙΔΩΤΗ ΔΟΜΗ (Raster)
Πλεονεκτήματα	Πλεονεκτήματα
Υπάρχει μία άψογη και άριστη παρουσίαση της δομής δεδομένων, κατά τρόπο ώστε να γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο.	Κυριαρχούν οι απλές δομές δεδομένων.
Παρατηρείται μία ενιαία δομή των δεδομένων.	Παρατηρείται η εύκολη υπέρθεση και ο συνδυασμός με άλλα Τηλεπισκοπικά δεδομένα.
Γίνεται μία πλήρης και εκτενής περιγραφή της τοπολογίας με τις συνδέσεις δικτύων.	Υπάρχουν χωρικές αναλύσεις διαφόρων ειδών.
Είναι ακριβής γραφικά ως μέθοδος.	Παρατηρείται μία απρόσκοπτη προσομοίωση και απόδοση της πραγματικότητας εξαιτίας της ίδιας μορφής και του μεγέθους της χωρικής μονάδας.
Υπάρχουν διαθέσιμες πολλές δυνατότητες ενημέρωσης και γενίκευσης των γραφικών.	Πρόκειται για μία οικονομική, αποτελεσματική και γρήγορα αναπτυσσόμενη-εξελισσόμενη τεχνολογία.
Μειονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Παρατηρούνται διάφορες σύνθετες δομές δεδομένων.	Σημειώνονται πολυάριθμοι όγκοι γραφικών δεδομένων.
Παρατηρούνται διάφορες δυσκολίες σε συνδυασμούς με υπέρθεση διανυσματικών χαρτών, ή διανυσματικών με ψηφιδωτούς.	Η χρήση μεγάλου μεγέθους ψηφιδών , που έχει ως σκοπό την μείωση του όγκου δεδομένων, έχει επίσης ως αποτέλεσμα την δημιουργία μη αναγνωρίσιμων σχημάτων με την ταυτόχρονη απώλεια ενός μεγάλου και σημαντικού μέρους των πληροφοριών.
Η προσομοίωση είναι εξαιρετικά δύσκολη επειδή κάθε ενότητα έχει μία διαφορετική τοπολογική εικόνα.	Οι ανεπεξέργαστοι θεματικοί χάρτες είναι πολύ λιγότερο ευπαρουσίαστοι , σε σχέση με τους γραμμικούς χάρτες.
Η απεικόνιση και η σχεδίαση είναι δυνατόν να είναι εξαιρετικά δαπανηρή, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για	Είναι δύσκολο να δημιουργηθούν οι σύνδεσμοι δικτύων.

υψηλής ποιότητας έγχρωμους χάρτες.	
Η τεχνολογία είναι αρκετά δαπανηρή, ιδιαίτερα όταν γίνεται αναφορά για σύνθετο software και hardware.	Οι προβολικοί μετασχηματισμοί είναι κατεξοχήν χρονοβόροι, εκτός και αν χρησιμοποιηθούν ειδικοί για τον σκοπό αυτό, αλγόριθμοι.
Τέλος, η χωρική ανάλυση και η χρήση φίλτρων μέσα στα πολύγωνα είναι αδύνατη.	

Πίνακας 3: Βασικά Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο δομών δεδομένων

Παρά το γεγονός ότι οι δύο προαναφερθέντες δομές δεδομένων έχουν πολλές σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής, είναι και οι δύο αξιόπιστες ενώ παράλληλα, σε πολλές περιπτώσεις είναι μετατρέψιμες από τη μια δομή στην άλλη. Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων ήρθε σαν αποτέλεσμα της ανάγκης για μια πιο αποτελεσματική και πιο οικονομική διαδικασία συλλογής ενός σημαντικού όγκου στοιχείων. Η συλλογή των στοιχείων αυτών γίνεται με κατάλληλα για τον σκοπό αυτό μηχανήματα σάρωσης, τα οποία κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται ευρύτατα στους τηλεπισκοπικούς δορυφόρους. Η διανυσματική δομή, από την άλλη ενδείκνυται για όλες εκείνες τις περιπτώσεις όπου απαιτείται μία ακριβής αναπαράσταση των χαρακτηριστικών ενός χώρου.

1.4. Βασικές δυνατότητες και εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

Ένα βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, που τα κάνουν να διαφέρουν από κάθε άλλο παρόμοιο σχεδιαστικό λογισμικό (CAD) ή άλλο σύστημα επεξεργασίας στατιστικών πληροφοριών (π.χ. Matlab, SPSS κ.α.), είναι οι εξειδικευμένες δυνατότητες διαχείρισης και επεξεργασίας μιας χωρικά εξαρτημένης πληροφορίας

Κάθε σχεδιαστικό λογισμικό ή πρόγραμμα επεξεργασίας στατιστικών πληροφοριών, μπορεί να έχει μόνο μη χωρική πρόσβαση στην πληροφορία, σε αντίθεση με τα Γ.Σ.Π. που είναι δυνατόν να έχουν και χωρική πρόσβαση στην πληροφορία (Παππάς, 2011).

Μερικές από τις πιο γνωστές δυνατότητες που προσφέρονται από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι οι ακόλουθες:

- Η διαχείριση και η οργάνωση χωρικών δεδομένων
- Η χαρτογραφική επεξεργασία και η σύνθεση
- Οι χωρικές αναζητήσεις και η θεματική χαρτογράφηση
- Ο προσδιορισμός και η ανάλυση των χωρικών σχέσεων
- Η στατιστική ανάλυση και η επεξεργασία
- Η κατασκευή χαρτών και η κατασκευή χαρτογραφικών πράξεων

Μια άλλη σημαντική δυνατότητα των Γ.Σ.Π είναι η λεπτομερής ανάλυση και η διαχείριση των χωρικών δικτύων. Το ζήτημα της ανάλυσης και της διαχείρισης των χωρικών δικτύων στα Γ.Σ.Π είναι μια από τις περισσότερες και πλέον ενδιαφέρουσες εφαρμογές, με μεγάλες ωστόσο απαιτήσεις κυρίως όσον αφορά την παραγωγή και την οργάνωση του πρωτογενούς ψηφιακού υλικού (Παππάς, 2011).

1.5. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και διαχείριση

1.5.1. Χρήση των Γ.Σ.Π. για τη διαχείριση αποβλήτων-απορριμμάτων

Η ανεξέλεγκτη αύξηση του πληθυσμού και η υπέρμετρη συγκέντρωση του πληθυσμού αυτού σε μεγάλα αστικά κέντρα, η άκρατη και άναρχη δόμηση και η βελτίωση του σύγχρονου επιπέδου ζωής ήταν μόνο μερικοί από τους λόγους που άλλαξαν ριζικά τις καταναλωτικές συνήθειες των κατοίκων των ανεπτυγμένων κρατών, δημιουργώντας αντίστοιχα ένα σημαντικό πρόβλημα στις αρμόδιες Δημοτικές Αρχές. Το πρόβλημα αυτό, ήταν σχετικά με τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων.

Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέτει ως προϋπόθεση ότι η διάθεση των αποβλήτων, όπως επίσης και η λεπτομερής επεξεργασία αυτών για την ανάκτηση των υλικών και της ενέργειας, να πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο με το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος. Επίσης, ένα ποσοστό της τάξης του 40% των δαπανών που λαμβάνουν χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τη διαχείριση των αποβλήτων, αναφέρεται στα στερεά απόβλητα. Γίνεται επομένως αντιληπτό, ότι οι Δημοτικές Αρχές βρίσκονται κάτω από αυξημένη πίεση για τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών τους, όσον αφορά την ποιότητα αλλά και το κόστος της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων.

Με την εξέλιξη των σύγχρονων τεχνολογιών και η άμεση συσχέτιση των τελευταίων με τον τομέα των αποβλήτων, το σημαντικό πρόβλημα της ορθής και ορθολογικής διαχείρισης των αποβλήτων από τις Δημοτικές Αρχές είναι πλέον αντιμετωπίσιμο με τη σύγχρονη χρήση των Γ.Σ.Π. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), δίνει στους φορείς την ευελιξία να έχουν στη διάθεση τους, ένα προηγμένο πλαίσιο μοντελοποίησης για τη λήψη αποφάσεων, κατά τρόπο ώστε να αναλύει πλήρως και να προσομοιώνει άριστα τα πολυάριθμα χωρικά προβλήματα όπως επί παραδείγματι αυτό της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων (Chalkias, Lazaridi, 2011).

Η χρήση των Γ.Σ.Π. δίνει τη δυνατότητα της βελτιστοποίησης μιας πλειάδας παραμέτρων και των ποικίλων επιπτώσεων της διαχείρισης των αποβλήτων, που αφορούν είτε καταρχάς το περιβάλλον (π.χ. την μείωση της όχλησης από την τοποθέτηση των κάδων, την ελαχιστοποίηση της συνεισφοράς των απορριμμάτων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ελαχιστοποίηση της αέριας ρύπανσης κ.λπ.), είτε από την άλλη, το συνολικό ή επιμέρους κόστος σε συνδυασμό πάντα με την αποτελεσματικότητα και την απόδοση της λειτουργίας ή παρεχόμενης υπηρεσίας (π.χ. την αποτελεσματικότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών των ΟΤΑ), είτε σε συνδυασμό των προαναφερθέντων με κύριο στόχο την αειφορία (π.χ. την ανάκτηση της ενέργειας από τα απόβλητα σε συνδυασμό πάντα με την μείωση του κόστους) (Καραγιαννίδης κ.α., 2006).

Η χρήση των Γ.Σ.Π. όσον αφορά την ορθολογική και αποτελεσματική διαχείριση των στερεών αποβλήτων συμβάλλει σημαντικά στην καλύτερη και εύρυθμη οργάνωση της συνολικής διαδικασίας. Η συνολική διαδικασία ενεργειών περιλαμβάνει τα στάδια της συλλογής, της μεταφοράς και της διάθεσης, που έχουν ως βασικό αποτέλεσμα την τελική μείωση του κόστους της επεξεργασίας και της διαχείρισης από την πλευρά των Δημοτικών Αρχών. Επίσης παρατηρείται σημαντική μείωση των επιπτώσεων όσον αφορά το περιβάλλον αλλά και στην υγεία των ανθρώπων.

1.5.2. Εφαρμογές των Γ.Σ.Π. για τη διαχείριση αποβλήτων-απορριμμάτων

Η ανάπτυξη των σύγχρονων τεχνολογιών και η ενσωματωμένη τεχνολογία των GIS έχει αναγνωριστεί πλέον ως μια από τις περισσότερο υποσχόμενες προσεγγίσεις για τον

αυτοματοποιημένο σχεδιασμό της διαχείρισης των αποβλήτων. Η μελέτη του συστήματος της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων αποτελεί ένα σημαντικά ιδιαίτερα προνομιακό πεδίο των κύριων εφαρμογών των GIS για τη βιώσιμη και αποτελεσματική διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Και αυτό γιατί βοηθά σημαντικά στην διευθέτηση θεμάτων σχετικών με τα μέσα της διαχείρισης και της διάθεσης αυτών. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη ενός Γ.Σ.Π. όσον αφορά την υπηρεσία της διαχείρισης των απορριμμάτων σε τοπικό πάντα επίπεδο βασίζεται στους ακόλουθους τομείς:

- Στη χωροθέτηση των χώρων αποθήκευσης και μεταφόρτωσης των αποβλήτων βάση κατάλληλων κριτηρίων (όπως την ασφαλή πρόβλεψη των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων μιας συγκεκριμένης περιοχής βάσει της χρήσης των τοπικών, των δημογραφικών και των κοινωνικοοικονομικών της δεδομένων) κατά τρόπο ώστε, να είναι επαρκείς, τόσο σε αριθμό, όσο και στη χωρητικότητα με τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα την ποιοτική εξυπηρέτηση της υπό μελέτη περιοχής όσον αφορά την εναπόθεση των απορριμμάτων.
- Στην αξιολόγηση των περιοχών στις οποίες υπάρχουν ακόμη και λειτουργούν διάφορες παράνομες χωματερές με σκοπό εν τέλει το «κλείσιμο» τους είτε την μετατροπή αυτών σε ΧΥΤΑ εφόσον πληρούν τις αναγκαίες προϋποθέσεις.
- Στην κατάλληλη χωροθέτηση και αξιολόγηση των ΧΥΤΑ βάση ορισμένων κριτηρίων (τεχνικών, Χωροταξικών, νομοθετικών, γεωλογικών, κοινωνικοοικονομικών ώστε η τελική και οριστική επιλογή της χωροθέτησης των ΧΥΤΑ θα είναι όσο το δυνατόν περισσότερο οικονομική αλλά και φιλική προς το περιβάλλον
- Στη χωροθέτηση των κέντρων ανακύκλωσης βάση συγκεκριμένων κριτηρίων, (χωροταξικών, περιβαλλοντικών, τεχνοοικονομικών) με τελικό αποτέλεσμα η τελική επιλογή της χωροθέτησης των κέντρων ανακύκλωσης να είναι οικονομική, φιλική προς το περιβάλλον και επιπλέον να επιφέρει τη βέλτιστη και πλέον αποτελεσματική διαχείριση των ανακυκλώσιμων υλικών.

- Στη διερεύνηση των εναλλακτικών πιθανών σεναρίων, προκειμένου να επιτευχθεί η χωροθέτηση των αναγκαίων κατάλληλων εγκαταστάσεων.
- Στη βελτιστοποίηση των διαδρομών των απορριμματοφόρων οχημάτων για τη συλλογή και μεταφορά των αποβλήτων κατά τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί σημαντικά το συνολικό κόστος του ταξιδιού (η απόσταση, ο χρόνος, η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές των αέριων ρύπων).
- Στην ακριβή και λεπτομερή παρακολούθηση του συστήματος της διαχείρισης των αποβλήτων μιας περιοχής κατά τρόπο ώστε να αξιολογηθεί πλήρως η επίδοση του και να ληφθούν τα αναγκαία μέτρα για τη περαιτέρω βελτίωση του συστήματος διαχείρισης (ανάπτυξη μιας βάσης συγκριτικής αξιολόγησης της αποδοτικότητας για τη διαχρονική αναγνώριση των τελικών αποτελεσμάτων των προγραμμάτων της διαχείρισης των αποβλήτων).
- Στο σχεδιασμό και στην εφαρμογή των προγραμμάτων της ανάκτησης υλικών με τελικό στόχο τη μείωση της όχλησης από την τοποθέτηση των κάδων, αλλά επίσης και την αύξηση της διευκόλυνσης προς τους δημότες.

1.5.3 Ανασκόπηση και αποδελτίωση των επιστημονικών ερευνών για τη χρήση Γ.Σ.Π. στη διαχείριση αποβλήτων-απορριμμάτων

Τα τελευταία χρόνια, έχει διαπιστωθεί από πολλούς μελετητές ότι η χρήση των υπολογιστών για την επίλυση των προβλημάτων της διαχείρισης των αποβλήτων και ειδικότερα στην περίπτωση της συλλογής και μεταφοράς τους είναι αναγκαία. Η χρήση της μοντελοποίησης των G.I.S ως ένα εργαλείο υποστήριξης τέτοιων θεμάτων παρουσιάζει αύξηση εξαιτίας της διάδοσης των χωρικών πληροφοριών που υπάρχει πλέον σε αφθονία σχετικά με την ποσότητα και την πολυπλοκότητα των πληροφοριών.

Παρόλα αυτά, στην τοπική αυτοδιοίκηση αρκετές φορές η χρήση των Γ.Σ.Π. όσον αφορά τα θέματα της διαχείρισης αποβλήτων είναι εξαιρετικά σπάνια. Για αυτόν τον λόγο πολλοί Δήμοι οργανώνουν τα συστήματα της διαχείρισης των αποβλήτων τους εμπειρικά.

Ακολούθως υπάρχει μία συνοπτική ανασκόπηση πρόσφατων ερευνών, σχετικών με την χρήση των GIS αλλά και τη διαχείριση αποβλήτων.

Οι *Chang, Lu, και Wei* το έτος 1997 περιέγραψαν ένα μοντέλο προγραμματισμού ονομαζόμενου «mixed-integer», το οποίο χρησιμοποίησαν τόσο για τη δρομολόγηση όσο και για τον προγραμματισμό της συλλογής και της μεταφοράς των αστικών στερεών αποβλήτων. Αυτό το μοντέλο, ήταν κατάλληλα ενσωματωμένο σε ένα περιβάλλον G.I.S και παρουσίαζε μια διαδραστική προσέγγιση της βέλτιστης αποκομιδής απορριμμάτων στην πόλη της Ταϊβάν. Επίσης, αξιολογήθηκε κατάλληλα και η βέλτιστη σχέση μεταξύ του αριθμού και του μεγέθους των σταθμών μεταφόρτωσης, σε σχέση με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό, τη μέση απόσταση από τους σταθμούς και τη μέση διανυθείσα απόσταση.

Το 2004, οι *Teixeira, Antunes, και de Sousa* μελέτησαν πλήρως τον σχεδιασμό των ημερήσιων δρομολογίων των απορριματοφόρων οχημάτων, σε πραγματικές συνθήκες εργασίας, για τη συλλογή διαφορετικών τύπων αποβλήτων (αστικών στερεών και ανακυκλώσιμων) στην Πορτογαλία. Η προσέγγιση τους περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές φάσεις: αρχικά ορίζεται μια περιοχή ευθύνης για κάθε όχημα, στη συνέχεια υπολογίζεται η ποσότητα των αποβλήτων που συλλέγεται ημερησίως και τέλος επιλέγεται η θέση των στάσεων και η ακολουθία αυτών. Για τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν τα GIS και η μελέτη έδειξε ότι η σωστή μοντελοποίηση της διαδικασίας συλλογής μπορεί να αποφέρει οικονομικότερες και αποδοτικότερες λύσεις δρομολόγησης.

Το 2006, οι *Nuortio, Kytöjoki, Niska και Braysy* ανέπτυξαν μια μέθοδο βάση του GIS για τη βελτιστοποίηση των δρομολογίων αποκομιδής απορριμμάτων στην Ανατολική Φινλανδία. Αρχικά, υπολογίστηκε η μέση βελτίωση της οδού σε σύγκριση με την ισχύουσα και στη συνέχεια προτάθηκε από αυτούς ένας συνδυασμός της δρομολόγησης και της αναδιάταξης βελτιστοποίησης. Τα αποτελέσματα του συνδυασμού αυτού είναι ότι σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζει μία εξαιρετικά σημαντική εξοικονόμηση που είναι δυνατόν να φτάνει και στο 40%. Τέλος, το συμπέρασμα ήταν ότι επιτρέποντας την αναδιάταξη είναι δυνατόν να αυξηθεί σημαντικά το ποσοστό βελτίωσης.

Το 2006, οι *Erkut, Karagiannidis, Perkoulidis και Tjandra*, ανέπτυξαν ένα πολυκριτηριακό μοντέλο διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων στην Κεντρική Μακεδονία, στην Ελλάδα. Χαρακτηριστικά, ανέπτυξαν ένα σύνθετο ακέραιο μοντέλο ενός γραμμικού προγραμματισμού, με διάφορους στόχους. Στόχοι αυτού είναι: η επίλυση του προβλήματος της θέσης και της κατανομής, συμπεριλαμβανόμενης της επιλογής της τεχνολογίας των σταθμών μεταφόρτωσης, τις εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών αλλά και τους ΧΥΤΑ. Τα υπό εξέταση κριτήρια για την ανάπτυξη του προαναφερθέντος μοντέλου ήταν κατά κύριο λόγο οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά. Παρόμοια παραδείγματα διαχείρισης αποβλήτων, στα οποία έγινε χρήση των GIS για την κατανομή των κάδων και στη συνέχεια για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής για την συλλογή και για την μεταφορά των αστικών στερεών αποβλήτων πραγματοποιήθηκε από τους *Nithya, Velumani, και Kumar* το έτος 2012 για την πόλη Κοϊμπατόρε στην Ινδία και από τους *Illeperuma και Samarakoon* το έτος 2010 για την Μαχαραγκάμα προάστιο της Σιρ Λάνγκα.

Οι *Araydin και Gonullu*, διατύπωσαν και ερεύνησαν το 2007 τη βελτιστοποίηση της διαδρομής του συστήματος της συλλογής των στερεών αποβλήτων αναπτύσσοντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα GIS σε συνδυασμό με την τεχνολογία των GPS στην περιοχή της Τραπεζούντας στην Τουρκία. Η βελτιστοποίηση της διαδρομής της συλλογής των αστικών αποβλήτων πραγματοποιήθηκε για 39 διαφορετικές περιοχές της Τραπεζούντας ενώ το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτόν για την βελτιστοποίηση διαδρομών είναι το *Route View ProTM*, που είναι ένα εύχρηστο εργαλείο των GIS. Η επιτυχία της όλης διαδικασίας της βελτιστοποίησης ήταν ένα ποσοστό της τάξης του 24.7% όφελος της συνολικής δαπάνης για την αποκομιδή, ενώ επίσης υπήρχε σημαντικό ποσοστό της τάξης του 24.7% όφελος στο κόστος της χιλιομετρικής απόστασης και ένα ποσοστό της τάξης του 44.3% όφελος στο κόστος του χρόνου συλλογής.

Ο στόχος της συγκεκριμένης έρευνας επιτεύχθηκε με τη σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης της διαδρομής της συλλογής αποβλήτων με την βέλτιστη διαδρομή σχετικά με το κόστος του χρόνου και της χιλιομετρικής απόστασης. Ο υπολογισμός της βέλτιστης διαδρομής στην πόλη, μείωσε τον συνολικό αριθμό των διαδρομών των απορριμματοφόρων οχημάτων και της συνολικής απόστασης του ταξιδιού τους.

Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την παρούσα έρευνα ήταν:

Αρχικά έγινε η έρευνα πεδίου προκειμένου να προκύψει μια πλήρως ρεαλιστική εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης. Στη συνέχεια, από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για το σύνολο των περιοχών της Τραπεζούντας αποθηκεύτηκαν όλα τα δεδομένα σε μια ενιαία βάση δεδομένων GIS και στην συνέχεια αποτυπώθηκαν σε έναν χάρτη όπου απεικονίζεται η διαδρομή των απορριμματοφόρων οχημάτων. Με την χρήση του λογισμικού Rout View ProTM υπολογίστηκε η βέλτιστη διαδρομή της συλλογής. Τέλος, η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στην δημιουργία ενός νέου χάρτη στον οποίο απεικονίζεται η βέλτιστη διαδρομή της αποκομιδής προκειμένου να γίνει σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση της αποκομιδής.

Οι Ghose, Dikshit και Sharma ανέπτυξαν, για την δημοτική επιχείρηση Asansol Municipal Corporation (AMC) της Δυτικής Βεγγάλης στην Ινδία, ένα πιο ορθολογικό και αποτελεσματικό σχεδιασμό συλλογής, μεταφοράς και τελικής διάθεσης των αποβλήτων έτσι ώστε να υπάρξει σημαντική εξοικονόμηση των χρηματοοικονομικών δαπανών σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων. Η εταιρεία είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για τη συλλογή και τη διάθεση των αστικών στερεών αποβλήτων και στο πλαίσιο αυτό εξαιρούνται τα βιομηχανικά, τα κατασκευαστικά και τα νοσοκομειακά απόβλητα. Οι στόχοι της μελέτης είναι οι εξής:

- Η εύρεση της κατάλληλης μεθόδου αποθήκευσης και συλλογής των αποβλήτων,
- Η αναζήτηση της κατάλληλης μεθόδου μεταφοράς των αποβλήτων με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS),
- Η αναζήτηση της κατάλληλης μεθόδου της διάθεσης των αποβλήτων σε χώρους ταφής και τις οικονομικές δαπάνες του συνολικού σχεδίου της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων.

Με την χρήση των GIS δημιουργείται ένα μοντέλο βέλτιστης δρομολόγησης, για τον εντοπισμό της κατάλληλης διαδρομής συλλογής και μεταφοράς των στερεών αποβλήτων στους ΧΥΤΑ, με το ελάχιστο κόστος. Το μοντέλο δρομολόγησης βασίζεται στα ακόλουθα στοιχεία:

- στην πυκνότητα του πληθυσμού
- στην ικανότητα παραγωγής αποβλήτων
- στο οδικό δίκτυο
- στους τύπους των οδικών δικτύων

- στους κάδους αποθήκευσης και στον τύπο των απορριμματοφόρων οχημάτων
- στις περιοχές που είναι XYTA
- τα γκαράζ των οχημάτων κ.α.

Οι διαδρομές συλλογής και μεταφοράς υπολογίστηκαν με τη χρήση GIS μέσω του Network (Arc/Info). Το λογισμικό των GIS, χρησιμοποιείται για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής ή την διαδρομή με τα ελάχιστα εμπόδια μέσα σε ένα δίκτυο. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής και την διευκόλυνση της μοντελοποίησης των χωρικών δικτύων, έγινε χρήση της ARC Macro Language (AML) που είναι μια υψηλού επιπέδου αλγοριθμική γλώσσα για την δημιουργία εφαρμογών στο ARC/INFO Network. Η συντομότερη διαδρομή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή και αποθηκεύεται ως μια διαδρομή μέσα σε ένα σύστημα διαδρομών και εμφανίζεται χρησιμοποιώντας τις εντολές στο ARCPLOT. Τέλος, για την εύρεση μονοπατιών με το ελάχιστο κόστος χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές NetworkPATH και TOUR.

Η δρομολόγηση με τα ελάχιστα εμπόδια είχε ως αποτέλεσμα την διαδρομή στην οποία το όχημα μπορεί να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα ή να μην κάνει άσκοπες στάσεις χρονοτριβώντας. Στην παρούσα μελέτη, το όριο ταχύτητας είναι ίδιο για όλα τα οχήματα. Επιπλέον, στο προτεινόμενο μοντέλο οι καθυστερήσεις λόγω της κυκλοφορίας, των μονόδρομων, των σημμάτων κλπ., εισάγονται στο λογισμικό ως link/arc-impedances και ο χρόνος που δαπανάται στο χώρο υγειονομικής ταφής και στους κάδους των αποβλήτων λαμβάνεται ως node/stop-impedance και μπορεί να διαφέρει από κάδο σε κάδο. Ο χρόνος που απαιτείται για την διαδρομή υπολογίζεται από την ταχύτητα του οχήματος και τον τύπο του οδικού δικτύου.

Ο Ashtashil το 2011 παρουσίασε μια προσπάθεια για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης διαδρομής της συλλογής των δημοτικών αστικών στερεών αποβλήτων του Δήμου Ναγκπούρ στην Ινδία, με την χρήση του Network Analyst. Ο Αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το Network Analyst για τον υπολογισμό του συντομότερου μονοπατιού μεταξύ των κόμβων είναι ο αλγόριθμος του *Dijkstra* (βλ. κεφάλαιο 2).

Η προτεινόμενη εφαρμογή λαμβάνει υπόψη όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για τη συλλογή των αποβλήτων, έτσι ώστε οι χρήστες του desktop να είναι σε θέση να

διαμορφώσουν ρεαλιστικά σενάρια αποκομιδής. Σχεδιάστηκε η συλλογή των δημοτικών στερεών αποβλήτων, που δεν μπορούσαν να συλλεχτούν από τα τυποποιημένα φορητά αποκομιδής απορριμμάτων λόγω του μεγέθους και άλλων απαγορευτικών εμποδίων. Επομένως, χρησιμοποιήθηκε το Network Analyst στην περιοχή μελέτης έτσι ώστε να παραχθούν βελτιστοποιημένες λύσεις (σχετικά με την συντομότερη διαδρομή αποκομιδής, με τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κλπ.) για την εκτίμηση των διασυνδέσεων μεταξύ των δυναμικών παραγόντων, όπως οι αλλαγές της κυκλοφορίας του δικτύου (κλειστοί δρόμοι λόγω φυσικών ή τεχνικών αιτιών, για παράδειγμα, πεσμένα δέντρα, αυτοκινητιστικά ατυχήματα, κλπ). Υπολογίζεται η αποτελεσματικότερη διαδρομή αποκομιδής, καθορίζεται το όχημα που βρίσκεται πιο κοντά για την εκτέλεση της διαδρομής, δημιουργούνται οδηγίες δρομολόγησης και υπολογίζονται οι περιοχές εξυπηρέτησης μιας τοποθεσίας. Η επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης δημιουργήθηκε με βάση το κριτήριο της απόστασης (η διαδρομή δημιουργείται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη θέση των αποβλήτων με μεγάλο όγκο). Στην συγκεκριμένη μελέτη δεν εξετάζεται η κυκλοφορία στους δρόμους και το κριτήριο του χρόνου (ο συνολικός χρόνος αποκομιδής, ο χρόνος των στάσεων που πραγματοποιεί το απορριμματοφόρο σε κάθε δρόμο, κλπ.).

Το αποτέλεσμα της μελέτης ήταν μετά από ορισμένους ουσιώδεις περιορισμούς που λήφθηκαν υπόψη (οι κατευθύνσεις των δρόμων χωρίς U – στροφές, τα αποτελέσματα εμφανίζονται και τα σημεία stop αναδιατάχθηκαν προκειμένου να βρεθεί η συντομότερη διαδρομή). Με την εφαρμογή των GIS, η βέλτιστη διαδρομή αποδείχθηκε οικονομικά αποδοτική και λιγότερο χρονοβόρα σε σύγκριση με την υπάρχουσα διαδρομή.

Το 2009 οι *Tavares, Zsigraiova, Semiao* και *Carvalho*, χρησιμοποίησαν το 3D modelling GIS για να ερευνήσουν την βέλτιστη διαδρομή συλλογής των αστικών στερεών αποβλήτων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση καυσίμου των απορριμματοφόρων οχημάτων. Το μοντέλο βελτιστοποίησης εφαρμόζεται σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις: τη δρομολόγηση οχημάτων για την αποκομιδή των απορριμμάτων στην πόλη της Praia, της πρωτεύουσας του Πράσινου Ακρωτηρίου, και τη δρομολόγηση της μεταφοράς των αποβλήτων από διάφορες κοινότητες του νησιού Σαντιάγο σε μια μονάδα αποτέφρωσης. Ο στόχος της έρευνας ήταν η ελαχιστοποίηση του κόστους των καυσίμων, χρησιμοποιώντας ως βασικό κριτήριο την κατανάλωση των καυσίμων και λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές εδαφικές κλίσεις των οδών. Στην παρούσα έρευνα το μοντέλο βελτιστοποίησης αναπτύχθηκε σε περιβάλλον GIS, χρησιμοποιήθηκε

το λογισμικό ArcGIS 9.1 της ESRI καθώς και οι επεκτάσεις του (3D Analyst και Network Analyst). Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε αποτελείται από δύο φάσεις: τα συστήματα συλλογής και μεταφοράς έτσι ώστε να αποδείξει τα πλεονεκτήματά της 3D ανάλυσης έναντι της 2D και τη διανυθείσα απόσταση ως συνάρτηση κόστους.

Η πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε με τη μελέτη για τη συλλογή των αστικών στερεών αποβλήτων της πόλης Praia στο Πράσινο Ακρωτήριο⁵ και η δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε για τη μεταφορά των αποβλήτων από τους σταθμούς των κοινοτήτων της Νήσου Σαντιάγο στην μονάδα αποτέφρωσης. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε, έλαβε υπόψη τις κλίσεις του εδάφους και το βάρος των οχημάτων. Για την περιοχή της πόλης Praia, το μοντέλο 3D που ελαχιστοποίησε την κατανάλωση καυσίμου απέδωσε εξοικονόμηση κόστους κατά 8% σε σύγκριση με την προσέγγιση που υπολογίζει απλά τη συντομότερη διαδρομή 3D. Επίσης, για την περίπτωση της Νήσου Σαντιάγο, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου ήταν 12%. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν τη σημασία της βελτιστοποίησης δρομολόγησης συλλογής των αστικών στερεών αποβλήτων, με στόχο την ελαχιστοποίηση των καυσίμων των οχημάτων και όχι τη συντομότερη διαδρομή σε χρόνο ή απόσταση. Στην μελέτη συνίσταται η χρήση του 3D modeling, αντί του 2D, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν σημαντικές κλίσεις στο έδαφος.

Οι Karadimas, Doukas, Kolokathi και Defteraiou το 2008 ανέπτυξαν και εφάρμοσαν δύο αλγοριθμικές λύσεις για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης της μεταφοράς των αστικών στερεών αποβλήτων σε ένα μικρό τμήμα του Νομού Αττικής. Ο βασικός στόχος αυτής της έρευνας είναι να δημιουργήσει ένα γρήγορο ευρετικό αλγόριθμο που δίνει λύσεις εντός του 10% της βέλτιστης λύσης. Η πρώτη λύση που προτείνεται, στο πρόβλημα του προσδιορισμού των βέλτιστων διαδρομών για τη συλλογή και μεταφορά των ΑΣΑ, γίνεται με την εφαρμογή του ArcGIS Network Analyst και η δεύτερη λύση με τον αλγόριθμο Ant Colony System (ACS).

Το κοινό σημείο των δυο εφαρμογών είναι ότι βασίζονται σε μια χωρική βάση δεδομένων με γεωγραφική αναφορά η οποία υποστηρίζεται από ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Το GIS λαμβάνει υπόψη όλες τις απαραίτητες παραμέτρους για τη συλλογή των αστικών στερεών αποβλήτων (θέσεις των κάδων απορριμμάτων, οδικό δίκτυο και σχετική κίνηση, ικανότητες φορτηγών, κλπ) και στη συνέχεια οι χρήστες διαμορφώνουν ρεαλιστικά σενάρια σχετικά με τις πραγματικές συνθήκες του δικτύου. Οι

⁵ Δυτική Αφρική, δυτικά της Σενεγάλης, με έκταση 4.033 τετρ.χλμ. και πληθυσμό 518.467 κατοίκους.

χρήστες και στις δυο εφαρμογές είναι σε θέση να καθορίσουν ή να τροποποιήσουν όλους τους απαιτούμενους δυναμικούς παράγοντες για τη δημιουργία ενός αρχικού σεναρίου, και με την τροποποίηση αυτών να παράγουν εναλλακτικά σενάρια. Τέλος, συγκρίνεται και εκτιμάται η βέλτιστη λύση σε σχέση με τον αλγοριθμική προσέγγιση βελτιστοποίησης συλλογής απορριμμάτων.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της έρευνας, είναι τα παρακάτω: Αν και ο αλγόριθμος ACS υπολογίζει τη συντομότερη διαδρομή και παράγει τις καλύτερες λύσεις για το πρόβλημα βελτιστοποίησης διαδρομών, ο χρόνος που τρέχει και ο αριθμός των επαναλήψεων του μέχρι την εύρεση της βέλτιστης λύσης είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα. Κατά τους πρώτους κύκλους, ο αλγόριθμος ACS παράγει διαδρομές που ήταν μακριά από τη βέλτιστη λύση, ενώ το ArcGIS Network Analyst αποδείχθηκε όχι μόνο ικανό να αναπαράγει έναν ικανοποιητικό αριθμό σεναρίων, είναι σε θέση να παράγει και να προσαρμόζει εύκολα τις νέες συνθήκες, αλλά και ο υπολογιστικός του χρόνος να ξεπερνά κατά πολύ τον χρόνο του αλγόριθμου ACS. Η εξήγηση του γιατί ο ACS είναι εξαιρετικά χρονοβόρος σε σύγκριση με το ArcGIS NA είναι πως η ευρετική μέθοδος του ArcGIS NA μπορεί με μια προσέγγιση να περιγράψει την βέλτιστη λύση ενώ έχει διασταυρώσει όλους τους συνδυασμούς. Τέτοιες διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης, έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλά προβλήματα, γεννώντας τις λεγόμενες υβριδικές μεθόδους.

Οι *Chalkias* και *Lasaridi* το 2009, μελέτησαν τη βελτιστοποίηση του συστήματος συλλογής και μεταφοράς των αποβλήτων με την τεχνολογία GIS, στο Δήμο Νίκαιας χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα πεδίου (αναλύεται και στην παράγραφο 1.5.5.). Το μοντέλο βελτιστοποίησης αναπτύχθηκε με την επέκταση του ArcGIS 9.2 Network Analyst και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει την αντικατάσταση και ανακατανομή των κάδων απορριμμάτων καθώς και τον επαναπρογραμματισμό των διαδρομών αποκομιδής των αποβλήτων. Η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής αφορά στην ελαχιστοποίηση του χρόνου συλλογής των αποβλήτων, της διανυόμενης απόστασης, την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές αέριων ρύπων, δηλαδή τον περιορισμό στα οικονομικά και περιβαλλοντικά κόστη.

Εξετάστηκαν δύο διαφορετικά σενάρια συλλογής αποβλήτων. Στο πρώτο σενάριο γίνεται βελτιστοποίηση διαδρομών διατηρώντας την υφιστάμενη θέση και τον αριθμό των κάδων απορριμμάτων. Στο δεύτερο σενάριο ανακατανέμονται οι θέσεις των κάδων και στη

συνέχεια πραγματοποιείται η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων συγκρίθηκαν με το εμπειρικό μοντέλο που εφαρμόζει ο Δήμος.

Τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων δείχνουν ότι παρέχεται εξοικονόμηση σε σύγκριση με την τρέχουσα κατάσταση όσον αφορά στη χιλιομετρική απόσταση αλλά και στον χρόνο αποκομιδής. Πιο συγκεκριμένα, στο δεύτερο σενάριο μειώθηκε κατά 12,5% το μήκος της διαδρομής σε σύγκριση με το εμπειρικό μοντέλο και ο χρόνος αποκομιδής κατά 17% (σαν χρόνος αποκομιδής λαμβάνεται το άθροισμα του χρόνου για τη μετακίνηση του απορριμματοφόρου μεταξύ των στάσεων – θέσεων των κάδων και του χρόνου που απαιτείται για την εκκένωση κάθε κάδου). Στο πρώτο σενάριο μειώθηκε η διανυόμενη απόσταση στο 5,5% σε σχέση με την εμπειρική διαδρομή ενώ ο χρόνος αποκομιδής μειώθηκε κατά 3%.

Σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων κατά την αποκομιδή των αποβλήτων, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει περισσότερο ο χρόνος και ο αριθμός των κάδων, παρά η διανυόμενη απόσταση. Αυτό ισχύει γιατί κατά την αποκομιδή το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου δαπανάται για τη φόρτωση και την εκκένωση των κάδων. Η κατανάλωση καυσίμων και οι αντίστοιχες εκπομπές αέριων ρύπων, σχετίζονται γραμμικώς με τον αριθμό των κάδων, την κίνηση των απορριμματοφόρων μεταξύ των κάδων και τον χρόνο για την φόρτωση και την εκκένωση των κάδων (σε αυτό συμβάλει ότι η περιοχή είναι επίπεδη με μέσο υψόμετρο 50m). Ως εκ τούτου, ακόμη και για την ίδια διανυόμενη απόσταση, αλλαγές στον αριθμό των στάσεων, δηλαδή στον αριθμό των κάδων που συλλέγονται, έχουν επιπτώσεις στην κατανάλωση καυσίμων.

Η εξάρτηση του χρόνου αποκομιδής από τον αριθμό των στάσεων αποτελεί τον κύριο επεξηγηματικό παράγοντα για τις διαφορές στο ποσοστό της μείωσης της απόστασης και του χρόνου στα δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο, η μείωση της απόστασης είναι μεγαλύτερη από την εξοικονόμηση χρόνου, γιατί ο αριθμός και η θέση των κάδων παραμένουν ίδιοι, όπως στο εμπειρικό μοντέλο. Επομένως, η εξοικονόμηση καυσίμων ήταν μικρότερη. Στο δεύτερο σενάριο είναι μεγαλύτερη η εξοικονόμηση χρόνου παρά η μείωση της χιλιομετρικής απόστασης, οπότε στην κατανάλωση καυσίμων και στις εκπομπές αέριων ρύπων σημειώνεται μεγαλύτερη μείωση.

1.5.4. Ο ρόλος των Γ.Σ.Π στην αποτελεσματική διαχείριση των αστικών απορριμμάτων

Το GIS είναι το πιο σύγχρονο και μοντέρνο σύστημα διαχείρισης των χωρικών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά συνήθως οργανώνονται σε θεματικές ενότητες και επίπεδα. Η χρήση του GIS με άλλες εφαρμογές όπως είναι το GPS επιτρέπει στον χρήστη να οργανώσει με ακρίβεια και σαφήνεια την χαρτογραφική του πληροφορία.

Το GIS έχει χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών όπως είναι ο σχεδιασμός κυκλοφοριακών και υδραυλικών υποδομών, η προστασία του περιβάλλοντος και άλλες εφαρμογές. Η διαχείριση των αστικών απορριμμάτων αλλά και η επιλογή των χώρων απόθεσης των απορριμμάτων καθώς και ο σχεδιασμός μοντέλων για την συλλογή και αποκομιδή των αστικών απορριμμάτων αποτελεί μια από τις πρώτες και κύριες εφαρμογές του GIS. (Chalkias & Lasaridi, 2014)

Ο προσδιορισμός του χώρου απόθεσης των απορριμμάτων είναι ένα δύσκολο έργο το οποίο απαιτεί την αξιολόγηση περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων και συμπεριλαμβάνει τεχνικές και νομικές παραμέτρους οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Για αυτό τον λόγο η επιλογή αυτή γίνεται με την χρήση του GIS και την ταυτόχρονη χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης. (Chalkias & Lasaridi, 2014)

Τα στάδια που περιλαμβάνουν την επιλογή ενός χώρου απόθεσης απορριμμάτων με την χρήση GIS είναι τα ακόλουθα:

- Κατανομή και ιεράρχηση των κριτηρίων αξιολόγησης για την επιλογή του χώρου υγειονομικής ταφής.
- Δημιουργία μιας χωρικής βάσης δεδομένων με την εφαρμογή θεματικών χαρτών και επιπέδων
- Κατασκευή των θεματικών χαρτών με την εφαρμογή των κριτηρίων που επιλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο
- Αξιολόγηση της κρισιμότητας και της αξίας των κριτηρίων
- Διαχωρισμός σε ζώνες της υπο μελέτης περιοχής
- Ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου
- Τελική επιλογή και αξιολόγηση του χώρου επιλογής.

Η εφαρμογή του GIS για την ανάπτυξη ενός μοντέλου που βελτιστοποιεί τις διαδρομές των απορριματοφόρων και προβλέπει χρόνους μετακίνησης, κατανάλωσης καυσίμων και κόστος λειτουργίας του συστήματος θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο.

1.5.5. Ανάπτυξη μοντέλου

Όπως προαναφέρθηκε, μια από τις κυριότερες εφαρμογές του GIS είναι η ανάπτυξη μοντέλων για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών των απορριματοφόρων. Η βελτιστοποίηση των διαδρομών είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων.

Η ανάπτυξη των σεναρίων των διαδρομών είναι μια πολύπλοκη δραστηριότητα η οποία βασίζεται σε αρκετά κριτήρια χωρικών δεδομένων κατά κύριο λόγο. Το κυριότερο πρόβλημα για την εφαρμογή του μοντέλου είναι το εξής:

Κάθε απορριματοφόρο πρέπει να διασχίσει μια συγκεκριμένη περιοχή, να συλλέξει συγκεκριμένους κάδους με ένα τρόπο που ελαχιστοποιεί το κόστος της διαδρομής για το απορριματοφόρο. (Chalkias & Lasaridi,2014)

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται σχετίζεται με τους περιορισμούς που έχει το οδικό δίκτυο από πλευράς γεωμετρικών χαρακτηριστικών, μονοδρομήσεων και φωτεινής σηματοδότησης.

Η επιτυχία ενός τέτοιου μοντέλου βασίζεται σε μεγάλο ποσοστό στην πληρότητα των πληροφοριών που παρέχονται στον χρήστη του μοντέλου.

Στην Ελλάδα η ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων για λογαριασμό των Δήμων είναι σπάνια καθώς η συλλογή των απορριμμάτων πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο με εμπειρικές μεθόδους.

Οι (Chalkias & Lasaridi,2014) παρουσίασαν ένα τέτοιο μοντέλο για τον Δήμο Νίκαιας-Α.Ι.Ρέντη όπου τα αποτελέσματα ήταν άκρως ενθαρρυντικά υπο την έννοια πως με τη χρήση του μοντέλου, επιτεύχθηκε μείωση του χρόνου αποκομιδής κατά 10% και μείωση των χιλιομέτρων που διάνυναν τα απορριματοφόρα κατά 15% σε σύγκριση με το εμπειρικό μοντέλο που ακολουθούταν μέχρι εκείνη την στιγμή.

Η εφαρμογή του μοντέλου περιελάμβανε την επανατοποθέτηση των κάδων απορριμάτων σε διαφορετικές θέσεις και τοποθεσίες μέσα στο οδικό δίκτυο προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι χρόνοι αποκομιδής και οι χρόνοι διαδρομής των απορριματοφόρων αλλά και να ελαχιστοποιηθούν οι στάσεις που πρέπει να κάνουν τα απορριματοφόρα. (Εικόνα 3)

Οι κάδοι τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο κάθε κάτοικος να μη χρειάζεται να περπατήσει πάνω από 60 μέτρα από την πόρτα του σπιτιού του μέχρι τον κοντινότερο κάδο απορριμμάτων ενώ σε πολλές περιπτώσεις επιλέχθηκαν κάδοι με αυξημένη χωρητικότητα (1100 λίτρα) σε σχέση με τους υπάρχοντες. (Chalkias & Lasaridi,2014)



Εικόνα 3: Τοποθέτηση κάδων απορριμμάτων στον Δήμο Νίκαιας - Ρέντη

Παράλληλα λήφθηκαν υπόψη στοιχεία όπως είναι η χωρητικότητα των απορριμματοφόρων, η πληθυσμιακή πυκνότητα, το οδικό δίκτυο και η παρουσία χώρων συνάντησης κοινού όπως είναι σχολεία, γήπεδα, θέατρα κτλ.

Οι Gosha et al,2006 εφάρμοσαν ένα αντίστοιχο μοντέλο στην πόλη Ασανσόλ στην Ινδία, τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δρόμων, η πληθυσμιακή πυκνότητα, ο όγκος των κάδων, όπου έχουν ληφθεί υπόψη 3 διαφορετικές κατηγορίες χωρητικότητας κάδων. (Gosha et al,2006)

Τις ίδιες παραμέτρους για το δικό τους μοντέλο έχουν λάβει υπόψη και οι Karadimas et al(2006) για τον Δήμο της Αθήνας, με την διαφορά ότι εκεί εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ACS.

Επίσης το οδικό δίκτυο έχει κατηγοριοποιηθεί και αυτό σε 3 κατηγορίες, σε μεγάλους δρόμους, σε μεσαίους δρόμους και μικρούς δρόμους. Παράλληλα έχουν ληφθεί και παράμετροι που έχουν να κάνουν με την συχνότητα της αποκομιδής των κάδων από τα φορτηγά.

Στην παρακάτω εικόνα 4 παρουσιάζεται η διασπορά των κάδων απορριμμάτων ανά κατηγορία στο οδικό δίκτυο.

Επίσης και τα φορτηγά αποκομιδής έχουν ταξινομηθεί σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την χωρητικότητά τους.



Εικόνα 4: Διασπορά κάδων απορριμμάτων στο οδικό δίκτυο της πόλης Ασανσόλ

Για την εφαρμογή του μοντέλου, έχει υποτεθεί πως υπάρχει μόνο ένας χώρος απόθεσης των απορριμμάτων και ένα γκαράζ όπου είναι παρκαρισμένα τα φορτηγά αποκομιδής.

Στο μοντέλο αυτό, μπορεί να γίνει εισαγωγή της ταχύτητας των φορτηγών αποκομιδής και να ληφθούν υπόψη επίσης και συνθήκες κυκλοφοριακής φόρτισης. Η ταχύτητα των

φορτηγών αποκομιδής λαμβάνεται υπόψη σύμφωνα με το μοντέλο του φορτηγού. Έτσι λοιπόν, διαφορετική ταχύτητα έχει το φορτηγό κατηγορίας Α σε σχέση με το φορτηγό κατηγορίας Β.

Τα οχήματα των 3 κατηγοριών βγαίνουν από το γκαράζ και συλλέγουν τα απορρίμματα από τους αντίστοιχους κάδους που μπορούν να φορτώσουν, στην συνέχεια προχωράνε στον επόμενο κάδο μέχρι να φτάσουν την μέγιστη χωρητικότητα τους και να ξεκινήσουν την διαδρομή τους προς τον χώρο απόθεσης. Σε εκείνο τον χώρο, θα πρέπει να περιμένουν την σειρά τους μέχρι να εισέλθουν και να ξεφορτώσουν και στην συνέχεια να επιστρέψουν και να συνεχίσουν την αποκομιδή από τους αντίστοιχους κάδους που μπορούν να φορτώσουν.

Παράλληλά στον συνολικό χρόνο αποκομιδής και απόθεσης λαμβάνονται υπόψη και τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου όπως είναι οι μονόδρομοι και τα φανάρια προκειμένου να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του χρόνου διαδρομής του φορτηγού.

Οι Karadimas et al(2006) λαμβάνουν και αυτοί υπόψη την χωρητικότητα των φορτηγών και το οδικό δίκτυο καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου προκειμένου να εφαρμόσουν το δικό τους μοντέλο που βασίζεται στον αλγόριθμο ACS.

Ο αλγόριθμος ACS στηρίζεται στην κίνηση που πραγματοποιούν τα μνημύγκια στις αποικίες και από εκεί βγαίνει και το όνομα του (Ant Colony System) όπου βασικός στόχος είναι η επιβίωση της κοινότητας και όχι του ατόμου.

Πρωτοπαρουσιάστηκε το 1997 από τους Dorigo & Gambardella και εξελίχθηκε το 2002 από τους Randal και Montgomery.

Οι Karadimas et al(2006) προκειμένου να εφαρμόσουν το μοντέλο τους με τον αλγόριθμο ACS προχώρησαν και στις ακόλουθες παραδοχές:

- Κάθε κάδος απορριμμάτων συλλέγεται μια φορά από ένα φορτηγό
- Για κάθε φορτηγό, δεν ξεπερνιέται ποτέ η χωρητικότητά του
- Κάθε φορτηγό ξεκινά και τελειώνει την διαδρομή του από το αμαξοστάσιο
- Τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύει ένα φορτηγό ποτέ δεν ξεπερνούν έναν προκαθορισμένο αριθμό χιλιομέτρων που πρέπει να διανυθεί προκειμένου το σύστημα να είναι αποδοτικό.

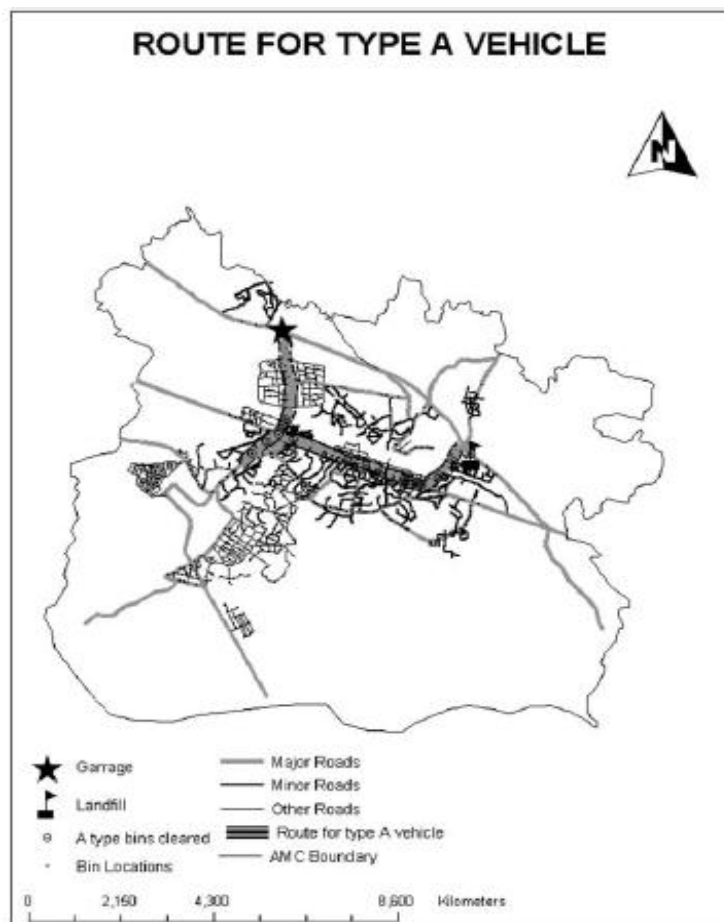
Η περιοχή εφαρμογής του μοντέλου των Karadimas et al(2006) είναι σαφώς μικρότερη από ότι της περιοχής της πόλης Ασανσόλ στην Ινδία, καθώς επιλέχθηκε μια περιοχή της Αθήνας με πληθυσμό 8500 κατοίκους και 72 κάδους απορριμμάτων.

Η περιοχή της μελέτης παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα 5.

Οι διαδρομές και οι χρόνοι υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος GIS καθώς και τα χιλιόμετρα που διανύονται από τα φορτηγά.

Με το συγκεκριμένο μοντέλο που κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα GIS, το κόστος της αποκομιδής των απορριμμάτων πέφτει στο ένα τρίτο σε σχέση με το κόστος, χωρίς το μοντέλο.

Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε στην πόλη Ασανσόλ της Ινδίας από τους Ghosa et al(2006)



Εικόνα 1: Διαδρομή για το φορτηγό τύπου Α.

Από την άλλη μεριά με την εφαρμογή του μοντέλου ACS, χρειάστηκε να γίνουν πάρα πολλές δοκιμές στο μοντέλο και να «πειραχτούν» τα δεδομένα των παραμέτρων αρκετές φορές προκειμένου οι Karadimas et al(2006) να φτάσουν στο βέλτιστο αποτέλεσμα.

Το μοντέλο εκτελέστηκε συνολικά 27700 φορές προκειμένου να φτάσουν οι ερευνητές στο βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ο στόχος του μοντέλου ήταν να διερευνηθούν οι αποστάσεις που διανύουν τα φορτηγά καθώς και το συνολικό μήκος της διαδρομής που ένα φορτηγό θα έπρεπε να κάνει. Για

αυτό τον λόγο ορίστηκε ένα προκαθορισμένο μήκος χιλιομέτρων που ένα φορτηγό θα πρέπει να κάνει. Αυτό οδήγησε κατά την εφαρμογή του μοντέλου να απορρίπτονται τιμές που ξεπερνούσαν ένα ορισμένο μήκος διαδρομής.

Η καλύτερη διαδρομή βρέθηκε να είναι αυτή που έχει συνολικό μήκος 7328 μέτρα. Παράλληλα, το μοντέλο αυτό υπολόγισε και τον χρόνο συλλογής των κάδων απορριμμάτων και βρέθηκε πως ο βέλτιστος χρόνος συλλογής είναι τα 50 δευτερόλεπτα.

Από την εφαρμογή της βέλτιστης διαδρομής που έβγαλε το μοντέλο με τον αλγόριθμο ACS, οι Karadimas et al(2006) υποστηρίζουν πως μπορούν να εξοικονομηθούν 9500 ευρώ την εβδομάδα σε αυτή την περιοχή της Αθήνας, ποσό αρκετά σημαντικό.

Τα συμπεράσματα από την εφαρμογή του αλγόριθμού ACS χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα GIS είναι πως δίνει την βέλτιστη διαδρομή σε σχέση με εμπειρικά μοντέλα πρόβλεψης των βέλτιστων διαδρομών. Τα μειονεκτήματα του μοντέλου είναι ο χρόνος που χρειάζεται αυτό για να εκτελεστεί καθώς κάθε δοκιμή για να εκτελεστεί χρειαζόταν χρόνο 10-20 λεπτά και το μοντέλο συνολικά «έτρεξε» για 6 μήνες προκειμένου οι Karadimas et al(2006) να φτάσουν σε αυτά συμπεράσματα, ενώ και από πλευράς λογισμικού, οι απαιτήσεις των Η/Υ για να τρέξουν το συγκεκριμένο μοντέλο είναι αρκετά μεγάλες.

Το μοντέλο βελτιστοποίησης των διαδρομών των απορριματοφόρων με GIS στον Δήμο Νίκαιας-Ρέντη έδειξε πως η κατανάλωση καυσίμων των απορριματοφόρων μειώθηκε κατά 14% και ο συνολικός χρόνος διαδρομής κατά 18%.

Στην περιοχή Campo Verde της Βραζιλίας, η εφαρμογή ενός τέτοιου μοντέλου της βελτιστοποίησης των διαδρομών των απορριματοφόρων με την χρήση GIS μείωσε το κόστος της κατανάλωσης των καυσίμων κατά 52%.

Συμπερασματικά, τα μοντέλα βελτιστοποίησης των διαδρομών των απορριματοφόρων που βασίζονται στο GIS μπορούν να παρέχουν έναν οικονομικό και αποδοτικό τρόπο διαχείρισης του στόλου των απορριματοφόρων, μείωσης της κατανάλωσης καυσίμων και των εξόδων του δήμου για την συγκεκριμένη διαδικασία. Όπως άλλωστε αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, η διαδικασία της συλλογής των απορριμμάτων αντιπροσωπεύει το 60-80% του συνολικού κόστους της διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.

Σήμερα οι εφαρμογές βελτιστοποίησης των διαδρομών μέσω μοντέλων που κατασκευάζονται στο GIS είναι ένα ξεχωριστό επιστημονικό πεδίο αλλά έχει και αρκετές δυσκολίες στο να εφαρμοστεί. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη στοιχείων, κυρίως των χωρικών δεδομένων και του οδικού δικτύου αλλά και στην έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού μέσα στους δήμους που θα μπορούσαν να δουλέψουν το μοντέλο και να το κατανοήσουν. (Chalkias & Lasaridi,2014)

Κεφάλαιο 2

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα δίκτυα, δίκτυα μεταφορών, η σχέση τους με τα Γ.Σ.Π. και στη συνέχεια δίνονται κάποια παραδείγματα αξιοποίησης των δικτύων σε διάφορους τομείς.

2.1.Ορισμός δικτύου

Δίκτυο είναι ένα σύμπλεγμα πολλών αγωγών, εξαρτημάτων και κατασκευών, μέσω των οποίων λαμβάνει χώρα η ροή. (Αραβαντινός, 1997). Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα αποτελούνται κυρίως από κατάλληλα συνδεδεμένα γραμμικά στοιχεία τα οποία σχηματίζουν ένα συγκεκριμένο πλαίσιο μέσα στο οποίο ρέουν πόροι.

Γενικός ορισμός: Ένα δίκτυο είναι ένα σύστημα γραμμικών χαρακτηριστικών που συνδέονται σε διασταυρώσεις και κόμβους. Οι κόμβοι μέσα σε ένα δίκτυο συνδέονται μέσω του γραμμικού χαρακτηριστικού που ονομάζεται ακμή. Κάθε ακμή αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος κόμβων (i, j) και συνδέει τον κόμβο i με τον κόμβο j .

Τυπικά, ένα δίκτυο ορίζεται ως ένας κατευθυνόμενο γράφημα $G = (N, E)$ που αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων $N = |n|$ και ένα σύνολο ακμών $E = |m|$, όπου n είναι ο αριθμός των ακμών και m ο αριθμός των κόμβων (Halary, F.1969).

Δίκτυο μέσων μεταφοράς: Σε ένα δίκτυο μέσων μεταφοράς, οι κόμβοι αντιστοιχούν σε στάσεις των γραμμών των μέσων μεταφοράς που απαρτίζουν το δίκτυο. Οι ακμές μεταξύ των κόμβων ενώνουν διαδοχικές στάσεις, δηλαδή είναι τμήματα της διαδρομής που ακολουθούν μία ή περισσότερες γραμμές που εξυπηρετούν τις στάσεις- κόμβους.

Ένα μεταφορικό δίκτυο απεικονίζεται συνήθως μέσα στο πλαίσιο ενός γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος (GIS), οπότε κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε μία τοποθεσία με γεωγραφικές συντεταγμένες.

Τα μεταφορικά δίκτυα παρίστανται συνήθως από βεβαρημένα γραφήματα. Δηλαδή, δίπλα από κάθε ακμή υπάρχει μία αριθμητική τιμή γνωστή και ως βάρος. Η τιμή αυτή αποτελεί το κόστος για να διασχίσουμε την ακμή και μπορεί να αναφέρεται σε χρόνο, απόσταση

μεταξύ των δύο κόμβων, σε άλλες παραμέτρους ή συνηθέστερα σε συνδυασμό των παραπάνω και άλλων παραμέτρων οπότε και αναφέρεται ως «γενικευμένο κόστος» (Halary, F. 1969).

2.2. Βασικά στοιχεία δικτύου

Τα βασικά στοιχεία ενός δικτύου που συνήθως συναντάμε στα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα (GIS) είναι τα μονοπάτια, οι κύκλοι, οι στάσεις, τα κέντρα και οι στροφές.

Μονοπάτι : Μονοπάτι σ' ένα γράφημα και επομένως σε ένα δίκτυο είναι μία πεπερασμένη ακολουθία από διαδοχικούς κόμβους και διαδοχικές ακμές που εναλλάσσονται και στην οποία κάθε ακμή εμφανίζεται μόνο μία φορά. Σε ένα δίκτυο μεταφοράς, ένα μονοπάτι είναι μία ακολουθία διαδοχικών στάσεων (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008).

Το συντομότερο μονοπάτι (shortest path) ή αλλιώς η βέλτιστη διαδρομή, είναι το μονοπάτι με το ελάχιστο κόστος από έναν κόμβο-αφετηρία προς έναν κόμβο-προορισμό. Πρακτικά λοιπόν, το να βρούμε ένα συντομότερο μονοπάτι σημαίνει να βρούμε την ακολουθία εκείνη τοποθεσιών που μας οδηγεί από την αφετηρία στον προορισμό με το λιγότερο κόστος (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008).

Μονοπάτι- Κύκλος: Ένας κύκλος είναι ένα κλειστό μονοπάτι, δηλαδή ένα μονοπάτι στο οποίο η αφετηρία και ο προορισμός συμπίπτουν (Κωνσταντόπουλος Π, 2008).

Στάση: Μία στάση είναι μία τοποθεσία που επισκεπτόμαστε σε ένα μονοπάτι ή κύκλο (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008).

Κέντρο : Ένα κέντρο είναι μία τοποθεσία στην οποία παρέχονται κάποια αγαθά ή υπηρεσίες. Κάτι τέτοιο είναι πιθανό να ενδιαφέρει σ' ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών ωστόσο δεν ενδιαφέρει άμεσα το δικό μας μεταφορικό δίκτυο. (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008).

Στροφή: Στροφή σε ένα δίκτυο είναι η μετάβαση από μία ακμή του δικτύου σε μία άλλη (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008).

2.2.1. Άλλες βασικές έννοιες

Παράλληλα μας ενδιαφέρουν και άλλες βασικές έννοιες σε ένα δίκτυο οι οποίες είναι οι εξής (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008) :

Σύνδεσμοι: Οι σύνδεσμοι ενός δικτύου, δηλαδή οι ακμές του, μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερωσ διότι αυτές καθορίζουν ποιοι κόμβοι είναι προσβάσιμοι, από ποιους κόμβους είναι προσβάσιμοι καθώς και τα δυνατά μονοπάτια που οδηγούν από έναν κόμβο σε κάποιον άλλον. Ενδιαφέρει επίσης και η παράμετρος της κατεύθυνσης ενός συνδέσμου που καθορίζει ποιος κόμβος είναι η κεφαλή και ποιος η ουρά του συνδέσμου αφού σε πολλά δίκτυα οι σύνδεσμοι δεν είναι δικατευθυνόμενοι με αποτέλεσμα τα δίκτυα αυτά να αναπαρίστανται από γραφήματα κατευθυνόμενους, δηλαδή γραφήματα που δηλώνουν την κατεύθυνση των συνδέσμων τους.

Συνδεσιμότητα (Connectivity): Με τον όρο συνδεσιμότητα αναφερόμαστε στο χαρακτηριστικό του δικτύου που μετρά την “προσπάθεια”, δηλαδή τον ελάχιστο αριθμό συνδέσμων που απαιτούνται για να φθάσουμε από όλους τους κόμβους σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους.

Προσβασιμότητα (Accessibility): Η προσβασιμότητα (accessibility) είναι το χαρακτηριστικό του δικτύου που αποτελεί μέτρο της “προσπάθειας” που απαιτείται για να φθάσουμε σε όλους ή σε κάποιους κόμβους από έναν συγκεκριμένο κόμβο.

Μονοπάτια (Fundamental circuits): Τα μονοπάτια είναι από τις βασικότερες έννοιες σε ένα δίκτυο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει για κάποια δίκτυα η έννοια των fundamental circuits. Πρόκειται για κλειστά μονοπάτια που δεν περιέχουν άλλα κλειστά μονοπάτια.

2.2.2. Η δρομολόγηση στο οδικό δίκτυο

Η μελέτη της βιβλιογραφίας οδηγεί σε κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με τη δρομολόγηση στα μεταφορικά δίκτυα. Η φύση της εφαρμογής στα μεταφορικά δίκτυα είναι τέτοια που κάνει απαραίτητη τη χρήση διαδικασιών που να είναι ευέλικτες και επαρκείς, τόσο σε ότι αφορά τον χρόνο υπολογισμού όσο και σε ότι αφορά τις απαιτήσεις σε μνήμη. Επειδή δεν υπάρχει βέλτιστος αλγόριθμος για κάθε είδος προβλήματος μεταφορών, η έρευνα στοχεύει

στο σχεδιασμό και την υλοποίηση διαδικασιών που είναι ικανές να συλλάβουν τις ιδιαιτερότητες των προβλημάτων προς επίλυση. Μία μεγάλη κατηγορία των διαδικασιών αυτών είναι κατάλληλη για εφαρμογή προς τις απαιτήσεις που έχουμε εμείς από την εφαρμογή και συνήθως επιλύει το πρόβλημα υπό κάποιους περιορισμούς και υποθέσεις που γίνονται για να φθάσουμε γρηγορότερα στη λύση. Οι διαδικασίες αυτές ανήκουν στην κατηγορία των πληροφορημένων αλγορίθμων και συνήθως χρησιμοποιούν κάποιο επαναληπτικό αλγόριθμο, ο οποίος ύστερα από πεπερασμένες επαναλήψεις συγκλίνει στην καλύτερη λύση. Μέσω αυτής αξιολογούν τις επόμενες πιθανές καταστάσεις και επιλέγουν την καλύτερη.

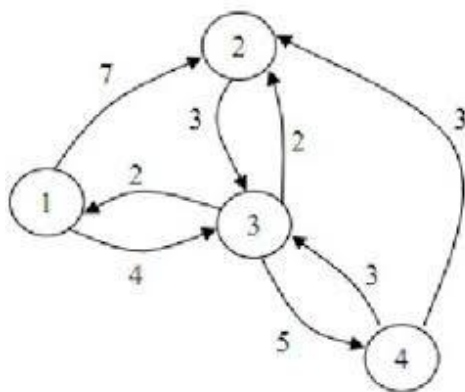
Οι κόμβοι σε τέτοια δίκτυα έχουν διαφορετικά επίπεδα σημασίας γεγονός που μπορούν να αξιοποιήσουν κάποιο επαναληπτικό αλγόριθμο. Υπάρχει εδώ μία αμφίδρομη σχέση αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο δίκτυο και τον τρόπο που μοντελοποιείται και τους αλγόριθμους που επιλέγονται για την εφαρμογή και τυχόν επαναληπτικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούν (Κωνσταντόπουλος, Π. 2008).

2.2.3. Γραφική απεικόνιση δικτύου

Για να απεικονίσουμε γραφικά ένα δίκτυο κάνουμε συνήθως τα εξής:

Σε κάθε κόμβο αντιστοιχίζουμε έναν αριθμό που χρησιμεύει για να τον αναγνωρίζουμε από τους υπόλοιπους και ο οποίος τοποθετείται στο εσωτερικό του κύκλου που απεικονίζει τον κόμβο. Κάθε ακμή απεικονίζεται ως ένα ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει δύο κόμβους. Η κατεύθυνση του βέλους δηλώνει τη διάταξη των κόμβων στην ακμή. Επίσης, δίπλα από κάθε ακμή εμφανίζεται ένας αριθμός που είναι το κόστος για να διασχίσουμε τη συγκεκριμένη ακμή (Παναγιωτόπουλος, Α. 1989).

Το γράφημα $G = (N, E)$ που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα είναι ένα κατευθυνόμενο δίκτυο και θα τον χρησιμοποιήσουμε για να δείξουμε τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να αναπαρασταθεί ένα δίκτυο :



Σχήμα 1: Αναπαράσταση ενός δικτύου

2.3. Τύποι και βασικές λειτουργίες των δικτύων

Τα Γ.Σ.Π είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση πολλών διαφορετικών τύπων δικτύων: επί παραδείγματι το νερό τρέχει από μια δεξαμενή διαμέσου ενός ενδεικτικού δικτύου σωλήνων, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στην συνέχεια στους καταναλωτές από το σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός κατάλληλου δικτύου ηλεκτρικών γραμμών.

Τροχοφόρα οχήματα, από την άλλη κυκλοφορούν κατά μήκος ενός οδικού δικτύου (π.χ. η συλλογή των απορριμμάτων με τα απορριμματοφόρα οχήματα), κ.λπ. Από τη χρονική στιγμή που θα δημιουργηθεί ένα σύνολο ισχυόντων δεδομένων με τους κατάλληλους κανόνες που καθορίζει η τοπολογία και η λειτουργία ενός δικτύου. Ήδη προηγείται στην περίπτωση αυτή, χρονικά η συλλογή, οργάνωση και εξάρτηση στο δίκτυο της κατάλληλης πληροφορίας, οπότε τότε, η χρήση των Γ.Σ.Π. είναι σε θέση να απαντήσει σε ένα πλήθος ερωτημάτων που αφορούν:

- τη διαχείριση και την ανάλυση δικτύων, όπως και
- τον καθορισμό των βέλτιστων διαδρομών μετακινήσεων, κλπ.

Σημαντικές λειτουργίες σχετικά με την ανάλυση δικτύων και καθορισμού βέλτιστων διαδρομών είναι οι εξής:

1. η δημιουργία κατάλληλων για την περίπτωση αυτή ερωτημάτων (queries) με τη χρήση ειδικών κριτηρίων στις περιγραφικές πληροφορίες των δεδομένων του Γ.Σ.Π.,

2. η δημιουργία κατάλληλων ζωνών επιρροής (γνωστών και ως buffer zones). Βάσει αυτής της εφαρμογής, είναι δυνατό να δημιουργηθούν εκείνες οι ζώνες γύρω από αντικείμενα τα οποία μπορεί να είναι σημεία, τόξα ή πολύγωνα,
3. η εύρεση της περιοχής εξυπηρέτησης κάποιας λειτουργίας (γνωστής και ως service area), όπως για παράδειγμα η εύρεση της περιοχής κάλυψης ενός απορριματοφόρου οχήματος, και
4. η δημιουργία των χαρτών.

Πιο αναλυτικά σχετικά με τις παραπάνω λειτουργίες:

Δημιουργία Ερωτημάτων (Queries): Στα πλαίσια της δημιουργίας των ερωτημάτων, τίθενται αρχικά ορισμένα συγκεκριμένα κριτήρια για τις περιγραφικές πληροφορίες. Εν συνεχεία, το λογισμικό στο οποίο βασίζεται το Γ.Σ.Π. (στη συγκεκριμένη περίπτωση το ArcGIS) προβαίνει πλέον στην επιλογή των κατάλληλων εκείνων αντικειμένων που ικανοποιούν πλήρως τα κριτήρια αυτά. Η διαδικασία της επιλογής μπορεί να γίνει με δύο τρόπους στο λογισμικό Arcgis: α) Select by attribute table, όπου επιλέγονται αντικείμενα τα οποία περιέχουν περιγραφικές πληροφορίες π.χ. αριθμός θέσεων κάδων απορριμμάτων, β) Select by location, όπου επιλέγονται αντικείμενα που περιέχουν πληροφορίες σχετικές με την τοπολογία του χώρου.

Δημιουργία ζωνών επιρροής (Buffer zones): Η διαδικασία της δημιουργίας των ζωνών επιρροής απαντάται με τον αγγλικό όρο Buffer και αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στο σχεδιασμό των νέων πολυγώνων που βρίσκονται περιμετρικά των επιλεγμένων χαρτογραφικών οντοτήτων του θεωρούμενου χαρτογραφικού επιπέδου (Κουτσόπουλος, 1990). Καθορίζει ένα συγκεκριμένο όριο γύρω από ένα σημείο ή παράλληλα προς μια γραμμή, σε συγκεκριμένη απόσταση. Επί παραδείγματι, οι ζώνες επιρροής, οι ζώνες θορύβου, η γύρω περιοχή από μια συγκεκριμένη εστία εκπομπής ρύπων, κ.λπ. (Παππάς, 2011).

Εύρεση της περιοχής εξυπηρέτησης (Service Area): Μέσα από τη χρήση του Network Analyst, εντοπίζονται εκείνες οι περιοχές εξυπηρέτησης γύρω από κάποια επιθυμητή θέση, όπου και αν αυτή βρίσκεται, μέσα σε ένα δίκτυο. Μια περιοχή εξυπηρέτησης ενός δικτύου είναι δυνατόν να περιλαμβάνει όλους εκείνους τους δρόμους και τα σημεία που βρίσκονται εντός μιας ορισμένης εμβέλειας.

Παραγωγή θεματικών χαρτών: Οι θεματικοί χάρτες χρησιμεύουν στην πλήρη κατανόηση των αντικειμένων αλλά και των ποικίλων χωρικών φαινομένων και κατανομών. Η δημιουργία, ενός τέτοιου χάρτη επικεντρώνεται κυρίως στην ιδέα της απεικόνισης του χώρου. Σε ένα Γ.Σ.Π. ένας χάρτης δεν εμφανίζει την κλασική μορφή και τους παλιότερους ισχύοντες περιορισμούς που εμφανίζουν οι αναλογικοί χάρτες. Ένα Γ.Σ.Π., δίνει την ευελιξία, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα της επιλεκτικής επιλογής των γεωγραφικών ή και των θεματικών δεδομένων από διαφορετικούς ψηφιακούς χάρτες. Καθίσταται με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία της παραγωγής των θεματικών χαρτών ως μία δυναμική διαδικασία με ελάχιστους πλέον περιορισμούς. Οι θεματικοί χάρτες από την άλλη, συνδέονται άμεσα με την χαρτογραφική ανάδειξη των ειδικών θεμάτων και περιλαμβάνουν εκείνα τα ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, που έχουν χωρική υπόσταση.

Κατά τη δημιουργία κάποιου θεματικού χάρτη, η μορφή της απεικόνισης των αρχικών δεδομένων προστίθεται ως ένα ξεχωριστό επίπεδο πληροφορίας πάνω από το αρχικό χωρίς επηρεάζει αυτό, γεγονός το οποίο προσδίδει σε αυτό, τα ακόλουθα πλεονεκτήματα διαχείρισης:

- α) Την δυνατότητα της δημιουργίας περισσότερων του ενός θεματικών χαρτών για κάθε ένα διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας,
- β) την δυνατότητα διαχείρισης ενός θεματικού χάρτη κατά ανάλογο τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται τα υπόλοιπα επίπεδα πληροφορίας (π.χ. να είναι αυτό επιλέξιμο, είτε ορατό, κ.λπ.). Στην περίπτωση που θα δημιουργηθούν περισσότερα του ενός, θεματικά επίπεδα στον ίδιο χάρτη, θα πρέπει στην συνέχεια να τοποθετηθούν με έναν συγκεκριμένο τρόπο, ούτως ώστε να είναι δυνατή η παρουσίαση όλων των δεδομένων που απεικονίζουν (Βαϊόπουλος κ.ά., 2002).

2.4. Προβλήματα και παραδείγματα

Στην παράγραφο αυτή, θα γίνει αναφορά στις πιο σημαντικές κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης που μπορεί να συναντήσει κανείς στα δίκτυα μεταφορών και ευρύτερα στα δίκτυα. Οι κατηγορίες αυτές υποδεικνύουν την κατεύθυνση προς την οποία έχει στραφεί η έρευνα τα τελευταία χρόνια στον τομέα των δικτύων.

2.4.1. Προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων των συντομότερων μονοπατιών (multicriteria shortest- paths problems)

Στα περισσότερα προβλήματα δρομολόγησης στον τομέα των μεταφορικών δικτύων, οι σύνδεσμοι διακρίνονται από δύο ή και περισσότερα χαρακτηριστικά όπως μήκος, κόστος, χρόνος κ.λ.π. Σε κάποια από τα προβλήματα αυτά είναι δυνατόν και θέλουμε να ενοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά αυτά σε ένα και μοναδικό χαρακτηριστικό το οποίο αναφέρεται ως «γενικευμένο κόστος» και προκύπτει από συνδυασμό των παραπάνω επιμέρους χαρακτηριστικών. Στην περίπτωση αυτή αναζητούμε μονοπάτια με ελάχιστο «γενικευμένο κόστος». Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις, ο συγκερασμός των χαρακτηριστικών είτε δεν είναι εφικτός είτε δεν εξυπηρετεί οπότε και πρέπει να αντιμετωπίσουμε τα χαρακτηριστικά ως διακεκριμένα για να βρούμε βέλτιστες λύσεις.

Ας φανταστούμε για παράδειγμα ότι βρισκόμαστε σε ένα δίκτυο με πολλαπλά μέσα μαζικής μεταφοράς στο οποίο σύνολα ακμών που αντιπροσωπεύουν υπομονοπάτια του προς εύρεση μονοπατιού από την αφετηρία προς τον προορισμό συνοδεύονται από τα εξής μεγέθη : χρονικό κόστος και οικονομικό κόστος. Σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να αναζητούμε το μονοπάτι με το μικρότερο χρονικό κόστος, δηλαδή το συντομότερο «χρονικά» μονοπάτι του οποίου επιπλέον το οικονομικό κόστος να μην ξεπερνά κάποιο καθορισμένο ποσό.

Στο πρόβλημα αυτό είναι φανερό ότι δεν επιτρέπεται ο συγκερασμός των χαρακτηριστικών διότι ενώ θέλουμε μονοπάτι με το ελάχιστο χρονικό κόστος δεν μας ενδιαφέρει το οικονομικό κόστος να είναι ελάχιστο παρά μόνο μικρότερο από κάποια ορισμένη τιμή. Είναι φανερό ότι το χρονικό και το οικονομικό κόστος εδώ πρέπει να αντιμετωπιστούν ως δύο ξεχωριστά χαρακτηριστικά.

Τα προβλήματα αυτού του είδους είναι γνωστά ως multicriteria shortest-paths προβλήματα. Το απλούστερο από αυτά είναι το πρόβλημα των δύο κριτηρίων που διατυπώνεται ως εξής (Chris, I., & Gordon, R. 2001):
Δοθέντος ενός γραφήματος $G = (N, A)$ υποθέτουμε ότι δύο μέτρα c_{ij} και w_{ij} συνδέονται με κάθε ακμή $(i, j) \in A$, τα οποία ονομάζονται κόστος και βάρος της ακμής (i, j) αντίστοιχα. Έστω P το σύνολο ακμών σ' ένα μονοπάτι από μία δεδομένη αφετηρία προς

έναν δεδομένο προορισμό και έστω $C(P)$ και $W(P)$, δηλαδή το κόστος και το βάρος του P δύο συναρτήσεις του κόστους και του βάρους, αντιστοίχως, των ακμών του P :

$$C(P) = f(\{c_{ij} : (i,j) \in P\}), W(P) = g(\{w_{ij} : (i,j) \in P\}).$$

Έστω Π η οικογένεια όλων των εφικτών υποσυνόλων των ακμών, δηλαδή οι ακμές στα μονοπάτια από τη δεδομένη αφετηρία προς τον δεδομένο προορισμό. Το $P \in \Pi$ είναι ένα dominated path αν υπάρχει μονοπάτι $P' \in \Pi$ τέτοιο ώστε $C(P) \geq C(P')$, $W(P) \geq W(P')$ και τουλάχιστον μία αυστηρή ανισότητα ισχύει. Διαφορετικά, το P λέγεται ότι είναι non dominated ή efficient. Το πρόβλημα των δύο κριτηρίων είναι να βρεθεί η υπο-οικογένεια που αποτελείται από όλα τα efficient μονοπάτια από την δεδομένη αφετηρία προς τον δεδομένο προορισμό.

2.4.2. Δυναμικά προβλήματα ελάχιστης διαδρομής

Ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν σχεδόν πάντα σε προβλήματα δρομολόγησης σε μεταφορικά δίκτυα είναι ο χρόνος. Η κατηγορία προβλημάτων που λαμβάνουν υπ' όψιν τους τον χρόνο είναι γνωστή ως κατηγορία των dynamic shortest-path προβλημάτων.

Στα προβλήματα αυτά, το κυριότερο μέγεθος είναι ο χρόνος μεταφοράς ή καθυστέρηση $d_{ij}(t)$ το οποίο συνδέεται με την ακμή (i, j) με τον εξής τρόπο :

Αν t είναι ο χρόνος αναχώρησης από την κορυφή i , τότε $t + d_{ij}(t)$ είναι ο χρόνος άφιξης στην κορυφή j . Η καθυστέρηση λαμβάνεται υπ' όψιν ανεξάρτητα από τυχόν άλλα μέτρα που επιβαρύνουν την ακμή, π.χ. το κόστος c_{ij} και το βάρος w_{ij} για το πρόβλημα των δύο κριτηρίων. Ωστόσο, ο χρόνος μπορεί να υπεισέρχεται στα προβλήματα αυτού του είδους και με διαφορετικούς τρόπους : μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα αναμονής στις κορυφές. Στην περίπτωση αυτή, θεωρούμε το κόστος αναμονής $w_i(t)$, που αντιπροσωπεύει το κόστος αναμονής στην κορυφή i , τη χρονική στιγμή t .

Έχουν ορισθεί και αναλυθεί διάφορα μοντέλα για τα dynamic shortest path προβλήματα που ποικίλλουν ανάλογα με τις ιδιότητες των συναρτήσεων καθυστέρησης, τη δυνατότητα αναμονής στις κορυφές και την επιλογή του χρόνου αναχώρησης από την κορυφή-

αφετηρία. Έτσι, οι συναρτήσεις καθυστέρησης μπορούν να είναι διακριτές ή συνεχείς. Η αναμονή μπορεί να μην επιτρέπεται ή μπορεί να επιτρέπεται : σε οποιαδήποτε κορυφή ή μόνο στην κορυφή- αφετηρία.

Τέλος, υπάρχουν μοντέλα που απευθύνονται σε dynamic shortest path προβλήματα για καθορισμένο χρόνο αναχώρησης και μοντέλα για προβλήματα που εξετάζουν όλους τους δυνατούς χρόνους αναχώρησης. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι το πρωτύερο αγορασμένο εμπόρευμα, πουλιέται πρώτο. Έτσι η ποσότητα και η αξία των αποθεμάτων προέρχεται από τις τελευταίες αγορές, ενώ η ποσότητα και η αξία των πωληθέντων εμπορευμάτων προέρχεται από τα αρχικά αποθέματα και τις πρώτες αγορές μέχρι να συμπληρωθεί η ποσότητα των προϊόντων (Bang, J., & Gustin, G. 2008).

2.5. Θεωρητική προσέγγιση των δικτύων βέλτιστων διαδρομών

2.5.1. Αλγόριθμοι Συντομότερης διαδρομής σε οδικά δίκτυα

Οι μέθοδοι για την παραγωγή τυχαίων δικτύων, για την χρησιμοποίησή τους σε υπολογιστικές εκτιμήσεις, διαφέρουν σημαντικά η μία από την άλλη. Τα παραγόμενα τυχαία δίκτυα κυμαίνονται από ολοκληρωμένα δίκτυα με ομοιόμορφη κατανομή μήκους ακμών έως υψηλά δομημένα δίκτυα πλέγματος. Σε σύγκριση με τα πραγματικά οδικά δίκτυα, τα τυχαία δίκτυα συχνά διαφέρουν όσον αφορά το βαθμό συνεκτικότητας. Ο βαθμός συνεκτικότητας ορίζεται ως ο λόγος ακμών-κόμβων. Τα πραγματικά δίκτυα που μελετώνται έχουν λόγο ακμών-κόμβων που κυμαίνεται από 2,66 ως 3,28. Τα τυχαία παραγόμενα δίκτυα που περιγράφονται στη βιβλιογραφία διαφέρουν αρκετά με το λόγο ακμών-κόμβων να αναφέρεται έως 10.

Ένα άλλο γνώρισμα στο οποίο τα τυχαία δίκτυα μπορεί να διαφέρουν από τα πραγματικά, προέρχεται από το γεγονός ότι τα μήκη των ακμών των τυχαίων δικτύων συνήθως σχεδιάζονται τυχαία με έναν ανεξάρτητο τρόπο. Αυτό μπορεί να καταλήξει σε ασυμμετρίες όπου ένας κόμβος μπορεί να είναι ‘κοντά’ σε δύο γειτονικούς κόμβους που είναι ‘μακρινοί’. Τέτοιες ασυμμετρίες μπορεί να επηρεάσουν θετικά ορισμένους αλγόριθμους και να μειώσουν δραστικά την απόδοση άλλων.

Η τοπολογία των πραγματικών δικτύων συχνά περιλαμβάνει περιοχές πυκνών αστικών δικτύων που περιβάλλονται από προαστιακές περιοχές, οι οποίες κατόπιν περιβάλλονται

από ένα αγροτικό δίκτυο δρόμων. Συγκεκριμένες μέθοδοι για την παραγωγή τυχαίων δικτύων μπορεί να αναπαράγει μια περιοχή αρκετά καλά, αλλά τα πραγματικά δίκτυα περιέχουν διαφορετικούς τύπους τοπολογιών δικτύου, το οποίο είναι σχεδόν αδύνατο να προσομοιωθεί.

Οι αλγόριθμοι συντομότερου μονοπατιού είναι πολύ σημαντικοί σε προβλήματα ανάλυσης δικτύου και μεταφορών. Από πειράματα εφαρμογής τέτοιων αλγόριθμων σε πραγματικά οδικά δίκτυα προκύπτει ένα γενικό συμπέρασμα: η απόδοσή τους μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από το μήκος των ακμών. Στην περίπτωση του προβλήματος συντομότερου μονοπατιού απλής πηγής, αποδίδουν καλύτερα οι αλγόριθμοι PAPE και TWO-Q (Pallottino). Και οι δύο υλοποιήσεις είναι εξαιρετικά γρήγορες για μεγάλα και μικρά δίκτυα και ο χρόνος τρεξίματος ανά δένδρο συντομότερου μονοπατιού μεταβάλλεται ελάχιστα συναρτήσει του αρχικού κόμβου. Επιπλέον, η απόδοσή τους δεν εξαρτάται από το μήκος των ακμών. Εάν χρειάζεται να υπολογιστεί το συντομότερο μονοπάτι απλού ζεύγους, ή από μια αρχική πηγή σε ένα υποσύνολο ακμών, τότε συνίσταται μία από τις υλοποιήσεις του Dijkstra⁶. Ο αλγόριθμος του Dijkstra έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να τερματίσει μόλις ο τελικός κόμβος (κόμβοι) αποκτήσει μόνιμη ετικέτα. Αυτό εξοικονομεί σημαντικό υπολογιστικό κόστος, όταν οι τελικοί κόμβοι είναι σχετικά κοντά στον αρχικό. Ανάλογα με το μέγιστο μήκος των ακμών του δικτύου επιλέγεται η κατάλληλη υλοποίηση του Dijkstra. Για σχετικά φυσιολογικές τιμές μήκους ακμών, προτιμάται η υλοποίηση του Dijkstra με προσεγγιστικά buckets (DIKBA), ενώ για μεγαλύτερες τιμές η υλοποίηση του Dijkstra με διπλά buckets (DIKBD). Ο αλγόριθμος Bellman-Ford-Moore δεν έχει καλή απόδοση σε μεγάλα δίκτυα, όπως επίσης και η απλή υλοποίηση του αλγόριθμου Dijkstra όσο αυξάνει το μέγεθος του δικτύου.

2.5.2. Κόστος στα χωρικά δίκτυα

Εκτός από την έρευνα πάνω στις βελτιώσεις των αλγορίθμων συντομότερου μονοπατιού, πρέπει να δοθεί και ιδιαίτερη έμφαση στον σχεδιασμό και αξιολόγηση των μεθόδων αποθήκευσης και πρόσβασης των χωρικών δεδομένων. Τα χωρικά δεδομένα έχουν την

⁶ Ο αλγόριθμος του Dijkstra θεωρείται ο καλύτερος αλγόριθμος για τον υπολογισμό του συντομότερου μονοπατιού απλής πηγής. Οι μελέτες που αφορούν σε πραγματικά μεταφορικά δίκτυα καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος του Dijkstra και οι βασισμένοι σ' αυτόν αλγόριθμοι, όσο κι αν διαφέρουν ως προς τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιούν, ξεπερνούν τους περισσότερους αλγόριθμους συντομότερων μονοπατιών.

ιδιαιτερότητα ότι οι σχέσεις συνεκτικότητας είναι πιο σημαντικές από τις σχέσεις εγγύτητας.

Το κόστος των λειτουργιών των δικτύων έχει σχέση με τον αριθμό των unsplit ακμών. Μια ακμή ονομάζεται unsplit, εάν οι κόμβοι που την ορίζουν βρίσκονται στην ίδια σελίδα δίσκου, διαφορετικά ονομάζεται split. Το κόστος I/O των λειτουργιών δικτύων μπορεί να μειωθεί, αν ομαδοποιηθούν οι κόμβοι που ελαχιστοποιούν τον αριθμό των unsplit ακμών. Ορίζεται ο Λόγος Εναπομένουσας Συνεκτικότητας (Connectivity Residue Ratio - CRR) :

$$CRR = \frac{\text{Συνολικός αριθμός μη χωρισμένων ακμών}}{\text{Συνολικός αριθμός ακμών}}$$

Αποδεικνύεται ότι μεγιστοποιώντας το CRR, ελαχιστοποιείται το μέσο κόστος των λειτουργιών δικτύων όπως του get-a-Successors(), και συνήθως μειώνεται και το κόστος του get-successors(). Μεγιστοποιώντας το λόγο CRR ουσιαστικά μεγιστοποιείται η πιθανότητα ένα ζεύγος συνεχόμενων κόμβων, που είναι πιο πιθανό να προσπελούνται μαζί, να βρίσκονται στην ίδια σελίδα δίσκου.

Το πρόβλημα της διαμέρισης γράφου (graph-partitioning) είναι η κατανομή των κόμβων ενός γράφου με βάρη σε υποσύνολα συγκεκριμένου μεγέθους, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα του κόστους όλων των cut edges. Μια cut edge είναι μια ακμή της οποίας οι δύο κόμβοι ανήκουν σε διαφορετικές κατανομές. Το μέγεθος των υποσυνόλων περιορίζεται από το μέγεθος της σελίδας δίσκου. Έτσι, ένας τρόπος για να μεγιστοποιηθεί το CRR είναι η κατανομή του γράφου χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο διαμέρισης γράφου.

Η μέθοδος CCAM⁷ ομαδοποιεί τους κόμβους ενός δικτύου μέσω της κατανομής γράφου. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα βοηθητικό δευτερεύον ευρετήριο για να υποστηρίξει τις λειτουργίες Find(), get-a-Successors() και get-successors(). Η επιλογή του δευτερεύοντος ευρετηρίου μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής.

Για κάθε κόμβο, μια εγγραφή αποθηκεύει τα δεδομένα του κόμβου, τις συντεταγμένες, και τις successor και predecessor list. Η successor list (predecessor list) περιέχει το πλήθος των εξερχόμενων (εισερχόμενων) ακμών, οι οποίες αναπαρίστανται από το id του τελικού τους (αρχικού) κόμβου και το κόστος της ακμής. Η successor list είναι η λίστα γειτνίασης. Η predecessor list χρησιμοποιείται για την ενημέρωση της successor list κατά τη διάρκεια

⁷ Connectivity Clustered Access Method

των λειτουργιών Insert() και Delete(). Παρατηρείται ότι οι εγγραφές δεν έχουν σταθερή μορφή γιατί το μέγεθος των successor και predecessor list διαφέρει ανάλογα τον κόμβο.

Η μέθοδος CCAM τοποθετεί τους κόμβους στις σελίδες δεδομένων με βάση μια μέθοδο διαμέρισης γράφου, η οποία προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει το CRR. Κάθε σελίδα δεδομένων διατηρείται τουλάχιστον μισογεμάτη όποτε είναι δυνατόν. Οι εγγραφές των δεδομένων δεν είναι φυσικά διατεταγμένες με βάση το id των κόμβων. Το πρωτεύον ευρετήριο δε μπορεί να δημιουργηθεί χωρίς να μετονομαστούν οι κόμβοι για να κωδικοποιηθούν οι πληροφορίες που αφορούν τη σελίδα δίσκου του id του κόμβου, και αυτό απαιτεί επιπρόσθετη επιβάρυνση κατά την εκτέλεση των λειτουργιών. Πρέπει, επομένως, να δημιουργηθεί ένα δευτερεύον ευρετήριο στο πάνω επίπεδο του αρχείου δεδομένων. Αν το δίκτυο είναι ενσωματωμένο σε ένα γεωγραφικό χώρο, τότε σε κάθε εγγραφή πρέπει να αποθηκεύονται οι συντεταγμένες (x,y). Επομένως, ένα χωρικό ευρετήριο πάνω στις συντεταγμένες (x,y), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερεύον ευρετήριο, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει ερωτήματα σημείου και περιοχής.

2.6. Δίκτυα και GIS (Network Analysis)

Η σχέση των δικτύων και των Γ.Σ.Π. είναι άρρηκτα συνδεδεμένη μεταξύ τους. Τόσο τα εμπορικά λογισμικά όσο και τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα, προσάρμοσαν ειδικές εφαρμογές (extensions) ώστε να αντιμετωπίζονται και να αναλύονται προβλήματα που απασχολούν τα δίκτυα.

Κεφάλαιο 3

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της κατανομής των κάδων στον χώρο (ΟΤΑ), πως γίνεται η δρομολόγηση των απορριμματοφόρων και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι δρομολογήσεις αυτών. Γνωρίζοντας όλα τα παραπάνω, γίνεται καλύτερα αντιληπτός ο ρόλος που διαδραματίζουν τα δεδομένα και τα προβλήματα που παρουσιάζονται, ώστε να επιλυθούν με την κατάλληλη μεθοδολογία.

3.1. Κατανομή των κάδων απορριμμάτων

Η χωροθέτηση των κάδων αποκομιδής επηρεάζεται από τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής, όπως είναι ο τύπος και η χρήση της οικίας, των πεζοδρομίων και των δρόμων, το πόσο πυκνοκατοικημένη είναι η περιοχή, οι διαθέσιμες επιφάνειες και το πρόβλημα των οχλήσεων. Επίσης, για την τελική τοποθέτηση των κάδων αποκομιδής απαιτείται προσαρμογή στις εκάστοτε χωροταξικές συνθήκες μιας περιοχής για το λόγο ότι η εφαρμογή χωροθέτησης κάδων δεν είναι ίδια σε όλες τις περιοχές (για παράδειγμα η χωροθέτηση κάδων σε μια αγροτική περιοχή είναι πολύ διαφορετική με αυτή στο κέντρο μια πόλης). Στο βαθμό που είναι εφικτό, οι κάδοι των υλικών συσκευασίας όπως και των υπόλοιπων αστικών στερεών αποβλήτων πρέπει να τοποθετούνται κοντά στο σημείο παραγωγής τους και σε απόσταση ελεγχόμενη από τον παραγωγό τους (π.χ. νοικοκυριά, γραφεία κ.λπ.).

Ο σχεδιασμός χωροθέτησης των κάδων συλλογής και η ορθή τοποθέτηση τους (δημιουργία εσοχών στα πεζοδρόμια ή προμήθεια προστατευτικών μπαρών κ.λπ.) αποτελεί βραχυπρόθεσμα, την ευκολία συλλογής των απορριμμάτων, τον περιορισμό αποθήκευσης τους, την διευκόλυνση της πρόσβασης των οχημάτων και την αποδοχή από τους κατοίκους (από την άποψη του θορύβου, της δυνατότητας βανδαλισμού κ.λπ.) και μακροπρόθεσμα σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων. Η λήψη απόφασης της τοποθέτησης των κάδων, επηρεάζεται από τον πληθυσμό της περιοχής, από τις χρήσεις γης, από τον ρυθμό παραγωγής των απορριμμάτων και από την χωρητικότητα των κάδων.

Με τη χρήση Γ.Σ.Π. αυτοματοποιείται σε σημαντικό βαθμό η διαδικασία της χωροθέτησης κάδων απορριμμάτων με αποτέλεσμα η λειτουργία του συστήματος αποκομιδής απορριμμάτων να γίνεται ταχύτερη και επικερδής. Επομένως η εξυπηρέτηση των δημοτών είναι καθοριστική, εκεί που τα προβλήματα χωροθέτησης των κάδων απορριμμάτων

αποτελούν συνεχή αίτια προστριβών τόσο μεταξύ δημοτών όσο και μεταξύ των δημοτών και της υπηρεσίας καθαριότητας.

Χρήσιμη κρίνεται η εκπόνηση ειδικής μελέτης, από την τεχνική υπηρεσία του Δήμου, για την αυτοματοποιημένη χωροθέτηση ειδικών κάδων συλλογής μέσω των Γ.Σ.Π. έτσι ώστε να καλύπτονται με ακρίβεια οι ανάγκες του κοινού που συμμετέχουν στο πρόγραμμα της ανακύκλωσης. Επακόλουθο της ειδικής μελέτης, είναι να μην τοποθετούνται οι ειδικοί κάδοι μόνο παραπλεύρως των κάδων αποκομιδής των υπολοίπων στερεών αποβλήτων αλλά και εκεί όπου κρίνεται απαραίτητο, έτσι ώστε να ενθαρρύνεται περισσότερο η συμμετοχή του κοινού στον οργανωμένο διαχωρισμό των στερεών αποβλήτων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα της σωστής διαχείρισης των αποβλήτων, γίνεται κατανοητό πως με τη χρήση των Γ.Σ.Π. η διαχείριση αποβλήτων καθίσταται οικονομικότερη και αποδοτικότερη.

Η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης εκτιμά ότι 310 πολίτες εξυπηρετούνται από 1 κάδο απορριμμάτων ενώ άλλοι μελετητές αναφέρουν πως 1 κάδος εξυπηρετεί 250 πολίτες. Ο αριθμός αυτός αναφέρεται σε δύο δρομολόγια την ημέρα, συνεπώς πρέπει να διαιρεθεί δια του 2 για να προκύψει ο αριθμός ανά δρομολόγιο.

Ωστόσο, ο υπολογισμός του αριθμού των κάδων σε κάθε τομέα ενός Δήμου, μπορεί να εκτιμηθεί με τον δείκτη του Χωροθετικού Πηλίκου (Χ.Π.) ο οποίος μας πληροφορεί κατά πόσο ένας τομέας είναι αντιπροσωπευτικός του συνόλου. Το Χωροθετικό Πηλίκο προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{Χωροθετικό Πηλίκο (Χ.Π.)} = \frac{\text{Κάδοι τομέα} / \text{Πληθυσμός τομέα}}{\text{Κάδοι Δήμου} / \text{Πληθυσμός Δήμου}}$$

Πιο αναλυτικά, το πρώτο μέρος της παραπάνω σχέσης, (Κάδοι τομέα / Πληθυσμός τομέα) αποτελεί το μέσο όρο των κάδων που αντιστοιχούν σε κάθε κάτοικο. Ομοίως, το δεύτερο κλάσμα της σχέσης (Κάδοι Δήμου / Πληθυσμός Δήμου) αποτελεί το μέσο όρο των κάδων που αντιστοιχούν σε κάθε κάτοικο σε ολόκληρο τον Δήμο. Όταν οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται πάνω από τη μονάδα, αντιπροσωπεύουν υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ όταν είναι μικρότερες εκφράζουν χαμηλές συγκεντρώσεις. Στην περίπτωση που ισούται με τη

μονάδα τότε υπάρχουν ίσες κατανομές καθώς οι συγκεντρώσεις της περιοχής ταυτίζονται με αυτήν της ευρύτερης περιοχής (Φώτης, 2004).

3.1.1. Στόχοι της χωροθέτησης των κάδων

Οι βασικοί στόχοι της ορθής χωροθέτησης των κάδων είναι:

- Η εξασφάλιση όσο το δυνατόν μικρών αποστάσεων μεταξύ των κάδων και των χώρων παραγωγής των απορριμμάτων, έτσι ώστε να μην υπάρχει πολίτης που να απέχει περισσότερο από 50 μέτρα από τον κοντινότερο κάδο.
- Η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας μη επάρκειας της διαθέσιμης χωρητικότητας (έως 80% πληρότητα) των κάδων στους οποίους έχει άμεση πρόσβαση ο δημότης (αποφυγή φαινομένων υπερχειλίσσης των κάδων, οσμές, ανάπτυξη μικροβίων, εστία τρωκτικών, κακή αισθητική κ.λπ.) έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του.
- Η ελαχιστοποίηση της προκαλούμενης όχλησης (ηχορύπανση κατά την εκκένωση, κατάληψη θέσεων στάθμευσης, δημιουργία κυκλοφοριακή συμφόρηση κ.λπ.)
- Η προώθηση της ανακύκλωσης συσκευασιών μέσω της τοποθέτησης κάδων ανακύκλωσης σε διάφορα σημεία του οικιστικού ιστού του Δήμου χωρίς να επιβαρύνεται ο αστικός σχεδιασμός της πόλης.
- Η ιδιαίτερη αντιμετώπιση και εξυπηρέτηση σημείων ειδικού ενδιαφέροντος (όπως σχολεία, πλατείες, δημόσιες υπηρεσίες κ.α.) και εμπορικών δρόμων και περιοχών με την τοποθέτηση ειδικών κάδων (εξυπηρέτηση πολιτών).

Η τελική επιλογή της θέσης των κάδων απορριμμάτων ενός δήμου, γίνεται με βάση το Σχέδιο Κανονισμού Καθαριότητας της Δημοτικής Αρχής και σύμφωνα με αυτήν την επιλογή πρέπει να αποφεύγεται η μετακίνησή των κάδων σε άλλες θέσεις, χωρίς την σύμφωνη γνώμη της Υπηρεσίας Καθαριότητας. Το άρθρο 6 του Κανονισμού προβλέπει:

- Κάθε οικοδομή πρέπει να διαθέτει χώρο για την τοποθέτηση κάδου μηχανικής αποκομιδής σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο, ώστε να είναι εφικτή και εύκολη η μεταφορά του από και προς το απορριμματοφόρο όχημα.
- Αν ο κάδος πρόκειται να εξυπηρετήσει δύο κτίρια, τότε τοποθετείται ακριβώς στη μεσοτοιχία των δύο κτιρίων. Όταν όμως υπάρχουν είσοδοι ή βιτρίνες καταστημάτων και υπάρχει μικρό πεζοδρόμιο, τότε η τοποθέτηση γίνεται στην είσοδο της οικοδομής με τα περισσότερα διαμερίσματα.

- Αν ο κάδος πρόκειται να εξυπηρετήσει περισσότερα των δύο κτιρίων, τότε τοποθετείται μπροστά στην είσοδο του κτιρίου με το μεγαλύτερο αριθμό κατοικιών.
- Σε κάθε περίπτωση, λαμβάνεται υπόψη και το είδος των καταστημάτων της περιοχής, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος (τρόφιμα, εστιατόρια, κρεοπωλεία, κλπ.) που παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Στην περίπτωση αυτή ο κάδος τοποθετείται στην είσοδο της οικοδομής κοντά στα καταστήματα αυτά (π.χ. στα super markets, ο κάδος τοποθετείται στην πρόσοψη του καταστήματος σε συνεννόηση με τη διεύθυνση).

Όταν ένας πεζόδρομος απαιτεί μέχρι 4 κάδους, αυτοί τοποθετούνται στην αρχή και το τέλος του πεζόδρομου. Αν ο απαιτούμενος αριθμός των κάδων είναι μεγαλύτερος από 4, τότε οι κάδοι τοποθετούνται μπροστά στην είσοδο των πολυκατοικιών του πεζόδρομου.

Σε περίπτωση διαφωνίας ως προς τη θέση τοποθέτησης του κάδου σε μία οδό προτείνεται η εναλλαξ τοποθέτησή του ανά μήνα σε θέσεις που ορίζει η Υπηρεσία Καθαριότητας του Δήμου. Επίσης σε περίπτωση αμφισβήτησης, η θέση του κάδου μπορεί να αλλάξει με τη σύμφωνη γνώμη όλων των ενδιαφερομένων εφόσον δεν ενοχλεί και δε διαταράσσει τη σωστή λειτουργία της μηχανικής αποκομιδής (συχνές στάσεις απορριμματοφόρων, κυκλοφοριακά προβλήματα).

Η Δημοτική Αρχή μπορεί να αλλοιώσει την απόσταση μεταξύ των κάδων ή να διορθώσει τη θέση τους για λόγους ασφαλείας ή λειτουργικότητας. Επιπροσθέτως, το Σχέδιο Κανονισμού Καθαριότητας απαγορεύει την τοποθέτηση κάδων αποκομιδής στα παρακάτω σημεία:

- Σε γωνίες δρόμων και κοντά σε διασταυρώσεις γιατί εμποδίζεται το οπτικό πεδίο των διερχόμενων οδηγών.
- Σε αδιέξοδο και πεζοδρόμια με πλάτος μικρότερο του ενός μέτρου γιατί δεν είναι εφικτή η πρόσβαση του απορριμματοφόρου.
- Σε σηματοδότες, στάσεις λεωφορείων και διαβάσεις πεζών γιατί δεν είναι εφικτή η στάση των απορριμματοφόρων για την αποκομιδή των απορριμμάτων.
- Σε ράμπες ατόμων με ειδικές ανάγκες και ράμπες ασθενοφόρων γιατί δυσκολεύεται η διέλευση τους.
- Σε πυροσβεστικούς κρουνούς, εισόδους παιδικών σταθμών και σχολείων και άλλους χώρους όπου ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα ασφαλείας.

3.1.2. Ποσοτική και ποιοτική ανάλυση απορριμμάτων

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκριτικός πίνακας⁸ διαφόρων περιοχών της Ελλάδας

Περιοχή	Αττική					Θεσσαλο- νίκη	Πάτρα	Δήμος Ηρακλείου	Δήμος Ρόδου	Δήμος Κω	Κοινοτή- τες Κω	Δήμος Χανίων	Βόρειος άξονας Νομού Χανίων	Δήμος Νάξου	Κομο- τινή	Ξάνθη	Δήμος Καλαμάτας
Περίοδος	1969	1970	1971	1972	6/83-6/84	4/86-3/87	1990	1987	9/87-8/88	1989	1990	1990	1991	1994	92-93	92-93	1992
Πληθυσμός	3,5 εκατ.					1 εκατ.		115.000	45.000	15.000	12.000		50.000				60.000
Ζυμώσιμα (%κ.β.)	55,3	57,2	57,5	60,9	59,8	51,7		52,5	41,6	37,3	39,8	55,2	54,8	48,3	67,1	61,2	47
Χαρτί (% κ.β.)	24,4	23,2	23,3	22,0	19,5	17,7	21,9	17,2	13,6	25,0	23,5	19,1	18,1	21,6	9,1	15,1	25,0
Χαρτί εκτύπωσης										4,8	4,9	5,7	5,3	4,5			3,1
Χαρτόνι										2,9	2,0	2,5	3,1	3,7			8,7
Ασ. Συσκευασία										2,6	2,9	1,5	1,9	2,1			1,7
Άλλα χαρτιά										14,7	13,7	9,4	7,8	11,3			11,5
Μεταλλικά (% κ.β.)	4,6	4,4	4,2	3,9	3,8	5,9		2,8	10,5	5,4	5,3	3,7	3,9	3,4	2,8	3,2	3,5
Σιδηρούχα										3,2	3,1	2,8	2,7	2,1			2,8
Αλουμίνιο							0,5			2	2	0,9	1,1	1,1			0,6
Μπαταρίες										0,2	0,1		0,1	0,1			0,1
Γυαλί (% κ.β.)	3,8	3,8	2,6	2,2	2,6	4,1	1,3	1,4	12,6	12,3	9,6	4	3,5	5,8	1,7	2,1	2,6
Πλαστικά (%κ.β.)	7,4	8,0	10,0	9,3	7	7,2		14,3	11,7	10,9	11,4	8,3	8,8	9,4	6,1	7,1	7,4
PE-φύλλο										4,8	4,9	5,6	5,5	4,4			5,1
PVC										1,4	2	0,1	0,2	0,6			0,1
PET										1,2	1,2	0,2	0,4	1,5			0,3
Λοιπά										3,5	3,3	2,4	2,7	2,9			1,9
Λοιπά (% κ.β.)					8,2	13,4	11,7		10,0	9,3	9,8	9,7	9,3	9,8	12,9	11,3	14,4
Λοιπά άκαυστα					4,7	4	11,7		5,8	4,7	4,9	5,9	5,2	7,0			8
Αδρανή					0,7	4			2,6	3,2	2,6	1,9	2,1	3,2			5
Λοιπά					4	0			3,2	1,5	2,3	4	3,1	3,8			3
Λοιπά καύσιμα	4,5	3,4	2,4	1,7	3,5	9,4			4,2	4,6	4,9	3,8	4,1	2,8			6,4
Υφασμα										1,9	2,1	1,7	1,6	1,8			2,1
Δέρμα, λάστιχο										0,7	0,8	0,4	0,6	0,8			0,6
Ξύλο										2	2	1,7	1,9	2			3,7
Ειδ. βάρος (kg/m ³)					167,2				119,8	113	113,1	137,9	108,7	121,9			80,7
Δηλωσθέντα (kJ/kg)	6.884	6.132	6.324	6.675	7.315	4.381			4.844	7.289	7.089	7.071		7.678			7.327
Καύσιμα (% κ.β.)					28,7				34,5	45,3		45,9					48,1
Υγρασία (% κ.β.)					37,5				30,2	31,4		40,8					37,5
Τέφρα (% κ.β.)					33,8				35,3	23,3		13,3					14,4
>120 mm (% κ.β.)					31,2				38,3								
40-120 mm (%κ.β.)					34,1				45,7								
<40 mm (% κ.β.)					34,7				16,0								
Λόγος C/N (-)						22,5			18,5								

3.2. Δρομολόγηση απορριμματοφόρων οχημάτων

Η έννοια της δρομολόγησης, αφορά στη διαδικασία κατά την οποία αντικείμενα δρομολογούνται από ένα σημείο αφετηρία σε ένα σημείο προορισμό και υλοποιείται σε δίκτυα διαφόρων ειδών (τηλεφωνικό δίκτυο, διαδίκτυο, δίκτυο επικοινωνιών, δίκτυο μεταφορών, κ.λπ.). Οι βασικές διεργασίες της δρομολόγησης είναι ο προσδιορισμός ευνοϊκών μονοπατιών και η μεταφορά πακέτων πληροφορίας ή δεδομένων διαμέσου ενός δικτύου.

⁸ Πηγή: ΠΕΡΠΑ, 1980, Σκορδύλης, 1986, Παπαχρήστου κ.ά., 1987, Παπαχρήστου κ.ά., 1989, Λέκκας κ.ά., 1991,

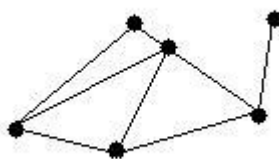
Χαλβαδάκης, 1994, Λώλος, 1993, Λώλος κ.ά., 1995 και Γιαννακοπούλου, 1993

Στην περίπτωση της μελέτης μας η δρομολόγηση στόλου οχημάτων αποτελεί εφαρμογή του γενικότερου προβλήματος διανομής και συλλογής αγαθών από ένα σύνολο οχημάτων εξυπηρέτησης πελατών. Τα οχήματα ξεκινούν από ένα ή και περισσότερους κεντρικούς σταθμούς και τους αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο πλήρωμα και μπορούν να εξυπηρετήσουν ανάλογα με την χωρητικότητα τους συγκεκριμένο αριθμό πελατών. Η διακίνηση γίνεται μέσω ενός πραγματικού οδικού δικτύου, στο οποίο η κυκλοφοριακή κίνηση και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τις αποφάσεις που σχετίζονται με τον αποδοτικότερο σχεδιασμό της δρομολόγησης.

Η δρομολόγηση και ο προγραμματισμός ενός στόλου οχημάτων είναι μια απαραίτητη και χρονοβόρα διαδικασία. Με την ανάπτυξη των GIS επιτρέπεται η εύκολη μετακίνηση του στόλου οχημάτων προσεγγίζοντας την δρομολόγηση τους σε πραγματικό χρόνο και προτείνοντας βελτιστοποιημένες διαδρομές οχημάτων. Επίσης με την τεχνολογία των GIS επιλύονται πολύπλοκα προβλήματα δρομολόγησης και συνδυαστικής βελτιστοποίησης, ενώ έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν και να διαχειρίζονται στόλους από οχήματα ελαχιστοποιώντας το κόστος, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο εξυπηρέτησης και την ποιότητα υπηρεσίας.

Η γραφική αναπαράσταση ενός δικτύου και των μονοπατιών δρομολογίων γίνεται με τη βοήθεια γράφων όπου οι κόμβοι αναπαριστούν τους σταθμούς του δικτύου και οι ακμές τη ροή του δρομολογίου.

Η θεωρία των γράφων προέρχεται από τα μαθηματικά και έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην επίλυση πολλών γεωγραφικών προβλημάτων, όπως αυτό της εύρεσης βέλτιστων διαδρομών κ.α.. Ένας γράφος $\Gamma (K,A)$ αποτελείται από ένα σύνολο κορυφών ή κόμβων K και ένα σύνολο τόξων ή ακμών A . Κάθε ακμή ορίζεται από δυο κόμβους, που κείνται στα άκρα της ακμής. Το σύνολο των κόμβων ενός γράφου είναι πεπερασμένο και μη-κενό. Το σύνολο των ακμών μπορεί να είναι κενό όπως συμβαίνει στις σημειακές βάσεις δεδομένων (Στεφανάκης, 2010).



Σχήμα 2: Γράφος με 6 κόμβους και 8 ακμές

Κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε μια διασταύρωση του δικτύου και κάθε ακμή σε ένα άξονα του οδικού δικτύου (δρόμος) που δεν περιλαμβάνει διασταυρώσεις. Κάθε ακμή ξεκινά και καταλήγει σε ένα κόμβο του γράφου (Στεφανάκης, 2010).

Όταν οι ακμές και οι κόμβοι του γράφου έχουν βάρη μετακίνησης, τότε τα βάρη μπορεί να αναπαριστούν το κόστος μιας διαδρομής. Το κόστος μπορεί να είναι, η χιλιομετρική απόσταση, οι χρονικές καθυστερήσεις, η κυκλοφοριακή συμφόρηση ακόμα και άλλες παραμέτρους όπως την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές των ρύπων (Στεφανάκης, 2010). Για παράδειγμα, το βάρος των ακμών του γράφου μπορεί να αναπαριστά την κίνηση στο οδικό δίκτυο και το βάρος των κόμβων την χρονική καθυστέρηση από ένα φωτεινό σηματοδότη.

3.3. Το πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων

Τα δύο θεμελιώδη προβλήματα της μορφής δικτύου τα οποία έχουν μελετηθεί αρκετά τις τελευταίες δεκαετίες, είναι το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (*Traveling Salesman Problem*) και το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων (*Vehicle Routing Problem*).

Το γνωστότερο και πιο απλό πρόβλημα στα δίκτυα είναι του πλανόδιου πωλητή. Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (*Traveling Salesman Problem – TSP*) αφορά στην εύρεση της διαδρομής που πρέπει να ακολουθήσει ένας πωλητής, που κάνει διανομή προϊόντων σε ένα δίκτυο πόλεων, έτσι ώστε να επισκέπτεται όλες τις πόλεις μια μόνο φορά και να πραγματοποιεί τη διανομή με ελάχιστο κόστος. Οι πόλεις και το οδικό δίκτυο που τις συνδέει αναπαρίστανται με ένα γράφο και κατάλληλα σχεδιασμένοι αλγόριθμοι υποστηρίζουν την επίλυση του προβλήματος. Για την επίλυση του προβλήματος, θα πρέπει να υπολογιστεί το κόστος όλων των πιθανών διαδρομών (Στεφανάκης, 2010).

Το πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως μια πιο γενική, αλλά ακόμα πιο δύσκολη ως προς την επίλυση, μορφή του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή γιατί η αφορά στόλο οχημάτων όπου και υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί (σχετικοί με τα οχήματα και με την εξυπηρέτηση των κόμβων).

Επομένως, προκύπτει πως το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP) αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης η πολυπλοκότητα του οποίου οφείλεται στην ύπαρξη μεγάλου πλήθους παραμέτρων. Σχετίζεται με την εύρεση αποδοτικότερων διαδρομών για τη διανομή και συλλογή αγαθών σε καθορισμένα σημεία του οδικού δικτύου μιας περιοχής με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους.

3.3.1. Ελαχιστοποίηση κόστους δρομολόγησης

Για την επίτευξη της ελαχιστοποίησης του κόστους που προκύπτει από τη δρομολόγηση ενός στόλου απορριμματοφόρων οχημάτων και του προγραμματισμού της εργασίας των πληρωμάτων του, κρίνονται απαραίτητα τα παρακάτω:

- Προσδιορισμός του αριθμού εμπλεκόμενων απορριμματοφόρων οχημάτων και καταγραφή των αντίστοιχων ποσοτήτων.
- Βέλτιστη οργάνωση εργασίας των πληρωμάτων του στόλου οχημάτων.
- Προσδιορισμός των καλύτερων διαδρομών των οχημάτων μέσα από το συγκεκριμένο οδικό δίκτυο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου προβλήματος σε ένα οδικό δίκτυο είναι η μετακίνηση ενός στόλου απορριμματοφόρων οχημάτων, από τον καθορισμένο αρχικό κόμβο, σε έναν άλλον κόμβο, επιλέγοντας τη διαδρομή με το ελάχιστο αθροιστικό κόστος επί των ακμών του γράφου, που οδηγούν διαδοχικά από τον αρχικό κόμβο στον κόμβο προορισμού.

Κατά τους *Bodin* και *Golgen*, τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία ξεχωρίζουν και επηρεάζουν το βαθμό δυσκολίας του προβλήματος δρομολόγησης ενός στόλου οχημάτων είναι: η θέση των σημείων (stops) από τα οποία θα περάσει η διαδρομή, για παράδειγμα, οι κάδοι απορριμμάτων για ένα απορριμματοφόρο όχημα. Επίσης, οι ιδιότητες των οχημάτων (μεταφορική ικανότητα - χωρητικότητα) και το κόστος λειτουργίας τους και οι παράγοντες που καθορίζουν αν η διαδρομή είναι η βέλτιστη ή όχι.

3.3.2. Παραλλαγές του προβλήματος δρομολόγησης

Παρά την πληθώρα παραλλαγών στα προβλήματα της δρομολόγησης οχημάτων, οι παραλλαγές μπορούν να ταξινομηθούν σε μερικούς βασικούς τύπους σύμφωνα με χρονικά

περιθώρια, ομογενή ή ετερογενή στόλο, με ταυτόχρονη παράδοση και παραλαβή προϊόντων, σε διάφορους συνδυασμούς μεταξύ τους. Οι κυριότερες παραλλαγές κατά τους Toth και Vigo (2002) είναι οι εξής:

- Το πρόβλημα της δρομολόγησης με περιορισμό στην χωρητικότητα των οχημάτων, γνωστό και ως *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)
- Το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό στην απόσταση που μπορούν να διανύσουν τα οχήματα, γνωστό και ως *Distance Constrained Vehicle Routing Problem* (DCVRP)
- Το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό στο χρονικό πλαίσιο επίσκεψης των πελατών – χρονικά παράθυρα, γνωστό και ως *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW)
- Το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων με παραλαβές, γνωστό και ως *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (VRPB)
- Το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων με παραλαβή και διανομή προϊόντων, γνωστό και ως *The Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery* (VRPPD)

3.4. Βελτιστοποίηση διαδρομών οχημάτων, σχεδιασμός και επίλυση προβλήματος

Η βελτιστοποίηση των διαδρομών είναι μια διαδικασία όπου ο διαχειριστής μπορεί να ορίζει κάθε φορά διαφορετικές προτεραιότητες και στόχους σύμφωνα με αυτό που θέλει να επιτύχει. Ορισμένοι διαχειριστές εντοπίζουν το στόχο στην οριστική μείωση του κόστους, ενώ άλλοι επικεντρώνονται στην καλύτερη εξυπηρέτηση των περιοχών. Ο ορισμός της βελτιστοποίησης είναι μοναδικός σε κάθε περίπτωση και διαφέρει ανά δραστηριότητα.

Τα τελευταία χρόνια αναγνωρίζεται η μεγάλη σημασία του βέλτιστου σχεδιασμού των διαδρομών συλλογής στοχεύοντας στη μείωση του κόστους αλλά και στην καλύτερη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και συλλογής των απορριμμάτων.

Μερικά κριτήρια βελτιστοποίησης σχετίζονται με το συνολικό χιλιομετρικό μήκος που διανύουν τα οχήματα στο οδικό δίκτυο, το συνολικό χρόνο που χρειάζονται για να ολοκληρώσουν τη διαδρομή και τους συνολικούς πόρους (καύσιμα) που θα απαιτηθούν με την πραγματοποίηση του δρομολογίου.

Η προσπάθεια δημιουργίας της κατάλληλης μεθοδολογίας με στόχο την βελτιστοποίηση διαδρομών των απορριματοφόρων οχημάτων αποτελεί μια μακροσκελή εργασία, αφενός γιατί δεν υπάρχει ένα μεθοδολογικό υπόβαθρο στο οποίο μπορεί να στηριχθεί ο κάθε μελετητής που ασχολείται με το συγκεκριμένο πρόβλημα και αφετέρου γιατί η βαρύτητα του προβλήματος μεγαλώνει ολοένα και περισσότερο στη σύγχρονη εποχή.

Όταν η περιοχή μελέτης είναι μεγάλη, τότε η βελτιστοποίηση των διαδρομών για την αποκομιδή των αστικών στερεών αποβλήτων αλλά και των συσκευασιών γίνεται μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην περίπτωση που η περιοχή μελέτης είναι αρκετά μικρή γίνεται και με τη μέθοδο των περιττών κόμβων⁹ (Μπαλαφούτας, 1990). Ο σχεδιασμός για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών συλλογής δια μέσου ηλεκτρονικού υπολογιστή, πραγματοποιείται με προγράμματα (λογισμικού) μαθηματικού προγραμματισμού, γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) ή με ευριστικές μεθόδους (Παναγιωτακόπουλος, 2007).

Επομένως, για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων το προσφερόμενο λογισμικό διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο εφόσον, αφορά στο σύστημα διαχείρισης και συντονισμού του στόλου και του προσωπικού το οποίο είναι υπεύθυνο για τη βέλτιστη δρομολόγηση του στόλου των οχημάτων με στόχο την οργάνωση από πλευράς κόστους και ασφάλειας μεταφοράς. Το λογισμικό πρέπει να:

- χρησιμοποιεί στο υπολογιστικό του περιβάλλον πραγματικά λειτουργικά δεδομένα που σχετίζονται με τη δρομολόγηση της περιοχή όπου ορίζεται το πρόβλημα,
- προτείνει τα δρομολόγια που έχουν χαμηλότερο κόστος λαμβάνοντας υπόψη το υφιστάμενο οδικό δίκτυο,
- βελτιώνει σημαντικά το επίπεδο εξυπηρέτησης των περιοχών,
- αξιοποιεί στο μέγιστο τις δυνατότητες και την αποδοτικότητα των οχημάτων και του προσωπικού,
- πραγματοποιεί τον καθορισμένο προγραμματισμό δρομολόγησης της συλλογής
- επιτυγχάνει την μέγιστη δυνατή μείωση του κόστους δρομολόγησης.

⁹ Μέθοδος περιττών κόμβων: Χάραξη με μια μονοκονδυλιά της διαδρομής του απορριματοφόρου που είναι και η συντομότερη δυνατή. Με βάση τη μέθοδο των μονών ή περιττών κόμβων ελαχιστοποιείται ο αριθμός των διαδρομών μεταξύ των μονών κόμβων. Οι διαδρομές αυτές είναι εκείνες στις οποίες το απορριματοφόρο θα περάσει 2 φορές (μια για να μαζέψει τα απορρίμματα και μια φορά χωρίς να τα μαζέψει). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε μικρές περιοχές και όταν η συλλογή πραγματοποιείται ταυτόχρονα και από τις 2 μεριές της οδού και όταν δεν υπάρχουν μονόδρομοι (Μπαλαφούτας, 1990).

Η λύση στο πρόβλημα της δρομολόγησης δίνεται από τα εξελιγμένα πακέτα λογισμικού τα οποία έχουν την δυνατότητα να επεξεργάζονται πολλαπλά δεδομένα, όπως το πραγματικό μήκος μιας διαδρομής, τα όρια ταχύτητας των δρόμων, τις κατευθύνσεις, την κίνηση των δρόμων κ.λπ. και να δίνουν έτσι πραγματικές λύσεις σε προβλήματα δρομολόγησης (Δευτεραίου, 2008).

Η ύπαρξη στην αγορά σύγχρονων συστημάτων λογισμικού δρομολόγησης οχημάτων (*routing software*) δίνει επιπλέον τη δυνατότητα στις εταιρίες και στα δίκτυα παροχής υπηρεσιών, να σχεδιάσουν με αυτοματοποιημένο τρόπο και σε μικρό χρονικό διάστημα τη μορφή και ακριβή διαδρομή των δρομολογίων του στόλου οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των προορισμών τους. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα, με την υποβοήθηση κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, οι υπεύθυνοι να γνωρίζουν την ακριβή θέση κάθε οχήματος και των συνθηκών μεταφοράς, και να έχουν την δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με αυτά. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί ανά πάσα στιγμή να γίνει αναπροσαρμογή του δρομολογίου λόγω έκτακτων γεγονότων και αλλαγής των συγκυριών όπως είναι η περίπτωση ανάκλησης μιας παραγγελίας, ή το κλείσιμο ενός δρόμου κ.λπ. Ωστόσο, ακόμα και σήμερα με την ύπαρξη σύγχρονων λογισμικών πακέτων για την λύση του προβλήματος της δρομολόγησης οχημάτων κρίνεται απαραίτητη η εμπειρία του ατόμου (Eom, Lee, et.al.,1993).

Με την υψηλή τεχνολογία βέλτιστης δρομολόγησης, οι διαχειριστές του στόλου έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν σε μέγιστο βαθμό τα οχήματα που διαθέτουν και να βελτιώσουν αρκετά την εξυπηρέτηση των πελατών τους σε κάθε περιοχή. Τα βασικά αποτέλεσμα θα είναι η αυξημένη απόδοση, τα πιο ισορροπημένα φορτία και η αυξημένη παραγωγικότητα. Τα συστήματα δρομολόγησης πλέον, διασυνδέονται με λεπτομερή G.I.S για τη δημιουργία αναλυτικών διαδρομών υψηλής ακρίβειας σε ελάχιστο χρόνο.

Μέχρι πρότινος στην Ελλάδα, προσπάθειες για τη λειτουργία τέτοιων εφαρμογών δεν είχαν τα επιθυμητά αποτελέσματα εν μέρει λόγω της απουσίας των G.I.S που θα πληρούσε τις προϋποθέσεις που θέτουν τα συστήματα δρομολόγησης. Ορισμένες από τις βασικές εφαρμογές δρομολόγησης πάνω σε σύγχρονες τεχνολογίες για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής είναι τα Δίκτυα Υπολογιστών (*Computer Network*), η Πλοήγηση (*Navigation*), η Διαχείριση Στόλου Οχημάτων (*Fleet Management*) κ.α.

Η ενσωμάτωση των Γ.Σ.Π. στα συστήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων μας παρέχει την δυνατότητα προγραμματισμού των δρομολογίων με πραγματικά δεδομένα. Ένα Γ.Σ.Π. μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη των παραπάνω εφαρμογών δρομολόγησης, όπως είναι και η εφαρμογή GPS¹⁰. Μια τέτοια εφαρμογή παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Παρακολούθηση του στόλου των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο.
- Γραφική απεικόνιση της θέσης των οχημάτων επάνω στο χάρτη.
- Δυνατότητα δυναμικής δρομολόγησης και επέμβασης στα δρομολόγια.

Με τη διάδοση της χρήσης των Γ.Σ.Π. και των παραπάνω συστημάτων δρομολόγησης έχει αυξηθεί η παραγωγή χωρικών δεδομένων (π.χ. χωρικά οδικά δίκτυα). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρέχονται καλύτερου επιπέδου υπηρεσίες για την κάλυψη των αναγκών διαχείρισης στόλου οχημάτων ενώ παράλληλα μειώνεται σημαντικά το κόστος.

Κατά τον σχεδιασμό και τον έλεγχο των διαδρομών των απορριμματοφόρων οχημάτων, θα πρέπει να γίνονται αποδεκτές και να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω οδηγίες (Παναγιωτακόπουλος, 2007):

- Οι διαδρομές πρέπει να είναι σταθερές και να μην παρουσιάζουν επικαλύψεις.
- Το σημείο εκκίνησης της διαδρομής πρέπει να είναι όσο πλησιέστερα γίνεται στο χώρο στάθμευσης (διανυκτέρευσης) του οχήματος.
- Ο συνολικός χρόνος συλλογής και μεταφοράς στο χώρο εκφόρτωσης πρέπει να είναι σταθερός για κάθε διαδρομή του κυκλώματος συλλογής (εξισορρόπηση φόρτων εργασίας ανά απορριμματοφόρο όχημα).

Σε περίπτωση μονόδρομου, η συλλογή είναι προτιμότερο να ξεκινάει από το υψηλότερο σημείο με την κατεύθυνση του δρόμου.

Όταν υπάρχουν περιπτώσεις συλλογής και από τις δύο πλευρές δρόμων με ανηφοριές μεγάλων κλίσεων, η συλλογή πρέπει να γίνεται κατεβαίνοντας (επιτυγχάνεται ασφάλεια, ταχύτητα συλλογής, μικρότερη φθορά του οχήματος και εξοικονόμηση ενέργειας).

Για συλλογή και από τις δύο πλευρές του δρόμου ταυτόχρονα, είναι γενικά προτιμότερο να σχεδιάζονται μεγάλες ευθείες διαδρομές κατά μήκος του δικτύου, πριν αρχίσουν οι παρακαμπτήριες δεξιές στροφές.

¹⁰ GPS: Global Positioning Systems, Παγκόσμιο Σύστημα Θέσεως

Πρέπει να αποφεύγεται συλλογή στις ώρες με μεγάλη κίνηση στους δρόμους (αλλά και στις ώρες κοινής ησυχίας, από πλευράς αποτελεσματικότητας της υπηρεσίας)

Προτιμώνται κατά το δυνατόν, δεξιόστροφες διαδρομές όταν πρέπει να καλυφθούν οδοί γύρω από ένα τετράγωνο

Οι αναστροφές (U-Turns) αποφεύγονται με το να μην έχουμε ένα δρόμο διπλής κατεύθυνσης ως το μοναδικό βέλος εισόδου και εξόδου από ένα κόμβο.

Ο στόχος του βέλτιστου σχεδιασμού των δρομολογίων των απορριμματοφόρων οχημάτων, είναι:

- Η συλλογή όλων των απορριμμάτων.
- Η ελαχιστοποίηση της καλυπτόμενης απόστασης από τα οχήματα αποκομιδής.
- Η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αποκομιδής.
- Η ελαχιστοποίηση του κόστους αποκομιδής.
- Ο περιορισμός της αντίδρασης των πολιτών.
- Ο περιορισμός της ηχορύπανσης.
- Η ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων προς δρομολόγηση.
- Η ελαχιστοποίηση των διαδρομών κάθε οχήματος.
- Η ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου προσωπικού αποκομιδής.

Κεφάλαιο 4

4.1. Κατανάλωση καυσίμων

Οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές συνεισφέρουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Για την μείωση αυτών των εκπομπών χρειάζεται να γίνει μια βαθύτερη κατανόηση του μοντέλου των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από το όχημα.

Είναι αναμφίβολο πως οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές συνεισφέρουν στην οικονομική ανάπτυξη αλλά παράλληλα είναι και αρκετές επιβαρυντικές για το περιβάλλον και συνεπώς και στην ανθρώπινη υγεία. Μέχρι πολύ πρόσφατα ο σχεδιασμός των οδικών εμπορευματικών μεταφορών είχε σαν στόχο την μείωση του κόστους αλλά με την αύξηση του ενδιαφέροντος για τις περιβαλλοντικές συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οι μεταφορείς και οι εταιρίες logistics ξεκίνησαν να δίνουν μεγαλύτερη προσοχή και στους ατμοσφαιρικούς ρύπους που εκπέμπουν τα οχήματά τους. (Forkenbrock, 1999, 2001)

Αυτό περιλαμβάνει εκτός από την ατμοσφαιρική ρύπανση, τον θόρυβο, τα ατυχήματα, τις χρήσεις γης και την κατανάλωση πόρων. (Schreyer et al., 2004)

Σε τοπικό και εθνικό επίπεδο, το μεγαλύτερο ποσοστό των οδικών μεταφορών πραγματοποιείται από φορτηγά τα οποία εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων. Παρόλο που η τεχνολογική πρόοδος έχει εξελίξει και τα καύσιμα και τα έχει κάνει φιλικότερα προς το περιβάλλον, τα περισσότερα φορτηγά που πραγματοποιούν οδικές μεταφορές χρησιμοποιούν πετρελαιοκινητήρες οι οποίοι εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα CO₂, αιωρούμενα σωματίδια PM, και οξείδια του αζώτου (N₂O). Η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει φέρει το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ στην κορυφή των ρύπων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

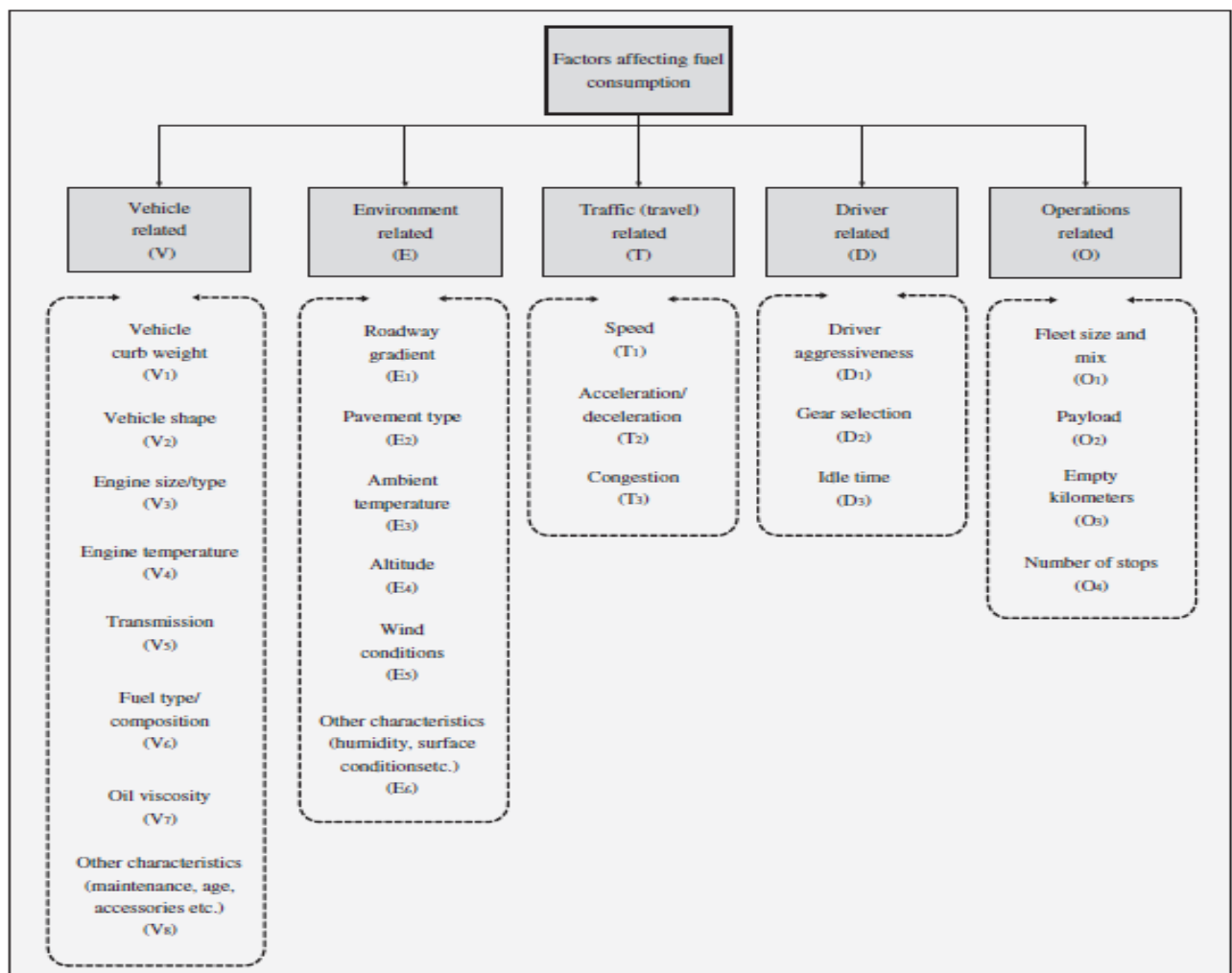
Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι απευθείας ανάλογο τις ποσότητες των καυσίμων που καταναλώνει ένα όχημα το οποίο με την σειρά του εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος, την ταχύτητα του, την επιτάχυνση του και το φορτίο του. (Demir, Bektas, & Laporte, 2011).

Ο σχεδιασμός των οδικών εμπορευματικών μεταφορών έχει αρκετές όψεις από τις οποίες λαμβάνονται οι αποφάσεις. Το σημαντικότερο πρόβλημα αναμφίβολα είναι η βελτιστοποίηση των διαδρομών των φορτηγών το οποίο προϋποθέτει τον προσδιορισμό των διαδρομών με το ελάχιστο κόστος για έναν στόλο οχημάτων προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των πελατών για έγκαιρη παράδοση των προϊόντων τους. Η παραδοσιακή τακτική που ακολουθείτε στον σχεδιασμό της βελτιστοποίησης των

διαδρομών είναι η μείωση της συνολικής απόστασης που θα πρέπει να διανύσει ένα φορτηγό αλλά αυτή η απόσταση θα μπορούσε να συνδυαστεί και με την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων για συγκεκριμένη απόσταση και διαδρομή. (Bektas & Laporte,2011).

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων των φορτηγών που πραγματοποιούν τις εμπορευματικές μεταφορές έχουν μελετηθεί από πλήθος ερευνητών, Ardekani, Hauer, and Jamei (1996), Bigazzi and Bertini (2009), Demir et al. (2011) and Alwakiel (2011) και στην εικόνα 6 παρουσιάζεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων των ερευνητών αυτών σε ότι αφορά τους παράγοντες αυτούς.



Εικόνα 6: Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να χωριστούν σε 5 κατηγορίες όπως φαίνεται και στην εικόνα 6. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Παράγοντες που σχετίζονται με το όχημα
- Περιβαλλοντικοί και γεωμετρικοί παράγοντες της οδού
- Παράγοντες που σχετίζονται με τον κυκλοφοριακό φόρτο
- Παράγοντες που σχετίζονται με την οδηγική συμπεριφορά του οδηγού και
- Παράγοντες που έχουν να κάνουν με την συνολική διαχείριση του στόλου των οχημάτων.

Σε αντίθεση με τους παραπάνω παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων οι Eglese and Black (2010) σημειώνουν πως μεγαλύτερη σημασία έχει η ταχύτητα του οχήματος παρά η απόσταση όταν γίνεται η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμων.

Οι παράγοντες που είναι σχετικοί με το όχημα είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγεθος και σχήμα του οχήματος
- Μέγεθος και όγκος μηχανής
- Θερμοκρασία μηχανής
- Μετάδοση της κίνησης
- Το ιξώδες των λιπαντικών και
- Το μίγμα καυσίμων

Οι παράγοντες που είναι σχετικοί με τον περιβάλλον και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού είναι:

- Κλίση του εδάφους και ποιότητα του οδοστρώματος
- Υψόμετρο
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Υγρασία και άνεμος

Οι παράγοντες που είναι σχετικοί με τις κυκλοφοριακές συνθήκες της οδού είναι οι ακόλουθοι:

- Ταχύτητα οχήματος
- Επιτάχυνση και επιβράδυνση του οχήματος
- Κυκλοφοριακή κίνηση

Οι παράγοντες που είναι σχετικοί με την οδηγική συμπεριφορά είναι οι ακόλουθοι:

- Επιλογή ταχύτητας στο κιβώτιο ταχυτήτων
- «Επιθετική» οδήγηση
- Περίοδος αναμονής στους σηματοδότες και αναμονής εξαιτίας της κυκλοφοριακής κίνησης

Τέλος, οι παράγοντες που είναι σχετικοί με την συνολική διαχείριση του στόλου των οχημάτων είναι οι ακόλουθοι:

- Μέγεθος στόλου
- Διανυόμενα χιλιόμετρα κενού φορτίου
- Αριθμός στάσεων
- Διανυόμενα χιλιόμετρα με φορτίο

4.3 Μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμων

Τα μοντέλα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμων όπως αυτά έχουν κατηγοριοποιηθεί από τους Williams, Kemp, Coello, Turner, and Wright (2012) παρουσιάζονται στον πίνακα 5. Η ταξινόμηση αυτή έχει πραγματοποιηθεί με κριτήριο την απλότητα των μοντέλων και τις παραμέτρους που παραμένουν σε αβεβαιότητα. Σε αυτή την μελέτη, ο στόχος είναι να γίνει η πρόβλεψη της κατανάλωσης καυσίμων με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι σε αυτά τα μοντέλα.

Μοντέλο 1	Generalized activity data* emission factors	Μεγάλη Αβεβαιότητα
Μοντέλο 2	Measured activity data* emission factors	Αβεβαιότητα
Μοντέλο 3	Measured activity data* assumed fuel consumption* emission factors	Μικρή Αβεβαιότητα
Μοντέλο 4	Measured activity data* sampled fuel consumption* emission factors	Απλό μοντέλο
Μοντέλο 5	Measured fuel consumption* emission factors	Μέτρια απλό μοντέλο
Μοντέλο 6	Directly measured emissions	Πολύ απλό μοντέλο

Πίνακας 5: Μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμων

Η μέση κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων συνήθως παρέχεται από τους κατασκευαστές των οχημάτων αλλά αυτές οι πληροφορίες δεν είναι ικανές να παράγουν ακριβή και αληθή αποτελέσματα. Για τα φορτηγά, οι πληροφορίες αυτές παρέχονται μετά από δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί στις μηχανές αλλά αυτές οι δοκιμές δεν προσομοιάζουν τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης και κυκλοφορίας των φορτηγών. (Pelkmans & Debal, 2006).

4.4.Μοντέλα πρόβλεψης κατανάλωσης καυσίμων και σχεδιασμός εμπορευματικών μεταφορών

Οι παράγοντες που επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμων των εμπορευματικών φορτηγών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Η στρατηγική που ακολουθείται από κάθε εταιρία μεταφορών παίζει μεγάλο ρόλο όπως για παράδειγμα η επιλογή του οδηγού του αυτοκινήτου, η επιλογή της διαδρομής με κριτήριο την απόσταση ή η ύπαρξη ενός δρόμου (διαδρόμου) αποκλειστικά για εμπορευματικές μεταφορές, βασισμένος στις αρχές των City Logistics.

Οι Demir et al(2014) εξέτασαν διάφορα μοντέλα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμων προκειμένου να καταλήξουν στα συμπεράσματά τους. Τα μοντέλα που εξέτασαν είναι τα ακόλουθα:

Instantaneous fuel consumption model (IFCM) το οποίο εξετάζει τα χαρακτηριστικά του οχήματος όπως είναι η μάζα του, η αποδοτικότητα του, η αεροδυναμική του, η αντίσταση του και υπολογίζει την κατανάλωση καυσίμων ανα δευτερόλεπτο.

Το **Vehicle specific power (VSP)** είναι ένα μικροσκοπικό μοντέλο που προβλέπει την κατανάλωση καυσίμων του οχήματος και είναι συνδυασμένο με τις εκπομπές ρύπων των κινητήρων πετρελαίου που χρησιμοποιούν συνήθως τα φορτηγά. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ο πιο περιβαλλοντικά φιλικός δρόμος είναι και αυτός που καταναλώνει την λιγότερη ενέργεια είτε είναι ώρα αιχμής είτε όχι. (Bandeira, Carvalho, Khattak, Roupail, and Coelho, 2012)

Το **μοντέλο OFCM** λαμβάνει υπόψη πέντε παραμέτρους όπως την αδράνεια, την τριβή, τις υψομετρικές διαφορές τις οδού, την αντίσταση του αέρα και την επιβράδυνση του οχήματος. Βάση γεωγραφικών δεδομένων οι Kono, Fushiki, Asada, and Nakano (2008) παρουσίασαν πως οι διαδρομές που είναι περιβαλλοντικά φιλικές και έχουν ομαλή αλλαγή κλίσεων της οδού είναι 9% αποδοτικότερες σε ότι αφορά την κατανάλωση καυσίμων από ότι άλλες διαδρομές ακόμα και εάν αυτές είναι συντομότερες από άποψη χρόνου.

Το **μοντέλο Comprehensive power-based fuel consumption models (CPFMs)** βασίζεται στην δρομολόγηση και στις διαδρομές καθώς και στην ταχύτητα του οχήματος. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι περιφερειακοί δρόμοι μπορούν να προσφέρουν οικονομία καυσίμου κατά μέσο όρο 1,5 λίτρο και εξοικονόμηση χρόνου κατά 10 λεπτά σε σχέση με τους αυτοκινητόδρομους και τις μεγάλες Εθνικές οδούς. Minett, Salomons, Daamen, Van Arem, and Kuijpers (2011)

Το **μοντέλο comprehensive modal emission model (CMEM)** βασίζεται και αυτό στην δρομολόγηση με βασικό στοιχείο την δρομολόγηση ενός αριθμού οχημάτων που πρέπει να εξυπηρετήσουν έναν συγκεκριμένο αριθμό πελατών και προσδιορίζεται η ταχύτητα του οχήματος σε κάθε κομμάτι της διαδρομής προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση καυσίμων.

Η βασική παραδοχή του μοντέλου είναι πως οι παράμετροι που σχετίζονται με το όχημα και την μηχανή παραμένουν σταθεροί σε οποιοδήποτε μήκος της διαδρομής αλλά η ταχύτητα του οχήματος μπορεί να μεταβάλλεται. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν με βάση αυτό το μοντέλο μπορούν να δώσουν μέχρι και 10% μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

Το **μοντέλο MEET** είναι μια δημοσίευση της ΕΕ από τους Hickman, Hassel, Joumard, Samaras, and Sorenson (1999). Βασίζεται σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον δρόμο σε πραγματικές συνθήκες για διαφορετικά οχήματα με διαφορετικό βάρος και κατέληξε πως η κατανάλωση καυσίμων εξαρτάται από την απόσταση που διανύεται και την ταχύτητα του οχήματος.

Το μοντέλο πρόβλεψης **National atmospheric emissions inventory (NAEI)** δημιουργήθηκε για έναν ευρύ τομέα δραστηριοτήτων όπως είναι η βιομηχανία, η αγροτική παραγωγή και οι μεταφορές σε ότι αφορά την κατανάλωση καυσίμων.

Η κατανάλωση καυσίμων στις μεταφορές, υπολογίζεται από έναν συνδυασμό στοιχείων μεταξύ δεδομένων κατανάλωσης καυσίμων των οχημάτων αλλά και δεδομένα από τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας των οχημάτων.

Οι Maden, Eglese, και Black (2010) εφάρμοσαν το μοντέλο NAEI σε μια προσπάθεια να υπολογίσουν την κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη τις κυκλοφοριακές συνθήκες και προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν τον συνολικό χρόνο διαδρομής κάτω υπο συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τα αποτελέσματα από αυτό το μοντέλο έδειξαν πως οι εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν κατά 7%.

Το μοντέλο MOVE προβλέπει την κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οχημάτων και την οδηγική συμπεριφορά όπως είναι η απότομη επιτάχυνση και το ξεκίνημα από στάση καθώς επίσης και τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Το μοντέλο αυτό σύμφωνα και με τους Wygonik and Goodchild (2011) απέδειξε πως κάθε κίλο CO₂ που εκπέμπεται, κοστίζει 3,5 δολάρια.

Ένα άλλο μοντέλο που λήφθηκε υπόψη από τους ερευνητές είναι και το **Computer programme to calculate emissions from road transportation (COPERT)** το οποίο υπολογίζει τις εκπομπές των καυσαερίων βάση της κατηγοριοποίησης των οχημάτων ανα τύπο οχήματος και τύπο μηχανής. Από την ίδια βάση δεδομένων υπολογίζεται και η κατανάλωση των καυσίμων των οχημάτων.

Σε μελέτη των Tavares, Zsigraiova, Semiao, και Carvalho (2009) που χρησιμοποίησαν το μοντέλο COPERT αποδείχτηκε πως η κατανάλωση καυσίμων μειώθηκε κατά 16% και ο χρόνος της διαδρομής κατά 29%.

Τέλος το μοντέλο πρόβλεψης εκπομπών καυσαερίων IVE χρησιμοποιεί κάποιες παραμέτρους που έχουν να κάνουν με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των κινητήρων για ένα μεγάλο εύρος τύπων οχημάτων και κινητήρων. Παράλληλα λαμβάνονται υπόψη και κάποιες άλλες παράμετροι όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία, η ποιότητα καυσίμων και η οδηγική συμπεριφορά.

Οι Kang, Ma, Ma και Huang (2011) χρησιμοποίησαν το μοντέλο IVE και απέδειξαν πως υπάρχει μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 18% χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του προγράμματος. Το νούμερο αυτό είναι παραπάνω από το 8% μείωσης των εκπομπών CO₂ που επιτυγχάνεται με την μείωση της απόστασης των διαδρομών μέσω των εναλλακτικών διαδρομών.

4.5 Συμπεράσματα

Όπως είδαμε και προηγουμένως, οι Demir et all (2014) εξέτασαν ένα πλήθος από μοντέλα που προβλέπουν την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές των καυσαερίων από τα φορτηγά που πραγματοποιούν τις εμπορευματικές μεταφορές.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μοντέλων, κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 κατηγορίες:

- Στα μοντέλα που προβλέπουν μείωση εκπομπών CO₂ από 0-5,99%
- Στα μοντέλα που προβλέπουν μείωση εκπομπών CO₂ από 6-10,99%
- Στα μοντέλα που προβλέπουν μείωση εκπομπών CO₂ από 11-15,99%
- Στα μοντέλα που προβλέπουν μείωση εκπομπών CO₂ πάνω από 16%

Από την μελέτη των παραπάνω μοντέλων προκύπτει ότι η μείωση των εκπομπών CO₂ εξαρτάται από πολλούς παράγοντες είτε μηχανολογικούς, είτε περιβαλλοντικούς είτε λειτουργικούς που έχουν να κάνουν με τις εταιρίες μεταφορών.

Τα μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο σε αυτή την διαδικασία είναι το COPERT και το CMEM. Η λύση βέβαια στο πρόβλημα δεν είναι εύκολη και παραμένει αρκετά περίπλοκο ακόμα να γίνει μια πρόβλεψη με ακρίβεια στην κατανάλωση των καυσίμων και στις εκπομπές των ρύπων που εκτελούν τις εμπορευματικές μεταφορές.

Για πάρα πολλά χρόνια, στις εμπορευματικές μεταφορές, η μείωση της απόστασης που διανύουν τα φορτηγά θεωρούνταν ο σημαντικότερος παράγοντας για την κατανάλωση καυσίμων.

Αυτό που έχει αναδειχτεί όμως είναι πως ο παράγοντας αυτός από μόνος του δεν μπορεί να δώσει ακριβή πρόβλεψη και αλληλεπιδρά με άλλους παράγοντες όπως είναι οι περιβαλλοντικοί, λειτουργικοί, μηχανολογικοί αλλά και κυκλοφοριακοί.

Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια που επιδιώκουν να προβλέψουν την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές καυσαερίων είναι πάρα πολλά. Τα κυριότερα συμπεράσματα των Demir et all (2014) από την μελέτη αυτών των μοντέλων μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Τα περισσότερα μοντέλα καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η ταχύτητα του οχήματος είναι ένας κρίσιμος παράγοντας καθώς η ταχύτητα του οχήματος είναι αυτή που οδηγεί σε ελάχιστη κατανάλωση καυσίμων

- Για το ίδιο βάρος μεταφοράς, τα ελαφρύτερα οχήματα θα πρέπει να προτιμούνται έναντι βαρέων οχημάτων. Δηλαδή για μεταφορά εμπορευμάτων βάρους 100 κιλών είναι καλύτερο, από πλευράς κατανάλωσης καυσίμων να χρησιμοποιούνται μεσαία φορτηγά από ότι βαρέα οχήματα.
- Η κλίση του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανάλωση καυσίμων και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα μοντέλα πρόβλεψης της κατανάλωσης καυσίμων.
- Η απόσταση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης από την πόλη επιδρούν στην κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει οι εταιρίες μεταφορών να εξετάσουν το ενδεχόμενο μετακόμισης των εγκαταστάσεων τους σε κοντινότερα μέρη στην πόλη καθώς αυτό θα έχει επίδραση στην κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων.

Κεφάλαιο 5

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και εν συνεχεία συμπερασμάτων σχετικά με τη βέλτιστη διαδρομή των απορριματοφόρων του Δήμου Ηρακλείου. Μέσα από την εφαρμογή της θεωρητικής προσέγγισης όπως αναφέρθηκε στα παραπάνω κεφάλαια, δίνεται η δυνατότητα να αποδοθούν οπτικά και ποσοτικά στοιχεία σχετικά με τη βέλτιστη διαδρομή των απορριματοφόρων, ενώ μπορούν να προβλεφθούν-προληφθούν μέτρα που μπορούν να βελτιώσουν τον συγκεκριμένο τομέα.

5.1. Το λογισμικό ARCGIS 10.3.

Το ArcGIS Desktop υπάρχει σε τρεις εκδόσεις που αναφέρονται ως ArcView, ArcEditor και ArcInfo. Οι τρεις εκδόσεις βασίζονται στις ίδιες αρχές και λειτουργούν παρόμοια με την διαφορά ότι η κάθε μια έχει διαφορετικές δυνατότητες. Με το ArcView, μπορούν αν γίνουν αναζητήσεις τόσο στα χωρικά όσο και στα περιγραφικά δεδομένα, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να διορθωθούν συγκεκριμένα γραφικά δεδομένα (σχηματικά αρχεία μόνο) καθώς και όλα τα περιγραφικά δεδομένα της βάσης δεδομένων. Επίσης, μπορούν να δημιουργηθούν ευπαρουσίαστοι χάρτες και γραφήματα. Οι βασικές εφαρμογές που περιέχονται στο ArcView είναι (Κουτσόπουλος και Ανδρουλακάκης, 2003) και (Ζήσου, 2007):

- 1) **ArcCatalog:** Είναι μια εφαρμογή που χρησιμοποιείται για την πλοήγηση και την διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων. Με το ArcCatalog πραγματοποιείται η διερεύνηση και η διαχείριση χωρικών δεδομένων στον δίσκο του υπολογιστή, σε ένα τοπικό δίκτυο ή στο διαδίκτυο. Επίσης, πραγματοποιείται εύκολα η διαγραφή, η αντιγραφή και η μετονομασία ενός θεματικού επιπέδου ή ενός συνόλου δεδομένων.
- 2) **ArcMap:** Αφορά εφαρμογές που σχετίζονται με χάρτες. Πιο συγκεκριμένα το ArcMap δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγούν μέσα από αναζητήσεις, χωρικά και μη χωρικά στοιχεία. Επίσης μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν διαφορετικές απεικονίσεις ενός χάρτη αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς.
- 3) **ArcToolbox:** Η εφαρμογή αυτή συμπληρώνει τις δύο παραπάνω και περιέχει εργαλεία γεω-επεξεργασίας. Υπάρχει δυνατότητα μέσω ορισμένων εργαλείων,

να μετατρέπει χωρικά δεδομένα από μια μορφή (data format) σε άλλη και να αλλάζει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του. Γενικά τα εργαλεία του ArcToolBox διαχειρίζονται τις συνηθισμένες μορφές δεδομένων, όπως: σχηματικά αρχεία (shapefiles), αρχεία θεματικών επιπέδων (coverage), ψηφιδωτών αρχείων (grids), DEM, TIN, αρχείων περιγραφικών δεδομένων και γεωβάσεων (geodatabases) είτε προσωπικών (personal geodatabases) είτε γενικότερων. Το ArcToolBox ουσιαστικά περιέχει δύο βασικές ομάδες: τα εργαλεία μετατροπής (Conversion Tools) και τα εργαλεία διαχείρισης και μετατροπής δεδομένων (Data Management Tools).

- 4) Με το **ArcEditor** μπορούν να επιτευχθούν ότι και με το ArcView και επιπλέον μπορεί να δημιουργηθούν και να διορθωθούν ορισμένοι τύποι χωρικών δεδομένων, που με το ArcView μπορούμε μόνο να τα βλέπουμε. Το ArcInfo έχει περισσότερα εργαλεία κυρίως ανάλυσης χωρικών δεδομένων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ArcInfo Workstation αποτελεί ένα πλήρες γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών γνωστό για πολλά χρόνια και χρησιμοποιούμενο σε όλο τον κόσμο.

5.1.1. Η εφαρμογή/extension του λογισμικού Network Analyst

Το ArcGIS Network Analyst είναι επέκταση του ArcGIS Desktop και είναι ένα εργαλείο ανάλυσης δικτύων, στο οποίο βασίζεται η χωρική ανάλυση. Επίσης, βοηθά στη δυναμική μοντελοποίηση πραγματικών συνθηκών δικτύων περιλαμβάνοντας πολλαπλά χαρακτηρίστηκα, όπως είναι το οικονομικό κόστος, η απόσταση, ο χρόνος, οι περιορισμοί κατευθύνσεων, το όριο ταχύτητας, οι διάφορες ταχύτητες ταξιδιού βάση του κυκλοφοριακού φόρτου και άλλες συνθήκες κυκλοφορίας σε διαφορετικές ώρες της μέρας.

Με τις δυνατότητες που παρέχει το ArcGIS Network Analyst επιλύονται προβλήματα δικτύου όπως είναι η δρομολόγηση οχημάτων, η εύρεση βέλτιστης δρομολόγησης οχημάτων μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων, η εύρεση της πλησιέστερης υποδομής ή οχήματος έκτακτης ανάγκης, ο εντοπισμός περιοχών εξυπηρέτησης γύρω από μια θέση, η δημιουργία πινάκων κόστους αφετηρίας – προορισμού και επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης – κατανομών (<http://www.esri.com>).

Ειδικότερα, με το ArcGIS Network Analyst σχεδιάζονται δίκτυα που είναι όσο το δυνατόν αποδοτικότερα και παρέχονται τα παρακάτω πέντε βασικά εργαλεία για την επίλυση κοινών προβλημάτων ανάλυσης δικτύων.

1. **Εύρεση βέλτιστης διαδρομής.** Μέσω αυτής της εφαρμογής υπολογίζεται ο καλύτερος τρόπος μετάβασης από ένα σημείο σε ένα άλλο. Τα σημεία αυτά καθορίζονται διαδραστικά τοποθετώντας σημεία στην οθόνη, εισάγοντας μια διεύθυνση ή φορτώνοντας υπάρχοντα σημειακά δεδομένα από ένα υπάρχων feature layer. Η καλύτερη διαδρομή μπορεί να προσδιοριστεί για τη σειρά των τοποθεσιών από τον χρήστη ή το ArcGIS Network Analyst μπορεί να καθορίσει την καλύτερη ακολουθία για την μετάβαση στις τοποθεσίες. Είτε ερευνείται μια απλή διαδρομή μεταξύ δύο τοποθεσιών ή ένα δρομολόγιο πολλαπλών επισκέψεων, όπως αυτό της αποκομιδής των απορριμμάτων, συνήθως αναζητείται η βέλτιστη και αποδοτικότερη σε κάθε περίπτωση και σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που ορίζει ο χρήστης.

2. **Εύρεση πλησιέστερης εγκατάστασης.** Μέσω αυτής της εφαρμογής καθορίζεται η πλησιέστερη διαδρομή από και προς αυτή, ο προσδιορισμός τους κόστους ταξιδιού για κάθε διαδρομή και η εμφάνιση των κατευθύνσεων για κάθε εγκατάσταση.

3. **Κόστη προέλευσης – προορισμού.** Με το ArcGIS Network Analyst δημιουργείται ένας πίνακας υπολογισμού κόστους προέλευσης – προορισμού (OD) από πολλαπλές προελεύσεις σε πολλαπλούς προορισμούς. Ο πίνακας αυτός κατατάσσει τους προορισμούς κάθε διαδρομής που συνδέεται σε αύξουσα σειρά με βάση την ελάχιστη παράμετρο του δικτύου που απαιτείται για να ταξιδέψει από την αφετηρία σε κάθε προορισμό. Η καλύτερη διαδρομή του δικτύου βρίσκεται για κάθε ζευγάρι προέλευσης – προορισμού και το κόστος αποθηκεύεται στον attribute table.

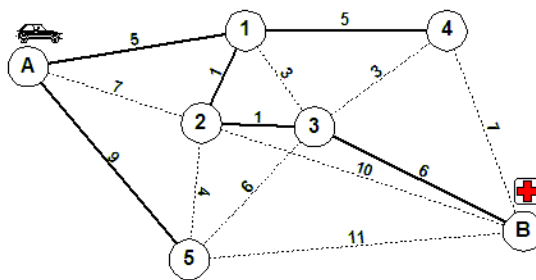
4. **Περιοχές εξυπηρέτησης.** Με αυτή την εφαρμογή εντοπίζονται οι περιοχές εξυπηρέτησης γύρω από οποιαδήποτε θέση πάνω σε ένα δίκτυο. Το Network Analyst καθορίζει το μέγεθος της περιοχής εξυπηρέτησης (π.χ. εύρεση της περιοχής εξυπηρέτησης ενός απορριμματοφόρου) και την παρουσιάζει στο χάρτη. Αφού προηγουμένως καθορίσει το κόστος μετακίνησης, το οποίο υπολογίζεται σε μονάδες χρόνου (π.χ. λεπτά) ή μονάδες απόστασης (π.χ. μέτρα). Με τη χρήση της περιοχής εξυπηρέτησης, είναι δυνατή η αποτίμηση της ικανότητας προσέγγισης σε μια συγκεκριμένη λειτουργία.

5. **Ρύθμιση κυκλοφορίας.** Ένας ρυθμιστής κυκλοφορίας που διαχειρίζεται έναν αριθμό οχημάτων συχνά χρειάζεται να λάβει αποφάσεις για την δρομολόγηση των οχημάτων. Οι στόχοι για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων είναι η παροχή υψηλού επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών τηρώντας τα προκαθορισμένα χρονικά περιθώρια, διατηρώντας το επιθυμητό κόστος για κάθε διαδρομή. Οι περιορισμοί είναι η ολοκλήρωση των διαδρομών με τους διαθέσιμους πόρους και εντός των χρονικών ορίων που επιβάλλονται, την ταχύτητα οδήγησης και των περιορισμών των δικτύων.

5.1.2. Προσέγγιση του αλγόριθμου Dijkstra στα Network Analysis

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το Network Analyst, για την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης με τον υπολογισμό του συντομότερου μονοπατιού μεταξύ των κόμβων είναι ο αλγόριθμος του **Dijkstra**. Ο αλγόριθμος Dijkstra επιλύει αποδοτικά το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο αφετηρίας προς έναν ή περισσότερους κόμβους προορισμού (single – source shortest path problem) σε ένα σταθμισμένο κατευθυνόμενο γράφο με μη-αρνητικά βάρη στις ακμές του. Επιπροσθέτως, επιλύει το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο προορισμού προς τους υπόλοιπους κόμβους του γράφου (single – destination shortest path problem), καθώς η αντιστροφή της κατεύθυνσης των ακμών του γράφου ανάγει την επίλυση του προβλήματος στην περίπτωση που αφορά την εύρεση συντομότερου μονοπατιού από έναν κόμβο αφετηρίας προς τους υπόλοιπους κόμβους του γράφου (Cormen and Leiserson, 2001).

Ο «άπληστος» αλγόριθμος δρομολόγησης του Dijkstra είναι ένας από τους πιο κλασικούς, αντιπροσωπευτικούς και ευρύτατα χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος δρομολόγησης λόγω της απλότητας του. Η χρήση της τεχνικής που κάνει, είναι με δεδομένο έναν κόμβο αναφοράς να λαμβάνονται οι βέλτιστες αποφάσεις σε τοπικό επίπεδο για την μετάβαση από τον αρχικό κόμβο σε κάθε κόμβο του γράφου (δικτύου), με την προσδοκία πως σε κάθε βήμα αυτές οι επιλογές θα οδηγήσουν σε μια συνολικά βέλτιστη λύση. Έτσι, με βάση αυτή την τεχνική απαντά σε προβλήματα βελτιστοποίησης (Στεφανάκης, 2003). Επί της ουσίας, ο αλγόριθμος του Dijkstra υπολογίζει για κάθε κόμβο μονοπάτια ελαχίστου κόστους προς κάθε άλλο κόμβο του γράφου (δικτύου) και επιστρέφει πίνακα με αυτές τις διαδρομές για κάθε κόμβο. Ακολουθεί παράδειγμα της εφαρμογής του αλγόριθμου Dijkstra στο οποίο αποσαφηνίζεται ο υπολογισμός της συντομότερης διαδρομής μεταξύ δύο βασικών κόμβων (A και D). Έστω ότι στον παρακάτω γράφο οι κόμβοι συμβολίζονται με γράμματα, οι ακμές ενώνουν μεταξύ τους, τους κόμβους και τα βάρη είναι οι τιμές των ακμών που συμβολίζουν την απόσταση μεταξύ των δύο κόμβων A και D.



Σχήμα 3: Αναπαράσταση μικρού δικτύου. Αναζήτηση της συντομότερης διαδρομής μεταξύ των κόμβων A και B

Αρχικά, όλοι οι κόμβοι έχουν αποθηκευμένη την τιμή ∞ (άπειρο). Ο κόμβος A θεωρείται ως μόνιμος¹¹ και ελέγχονται όλοι οι κόμβοι που είναι σε άμεση σύνδεση μαζί του, στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι κόμβοι 1 και 4. Ο κόμβος 1 αποθηκεύει την τιμή 4 και, αντίστοιχα, ο κόμβος 4 την τιμή 10. Και οι δύο κόμβοι αποθηκεύουν επιπλέον τον κόμβο προέλευσης, δηλαδή τον 2. Από τους κόμβους που έχουν διατρεχτεί (1 και 4) επιλέγεται ως τρέχων κόμβος αυτός με τη μικρότερη τιμή δηλαδή ο 1. Επαναλαμβάνουμε τον έλεγχο για τους κόμβους που είναι σε άμεση επαφή με τον 1. Ο κόμβος 2 αποθηκεύει την τιμή 7 και ο κόμβος 3 την τιμή 9. Από τους 3 κόμβους που έχουν διατρεχτεί και δεν θεωρούνται μόνιμοι κόμβοι επιλέγεται πάλι ο κόμβος με τη μικρότερη τιμή. Τέλος, αποδεικνύεται πως η συντομότερη διαδρομή από τον κόμβο 2 στον κόμβο 3 είναι δια μέσου των κόμβων 1 και 3.

Οι μελέτες που έγιναν σε πραγματικά μεταφορικά δίκτυα καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος του Dijkstra και οι αλγόριθμοι βασισμένοι σε αυτόν, όσο και αν διαφέρουν ως προς τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιούν, ξεπερνούν τους περισσότερους αλγόριθμους δρομολόγησης σε one to one ή one to all shortest path προβλήματα (από τον κόμβο αφετηρίας προς όλους τους κόμβους του δικτύου). Επίσης στο πλαίσιο των δεδομένων μεταφοράς υπό συνθήκες πραγματικού κόσμου, ο χρήστης μπορεί να ορίζει ρυθμίσεις και περιορισμούς και ο αλγόριθμος του Dijkstra να τις τηρεί.

Το μειονέκτημα που εμφανίζει ο Dijkstra, είναι ότι δεν περιορίζει τον «χώρο» του προβλήματος, δηλαδή ψάχνει προς όλες τις κατευθύνσεις χωρίς να αποφεύγει αυτές από τις οποίες δεν μπορούν να προκύψουν επιθυμητά αποτελέσματα. Εξ' αιτίας αυτής της άπληστης αναζήτησης και των επαναλήψεων για τον έλεγχο όλων των κόμβων ο αλγόριθμος απαιτεί χρόνο. Ωστόσο, στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί και εφαρμοστεί πολλές παραλλαγές και βελτιώσεις του αλγόριθμου Dijkstra, όπως ο συμμετρικός αλγόριθμος Dijkstra, ο A* και ο ακτινικός Radius Search κ.λπ.

¹¹ Κάθε κόμβος έχει το χαρακτηρισμό του ως μόνιμος ή προσωρινός

5.2. Γεωγραφική θέση

Το Ηράκλειο είναι το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της νήσου της Κρήτης. Αποτελεί την πρωτεύουσα της περιφέρειας και το οικονομικό λίκνο του νησιού. Η πόλη αποτελεί, επίσης, κατά κύριο λόγο το εμπορικό και το επιστημονικό κέντρο του νησιού. Κατέχει μια σημαντική στρατηγική γεωπολιτική θέση στη νοτιοανατολική λεκάνη της Μεσογείου, συνδέοντας κατάλληλα τρεις ηπείρους και πολλούς διαφορετικούς πολιτισμούς. Στον Ελλαδικό χώρο βρίσκεται νότια της.

Από την 1^η Ιανουαρίου 2011, σύμφωνα με τον ισχύοντα ν.3852/2010 περί της "Νέας Αρχιτεκτονικής της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης" ο Δήμος του Ηρακλείου, έχει ως έδρα του το Ηράκλειο, ως ιστορική έδρα τη Νέα Αλικαρνασσό και αποτελείται από τους παρακάτω Δήμους:

- α. Ηρακλείου
- β. Γοργολαΐνη
- γ. Τεμένους
- δ. Παλιανής
- ε. Νέας Αλικαρνασσού



Εικόνα 7¹²: Χάρτης του Δήμου Ηρακλείου

5.3. Δημογραφικά στοιχεία

Ο πληθυσμός του Δήμου Ηρακλείου, όπως προκύπτει από στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, παρουσιάζει μία ολοένα και περισσότερο αυξητική τάση, στο πέρασμα των ετών. Αποτελεί το 4^ο πληθυσμιακά Πολεοδομικό Συγκρότημα στον Ελλαδικό χώρο, μετά την Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Πάτρα.

Στην πλέον πρόσφατη απογραφή πληθυσμού το 2011, ο πληθυσμός της πόλης του Ηρακλείου ήταν 167.971 κάτοικοι, ενώ ο κεντρικός οικισμός Ηρακλείου ανέρχεται στις 140.730 κατοίκους.

Ο αριθμός των νοικοκυριών στον δήμο ανέρχεται τις 68.118, ενώ ο αριθμός των κατοικιών στις 92.333 (απογραφή 2011).

¹² <http://www.explorecrete.com/greek/crete-maps-GR.html>

Απογραφή	1900	1928	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Πληθυσμός	19.582	33.404	51.144	63.458	77.506	101.634	115.124	130.914	140.730

Πίνακας 6¹³: Απογραφή πληθυσμού

Η αυξητική αυτή τάση, προφανώς και δημιουργεί και ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες σε υπηρεσίες όπως αυτή της αποκομιδής των απορριμμάτων.

Τουριστικά, το Ηράκλειο υποδέχτηκε μόνο το 2014, 728.627 τουρίστες από το εξωτερικό¹⁴. Σε συνδυασμό με τον εσωτερικό τουρισμό, το Ηράκλειο αποτελεί πόλο έλξης για πολύ κόσμο και επομένως οι ανάγκες για εξυπηρέτηση τους σε ποικίλους τομείς αυξάνονται σταδιακά και κατά περιόδους (βλ. τουριστική περίοδο).

5.4. Σύντομη περιγραφή της μελέτης

Το ζητούμενο της παρούσας εργασίας, είναι να βρεθούν οι βέλτιστες διαδρομές των απορριμματοφόρων του Δήμου Ηρακλείου. Ως εφελκυστικό αυτό το προβληματισμό, έγινε προσπάθεια να προσεγγιστεί όσο το δυνατόν πληρέστερα. Για να γίνει όμως κάτι τέτοιο, χρειάζεται η επεξεργασία, παραμετροποίηση και τελικά η εφαρμογή ορισμένων δεδομένων. Ενδελεχής προσωπική έρευνα εκ μέρους της συγγραφέως, βοήθησε στην συγκέντρωση στοιχείων, όσον αφορά:

- τα λεπτομερή δρομολόγια των οχημάτων αποκομιδής
- το σύνολο του προσωπικού που εργάζεται στην Υπηρεσία καθαριότητας του Δήμου
- την καταγραφή των βαρδιών που πραγματοποιούνται
- τις συνολικές χιλιομετρικές αποστάσεις των οχημάτων
- την μέση κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων αυτών
- τις ώρες αποκομιδής των απορριμμάτων
- την αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τις ώρες αποκομιδής των απορριμμάτων

¹³ Πηγή: Αρχείο Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ)

¹⁴ Υπουργείο Οικονομίας, Ανάπτυξης και Τουρισμού – Ελληνικός Οργανισμός Τουρισμού

5.4.1. Δεδομένα

Όπως προαναφέρθηκε, για να επιτευχθεί η εφαρμογή, απαιτούνται συγκεκριμένα δεδομένα. Κάποια από αυτά βρέθηκαν έτοιμα κι άλλα χρειάστηκε να συλλεχθούν από τον μελετητή.

Ως έτοιμα δεδομένα, υπήρχε το χαρτογραφικό υπόβαθρο του Δήμου Ηρακλείου καθώς και οι δρόμοι. Ο συνδυασμός των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί συνολικά με την κατάλληλη χρησιμοποίησή τους, θα δώσουν τα επιδιωκόμενο αποτέλεσμα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των βέλτιστων διαδρομών των απορριμματοφόρων είναι τα εξής:

- Δρόμοι
- Περιοχή μελέτης (Δήμος Ηρακλείου)
- Κάδοι απορριμμάτων



Εικόνα 8: Θέσεις κάδων απορριμμάτων στη περιοχή μελέτης

Σημαντικό δεδομένο επίσης είναι ότι η έναρξη και ο τερματισμός των απορριμματοφόρων βρίσκεται στο ίδιο σημείο, στην περιοχή Αλικαρνασός. Εκεί αδειάζουν τα απορρίμματα και εν συνεχεία μεταφέρονται στον Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Αυτό βοηθάει στο να συγκεκριμενοποιηθεί η διαδρομή στην μετέπειτα εφαρμογή.

Η κατεύθυνση επίσης των δρόμων, παίζει σημαντικό ρόλο στην έκβαση του τελικού αποτελέσματος, καθώς η πορεία των οχημάτων, καθορίζεται και από τον παράγοντα της

κατεύθυνσης του οδικού δικτύου του Δήμου. Επίσης, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του πλάτους των οδών, διότι τα οχήματα ποικίλουν ως προς τον όγκο των απορριμμάτων που συλλέγουν, γεγονός που σηματοδοτεί την χρήση διαφορετικού οχήματος για στενότερους δρόμους, σε σχέση με τους υπόλοιπους.

Έπειτα χρειάστηκε να επιλεγεί εκείνο το εργαλείο, το οποίο θα μπορούσε να αξιοποιήσει στο μέγιστο βαθμό τα δεδομένα. Το εμπορικό λογισμικό ArcGIS αποτέλεσε την καλύτερη δυνατή επιλογή για τους εξής λόγους:

1. αξιοπιστία αποτελεσμάτων
2. ευχρηστία λογισμικού
3. πλήθος άρθρων/ μελετών που έχουν ως βάση το ArcGIS 10.3.

Τέλος, αυτό που έμεινε ήταν ο τρόπος ή το μέσο, μέσα από το λογισμικό ArcGIS, που θα βοηθούσε στην λήψη της απόφασης για την βέλτιστη διαδρομή. Η εφαρμογή Network analysis, αποτέλεσε την καλύτερη δυνατή επιλογή, καθώς έχει αναπτυχθεί για να εξυπηρετεί τέτοιους σκοπούς.

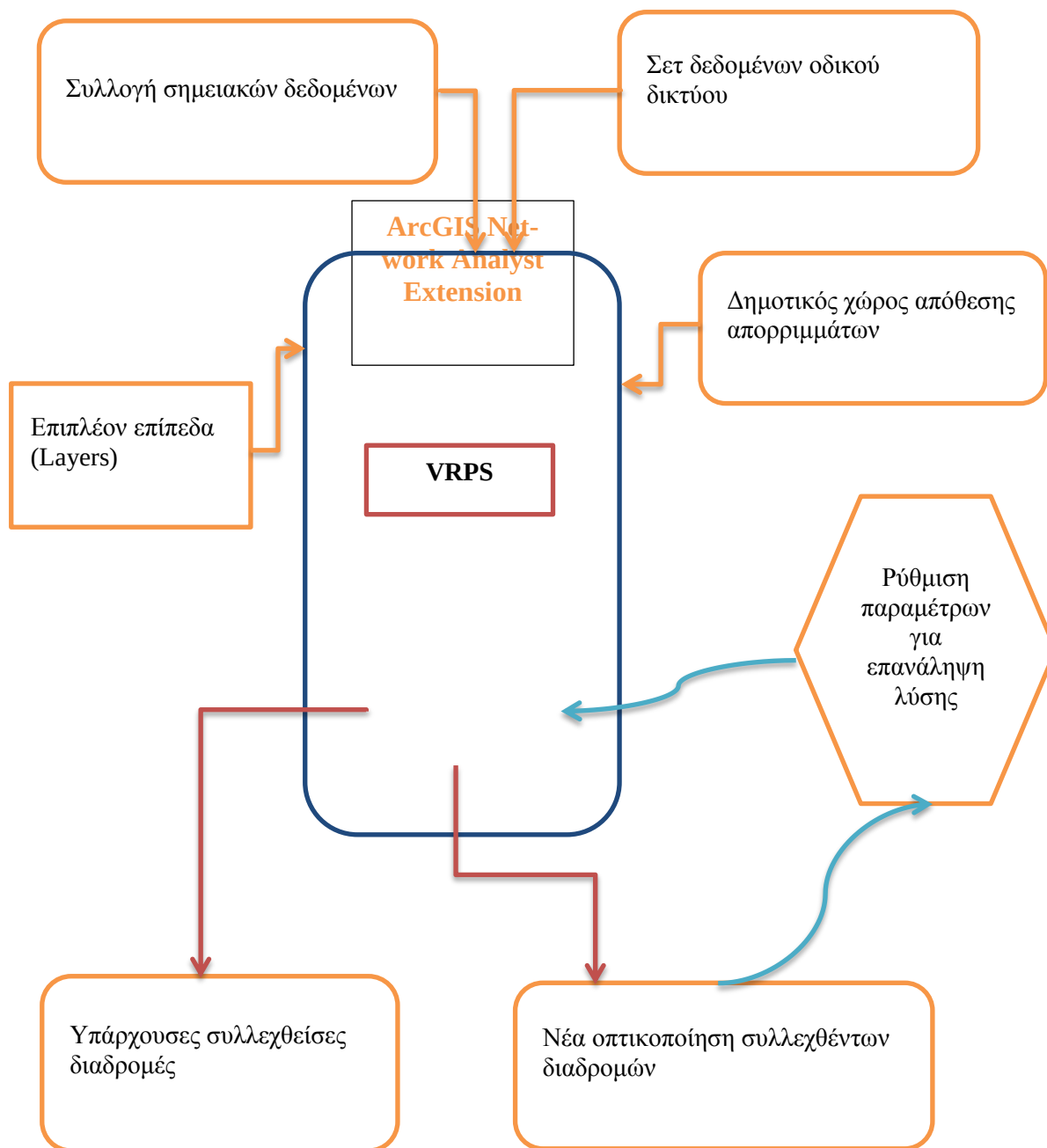
5.5. Ανάλυση εφαρμογής Network analysis

Πολλές επιχειρήσεις, δημόσιες υπηρεσίες και άλλοι οργανισμοί καταφεύγουν στην χρήση της εφαρμογής Network analyst του λογισμικού ArcGIS, επειδή τους βοηθά στο να διευθύνουν τις επιχειρήσεις τους και να κατευθύνουν τον τρόπο λειτουργίας των εργασιών τους περισσότερο αποδοτικά σε συνδυασμό με το ότι παρέχεται στις επιχειρήσεις αυτές η δυνατότητα να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις. Οι επιχειρήσεις αυτές είναι σε θέση να αντιληφθούν τις ανάγκες των αγορών, τόσο τις τρέχουσες, όσο και τις μελλοντικές, από την στιγμή που μπορούν να έχουν πρόσβαση τα προϊόντα και στις υπηρεσίες.

Τα έξοδα των μετακινήσεων μπορούν να μειωθούν σημαντικά με την εύρεση των συντομότερων διαδρομών μεταξύ των στάσεων, λαμβάνοντας υπόψη πάντα κάποιους περιορισμούς όπως την χωρητικότητα των οχημάτων και τους μέγιστους χρόνους διαδρομών. Οι προσφερόμενες υπηρεσίες ως προς τους πελάτες ενός προϊόντος, είτε ως προς τους δημότες ενός δήμου, όπως συμβαίνει στην παρούσα μελέτη μπορούν να

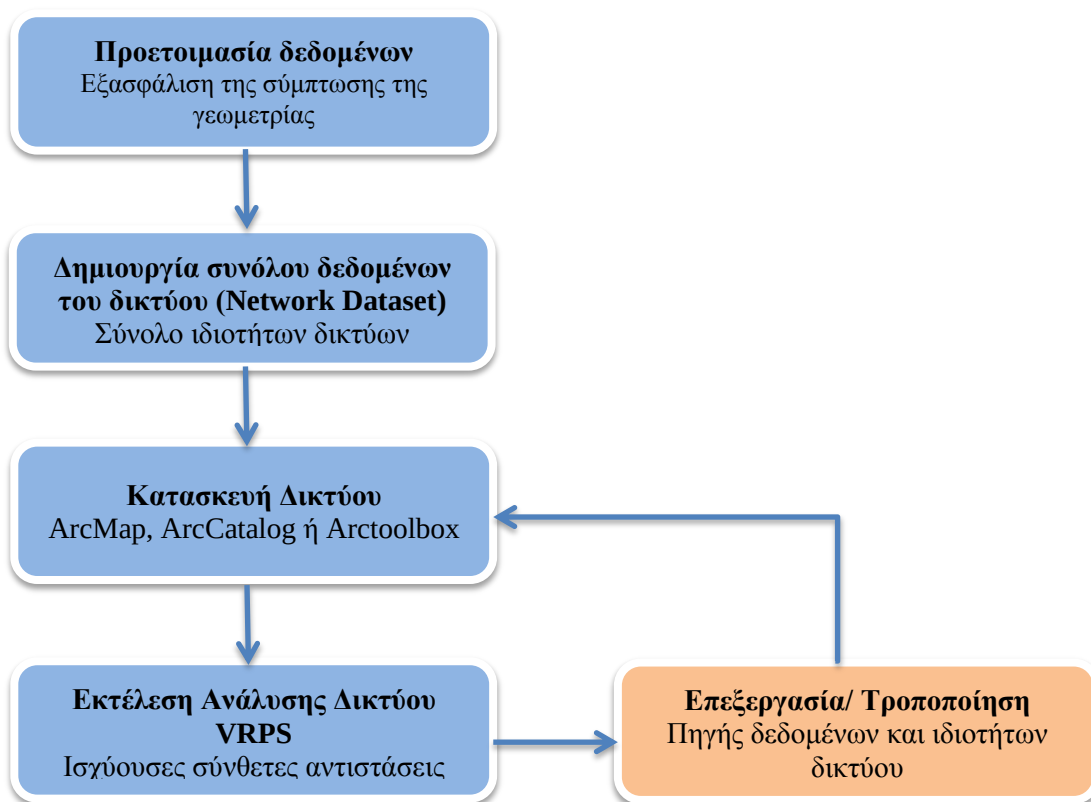
βελτιωθούν σημαντικά. Η χρήση της εφαρμογής Network analyst του λογισμικού ArcGIS βοηθά σημαντικά στην επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων.

Ο σχεδιασμός του συστήματος του όλου έργου βασίστηκε στα ακόλουθα βήματα όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4: Σχεδιασμός συστήματος μελέτης

Εν συνεχεία η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε διαφαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα και τα βήματα έχουν μια γραμμική ροή.



Σχήμα 5: Μεθοδολογία

5.6. Περιοχή μελέτης

Για την ανάδειξη της λύσης του προβλήματος, επιλέχθηκε μια συγκεκριμένη περιοχή της πόλης του Ηρακλείου, στην οποία συλλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να επιτευχθεί το κατάλληλο αποτέλεσμα. Η περιοχή ανήκει στο βόρειο τμήμα του Ηρακλείου.

Η περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η παρούσα μελέτη επιλέχθηκε κυρίως λόγω προσβασιμότητας και πρότερης γνώσης της περιοχής. Γεωγραφικά βρίσκεται βόρεια του Δήμου Ηρακλείου.



Εικόνα 9: Η περιοχή μελέτης του Δ. Ηρακλείου¹⁵

5.7 Ανθρώπινο δυναμικό και υλικοτεχνικός εξοπλισμός

Τον τομέα της καθαριότητας στην εκάστοτε Δημοτική αρχή, αναλαμβάνει ο αντίστοιχος Δήμος. Έτσι και στη περίπτωση του Δήμου Ηρακλείου, ο οποίος φέρει πλειάδας οχημάτων και καθαριστών, τους οποίους κατανέμει με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει ολόκληρο το Δήμο. Παρακάτω φαίνονται πιο αναλυτικά τα στοιχεία εξοπλισμού καθαριότητας.

5.7.1. Οχήματα του κλάδου καθαριότητας του Δήμου

Για να δημιουργηθεί μια ευρύτερη εικόνα σχετικά με τον κλάδο της καθαριότητας στο Δήμο Ηρακλείου, ζητήθηκαν και δόθηκαν μετά από επικοινωνία με εκπροσώπους των εργαζομένων του αντίστοιχου τομέα τα παρακάτω στοιχεία.

Αυτά αφορούν τόσο τον υλικοτεχνικό εξοπλισμό, όσο και το ανθρώπινο δυναμικό στον τομέα της καθαριότητας. Επίσης, δόθηκαν και τα ωράρια μέσα στα οποία εκτελούν τις κινήσεις τους τα απορριμματοφόρα.

¹⁵ Πηγή: Google Earth

Οι πληροφορίες συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πράσινοι κάδοι: 3.500-4000

Χωρητικότητα: 1100 λίτρα & 330 λίτρα

Ποσότητα	Τύπος	Κατάσταση
28	Μεγάλα (22 & 16 τόνων)	24 ενεργά
6	Μικρά (6 τόνων)	5 ενεργά
2	Πλυντήρια οχήματα	-
1	GCB Φορτηγό για αδρανή υλικά	-
1	Όχημα (φορτηγό) για λαϊκές	-
1	Κοντέινερ για νοσοκομειακά απόβλητα	-
2	Μικρά σάρωθρα	-
2	Μεγάλα σάρωθρα	-

Πίνακας 7: Οχήματα - στόλος τομέα καθαριότητας Δ. Ηρακλείου

Περιοχή	Επόπτες	Οδοκαθαριστές
Κέντρο πόλης	1	15 (6:00π.μ.-12:30μ.μ.) & 3 (14:00-20:30) στο εμπορικό κομμάτι
Ανατολικά προάστια	1	5
Νότια προάστια	1	7
Δυτικά προάστια	1	6
Λαϊκές	1	5
Νυχτερινά (κυρίως καλοκαίρι)	1	1

Πίνακας 8: Τομείς εργασίας

Ώρες	Οχήματα	Περιοχή
21:30	1 όχημα 22 τόνων, 1 όχημα 16 τόνων & 3 μικρά (6 τόνων)	Καθαρισμός όλης της περιοχής του κέντρου
04:00	3 μικρά οχήματα	Καθαρισμός του εμπορικού κέντρου και των γύρω δρόμων όπου δεν χωράει μεγάλο όχημα
05:00	3 μικρά οχήματα	Καθαρισμός του εμπορικού κέντρου και των γύρω δρόμων όπου δεν χωράει μεγάλο όχημα
14:00	2 μικρά οχήματα	Εμπορικό κέντρο
18:00	2 μικρά οχήματα	Εμπορικό κέντρο

Πίνακας 9: Ωράρια απορριματοφόρων στο κέντρο της πόλης

5.8. Εφαρμογή προς επίλυση προβλήματος

Για την βελτιστοποίηση των δρομολογίων αποκομιδής απορριμμάτων του Δήμου Ηρακλείου από τον στόλο των υφιστάμενων οχημάτων, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή του ArcGIS Network Analyst. Από τη γραμμή εργαλείων Network Analyst δημιουργήθηκε ένα επίπεδο ανάλυσης του προβλήματος δρομολόγησης ενός στόλου οχημάτων (βλ. Vehicles Routing Problem στο σχήμα 1).

Για την επίλυση της δρομολόγησης των απορριματοφόρων οχημάτων και την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της διαδρομής συμπεριλήφθηκαν συγκεκριμένοι περιορισμοί, όπως είναι τα χρονικά παράθυρα, η χωρητικότητα των απορριματοφόρων κλπ. Αρχικά, δημιουργήθηκε το επίπεδο ανάλυσης όπου εμφανίζονται οι κατηγορίες ανάλυσης του δικτύου.

Έπειτα έγινε παραμετροποίηση ορισμένων ειδικών κατηγοριών που ορίζει το Network Analyst, όπως στα Orders όπου ορίστηκαν οι στάσεις που θα κάνουν τα απορριματοφόρα οχήματα σύμφωνα με την θέση των κάδων. Επομένως, στην κατηγορία Orders με την επιλογή Load Location καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά των κάδων σύμφωνα με τις τιμές που ορίζονται στα πεδία του attribute table. Ειδικότερα στο πεδίο Stop_Time είναι καταχωρημένος ο χρόνος σε λεπτά (1 λεπτό) που χρειάζονται τα απορριματοφόρα για να

εξυπηρετήσουν κάθε κάδο, ενώ στο type είναι καταχωρημένη η κατηγορία των κάδων σύμφωνα με το πλάτος των δρόμων στο οποίο είναι τοποθετημένοι. Δηλαδή στο πεδίο type η τιμή 1 αντιστοιχεί στους κάδους που είναι τοποθετημένοι στην περιοχή όπου οι δρόμοι είναι στενοί και έχει πρόσβαση μόνο το μικρό απορριμματοφόρο, ενώ η τιμή 0 στους κάδους έχει πρόσβαση το μεγάλο απορριμματοφόρο.

Στην κατηγορία Depots ορίστηκε ο σταθμός καθαριότητας, ο οποίος αποτελεί το σημείο εκκίνησης και τερματισμού της διαδρομής που ακολουθούν τα απορριμματοφόρα οχήματα. Γνωρίζοντας εκ των προτέρων ότι η περισυλλογή ξεκινάει από ανατολικά και καταλήγει δυτικά, εκεί ορίστηκε και ο σταθμός (Depot).

Στην κατηγορία Specialties δημιουργήθηκε ο πίνακας με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αντικειμένων ανάλυσης τα οποία καθορίζουν και βοηθούν στην επίλυση της δρομολόγησης. Στον πίνακα Specialties προστέθηκαν 2 items στα οποία καθορίστηκαν το πεδίο ID, το όνομα του αντικειμένου ανάλυσης δικτύου δηλαδή ο αριθμός 1 και 2 για την κατηγορία του κάθε κάδου αντίστοιχα. Επίσης, προστέθηκαν και οι περιγραφικές πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο ανάλυσης σε μορφή κειμένου.

Στην κατηγορία Routes προστέθηκαν και αποθηκευτήκαν 2 items τα οποία αντιστοιχούν στην διαδρομή που θα εκτελέσει το κάθε απορριμματοφόρο όχημα. Στη συνέχεια από το Properties καθορίστηκαν οι ιδιότητες της κάθε διαδρομής.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα οχήματα χρειάζεται να κινούνται συνεχώς, με 15 και πλέον ώρες την ημέρα, προκειμένου η υπηρεσία καθαριότητας να ανταποκριθεί στοιχειωδώς στις υπάρχουσες ανάγκες. Με βάση τη περιοχή μελέτης, που περιλαμβάνει και μέρος του κέντρου της πόλης, αλλά και τον στόλο των οχημάτων μπορεί να υπολογιστεί ένα κόστος κατανάλωσης για κάθε όχημα ανάλογα με τα κυβικά του.

Για παράδειγμα σε ένα απορριμματοφόρο όχημα νέας τεχνολογίας ισχύος 205 hp και 5.880 κ.ε., αντιστοιχεί μέγιστη ποσότητα καυσίμων 546lt/μήνα ενώ σε ένα απορριμματοφόρο όχημα παλαιάς τεχνολογίας αλλά περισσότερων ίππων 220hp και 11.309 κ.ε., αντιστοιχεί μέγιστη ποσότητα καυσίμων 1060,50lt/μήνα. Από τις υποδυνάμεις προκύπτει ότι οι δύο αυτές μηχανές δύναται να παράγουν σχεδόν το ίδιο έργο στη μονάδα του χρόνου (205hp και 220hp) αλλά η μια από αυτές έχει ανάγκη διπλάσιας κατανάλωσης καυσίμων από την άλλη. Αυτό συμβαίνει διότι οι φορολογήσιμοι

ίπποι και συνεπώς η κατανάλωση των καυσίμων με βάση την 1450/550/10-2-82 απόφαση του Υπουργείου Προεδρίας προκύπτουν και εξαρτώνται απολύτως ανάλογα με τα κυβικά εκατοστά του κινητήρα.

Επομένως, ένα μέσο κόστος κατανάλωσης για τα απορριμματοφόρα βρίσκεται από τον μέσο όρο του κόστους των οχημάτων (παλαιάς + νέας τεχνολογίας), δηλαδή στα 803.25lt/μήνα.

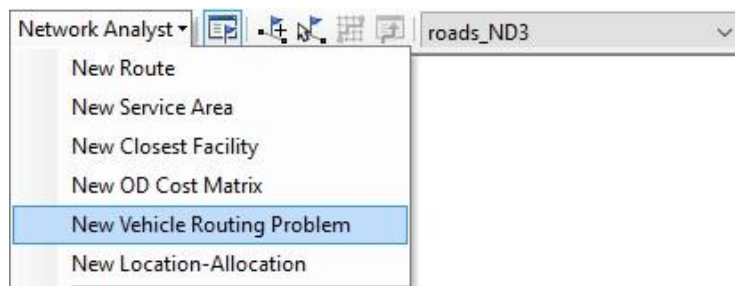
5.9. Εφαρμογή και επεξεργασία με το Network Analyst

Το Network Analyst αποτελεί ένα γραφικό περιβάλλον εργασίας που παρέχει πρόσβαση στις δυνατότητες του προγράμματος των δικτύων (ανάλυσης), όπου περιλαμβάνεται και η δρομολόγηση στόλου οχημάτων για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών. Είναι το εργαλείο μέσα από το οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργεί χάρτες αλλά και να επεμβαίνει στα δεδομένα. Τρία είναι τα κυρίως μέρη του Network Analyst:

- Το Network Analyst Window που είναι σχεδιασμένο να προσφέρει στον χρήστη εύκολη διαχείριση των σημείων ενδιαφέροντος στο δίκτυο και των αποτελεσμάτων,
- Την εργαλειοθήκη Network Analyst που είναι ένας συνδυασμός από μενού τα οποία υποστηρίζουν εφαρμογές εύρεσης διαδρομών, συντομότερων μονοπατιών, εγγύτερης υπηρεσίας, δικτύου υπηρεσίας σε κάποια περιοχή
- Ένα σύνολο από εργαλεία γεω-επεξεργασίας (Geoprocessing), το οποίο αφορά κυρίως την γεωαναφορά χωρικών δεδομένων

Όλα από τα παραπάνω εργαλεία βρίσκονται στην εργαλειοθήκη ArcToolbox.

Από την γραμμή εργαλείων Network Analyst δημιουργήθηκε ένα επίπεδο ανάλυσης του προβλήματος δρομολόγησης ενός στόλου οχημάτων (Vehicles Routing Problem), στη περίπτωση μας των απορριμματοφόρων του Δ. Ηρακλείου.



Εικόνα 10: Εφαρμογή VRP στο Network Analyst του ArcGIS

Λαμβάνοντας υπόψη μας ότι έχουμε να αναλύσουμε την δρομολόγησης 2 ειδικών απορριμματοφόρων οχημάτων και την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της διαδρομής συμπεριλήφθηκαν συγκεκριμένοι περιορισμοί, όπως είναι τα χρονικά παράθυρα, η χωρητικότητα των απορριμματοφόρων κλπ. Αρχικά, δημιουργήθηκε το επίπεδο ανάλυσης όπου εμφανίζονται οι κατηγορίες ανάλυσης του δικτύου. Αυτές εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα και είναι άδειες.



Εικόνα 11

Στην περίπτωσή μας, χρησιμοποιήθηκαν οι κατηγορίες Orders, Depots, Routes και Specialties.

Στην κατηγορία Orders ορίστηκαν οι στάσεις που θα κάνουν τα απορριμματοφόρα οχήματα σύμφωνα με την θέση των κάδων. Επομένως, στην κατηγορία Orders με την επιλογή Load Location καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά των κάδων σύμφωνα με τις τιμές που ορίζονται στα πεδία του attribute table. Πιο συγκεκριμένα στο Name ορίστηκε το πεδίο ObjectID, στο Service Time ορίστηκε το πεδίο Stoptime και στο Specialty Name ορίστηκε το πεδίο type. Στο πεδίο Stoptime είναι καταχωρημένος ο χρόνος σε λεπτά (στη

περίπτωσή μας 1 λεπτό) που χρειάζονται τα απορριμματοφόρα για να εξυπηρετήσουν κάθε κάδο. Στο type είναι καταχωρημένη η κατηγορία των κάδων ανακύκλωσης σύμφωνα με το πλάτος των δρόμων στο οποίο είναι τοποθετημένοι. Δηλαδή στο πεδίο type η τιμή 1 αντιστοιχεί στους κάδους ανακύκλωσης που είναι τοποθετημένοι στην περιοχή όπου οι δρόμοι είναι στενοί και έχει πρόσβαση μόνο το μικρό απορριμματοφόρο, ενώ η τιμή 0 στους κάδους έχει πρόσβαση το μεγάλο απορριμματοφόρο.

Στην κατηγορία Depots ορίστηκαν τα σημεία έναρξης, δηλαδή ο σταθμός απόθεσης των απορριμμάτων και τερματισμού της διαδρομής, που ακολουθούν τα απορριμματοφόρα οχήματα. Στο Δ. Ηρακλείου, γνωρίζουμε ότι τα απορριμματοφόρα ξεκινούν από την περιοχή της Αλικαρνασσού και επομένως εκεί είναι η έναρξή τους.

Στην κατηγορία Specialties δημιουργήθηκε ο πίνακας με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αντικειμένων ανάλυσης τα οποία καθορίζουν και βοηθούν στην επίλυση της δρομολόγησης. Στον πίνακα Specialties προστέθηκαν 2 items στα οποία καθορίστηκαν το πεδίο ID, το όνομα του αντικειμένου ανάλυσης δικτύου δηλαδή ο αριθμός 0 και 1 για την κατηγορία του κάθε κάδου αντίστοιχα. Επίσης, προστέθηκαν και οι περιγραφικές πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο ανάλυσης σε μορφή κειμένου.

Στην κατηγορία Routes προστέθηκαν και αποθηκευτήκαν 3 items τα οποία αντιστοιχούν στην διαδρομή που θα εκτελέσει το κάθε απορριμματοφόρο όχημα. Στη συνέχεια από το Properties καθορίστηκαν οι ιδιότητες της κάθε διαδρομής οι οποίες φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

Attribute	Value
ObjectID	1
Name	Μεγ. Α/Φ
Description	Μεγάλο απορριμματοφόρο
StartDepotName	Location 1
EndDepotName	Location 42
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	8:00:00 ημ
LatestStartTime	10:00:00 ημ
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	<Null>
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	0.0003
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	60
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	0
AssignmentRule	Include
ViolatedConstraints	<Null>
OrderCount	<Null>
TotalCost	<Null>
RegularTimeCost	<Null>
OvertimeCost	<Null>
DistanceCost	<Null>

Εικόνα 12: η διαδρομή που θα ακολουθήσει το μεγάλο απορριμματοφόρο

Attribute	Value
ObjectID	2
Name	Μικ. Α/Φ
Description	Μικρό Απορριμματοφόρο
StartDepotName	Location 1
EndDepotName	Location 42
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	8:00:00 ημ
LatestStartTime	10:00:00 ημ
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	<Null>
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	0.0003
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	60
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	1
AssignmentRule	Include
ViolatedConstraints	<Null>
OrderCount	<Null>
TotalCost	<Null>
RegularTimeCost	<Null>
OvertimeCost	<Null>
DistanceCost	<Null>

Εικόνα 13: η διαδρομή που θα ακολουθήσει το 1ο μικρό απορριμματοφόρο

Attribute	Value
ObjectID	3
Name	Μικ. Α/Φ 2
Description	Μικρό απορριμματοφόρο 2
StartDepotName	Location 42
EndDepotName	Location 1
StartDepotServiceTime	<Null>
EndDepotServiceTime	<Null>
EarliestStartTime	5:00:00 ημ
LatestStartTime	6:00:00 ημ
ArriveDepartDelay	<Null>
Capacities	<Null>
FixedCost	<Null>
CostPerUnitTime	1
CostPerUnitDistance	0.0003
OvertimeStartTime	<Null>
CostPerUnitOvertime	<Null>
MaxOrderCount	60
MaxTotalTime	<Null>
MaxTotalTravelTime	<Null>
MaxTotalDistance	<Null>
SpecialtyNames	<Null>
AssignmentRule	Include
ViolatedConstraints	<Null>
OrderCount	<Null>
TotalCost	<Null>
RegularTimeCost	<Null>
OvertimeCost	<Null>
DistanceCost	<Null>

Εικόνα 14: η διαδρομή που θα ακολουθήσει το 2ο μικρό απορριμματοφόρο

Στην πρώτη διαδρομή καθορίζονται τα εξής χαρακτηριστικά: Δόθηκε Name ως Μεγάλο Α/Φ και στα Start Depot Name και End Depot Name ορίστηκε το ίδιο σημείο εκκίνησης και τερματισμού το οποίο είναι ο σταθμός καθαριότητας. Στη συνέχεια στο Max order count ορίστηκε το μέγιστο πλήθος κάδων ανακύκλωσης που εξυπηρετείται σε αυτή την διαδρομή από το μεγάλο ειδικό απορριμματοφόρο όχημα. Η τιμή στο Max order count είναι 60 και ξεπερνά το συνολικό αριθμό των κάδων που περιλαμβάνονται στη διαδρομή αυτή. Επίσης στο Earliest Start Time ορίστηκε η ώρα, 8:00πμ, που πρέπει να ξεκινήσει την συλλογή των ανακυκλώσιμων υλικών το απορριμματοφόρο. Ομοίως, στο Latest End Time ορίστηκε η ίδια ώρα έτσι ώστε το Α/Φ να ξεκινήσει το αργότερο στις 21:30 το δρομολόγιο αποκομιδής. Επιπροσθέτως, στο Cost Per Unit Distance ορίστηκε η τιμή 0,0003 που αντιστοιχεί στην κατανάλωση πετρελαίου του μεγάλου απορριμματοφόρου η οποία είναι 3km/lt.

Τέλος, στο Specialty Name ορίστηκε η τιμή 1 η οποία αντιστοιχεί στην κατηγορία των κάδων που είναι τοποθετημένοι στις περιοχές όπου το οδικό δίκτυο επιτρέπει την πρόσβαση του μεγάλου ειδικού απορριμματοφόρου οχήματος.

Στην δεύτερη διαδρομή καθορίστηκαν τα εξής χαρακτηριστικά: Δόθηκε Name ως Μικρό Α/Φ και στα Start Depot Name και End Depot Name ορίστηκε πάλι για σημείο εκκίνησης και τερματισμού των απορριμματοφόρων ο σταθμός καθαριότητας. Στο

Max order count ορίστηκε ως μέγιστο πλήθος κάδων ανακύκλωσης η τιμή 60 η οποία ξεπερνά το συνολικό αριθμό των κάδων που περιλαμβάνονται στη διαδρομή αυτή. Στο Earliest Start Time και στο Latest End Time ορίστηκε η ίδια ώρα με την ώρα της διαδρομής που εκτελεί το μεγάλο απορριμματοφόρο όχημα. Στο Cost Per Unit Distance ορίστηκε η τιμή 0,000143 που αντιστοιχεί στην κατανάλωση πετρελαίου του μικρού απορριμματοφόρου η οποία είναι 7km/lt. Τέλος, στο Specialty Names ορίστηκε η τιμή 0 η οποία αντιστοιχεί στην κατηγορία των κάδων που είναι τοποθετημένοι στις περιοχές με στενό οδικό δίκτυο στο οποίο πρόσβαση έχει μόνο το βοηθητικό ειδικό απορριμματοφόρο.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες τιμές που αναγράφονται στον πίνακα ιδιοτήτων των διαδρομών: Στο Order Count εμφανίζεται ο αριθμός των κάδων που εξυπηρετείται από κάθε διαδρομή. Στο Total Cost εμφανίζεται το συνολικό κόστος λειτουργίας της διαδρομής η οποία αποτελεί το άθροισμα των τιμών πεδίων, Fixed Cost, Regular Time Cost, Overtime Cost και Distance Cost. Στο Regular Time Cost εμφανίζεται το κόστος της κανονικής διάρκειας της συλλογής των ανακυκλώσιμων υλικών. Στο Distance Cost παρουσιάζεται το κόστος της απόστασης που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των τιμών των πεδίων Total Distance και Cost Per Unit Distance.

Στο Total Time εμφανίζεται η συνολική διάρκεια του δρομολογίου και στο Total Order Service Time ο συνολικός χρόνος υπηρεσίας που δαπανάται σε όλους τους κάδους της διαδρομής. Στο Total Travel Time εμφανίζεται ο συνολικός χρόνος του δρομολογίου και στο Total Distance η συνολική απόσταση της διαδρομής του δρομολογίου. Στο Start Time εμφανίζεται η ώρα έναρξης της διαδρομής και στο End Time η ώρα λήξης του δρομολογίου.

Αφού προστέθηκαν οι διαδρομές που θα ακολουθήσουν τα απορριμματοφόρα οχήματα, ρυθμίστηκαν οι παράμετροι που αποτελούν τα χαρακτηριστικά της ανάλυσης του προβλήματος δρομολόγησης ενός στόλου οχημάτων. Η ενσωμάτωση των παραμέτρων στο σύστημα έγινε από την καρτέλα Analysis Settings που εμφανίζεται στο παράθυρο Layer Properties.

Από την καρτέλα Analysis Settings η διαδρομή υπολογίστηκε με βάση το κόστος του χρόνου σε λεπτά (minutes) και το κόστος της απόστασης κατά μήκος των οδών σε μέτρα (meters). Επίσης, δεν επιτρέπονται πούθενά οι επιτόπιες στροφές, τηρούνται οι περιορισμοί των μονόδρομων (Oneway Restriction) με βάση την διεύθυνση της κίνησης των οδών και το σχήμα της προκύπτουσας διαδρομής είναι το ακριβές από στάση σε

στάση σύμφωνα με το οδικό δίκτυο. Τέλος, οι οδηγίες της διαδρομής εμφανίζονται σε μέτρα και λεπτά.

Μετά την δημιουργία της δρομολόγησης των απορριμματοφόρων, την συμπλήρωση των απαιτούμενων αντικειμένων, τον καθορισμό των ιδιοτήτων και παραμέτρων ανάλυσης του δικτύου η λύση για την δρομολόγηση των απορριμματοφόρων προκύπτει από το κουμπί  στην γραμμή εργαλείων του Network Analyst.

Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνεται για όλους τους συνδυασμούς των περιοχών εύθυνης του Δήμου, δημιουργώντας εναλλακτικές δρομολογήσεις των απορριμματοφόρων οχημάτων ανά τομέα έτσι ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη δρομολόγηση.

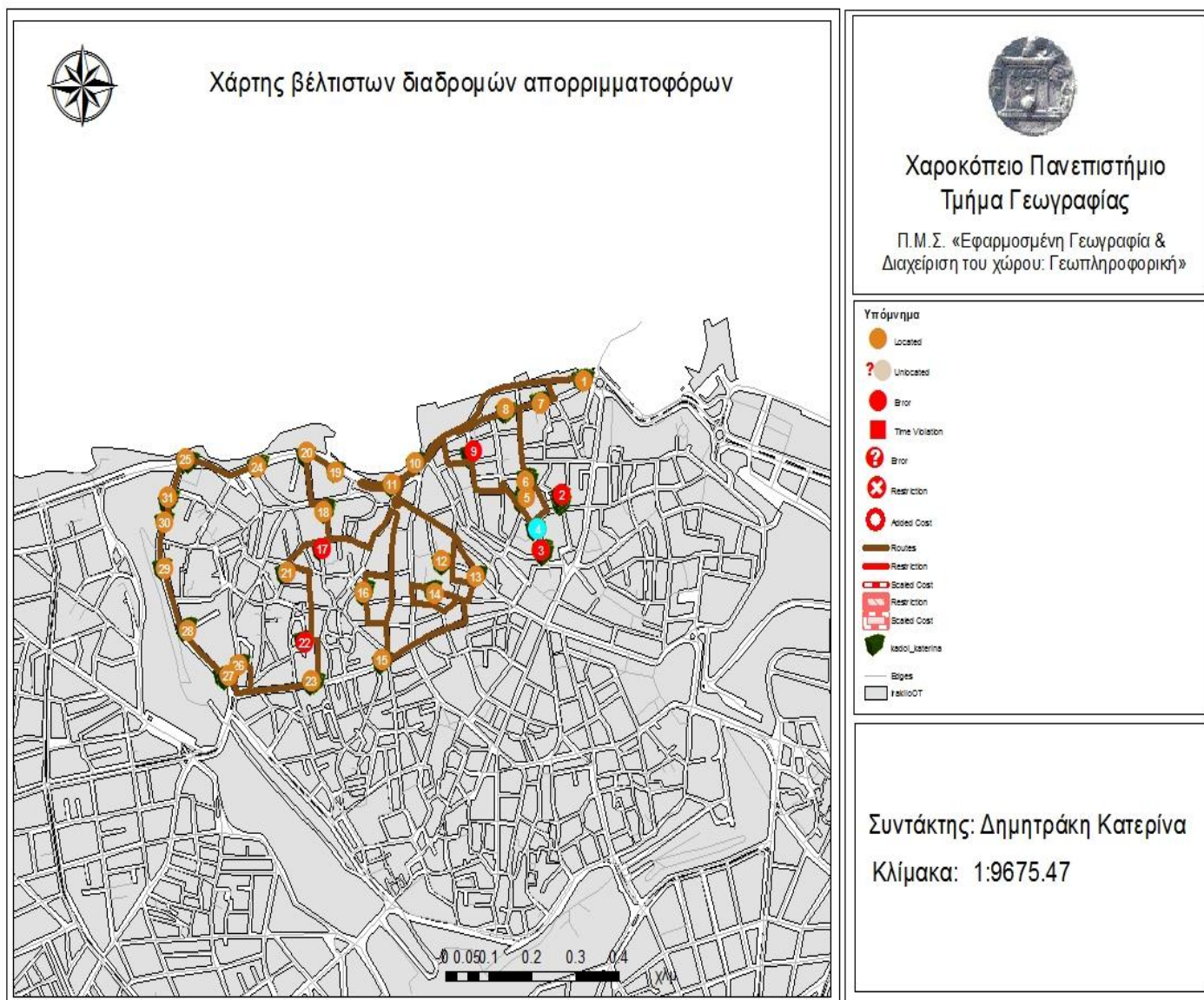
5.10. Αποτελέσματα

Με την εφαρμογή της πρόσθετης εφαρμογής Network analysis του λογισμικού ArcGIS, διαπιστώθηκαν τα εξής.

Η βέλτιστη διαδρομή διαγράφεται μέσα από τη πορεία που φαίνεται από τον χάρτη παρακάτω. Οι στάσεις που πραγματοποιεί το εκάστοτε απορριμματοφόρο, είναι 31, παρόλο που οι κάδοι, είναι 54, διότι ορισμένοι κάδοι βρίσκονται πλησίον ο ένας με τον άλλο. Υπολογίζοντας ότι για κάθε κάδο, απαιτείται τουλάχιστον ένα (1) λεπτό στάσης, ο οποίος έχει τοποθετηθεί ως πεδίο στο shapefile των κάδων (Stoptime), για τη συλλογή των απορριμμάτων, έχουμε τα εξής αποτελέσματα.

Στάσεις	Συνολική διάρκεια
31	11 λεπτά και 57 δευτ.

Πίνακας 9: Στάσεις και διάρκεια διαδρομών



5.11 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την παρούσα μελέτη είναι πολύ συγκεκριμένα και συγχρόνως ενδιαφέροντα.

Το ζήτημα κόστους-βέλτιστης χρήσης, υπερισχύει των οποιοδήποτε άλλων. Παρά το γεγονός ότι στο παρελθόν είχε πραγματοποιηθεί ανάλογη μελέτη, σήμερα τα δεδομένα και οι ανάγκες του δήμου (πληθυσμός, αλλαγή χρήσεων γης, αλλαγή οδικών σημάτων κλπ) έχουν αλλάξει, καθώς επίσης και οι απαιτήσεις των πολιτών. Επιπροσθέτως, τα

δρομολόγια που ακολουθούν τα απορριμματοφόρα οχήματα στις περιοχές εξυπηρέτησης βασίζονται στην εμπειρία του προσωπικού.

Αξιοποιώντας τα οφέλη που παρέχουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών προχωρήσαμε στο επόμενο στάδιο της έρευνας, την ανάλυση των στοιχείων και τον υπολογισμό των βέλτιστων δρομολογήσεων των οχημάτων απορριμματοφόρων για τις περιοχές ευθύνης του Δήμου Ηρακλείου. Για τον λόγο αυτό, εξετάστηκε η υφιστάμενη κατάσταση της αποκομιδής των απορριμμάτων βάσει των δεδομένων όπως:

- το ανθρώπινο δυναμικό
- τα αναγκαία καύσιμα
- τους εκπεμπόμενους ρύπους και
- τη χωρο-χρονική απόσταση που διανύουν τα απορριμματοφόρα.

Με αυτό τον τρόπο βρέθηκε το βέλτιστο όσον αφορά το κόστος αποκομιδής των απορριμμάτων, το οποίο ήταν επί της ουσίας και το ζητούμενο.

Ως συνολική εικόνα γίνεται αντιληπτό πως η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης του στόλου των απορριμματοφόρων για τον Δήμο Ηρακλείου, αλλά και ως γενικότερη διαπίστωση, δύναται να επιφέρει θετικά αποτελέσματα σε σχέση με τον άνθρωπο, το περιβάλλον και το κόστος (χιλιομετρική απόσταση - χρόνος), την απαιτούμενη ενέργεια, καθώς και για τη συντήρηση μηχανικών μερών των απορριμματοφόρων (φθορά). Κατ' αυτόν τον τρόπο, προκύπτει αποδοτικότερη ταχύτητα κίνησης, αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης, εξοικονόμηση εργατοωρών απασχόλησης προσωπικού και μεγαλύτερη ασφάλεια προσωπικού και οχημάτων.

5.12 Πρόταση για το μέλλον

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα της έρευνας και με σκοπό την αποδοτικότερη οργάνωση και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης, αλλά και της μείωσης του κόστους της διαχείρισης στο τομέα καθαριότητας του Δήμου Ηρακλείου, προτείνονται τα εξής:

1. Ενημέρωση του προσωπικού καθαριότητας για την εφαρμογή των τεχνολογιών των GIS πάνω σε θέματα διαχείρισης των απορριμμάτων και των θέσεων των κάδων.

2. Άμεση τοποθέτηση GPS στα ειδικά απορριμματοφόρα οχήματα για την καταγραφή των θέσεων των κάδων και των δρομολογίων που εκτελούν.
3. Χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων της καταγραφής των GPS.

Στόχος της παραπάνω πρότασης είναι η δημιουργία αρχείων στα οποία θα καταγράφεται η υλικοτεχνική υποδομή του Δήμου όπως και τα δεδομένα δρομολογήσεων, καθώς παρατηρήσαμε την ελλιπή οργάνωση σε αυτό το τομέα στο συγκεκριμένο Δήμο. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην τεχνολογία των GIS και στοχεύει στην διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων τόσο για την αποδοτικότητα όσο και την δυνατότητα ακόμα μεγαλύτερης βελτιστοποίησης των δρομολογίων.

Επίσης, ένας επερχόμενος επανασχεδιασμός για ορθότερη χωροθέτηση των κάδων σε σημεία που να εξυπηρετούνται οι δημότες προκειμένου να μην δημιουργούνται αστικές οχλήσεις, θα ήταν θεμιτός ενώ η χρήση GIS για τον επαναπροσδιορισμό των περιοχών ευθύνης αποκομιδής και εύρεση βέλτιστων δρομολογήσεων των ειδικών απορριμματοφόρων. Η επίτευξη της σωστής μοντελοποίηση της διαδικασίας αποκομιδής είναι ικανή να αποφέρει οικονομικότερες και αποδοτικότερες λύσεις δρομολόγησης.

Συμπεράσματα

Η σύγχρονη κοινωνία καλείται να αντιμετωπίσει μεταξύ άλλων, πολλά και σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Ένα από αυτά είναι και τα απορρίμματα. Ευτυχώς η εξέλιξη τόσο της τεχνολογίας αλλά και της πληροφορικής βοηθούν σημαντικά στην αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού. Τα ΣΓΠ με την αλαμτώδη ανάπτυξή τους, είναι ικανά με την εισαγωγή κατάλληλων δεδομένων να δώσουν λύση στο πρόβλημα τόσο της εναπόθεσης των απορριμμάτων όσο και στον τρόπο περισυλλογής τους.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης των δρομολογίων, καθιστώντας έτσι τη συλλογή απορριμμάτων αποδοτικότερη και οικονομικότερη. Παράγοντες όπως τα καύσιμα, τα οχήματα, ο όγκος των απορριμμάτων, η χωροθέτηση των κάδων, ο χρόνος κ.α επηρεάζουν το τελικό δρομολόγιο. Τα ΣΓΠ λαμβάνοντας υπόψιν τους παράγοντες αυτούς είναι ικανά να εξάγουν της βέλτιστη διαδρομή.

Με τη χρήση των ΣΓΠ για τη βέλτιστη διαδρομή στο Δημο Ηρακλείου, προέκυψε μια διαδρομή αρκετά διαφορετική της υφιστάμενης εμπειρικής. Ο χρόνος συλλογής των απορριμμάτων μειώθηκε σχεδόν στο μισό ενώ τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης μείωση και στην κατανάλωση καυσίμων αλλά και στη χρήση τόσο εργατικού δυναμικού αλλά και μηχανικού εξοπλισμού, μειώνοντας έτσι αρκετά και το κόστος.

Η παραπάνω έρευνα δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη συμβολή των ΣΓΠ, δεδομένου του μεγέθους της περιοχής και των επιμέρους δεδομένων που απαιτούνται για την αναγωγή συμπερασμάτων. Τα ΣΓΠ παρέχουν τη δυνατότητα διατήρησης μιας μεγάλης βάσης δεδομένων, αποτελούμενη από ποικίλες μεταβλητές, τη μεταξύ τους σύνδεση και ευκολότερη επεξεργασία και την απεικόνιση όλων των παραπάνω σε χάρτες, ώστε να γίνεται περισσότερο αντιληπτό. Τα ΣΓΠ αποτελούν μία σύγχρονη μέθοδο αντιμετώπισης του προβλήματος ορθής διαχείρισης των απορριμμάτων, με το οποίο ερχόμαστε αντιμέτωποι καθημερινά, είτε από την πλευρά των πολιτών, είτε από την πλευρά της διοίκησης/οργάνωσης. Δεδομένου ότι οι πολίτες σήμερα ευαισθητοποιούνται όλο και περισσότερο ως προς την ανακύκλωση υλικών, ο όγκος των ανακυκλώσιμων υλικών ολοένα αυξάνεται. Επομένως, η εισαγωγή και χρήση των ΣΓΠ στους εκάστοτε φορείς οργάνωσης και διαχείρισης των απορριμμάτων των Δήμων κρίνεται επιτακτική.

Βιβλιογραφία

- Αβραάμ Καραγιαννίδης, Άννα Ξηρογιαννοπούλου, Παναγιώτα Αδηλενίδου (2006), Διαχείριση απορριμμάτων και αστικό περιβάλλον, Θεσσαλονίκη
- Αραβαντινός, Α. (1997), «Πολεοδομικός Σχεδιασμός: Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου», Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Βαϊόπουλος Δ., Βασιλόπουλος Α., Ευελπίδου Ν., (2002) «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», Αθήνα: Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης.
- ΕΠΤΑ, 2007, Βιώσιμη Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων, Αθήνα
- Καραγιαννίδης Α., Ξηρογιαννοπούλου Α., Αδηλενίδου Π., (2006), «Διαχείριση απορριμμάτων και αστικό περιβάλλον». Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- Κωνσταντόπουλος, Π. (2008), Γραφήματα. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μανιάτης, Γ., (1996), «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Παναγιωτόπουλος, Α. (1989), Εισαγωγή στα γραφήματα. Εκδόσεις Σταμούλη, Πειραιάς – Αθήνα (σελ 50-55, 74-78).
- Παππάς, Β., (2011), «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Σχεδιασμός του Χώρου», Πάτρα: Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Σταθάκης, Δ., (2008), «Σημειώσεις Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής – Ψηφιακής χαρτογραφίας», Βόλος: Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης.
- Στεφανάκης, Ε., (2010), «Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών», Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Alwakiel, H.N. (2011). Leveraging Weigh-In-Motion (WIM) data to estimate link-based heavy-vehicle emissions. PhD thesis. Portland State University, USA

- Ardekani, S., Hauer, E., & Jamei, B. (1996). Traffic impact models. In Traffic flow theory (pp. 1–7). Washington, DC, USA.
- Ashtashil Vrushketu Bhambulkar, 2011, *Municipal solid waste collection routes optimized with ArcGIS Network Analyst*, India
- Bandeira, J., Carvalho, D. O., Khattak, A. J., Roupail, N. M., & Coelho, M. C. (2012). A comparative empirical analysis of eco-friendly routes during peak and off peak hours. In Transportation research board 91st annual meeting. Washington, USA.
- Bang, J., & Gustin, G. (2008), Digraph: θεωρία, αλγόριθμοι και εφαρμογές, Springer-Verlag, Λονδίνο.
- Bektas_, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. Transportation Research Part B: Methodological, 45(8), 1232–1250.
- Chris, I., & Gordon, R. (2001), Αλγεβρική θεωρία γραφημάτων, Springer-Verlag Λονδίνο.
- Chalkias C,- Lasaridi K., Benefits from GIS Based Modelling for Municipal Solid Waste Management, Harokopio University, Department of Geography, Greece, 2014
- Demir, E., Bektas_, T., & Laporte, G. (2011). A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 6(5), 347–357
- Demir E., Bektas T., Laporte G.(2014) A review of recent research on green road freight transportation, European Journal of Operational Research 237 (2014) 775–793
- Dene L. O’Connor, Mark Kumler, Douglas M. Flewelling, Fang Ren, (2013) Solid Waste Collection Vehicle Route Optimization for the City of Redlands, California

- Dorigo, M. & Gambardella, L.M. (1997) Ant colony system: a cooperative learning approach to the travelling salesman problem. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997
- Eglese, R. W., & Black, D. (2010). Optimizing the routing of vehicles. In A. McKinnon, S. Cullinane, M. Browne, & W. Whiteing, (Eds.), Green Logistics: Improving the environmental sustainability of logistics (pp. 215–228). Great Britain/ KoganPage.
- Forkenbrock, D. J. (1999). External costs of intercity truck freight transportation. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 33(7–8), 505–526.
- Forkenbrock, D. J. (2001). Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 35(4), 321–337.
- Ghose M.K,-Dikshit A.K,-Sharma S.K., A GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality, Regional Remote Sensing Service Center, ISRO, IIT Campus, Kharagpur, India, 2006
- Halary, F. (1969), Θεωρία γραφημάτων, M.A: Addison-Wesley.
- Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., & Sorenson, S. (1999). MEET Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. European Commission, DG VII.
- Kang, J., Ma, T., Ma, F., & Huang, J. (2011). Link-based emission model for eco routing. In ITS Telecommunications (ITST), 11th international conference (pp. 207–212). Saint Petersburg, Russia.
- Karadimas N,-Papatzelou K,-Loumos V., Optimal solid waste collection routes identified by the ant colony system algorithm, Waste Manage Res 2007

- Kono, T., Fushiki, T., Asada, K., & Nakano, K. (2008). Fuel consumption analysis and prediction model for eco route search. In 15th world congress on intelligent transport systems and ITS America's 2008 annual meeting.
- Maden, W., Eglese, R. W., & Black, D. (2010). Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), 515–522.
- Marathon Data Systems, (2004), Αθήνα: Εισαγωγή στο ArcGIS I.
- Minett, C. F., Salomons, A. M., Daamen, W., Van Arem, B., & Kuijpers, S. (2011). Ecorouting: Comparing the fuel consumption of different routes between an origin and destination using field test speed profiles and synthetic speed profiles. In *Integrated and Sustainable Transportation System (FISTS)*, 2011 IEEE Forum (pp. 32–39). Vienna, Austria.
- Montgomery, J. & Randall, M. Alternative Pheromone Applications for Ant Colony Optimisation, Technical Report TR02-07. Bond University, Robina, Australia, 2002
- Pelkmans, L., & Debal, P. (2006). Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(4), 233–241.
- Schreyer, C., Schneider, C., Maibach, M., Rothengatter, W., Doll, C., & Schmedding, D. (2004). External costs of transport: Update study. Technical report, INFRAS.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29(3), 1176–1185.
- Williams, I., Kemp, S., Coello, J., Turner, D. A., & Wright, L. A. (2012). A beginner's guide to carbon footprinting. *Carbon*, 3(1), 55–67.

- Wygonik, E., & Goodchild, A. (2011). Using a GIS-based emissions minimization vehicle routing problem with time windows (EVRPTW) model to evaluate CO2 emissions and cost trade-offs in a case study of an urban delivery system. In Transportation research board 90th annual meeting (number 11–1109), Washington, DC, USA.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<http://www.arvis.gr>

<http://www.ecorec.gr>

<http://www.eea.europa.eu>

<http://www.eoan.gr>

<http://www.eltepe.gr>

<http://www.marathondata.gr>

<http://www.esri.com>