



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΟΦΟΡΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**



Φοιτητής: Αντώνιος Πρασίδης

Επιβλέπων Καθηγητής

Παναγιώτης Παπαντωνίου

Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEING & GEOINFORMATICS
ENGINEERING

Diploma Thesis

Development of an Optimization Methology for Waste Collection in an Urban Environment



Student: Antonios Prasidis

Supervisor

Panagiotis Papantoniou

Assistant Professor

ATHENS, JULY 2024

Διπλωματική εργασία

Ανάπτυξη μεθοδολογίας βελτιστοποίησης λειτουργίας απορριμματοφόρων σε αστικό περιβάλλον

Επιμέλεια:

Αντώνιος Πρασίδης

A.M. : tg17045

Επιβλέπων: Παναγιώτης Παπαντωνίου

Συν-επιβλέπων: Δημοσθένης Παύλου

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του εισηγητή

Παπαντωνίου Παναγιώτης	Φελώνη Ελισάβετ	Χλούπης Γεώργιος
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Πρασίδης Αντώνιος, Ιούλιος, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πρασίδης Αντώνιος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 17045 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

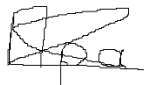
«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 16/07/2024 και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Πρασίδης Αντώνης



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς όλους όσους με στήριξαν και με βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Χωρίς την αμέριστη υποστήριξη της οικογένειάς μου και την ανεκτίμητη τους στήριξη κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων, αυτό το εγχείρημα δεν θα ήταν ποτέ εφικτό.

Επίσης, θέλω να εκφράσω τις ευγνωμοσύνες μου προς τους καθηγητές μου, οι οποίοι με τις γνώσεις, την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη τους, με έκαναν να αναπτύξω αυτή την εργασία. Ιδιαίτερες ευχαριστίες πηγαινούν στον Παναγιώτη Παπαντωνίου και Δημοσθένη Παύλου, οι οποίοι παρείχαν πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της πορείας.

Τέλος, δεν μπορώ παρά να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και τους συναδέλφους μου που με ενέπνευσαν και με ενθάρρυναν σε κάθε βήμα του δρόμου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη διαδικασία βελτιστοποίησης των διαδρομών απορριμματοφόρων χρησιμοποιώντας τα προγράμματα ArcGIS Pro και ArcGIS Online, με εφαρμογή στην περιοχή του Νέου Ψυχικού, Αττικής. Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει βήμα προς βήμα τη διαδικασία που ακολουθεί κάποιος για να βελτιστοποιήσει τις διαδρομές των απορριμματοφόρων, εστιάζοντας στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, τον σχεδιασμό των βελτιστοποιημένων διαδρομών και την εφαρμογή τους. Μέσω της χρήσης των ArcGIS Pro και ArcGIS Online, αναλύονται λεπτομερώς οι υπάρχουσες διαδρομές και προσδιορίζονται τρόποι, μέσω των παραμέτρων που δίνονται από τα προγράμματα, για την εξοικονόμηση χρόνου, απόστασης διαδρομής, καυσίμων και πόρων, και συνεπακόλουθα για τη μείωση των εκπομπών ρύπων. Η βελτιστοποίηση των διαδρομών απορριμματοφόρων όχι μόνο μειώνει το λειτουργικό κόστος και βελτιώνει την αποδοτικότητα του εργατικού δυναμικού, αλλά συμβάλλει επίσης στη βελτίωση της δημόσιας υγείας και της ποιότητας ζωής στις πόλεις. Η έρευνα αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της εφαρμογής τεχνολογιών βελτιστοποίησης στην καθημερινή λειτουργία των πόλεων και προσφέρει ένα πολύτιμο μοντέλο για άλλες αστικές περιοχές που αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις.

Λέξεις – κλειδιά

Βελτιστοποίηση, στόλος αυτοκινήτων, διαδρομές, δρομολόγηση οχημάτων, βελτιστοποίηση διαδρομής για συλλογή στερεών αποβλήτων

ABSTRACT

This thesis examines the process of optimizing garbage truck routes using the ArcGIS Pro and ArcGIS Online programs, applied to the area of Nea Psychiko, Attica. The objective of the thesis is to present step-by-step the process that one follows to optimize garbage truck routes, focusing on data collection and analysis, the design of optimized routes, and their implementation. Through the use of ArcGIS Pro and ArcGIS Online, the existing routes are analyzed in detail, and ways are identified, using the parameters provided by the programs, to save time, route distance, fuel, and resources, and consequently to reduce pollutant emissions. The optimization of garbage truck routes not only reduces operational costs and improves labor efficiency but also contributes to the improvement of public health and quality of life in cities. This research underscores the importance of applying optimization technologies in the daily operation of cities and offers a valuable model for other urban areas facing similar challenges.

Keywords

Optimization, car fleet, routes, vehicle routing, route optimization for solid waste collection

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	10
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	11
1.1 Γενικά.....	11
1.1.1 Απορριματοφόρα και κυκλοφορία.....	11
1.1.2 Τόνοι απορριμάτων ανά δήμο/χώρα.....	12
1.1.3 Στόλος οχημάτων.....	13
1.1.4 Η έννοια της βελτιστοποίησης.....	14
1.2 Στόχος.....	16
1.3 Μεθοδολογία.....	17
1.3.1 Ανάλυση βημάτων.....	18
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	21
2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο – Βασικές έννοιες.....	21
2.1.1 Πώς γίνεται η χάραξη Σενάριος για συλλογή απορριμάτων μέχρι σήμερα.....	21
2.1.2 Πώς μπορεί το GIS να μας βοηθήσει.....	22
2.2 Συναφείς Έρευνες.....	23
2.3 Σύνοψη.....	31
Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	33
3.1 Συλλογή απορριμάτων – Προβλήματα και προκλήσεις.....	35
3.2 ArcGIS.....	36
3.2.1 Επέκταση του Network Analyst.....	38
3.2.2 GIS και βελτιστοποίηση διαδρομών.....	39
3.2.3 GIS και συλλογή απορριμάτων.....	40
Κεφάλαιο 4: Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων.....	43
4.1 Συλλογή δεδομένων.....	43
4.2 Ψηφιοποίηση δεδομένων.....	45
4.2.1 Διαδικασία ψηφιοποίησης.....	46
4.3 Επεξεργασία δεδομένων.....	48
4.3.1 Διαδικασία στο ArcGIS pro.....	48

4.3.2	Διαδικασία στο ArcGIS online	50
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα		54
5.1	Περιγραφή Έρευνας Πεδίου	54
5.2	Περιγραφή σεναρίων	55
5.2.1	Σενάρια ArcGIS pro	55
5.2.2	Σενάρια ArcGIS online	63
5.3	Συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων	67
5.3.1	Αξιολόγηση σεναρίων ArcGIS pro	67
5.3.2	Αξιολόγηση σεναρίων ArcGIS online	68
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....		71
6.1	Περιορισμοί της έρευνας.....	72
6.2	Επόμενα βήματα.....	72
Αναφορές.....		74

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Χώρος ταφής απορριμμάτων.....	13
Εικόνα 2: Ετήσια παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανά κάτοικο για την Ελλάδα.....	13
Εικόνα 3: ArcGIS pro.....	33
Εικόνα 4: λειτουργία απορριμματοφόρου σε αστικό οδικό δίκτυο	35
Εικόνα 5: ArcGIS logo.....	36
Εικόνα 6: GISGeography	38
Εικόνα 7: Κυκλική διασταύρωση.....	39
Εικόνα 8: GPS εντοπισμός θέσης	44
Εικόνα 9: Ψηφιοποίηση	45
Εικόνα 10: Σήμανση μέρους	46
Εικόνα 11: Καταγραφή σημείων.....	46
Εικόνα 12: Εξαγωγή KML (1) Εικόνα 13: Εξαγωγή KML (2)	47
Εικόνα 14: KML to Layer.....	47
Εικόνα 15: Attribute table	48
Εικόνα 16: Network Analysis – Route.....	49
Εικόνα 17: Route layer.....	49
Εικόνα 18: Travel settings - ArcGIS pro.....	50
Εικόνα 19: ArcGIS online - Analysis - plan routes.....	51
Εικόνα 20: Input layers Εικόνα 21: Optional barrier layers	52
Εικόνα 22: Παράμετροι Analysis - ArcGIS online	53
Εικόνα 23: Δημοτικές Ενότητες του Δήμου Φιλοθέης-Ψυχικού	54
Εικόνα 24: Σενάριο 1	56
Εικόνα 25: Σενάριο 2	57
Εικόνα 26: Σενάριο 3	57
Εικόνα 27: Σενάριο 4	58
Εικόνα 28: Σενάριο 9	59
Εικόνα 29: Σενάριο 5	60
Εικόνα 30: Σενάριο 6	60
Εικόνα 31: Σενάριο 7	61

Εικόνα 32: Σενάριο 8	62
Εικόνα 33: Σενάριο 10	62
Εικόνα 34: Σενάριο 11	63
Εικόνα 35: Σενάριο 12	64
Εικόνα 36: Σενάριο 13	65
Εικόνα 37: Σενάριο 14	66

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Διάγραμμα ροής.....	18
Πίνακας 2: Κατηγορία βελτιστοποίησης χρόνου	67
Πίνακας 3: Κατηγορία βελτιστοποίησης απόστασης.....	67
Πίνακας 4: Σενάρια ArcGIS online	69
Πίνακας 5: Σενάριο 12	69
Πίνακας 6: Σενάριο 13	69
Πίνακας 7: Σενάριο 14	69

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η **διαχείριση των απορριμμάτων** αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες της υγιεινής και της δημόσιας υγείας σε κάθε κοινωνία. Με την αύξηση του πληθυσμού και την ανάπτυξη των αστικών περιοχών, η αποτελεσματική συλλογή και διαχείριση των απορριμμάτων έχει γίνει ακόμα πιο επιτακτική ανάγκη.

Η **αυξανόμενη αστικοποίηση** και η συνεπακόλουθη αύξηση των ποσοτήτων αστικών απορριμμάτων, έχουν καταστήσει κρίσιμο τον χειρισμό της διαδικασίας συλλογής και διάθεσής τους. Στον πυκνοκατοικημένο αστικό ιστό, η αποτελεσματική συλλογή απορριμμάτων από τα νοικοκυριά αποτελεί καίριο παράγοντα για τη διατήρηση του υγιεινού περιβάλλοντος και την πρόληψη πιθανών προβλημάτων υγείας.

Με την αύξηση της πολυπλοκότητας των αστικών δικτύων και την αυξανόμενη κίνηση των οχημάτων στις πόλεις, η ανάγκη για βελτιστοποίηση των διαδρομών των απορριμματοφόρων έχει γίνει πειστική. Η επιτάχυνση των ρυθμών της ζωής και οι αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες έχουν οδηγήσει σε **αύξηση του όγκου** των απορριμμάτων που παράγονται, απαιτώντας πιο **αποδοτικές και έξυπνες** λύσεις για τη διαχείρισή τους.

Σύμφωνα με τον Κόλλια (2004) «Η προσωρινή αποθήκευση συνίσταται στην τοποθέτηση των απορριμμάτων σε κάδους έως ότου συλλεγούν από τα απορριμματοφόρα. Αυτό το στάδιο αποτελεί κρίσιμη παράμετρο που επηρεάζει το κόστος συλλογής, τον απαιτούμενο εξοπλισμό και την **ποιότητα των υπηρεσιών.**» (Κόλλιας, 2004)

1.1.1 Απορριμματοφόρα και κυκλοφορία

Τα απορριμματοφόρα εμφανίστηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα αρχικά ως απλοί συρόμενοι κάδοι που χρησιμοποιούνταν για τη μεταφορά απορριμμάτων από τους δρόμους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Με την πάροδο του χρόνου, εξελίχθηκαν σε πιο **εξειδικευμένα οχήματα** που είναι εξοπλισμένα με προηγμένα συστήματα που επιτρέπουν την αποτελεσματική συλλογή και συμπίεση των απορριμμάτων, μειώνοντας τον όγκο και αυξάνοντας την αποθηκευτική ικανότητα των οχημάτων.

Στην Ελλάδα λειτουργούν υπό την επίβλεψη των τοπικών αρχών και δήμων, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό των δρομολογίων και τη συντήρηση του στόλου των οχημάτων. Τα δρομολόγια συνήθως σχεδιάζονται ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες συλλογής απορριμμάτων σε όλη την περιοχή του δήμου, με συχνότητα που μπορεί να είναι καθημερινή ή λιγότερο συχνή, ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού και τις ανάγκες της περιοχής. Η κυκλοφορία των απορριμματοφόρων στις αστικές περιοχές μπορεί να παρουσιάζει διάφορες **προκλήσεις**, όπως η αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση, η στενότητα των δρόμων και η ανάγκη για στάθμευση κατά τη διάρκεια της συλλογής. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, πολλές φορές τα δρομολόγια προγραμματίζονται νωρίς το πρωί ή αργά το βράδυ, όταν η κίνηση στους δρόμους είναι μειωμένη.

Η **βελτιστοποίηση των διαδρομών** των απορριμματοφόρων δεν αποτελεί μόνο έναν τρόπο για τη μείωση του κόστους και της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του αντίκτυπου στο περιβάλλον και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις αστικές περιοχές. Οι δήμοι χρησιμοποιούν συχνά **συστήματα διαχείρισης στόλου** που επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον

σχεδιασμό πιο αποδοτικών δρομολογίων, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων.

1.1.2 Τόνοι απορριμμάτων ανά δήμο/χώρα

Τα στατιστικά δεδομένα για την παραγωγή απορριμμάτων και την κυκλοφορία των απορριμματοφόρων στην Ελλάδα συνήθως συλλέγονται και δημοσιεύονται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) και τους αρμόδιους δήμους. Αυτά τα δεδομένα παρέχουν πληροφορίες για τον όγκο των απορριμμάτων που συλλέγονται, τη συχνότητα των δρομολογίων και την απόδοση των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων.

Σύμφωνα με την Eurostat, από το 2015 έως το 2019, η παραγωγή απορριμμάτων στην Ελλάδα ακολούθησε μια **ανοδική πορεία**, αντανακλώντας τόσο την αύξηση του πληθυσμού όσο και την αυξανόμενη κατανάλωση. Συγκεκριμένα, το 2015 η παραγωγή απορριμμάτων ήταν 488 χιλιάδες τόνοι, ενώ το 2016 αυξήθηκε στους 498 χιλιάδες τόνους. Το 2017 καταγράφηκαν 504 χιλιάδες τόνοι, το 2018 515 χιλιάδες τόνοι και το 2019 η παραγωγή έφτασε τους 524 χιλιάδες τόνους. Αυτή η σταθερή αύξηση υποδηλώνει τη **συνεχή ανάγκη για αποτελεσματικές λύσεις** στη διαχείριση των απορριμμάτων και την αναγκαιότητα για βελτιστοποίηση των διαδικασιών συλλογής και διάθεσης τους.



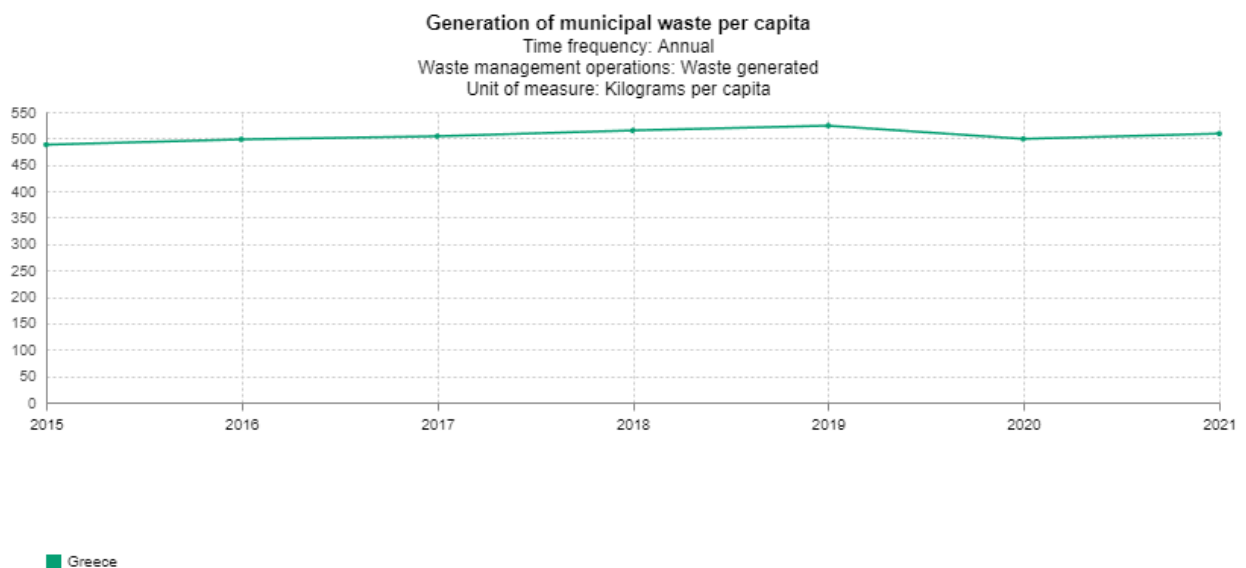
Figure 1: Παραγωγή αστικών απορριμμάτων στην Ελλάδα μεταξύ 2015 και 2019, σε χιλιάδες τόνους. (Πηγή Eurostat, 2022)

Η **αύξηση στην παραγωγή απορριμμάτων** μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους **παράγοντες**, όπως η οικονομική ανάπτυξη, η αύξηση της κατανάλωσης αγαθών και η αστικοποίηση. Αυτοί οι παράγοντες, σε συνδυασμό με τις αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες, έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για πιο αποδοτικά και βιώσιμα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων. Επιπλέον, η τεχνολογική πρόοδος και η εφαρμογή νέων μεθόδων συλλογής και ανακύκλωσης έχουν συμβάλει στη **βελτίωση της κατάστασης**, αλλά και στη **διαμόρφωση νέων προκλήσεων**.



Εικόνα 1: Χώρος ταφής απορριμμάτων

Το 2020, η περίοδος της καραντίνας λόγω της πανδημίας COVID-19 είχε **σημαντικό αντίκτυπο** στην παραγωγή απορριμμάτων. Οι περιορισμοί στην κυκλοφορία, η αύξηση της τηλεργασίας και η μεταβολή των καταναλωτικών προτύπων οδήγησαν σε **αλλαγές στον όγκο και τη σύνθεση των απορριμμάτων**. Αν και τα δεδομένα για το 2020 δεν είναι ακόμη πλήρως διαθέσιμα, είναι πιθανό να παρατηρήθηκαν αλλαγές στις ποσότητες και τα είδη των απορριμμάτων που παράγονται, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για ευέλικτα και προσαρμοστικά συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων.



Εικόνα 2: Ετήσια παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανά κάτοικο για την Ελλάδα

1.1.3 Στόλος οχημάτων

Ο στόλος των απορριμματοφόρων στην Ελλάδα αποτελεί **βασικό στοιχείο της υποδομής** διαχείρισης απορριμμάτων, και η αποτελεσματικότητά του έχει **άμεσο αντίκτυπο** στην καθαριότητα και την υγιεινή των αστικών και αγροτικών περιοχών.

Ο στόλος των απορριμματοφόρων στην Ελλάδα περιλαμβάνει διάφορους **τύπους οχημάτων**, όπως:

- Απορριματοφόρα οχήματα με συμπίεση: Αυτά τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με μηχανισμούς συμπίεσης που μειώνουν τον όγκο των απορριμμάτων, επιτρέποντας τη μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων με λιγότερα δρομολόγια.
- Απορριματοφόρα οχήματα χωρίς συμπίεση: Χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιοχές με μικρότερες ανάγκες σε απορρίμματα ή για τη συλλογή ανακυκλώσιμων υλικών.
- Εξειδικευμένα οχήματα: Περιλαμβάνουν οχήματα για τη συλλογή επικίνδυνων αποβλήτων, ογκωδών αντικειμένων, και οχήματα για την καθαριότητα των κάδων απορριμμάτων.

Τα σύγχρονα απορριματοφόρα είναι εξοπλισμένα με **τεχνολογικά συστήματα** που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητά τους, όπως:

- Συστήματα GPS και παρακολούθησης στόλου: Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση των διαδρομών των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας στη βελτιστοποίηση των δρομολογίων και τη μείωση του χρόνου και του κόστους συλλογής.
- Συστήματα αυτοματισμού: Περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένους βραχίονες για την ανύψωση και εκκένωση κάδων απορριμμάτων, μειώνοντας την ανάγκη για χειρωνακτική εργασία και αυξάνοντας την ασφάλεια του προσωπικού.

Κρίσιμη είναι επίσης και η **συντήρηση** και η **ανανέωση του στόλου** για την **αποδοτική λειτουργία** του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Οι δήμοι και οι τοπικές αρχές επενδύουν στη συντήρηση των οχημάτων για να διασφαλίσουν την απρόσκοπτη λειτουργία τους. Παράλληλα, γίνονται προσπάθειες για την ανανέωση του στόλου με νέα, πιο αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά οχήματα.

Ο στόλος των απορριματοφόρων αντιμετωπίζει διάφορες **προκλήσεις**, όπως:

- Κυκλοφοριακή συμφόρηση: Η συμφόρηση στις αστικές περιοχές μπορεί να καθυστερήσει τη συλλογή απορριμμάτων και να αυξήσει τα λειτουργικά κόστη.
- Παλαιότητα οχημάτων: Σε πολλές περιπτώσεις, ο στόλος περιλαμβάνει παλαιά οχήματα που απαιτούν συχνή συντήρηση και έχουν χαμηλότερη απόδοση.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι αρμόδιες αρχές εφαρμόζουν **στρατηγικές** όπως η επένδυση σε νέα οχήματα με χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, η χρήση τεχνολογιών βελτιστοποίησης δρομολογίων, και η ενίσχυση των προγραμμάτων ανακύκλωσης για τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων που πρέπει να συλλέγονται.

Εξαιτίας του στρατηγικού ρόλου που οι διαδρομές αναλαμβάνουν στη συλλογή απορριμμάτων, η οικονομική διάσταση επισκιάζεται από τη **σημασία της βελτίωσης της αποδοτικότητας** του δρομολογημένου συλλογικού δικτύου. Αναλύοντας τις διαδρομές και τους χρόνους συλλογής με ακρίβεια, επιδιώκουμε όχι μόνο τη μείωση του κόστους καυσίμων, αλλά και τη βελτίωση της οικονομικής βιωσιμότητας των υπηρεσιών συλλογής απορριμμάτων. Αυτή η προσέγγιση επιδιώκει να συνδυάσει την οικονομία με τη βέλτιστη χρήση πόρων, διαμορφώνοντας ένα **εξελιγμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων** με έμφαση στη **βελτιστοποίηση** των διαδρομών.

1.1.4 Η έννοια της βελτιστοποίησης

Τι είναι βελτιστοποίηση; Η λέξη βελτιστοποίηση προέρχεται από το ρήμα βελτιστοποιώ, που συντίθεται από τις λέξεις βέλτιστος + ποιό. Ο βέλτιστος είναι ο υπερθετικός βαθμός του καλός επομένως, ο όρος βελτιστοποιώ σημαίνει πως κάνω κάτι **πιο καλό**, όσο καλύτερο γίνεται. Η έννοια της βελτιστοποίησης θα μπορούσε να θεωρηθεί η τέχνη αλλά και η **επιστήμη της επιλογής του καλύτερου** στοιχείου από ένα σύνολο διαθέσιμων εναλλακτικών, σύμφωνα με καθορισμένα κριτήρια επιλογής. (Ταλιούρα, 2021)

Σύμφωνα με τους Mohammadreza Koorialipour και Amin Noorbakhsh, «βελτιστοποίηση είναι η διαδικασία καθορισμού μεταβλητών τιμών/αποφάσεων που μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση ικανοποιώντας τους περιορισμούς».

Η ανάγκη για τη βελτιστοποίηση διάφορων εργασιών προέκυψε από την ανάγκη για **αποτελεσματικότερη χρήση πόρων και την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων**. Αυτή η ανάγκη είναι κοινή σε πολλούς τομείς, όπως η μηχανική, η οικονομία, η διοίκηση, η παραγωγή, οι τηλεπικοινωνίες, η μεταφορά, και πολλοί άλλοι.

Αν και η βελτιστοποίηση στον σύγχρονο κόσμο συνδέεται συχνά με τη **χρήση υπολογιστικών μεθόδων και τεχνολογιών**, οι πρώτες προσπάθειες βελτιστοποίησης ήταν συχνά πολύ προηγούμενες της εποχής των υπολογιστών. Οι πρώτες διεργασίες βελτιστοποίησης παρατηρήθηκαν σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας από πολύ παλιότερα χρόνια. Στην αρχαιότητα, οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι ασχολήθηκαν με το πρόβλημα της βελτιστοποίησης στο πλαίσιο της φιλοσοφίας τους, για παράδειγμα ο Αριστοτέλης, εξέτασε την έννοια της ευδαιμονίας και πώς ο άνθρωπος μπορεί να επιτύχει την καλύτερη δυνατή ζωή. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι αναπτύσσοντας τη γεωργία και την πολιτισμική τους κοινωνία, πρέπει να ασχολήθηκαν με την βελτιστοποίηση της χρήσης των γεωργικών πόρων, όπως του νερού του Νείλου για την άρδευση και την παραγωγή τροφίμων. Στην αρχαία Κίνα, η τεχνολογία του αρχαίου κινέζικου πολιτισμού, όπως η καλλιέργεια των ρυζιών και οι πολεοδομικές προσπάθειες, απαιτούσαν **βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων** για την επιβίωση και την ευημερία του πληθυσμού.

Τα παραδείγματα αυτά αποτελούν μόνο μια μικρή επισκόπηση της εξέλιξης της έννοιας της βελτιστοποίησης στην ανθρώπινη ιστορία. Η σταθερή αναζήτηση του βέλτιστου τρόπου να επιτευχθούν στόχοι έχει παίξει κρίσιμο ρόλο στην **ανάπτυξη της κοινωνίας και της τεχνολογίας**.

Η διαδικασία της βελτιστοποίησης συνήθως περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. **Ορισμός του προβλήματος:** Αρχικά πρέπει να οριστεί σαφώς το πρόβλημα που θέλουμε να λύσουμε και τα κριτήρια βελτιστότητας που θέλουμε να επιτύχουμε.
2. **Συλλογή δεδομένων:** Συλλέγουμε τα δεδομένα που αφορούν το πρόβλημα, όπως περιγραφές των περιορισμών, παραμέτρων και των διαθέσιμων επιλογών.
3. **Ανάλυση:** Αναλύουμε τα δεδομένα για να κατανοήσουμε καλύτερα το πρόβλημα και να αναγνωρίσουμε πιθανές λύσεις.
4. **Σχεδιασμός του μοντέλου:** Δημιουργούμε ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει το πρόβλημα και τις περιοριστικές συνθήκες του.
5. **Εφαρμογή των μεθόδων βελτιστοποίησης:** Εφαρμόζουμε μαθηματικές ή αλγοριθμικές μεθόδους βελτιστοποίησης για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.
6. **Αξιολόγηση:** Αξιολογούμε τη βέλτιστη λύση που βρήκαμε σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίσαμε στο βήμα 1.

Για την υλοποίηση αυτών των βημάτων χρησιμοποιούνται διάφορα **εργαλεία**, όπως μαθηματικά μοντέλα, αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, λογισμικά προγραμματισμού και προηγμένα συστήματα πληροφορικής. Μερικά από τα δημοφιλέστερα εργαλεία βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν τους γενετικούς αλγόριθμους, τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης συναρτησιακού προγραμματισμού, τους αλγόριθμους εξέλιξης σωματιδίων και άλλες μέθοδοι μη γραμμικής βελτιστοποίησης.

Στο πλαίσιο της ερευνητικής αυτής εργασίας, η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των απορριμματοφόρων αναδεικνύεται **ουσιώδης παράγοντας** για την επίτευξη οικονομικής και χρονικής αποδοτικότητας. Η διαδικασία βελτιστοποίησης ανατρέπει την παραδοσιακή προσέγγιση της συλλογής

απορριμμάτων, επικεντρώνοντας την προσοχή στη **διαχείριση των διαδρομών**. Μέσω της χρήσης προηγμένων αλγορίθμων, μοντέλων και τεχνολογικών εφαρμογών, στοχεύουμε στο να επιτύχουμε ακρίβεια και ευελιξία στον καθορισμό των βέλτιστων διαδρομών συλλογής. Τα μοντέλα αυτά υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων για τον σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη διαχείριση του συστήματος (Church and Murray, 2009). Η δυνατότητα **δυναμικής προσαρμογής** των διαδρομών ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη ζήτηση, αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων.

Επιπρόσθετα, η βελτιστοποίηση στις διαδρομές απορριμματοφόρων μπορεί να συμπεριλάβει την **αποτελεσματική δρομολόγηση** των οχημάτων αναλόγως του όγκου και του τύπου των απορριμμάτων, την ελαχιστοποίηση των αποστάσεων που διανύονται και του χρόνου που απαιτείται για τη συλλογή, καθώς και την ανάθεση των δρομολογημένων διαδρομών στους οδηγούς με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Μέσω της βελτιστοποίησης στον τομέα αυτό, μπορεί να επιτευχθεί μείωση του κόστους καυσίμων, χρόνου και ανθρώπινου κόπου, καθώς και βελτίωση της ροής κυκλοφορίας και της ασφάλειας στους δρόμους.

Με αυτές τις προοπτικές, η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τις διάφορες πτυχές της **βελτιστοποίησης της λειτουργίας** απορριμματοφόρων σε αστικό περιβάλλον, έχοντας ως στόχο να προσφέρει πρακτικές λύσεις που συνδυάζουν την οικονομία και την περιβαλλοντική ευαισθησία.

1.2 Στόχος

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η **ανάπτυξη μιας σφαιρικής μεθοδολογίας** βελτιστοποίησης της λειτουργίας απορριμματοφόρων σε αστικό περιβάλλον, με έμφαση στη βελτιστοποίηση του χρόνου και της απόστασης των διαδρομών, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη χωρητικότητα των κάδων, τη χωρητικότητα των απορριμματοφόρων και την πληρότητα τους μετά από την συλλογή των απορριμμάτων από τους κάδους. Με τις κατάλληλες μελέτες εργαλεία και προγράμματα θα μπορούσε να επιτευχθεί κάτι τέτοιο σύμφωνα με (Bueno-Delgado, et al., 2019).

Η εργασία αναζητά τρόπους μείωσης της απόστασης, του χρόνου, και του αριθμού των φορτηγών προσεγγίζοντας το πρόβλημα με τα εργαλεία των προγραμμάτων ArcGIS pro και ArcGIS online. Μέσω της αξιοποίησης του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS), επιδιώκεται η ακριβής **χαρτογράφηση και ανάλυση των γεωγραφικών δεδομένων**, προκειμένου να επιτευχθεί ο στρατηγικός σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση της διαχείρισης απορριμμάτων στο αστικό περιβάλλον.

Με την χρήση του GIS, παρουσιάζονται προτάσεις που αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της απόστασης διανομής, του χρόνου συλλογής, και επακόλουθα της συνολικής επιβάρυνσης στο περιβάλλον. Επιπλέον, προτείνονται **στρατηγικές** για τη μείωση του αριθμού των απαιτούμενων φορτηγών και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της συλλογής, επιτυγχάνοντας συνολικά ένα βιώσιμο και αποδοτικό σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων σε αστικό περιβάλλον.

Η χρήση των GIS είναι σημαντική στην εργασία, καθώς παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς χαρτογράφησης και ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων. Η ενσωμάτωση πληροφοριών σχετικά με τις διαδρομές, και τους χρόνους συλλογής σε ένα GIS περιβάλλον επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων αυτών με τρόπο **ολοκληρωμένο και συστηματικό**.

Συνολικά, η εργασία παρουσιάζει έναν **στρατηγικό προσανατολισμό** για τη βελτιστοποίηση της συλλογής απορριμμάτων, επικεντρώνοντας στη χρήση των προγραμμάτων GIS για την αποτελεσματική **διαχείριση και εξοικονόμηση πόρων** σε ένα αστικό περιβάλλον.

Στην περίπτωση που η υφιστάμενη κατάσταση της μελέτης έχει ήδη επιτύχει τη βέλτιστη δυνατή κατάσταση, προβλέπεται η διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης. Ο στόχος δεν είναι μόνο η αναγνώριση περαιτέρω βελτιστοποιήσεων αλλά και η **επιβεβαίωση και διατήρηση** των ήδη αποδοτικών διαδικασιών, εάν αυτές πληρούν τα κριτήρια βέλτιστης απόδοσης.

1.3 Μεθοδολογία

Για να επιτύχουμε τον γενικό σκοπό της διπλωματικής εργασίας ακολουθήσαμε μια συστηματική μεθοδολογία.

1. Καθορισμός Στόχων και Ερωτήσεων

Ορίσαμε τον γενικό σκοπό της έρευνας και καθορίσαμε συγκεκριμένους στόχους. Θέλαμε να δημιουργήσουμε μια **μεθοδολογία** προκειμένου να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία των απορριμματοφόρων σε αστικό περιβάλλον. Ο γενικός σκοπός είναι να παρέχει στον χρήστη μια ευέλικτη δυνατότητα αξιολόγησης και καθορισμού στόχων, εστιάζοντας στην εξοικονόμηση απόστασης, χρόνου, και καυσίμων/καυσαερίων.

2. Συλλογή Δεδομένων

Για τη συλλογή δεδομένων, αξιοποιήσαμε τα GPS των κινητών μας τηλεφώνων. Σαρώσαμε την περιοχή και τοποθετήσαμε πινέζες στις ακριβείς τοποθεσίες των κάδων, χρησιμοποιώντας το Google Maps και το Google Earth. Αυτή η διαδικασία επέτρεψε τη συγκέντρωση ακριβών γεωχωρικών δεδομένων, καθιστώντας τη βάση της έρευνάς μας **πλήρη και ακριβή**.

3. Ψηφιοποίηση Δεδομένων

Στο στάδιο της ψηφιοποίησης των δεδομένων, αξιοποιούμε τη δυνατότητα που παρέχει το Google Earth για την εξαγωγή των δεδομένων μας σε μορφή KML. Αυτό το βήμα επιτρέπει τη μεταφορά των **γεωχωρικών δεδομένων** μας στο περιβάλλον του ArcGIS, διευκολύνοντας την επεξεργασία και την ανάλυσή τους.

4. Διαμόρφωση Διαδρομών με ArcGIS Network Analysis

Χρησιμοποιώντας την επέκταση Network Analyst του ArcGIS, μπορέσαμε να εισάγουμε αυτόματα τις τοποθεσίες των κάδων ως «στάσεις» στο οδικό δίκτυο, χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο το OpenStreetMap. Στη συνέχεια, προχωρήσαμε στην προσαρμογή των παραμέτρων του συστήματος, με στόχο την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής για τα απορριμματοφόρα.

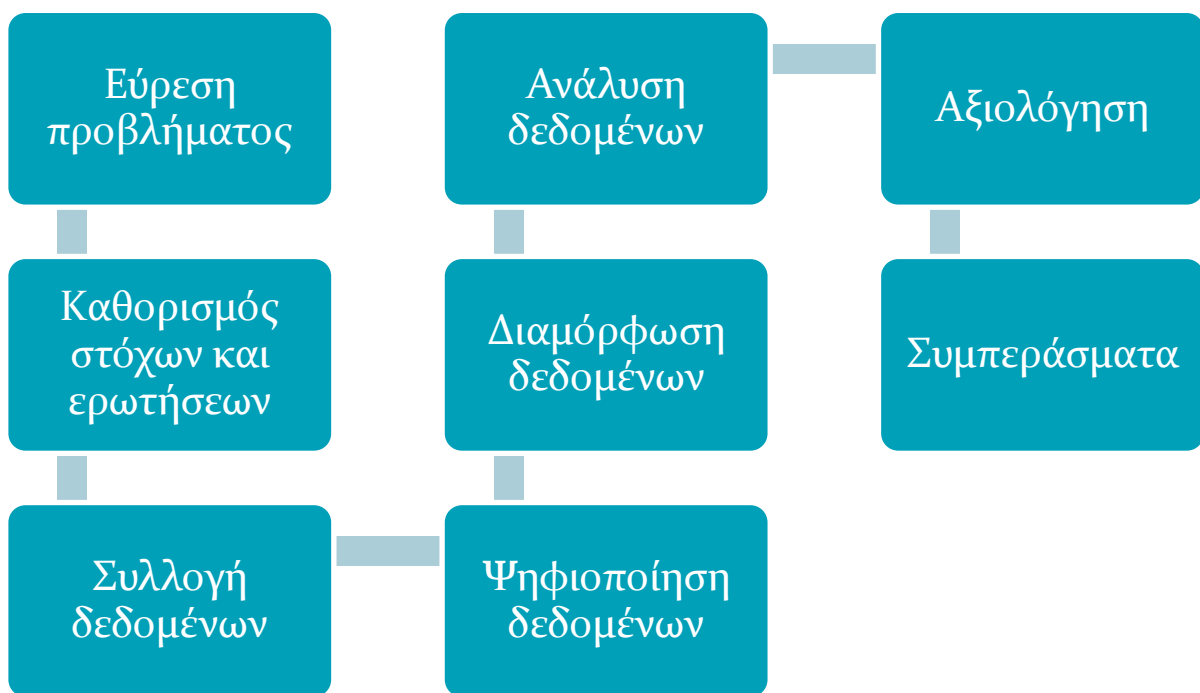
5. Ανάλυση Δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω **πειραματισμού και σύγκρισης** ποικίλων παραγόντων. Αξιολογήσαμε την απόσταση, τον χρόνο, την ταχύτητα, τον αριθμό των απορριμματοφόρων, τον αριθμό των στάσεων και τη διάρκεια λειτουργίας κάθε απορριμματοφόρου. Αυτοί οι παράγοντες ανακλούν τις ποικίλες πτυχές της λειτουργίας των απορριμματοφόρων και αξιοποιούνται ως παράμετροι από το Network Analysis.

6. Αξιολόγηση και Συμπεράσματα

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, επικεντρωθήκαμε στους βασικούς παράγοντες, όπως ο χρόνος διαδρομής και η απόσταση διαδρομής. Κάθε χρήστης μπορεί να επιλέξει την πιο προτιμητέα Σενάριο ανάλογα με τα δικά του κριτήρια. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου ο χρόνος παραμένει σταθερός αλλά η απόσταση διαφέρει μεταξύ διαδρομών, ή αν υπάρχουν αντικρουόμενες παράμετροι όπως η κατανάλωση καυσίμων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την προτιμώμενη Σενάριο με βάση τις προσωπικές του **προτεραιότητες**. Αυτή η **ευελιξία** επιτρέπει την προσαρμογή της βέλτιστης διαδρομής σύμφωνα με τις **ανάγκες και τις προτιμήσεις** του κάθε χρήστη.

Πίνακας 1: Διάγραμμα ροής



1.3.1 Ανάλυση βημάτων

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει ένα σαφές και συνεκτικό περιεχόμενο, με τη δομή της να χωρίζεται σε πέντε ενότητες.

Στη πρώτη ενότητα, η εισαγωγή παρέχει μια γενική ανασκόπηση του θέματος, καθορίζει τον **στόχο** της έρευνας και περιγράφει τη **μεθοδολογία** που ακολουθήθηκε, συμπεριλαμβανομένου ενός διαγράμματος ροής και της ανάλυσης των βημάτων. Επίσης, περιγράφεται η συνολική δομή της διπλωματικής.

Στη δεύτερη ενότητα, πραγματοποιείται μια λεπτομερής **βιβλιογραφική ανασκόπηση** που επικεντρώνεται στη χάραξη διαδρομής για τη συλλογή απορριμμάτων, τον ρόλο του GIS στη βελτιστοποίηση διαδρομών, καθώς και τις προκλήσεις στη βελτιστοποίηση αυτών. Παρατίθενται επίσης συναφείς έρευνες σχετικά με τα θέματα αυτά.

Στην Τρίτη ενότητα αναφέρονται κάποιες **προκλήσεις** της συλλογής απορριμμάτων καθώς επίσης γίνεται εκτενής αναφορά στο ArcGIS.

Στην τέταρτη και πέμπτη ενότητα, περιγράφεται η **διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας** των δεδομένων, καθώς και τα αποτελέσματα από δοκιμές και συγκριτικές αξιολογήσεις.

Η έκτη και τελευταία ενότητα περιλαμβάνει τα **συμπεράσματα**, εστιάζοντας στα βασικά αποτελέσματα, αναδεικνύοντας περιορισμούς της έρευνας και προτείνοντας επόμενα βήματα.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο – Βασικές έννοιες

Αρχικά καταγράφονται βασικές έννοιες που παρουσιάζονται στη συνέχεια στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας

- **Βελτιστοποίηση:** η διαδικασία ή το αποτέλεσμα του να κάνω κάτι πιο καλό απ' ό τι είναι
- **Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS):** Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών αποτελείται από ενσωματωμένο υλικό και λογισμικό υπολογιστή που αποθηκεύει, διαχειρίζεται, αναλύει, επεξεργάζεται, εξάγει και οπτικοποιεί γεωγραφικά δεδομένα.
- **Ευρετική μέθοδος:** Μια ευρετική ή ευριστική (από το αρχαίο ελληνικό εύρισκω) είναι οποιαδήποτε προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων ή την αυτοανακάλυψη που χρησιμοποιεί μια πρακτική μέθοδο που δεν είναι εγγυημένη ότι είναι βέλτιστη, τέλεια ή ορθολογική, αλλά είναι ωστόσο επαρκής για να επιτευχθεί ένας άμεσος, βραχυπρόθεσμος στόχος ή προσέγγιση. Όπου η εύρεση της βέλτιστης λύσης είναι αδύνατη ή μη πρακτική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρετικές μέθοδοι για να επιταχυνθεί η διαδικασία εύρεσης μιας ικανοποιητικής λύσης.
- **Γενετικός Αλγόριθμος:** Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ένα πεπερασμένο σύνολο οδηγιών για την εκπλήρωση ενός έργου, το οποίο δεδομένης μιας αρχικής κατάστασης θα οδηγήσει σε μια αναγνωρίσιμη τελική κατάσταση, και το οποίο προσπαθεί να μιμηθεί την διαδικασία της βιολογικής εξέλιξης.
- **Particle Swarm Optimization:** Η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων είναι μια υπολογιστική μέθοδος που βελτιστοποιεί ένα πρόβλημα προσπαθώντας επαναληπτικά να βελτιώσει μια υποψήφια λύση σε σχέση με ένα δεδομένο μέτρο ποιότητας. Λύνει το πρόβλημα έχοντας έναν πληθυσμό υποψήφιων λύσεων, που εδώ ονομάζονται σωματίδια, και μετακινώντας αυτά τα σωματίδια στον χώρο αναζήτησης σύμφωνα με έναν απλό μαθηματικό τύπο που καθορίζει τη θέση και την ταχύτητα του σωματιδίου.
- **Γεωχωρική βάση δεδομένων:** Μια γεωγραφική βάση δεδομένων είναι ένα σύστημα για την αποθήκευση, διαχείριση και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων και χωρικών πληροφοριών, όπως τοποθεσίες και σχήματα γεωγραφικών χαρακτηριστικών.
- **Ant Colony:** Η βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization) είναι μια υπολογιστική μέθοδος εμπνευσμένη από τη συμπεριφορά των μυρμηγκιών, η οποία χρησιμοποιείται για την εξεύρεση βέλτιστων λύσεων σε προβλήματα βελτιστοποίησης μέσω της συνεργασίας και της επικοινωνίας πολλαπλών απλών παραγόντων (μυρμηγκιών).

2.1.1 Πώς γίνεται η χάραξη διαδρομής για συλλογή απορριμμάτων μέχρι σήμερα

Η δημιουργία ενός **αποτελεσματικού** δρομολογίου για τα οχήματα συλλογής απορριμμάτων, με στόχο την εξυπηρέτηση κάθε νοικοκυριού με ελάχιστες κενές διαδρομές, αποτελεί μια **απαιτητική εργασία**. Ενώ θεωρητικά είναι δυνατόν να γίνει **μαθηματική ανάλυση** για μια ιδανική γειτονιά, στην πράξη η εφαρμογή μιας προσέγγισης είναι δύσκολη λόγω διάφορων **μη προβλέψιμων παραγόντων** όπως μονόδρομοι, αδιέξοδα, υψομετρικές διαφορές, κίνηση και θέσεις σταθμών μεταφόρτωσης. Συνήθως, χρησιμοποιείται μια πρακτική προσέγγιση βασισμένη στην κοινή λογική, με αποφυγή υψηλής κίνησης κατά τις ώρες αιχμής και σχεδιασμό σύντομων διαδρομών. Επίσης, η έναρξη μιας διαδρομής γίνεται

στο υψηλότερο σημείο της περιοχής συλλογής και όχι στο χαμηλότερο, έτσι ώστε το φορτίο να αυξάνεται καθώς το όχημα κινείται σε κατωφέρεια. Λόγω των κινδύνων και καθυστερήσεων που έχουν οι συχνές αριστερές στροφές, οι οδηγίες δίνουν έμφαση σε δεξιόστροφους βρόχους κυρίως από δεξιές στροφές. Συνεπώς, η πρόσβαση σε αδιέξοδους δρόμους είναι καλύτερη όταν το όχημα συναντά τον δρόμο στη δεξιά πλευρά, και όχι στην αριστερή.

2.1.2 Πώς μπορεί το GIS να μας βοηθήσει

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη χάραξη διαδρομών για τη συλλογή απορριμμάτων, παρέχοντας **εργαλεία και μεθόδους** που βελτιστοποιούν τη διαδικασία και αυξάνουν την αποδοτικότητα.

Κάποιοι τρόποι με τους οποίους μπορεί να βοηθήσει το GIS είναι:

1. Ανάλυση Χωρικών Δεδομένων

Το GIS επιτρέπει την **ανάλυση χωρικών δεδομένων**, όπως οι τοποθεσίες των κάδων απορριμμάτων, οι ζώνες κατοικίας, οι εμπορικές περιοχές και τα οδικά δίκτυα. Μέσω αυτής της ανάλυσης, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις ανάγκες κάθε περιοχής και να προγραμματίσουμε δρομολόγια που καλύπτουν αποτελεσματικά όλες τις ζώνες συλλογής.

2. Βελτιστοποίηση Διαδρομών

Η χρήση **αλγορίθμων βελτιστοποίησης** διαδρομών στο GIS μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό των πιο αποδοτικών δρομολογίων για τα απορριματοφόρα. Αυτοί οι αλγόριθμοι λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η απόσταση, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι ώρες αιχμής και η χωρητικότητα των οχημάτων, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος των δρομολογίων.

3. Παρακολούθηση και Διαχείριση Στόλου

Με τη χρήση GIS, οι αρμόδιες αρχές μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την τοποθεσία και την κατάσταση των απορριματοφόρων. Αυτό επιτρέπει την **άμεση αναπροσαρμογή** των διαδρομών σε περίπτωση έκτακτων περιστατικών, όπως κυκλοφοριακά ατυχήματα ή προβλήματα οχημάτων, διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη συνέχιση της συλλογής απορριμμάτων.

4. Προβλέψεις και Προγραμματισμός

Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την **πρόβλεψη** μελλοντικών αναγκών και την καλύτερη **προετοιμασία** των υπηρεσιών συλλογής απορριμμάτων. Με την ανάλυση των δεδομένων πληθυσμού, της ανάπτυξης των αστικών περιοχών και των ιστορικών δεδομένων απορριμμάτων, οι δήμοι μπορούν να σχεδιάσουν πιο αποδοτικά δρομολόγια και να καθορίσουν τις ανάγκες σε εξοπλισμό και προσωπικό.

5. Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων

Η χρήση του GIS επιτρέπει την εύκολη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σχετικά με τα απορρίμματα και τις διαδρομές. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη **συνεχή βελτίωση** των δρομολογίων και των πρακτικών συλλογής, βασιζόμενες σε ακριβή και ενημερωμένα δεδομένα.

6. Επικοινωνία και Συνεργασία

Το GIS παρέχει **πλατφόρμες** για την καλύτερη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων φορέων. Οι πληροφορίες σχετικά με τις διαδρομές των απορριματοφόρων, τις ανάγκες

των περιοχών και την απόδοση των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων μπορούν να κοινοποιηθούν εύκολα, ενισχύοντας τη συνεργασία και τη λήψη αποφάσεων.

Ένα **παράδειγμα εφαρμογής** είναι ένας δήμος που μπορεί να χρησιμοποιήσει το GIS για να χαρτογραφήσει όλες τις τοποθεσίες των κάδων απορριμμάτων και να αναλύσει τα δεδομένα για την πληθυσμιακή κατανομή και τις ζώνες παραγωγής απορριμμάτων. Με βάση αυτή την ανάλυση, μπορούν να δημιουργηθούν βελτιστοποιημένα δρομολόγια που μειώνουν τον χρόνο και την απόσταση που πρέπει να διανύσουν τα απορριμματοφόρα, μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές ρύπων και το κόστος καυσίμων.

Συνολικά, το GIS παρέχει ένα **ισχυρό σύνολο εργαλείων** που μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη διαδικασία χάραξης διαδρομών για τη συλλογή απορριμμάτων, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας τα λειτουργικά κόστη.

2.2 Συναφείς Έρευνες

Σύμφωνα με την Αλεξουδάκη (2017) «Η **οργάνωση** της συλλογής απορριμμάτων είναι ζωτικής σημασίας στις σύγχρονες κοινωνίες. Η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης των απορριμματοφόρων μπορεί να **μειώσει** τα κόστη διαχείρισης.» Στη μελέτη της επικεντρώνεται στην τρέχουσα κατάσταση στην περιοχή της Μύρινας, Λήμνου και στοχεύει στον καθορισμό βέλτιστων διαδρομών και δυνητικών βελτιστοποιήσεων. «Η ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) βοηθά στη σύγκριση των υπαρχουσών και βέλτιστων διαδρομών. Τα ευρήματα υποδηλώνουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης των τεσσάρων διαδρομών που ακολουθούν τρία οχήματα κατά τη συλλογή απορριμμάτων στη Μύρινα, Λήμνο». (Αλεξουδάκη, 2017)

Σύμφωνα με τους Jovicic et al. (2011) «Η συλλογή και η μεταφορά στο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων μπορεί να αποτελούν περισσότερο από το 60% του συνολικού προϋπολογισμού, μεγάλο μέρος του οποίου αφορά τα καύσιμα. Επιπλέον, τα κοινοτικά οχήματα έχουν σημαντικό **περιβαλλοντικό αντίκτυπο** μέσω των εκπομπών αερίων εκροής.» Σκοπός της έρευνας τους ήταν η εκτίμηση του δυναμικού μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και, ως εκ τούτου, των εκπομπών CO₂ μέσω της βελτιστοποίησης των διαδρομών των κοινοτικών οχημάτων. Παρουσιάζεται επίσης η γενική μεθοδολογία για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών. Για την περιοχή που μελετήθηκε, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής πειραματική έρευνα στην πόλη του Κραγκουεβάτς. «Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία GIS και GPS, σαρώθηκε ολόκληρη η κοινοτική υποδομή για τη συλλογή αποβλήτων και καταγράφηκαν όλες οι διαδρομές των οχημάτων σε μια αναπτυγμένη βάση δεδομένων. Βασισμένοι σε πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα, αναλύθηκε μια τυπική Σενάριο ενός κοινοτικού οχήματος χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGIS. Το αποτέλεσμα έδειξε δυνητική εξοικονόμηση 2700 χλμ ανά έτος για ένα κοινοτικό όχημα. Επιπλέον, εξήχθη η πιο οικονομική Σενάριο καυσίμου και συγκρίθηκε με την αρχική Σενάριο και με τις διαδρομές που εξήχθησαν βάσει κριτηρίων χρόνου κυκλοφορίας και μικρότερης απόστασης. Σύμφωνα με τις διαθέσιμες πληροφορίες για την πόλη Κραγκουεβάτς και τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, εκτιμάται ότι οι συνολικές εξοικονομήσεις μπορούν να φθάσουν το 20% σε κόστη και τις συναφείς εκπομπές». (JOVIČIĆ, et al., 2011)

Σύμφωνα με τους Wu et al. (2020) αναπτύχθηκε ένα **μοντέλο και αλγόριθμοι** για την βελτιστοποίηση της συλλογής και μεταφοράς αστικών αποβλήτων στην Κίνα. «Εστίαση γίνεται στην άμεση συλλογή κάδων απορριμμάτων υψηλής προτεραιότητας, όπως ιατρικά απόβλητα, για την πρόληψη επιβλαβών επιπτώσεων. Το προτεινόμενο μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και το κόστος διαχείρισης αποβλήτων, χρησιμοποιώντας δυναμικές διαδρομές με βάση το επίπεδο γεμίματος

των κάδων. Ένας υβριδικός αλγόριθμος που συνδυάζει την βελτιστοποίηση με σμήνη σωματιδίων (Particle Swarm Optimization PSO) και την επικύρωση με εικονική ψύξη χρησιμοποιείται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Ο έλεγχος με διάφορα παραδείγματα επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική μείωση των αρνητικών επιπτώσεων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, αναδεικνύουν την αποδοτικότητα της συλλογής αποβλήτων σε συγκεκριμένα επίπεδα γεμίματος και παρέχουν συστάσεις για τις αρχές προστασίας του περιβάλλοντος και τα ιδρύματα διαχείρισης αποβλήτων». (Wu, et al., 2020)

Σύμφωνα με τους Qiao et al. (2020) «Η αειφόρος διαχείριση της συλλογής των οικιακών απορριμμάτων έχει **αυξανόμενη σημασία** τα τελευταία χρόνια, όσον αφορά τις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις της. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία εξετάζει συχνά τις οικονομικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις, αλλά σπάνια επικεντρώνεται στα κοινωνικά θέματα, πόσο μάλλον σε μια ανάλυση των τριών προαναφερόμενων πτυχών συγχρόνως.» Στην εργασία τους έλαβαν υπόψη τα τρία οφέλη ταυτόχρονα, με στόχο τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων για μια ολοκληρωμένη λύση στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με χωρητικότητα στο σύστημα συλλογής των οικιακών απορριμμάτων, όπου ο αριθμός και η τοποθεσία των οχημάτων, των αποθηκών και των εγκαταστάσεων διάθεσης έχουν προκαθοριστεί εκ των προτέρων. Πέρα από τις παραδοσιακές ανησυχίες για το οικονομικό κόστος, η παρούσα εργασία λαμβάνει υπόψη τα περιβαλλοντικά ζητήματα που συνδέονται με τις εκπομπές άνθρακα που προκαλούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων και αξιολογεί τα κοινωνικά οφέλη μέσω κόστων ποινής που προκύπτουν από ανισορροπημένες αναθέσεις δρομολογίων για τις εγκαταστάσεις διάθεσης. Στη συνέχεια, προτείνεται ένα προσαρμοσμένο μοντέλο βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση των συστημικών εξόδων που αποτελούνται από τα σταθερά κόστη των οχημάτων, τα κόστη κατανάλωσης καυσίμου, τα κόστη εκπομπών άνθρακα και τα κόστη ποινής. «Για την απόδοση μιας αποτελεσματικής λύσης για το προτεινόμενο μοντέλο, υιοθετούνται δύο αλγόριθμοι μεταεπιχειρησιακής βελτιστοποίησης, το particle swarm optimization (PSO) και η αναζήτηση με απαγορευτικές κινήσεις (tabu search, TS), για έναν διφασικό αλγόριθμο. Επιτυγχάνεται μια ισορροπημένη λύση και τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια συμβιβαστική προσέγγιση ανάμεσα στα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη». (Qiao, et al., 2020)

Σύμφωνα με τους Zsigraiova et al. (2012) προτείνεται μια **καινοτόμα μεθοδολογία** για τη μείωση των λειτουργικών εξόδων συλλογής απορριμμάτων και των εκπομπών ρύπων. Συνδυάζει τη βελτιστοποίηση των διαδρομών οχημάτων με το πρόγραμμα συλλογής απορριμμάτων με βάση τους ξεχωριστούς ρυθμούς γεμίματος κάθε δοχείου. «Χρησιμοποιούνται συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών βάσει των κριτηρίων του χρόνου και της απόστασης. Λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές, όπως η ταχύτητα του οχήματος και το φορτίο φόρτωσης. Η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε ένα σύστημα συλλογής γυαλιού, επιδεικνύοντας σημαντική μείωση των εξόδων και των εκπομπών. Η ανάλυση ευαισθησίας αποδεικνύει την επίδραση του δυναμικού φορτίου στην κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές.» (Zsigraiova, et al., 2012)

Σύμφωνα με Pelagagge (2000), παρουσιάζεται ένα εργαλείο λογισμικού βασισμένο σε GIS, σχεδιασμένο για να βοηθά στον **προγραμματισμό** συστημάτων διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων. «Το λογισμικό υποστηρίζει τους χρήστες σε διάφορα στάδια προγραμματισμού της διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων της πρόβλεψης παραγωγής αποβλήτων, της λογιστικής, του προγραμματισμού δρομολογίων οχημάτων και της οικονομικής ανάλυσης. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του εργαλείου είναι η ικανότητά του να υπολογίζει ρεαλιστικούς ρυθμούς παραγωγής αποβλήτων και διανομής χρησιμοποιώντας γεωγραφικά δεδομένα και δεδομένα πληθυσμιακής πυκνότητας. Επιπλέον, επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να

πραγματοποιούν γρήγορες διαδραστικές αναλύσεις εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης». (Caputo & Pelagagge, 2000)

«Στη διαχείριση δημοτικών στερεών αποβλήτων, η βελτιστοποίηση των διαδρομών συλλογής μπορεί να **μειώσει σημαντικά τα κόστη**, τα οποία αποτελούν το 85% των συνολικών εξόδων.» Η παρούσα μελέτη του Araydin (2006), επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση διαδρομών για τη συλλογή αποβλήτων στην πόλη της Τραπεζούντας, Τουρκία, χρησιμοποιώντας δεδομένα από το οδικό δίκτυο, τη δημογραφία και την παραγωγή αποβλήτων. Πραγματοποιήθηκαν βιντεοσκοπήσεις και συλλογή δεδομένων για την ανάλυση της διαδικασίας συλλογής αποβλήτων. Για την βελτιστοποίηση εφαρμόστηκε το μοντέλο συντομότερης διαδρομής, ενσωματώνοντας στοιχεία GIS και χρησιμοποιώντας το λογισμικό Route View ProTM. «Οι βελτιστοποιημένες διαδρομές είχαν ως αποτέλεσμα μείωση απόστασης κατά 4-59% και χρόνου κατά 14-65%. Συνολικά, η διαδικασία βελτιστοποίησης διαδρομών οδήγησε σε μείωση κόστους κατά 24% στο σύστημα συλλογής απορριμμάτων από σταθερούς κάδους». (APAYDIN* & GONULLU, 2006)

Στη μελέτη του Ogwueleka (2009), παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος για το πρόβλημα συλλογής στερεών αποβλήτων σε αναπτυσσόμενες χώρες. Ο στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, με βάση κυρίως την απόσταση που διανύει το όχημα. Προτάθηκε μια **ευρηματική μέθοδος** για τη δημιουργία εφικτής λύσης σε ένα επεκτεινόμενο πρόβλημα δρομολόγησης με περιορισμένη χωρητικότητα σε μη κατευθυνόμενο δίκτυο, εμπνευσμένη από τα προβλήματα συλλογής απορριμμάτων στη Νιγηρία. Η ευρηματική διαδικασία περιλάμβανε τη μέθοδο "πρώτα Σενάριο, μετά ομάδα". Παρουσιάζεται η υπολογιστική εμπειρία με την ευρηματική μέθοδο στην περιοχή Onitsha. Η τεχνική συγκρίθηκε με το υπάρχον πρόγραμμα από άποψη κόστους, χρόνου και διανυθείσας απόστασης. «Η εφαρμογή της προτεινόμενης ευρηματικής μεθόδου στην περιοχή Onitsha οδήγησε σε μείωση του αριθμού των οχημάτων, μείωση του κόστους συλλογής απορριμμάτων κατά 22,86% και μείωση της διανυθείσας απόστασης των οχημάτων ανά ημέρα κατά 16,31%. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης ευρηματικής μεθόδου, η οποία μπορεί να είναι χρήσιμη για τον προγραμματισμό των οχημάτων». (OGWUELEKA, 2009)

Στην μελέτη του Karadimas et al (2007), χρησιμοποιείται ο **Γενετικός Αλγόριθμος** (Genetic Algorithm) για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών στην περίπτωση συλλογής Στερεών Αποβλήτων Δήμων (ΣΑΔ). «Το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης ΣΑΔ βασίζεται σε μια **γεωχωρική βάση δεδομένων** που υποστηρίζεται από ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Το GIS λαμβάνει υπόψη όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους για τη συλλογή ΣΑΔ, συμπεριλαμβανομένων στατικών και δυναμικών δεδομένων, όπως οι θέσεις των κάδων απορριμμάτων, το οδικό δίκτυο και η σχετική κίνηση, καθώς και η πυκνότητα πληθυσμού στην περιοχή που μελετάται. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη προγράμματα συλλογής απορριμμάτων, ικανότητες φορτηγών και χαρακτηριστικά τους. Χρησιμοποιείται χωροχρονική στατιστική ανάλυση για την εκτίμηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ δυναμικών παραγόντων, όπως οι αλλαγές κυκλοφορίας στις κατοικημένες και εμπορικές περιοχές. Ο χρήστης, με το προτεινόμενο σύστημα, μπορεί να καθορίσει ή να τροποποιήσει όλους τους απαιτούμενους δυναμικούς παράγοντες για τη δημιουργία εναλλακτικών αρχικών σεναρίων. Ο στόχος του συστήματος είναι να βρει τον πιο οικονομικό σενάριο συλλογής απορριμμάτων, να εκτιμήσει το κόστος λειτουργίας του και να προσομοιώσει την εφαρμογή του». (Karadimas, et al., 2007)

Σύμφωνα με τον Chalkias (2011), «Η διαχείριση αποβλήτων αποτελεί ένα **σημαντικό παγκόσμιο πρόβλημα**, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και των αυξανόμενων ποσοτήτων αποβλήτων. Η τεχνολογική εξέλιξη και η πεποίθηση ότι οι φυσικοί πόροι της Γης είναι πεπερασμένοι, προκαλούν πρόκληση στα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων και στην προστασία του περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο, έχει αναπτυχθεί ένα νέο παράδειγμα διαχείρισης αποβλήτων που επικεντρώνεται στην

αποδοτική χρήση των πόρων και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι πολιτικές της ΕΕ θέτουν ως προτεραιότητες την πρόληψη, την ανακύκλωση και την ανάκτηση ενέργειας των αποβλήτων. Οι τοπικές αρχές αντιμετωπίζουν αυξημένες απαιτήσεις για υψηλά ποσοστά ανάκτησης και ανακύκλωσης, προηγμένες διαδικασίες επεξεργασίας και οικονομική αποδοτικότητα. Η βελτιστοποίηση της συλλογής και μεταφοράς αποβλήτων μέσω της χρήσης γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση. Παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για τη βελτιστοποίηση του συστήματος συλλογής και μεταφοράς αποβλήτων στην περιοχή Νίκαια της Αθήνας, χρησιμοποιώντας τεχνολογία GIS. Η στρατηγική περιλαμβάνει την αντικατάσταση και ανακατανομή των κάδων απορριμμάτων καθώς και τον καθορισμό νέων προγραμμάτων συλλογής μέσω βελτιστοποίησης δρομολόγησης με τη χρήση GIS. Οι επιπτώσεις της προτεινόμενης στρατηγικής αξιολογούνται σε όρους ελαχιστοποίησης χρόνου συλλογής, απόστασης και προσωπικού, καθώς και σε οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος του προτεινόμενου συστήματος συλλογής». (Chalkias & Lasaridi, 2011)

Η μελέτη των Tavares et al. (2008) επικεντρώνεται στον **βέλτιστο σχεδιασμό** των δικτύων δρομολόγησης για τη συλλογή και μεταφορά των απορριμμάτων από τους δήμους. Προτείνεται η εφαρμογή του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) με 3D μοντελοποίηση διαδρομής για τη συλλογή και μεταφορά των απορριμμάτων, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η Σενάριο με βάση το κριτήριο της ελάχιστης κατανάλωσης καυσίμων σε διάφορους δήμους του νησιού Σάντο Αντάο του Πράσινου Ακρωτηρίου. «Τα ευρήματα δείχνουν ότι η βελτιστοποίηση για τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων οδηγεί σε μείωση κατά 52% της κατανάλωσης καυσίμων, σε σύγκριση με τη βελτιστοποίηση για τη συντομότερη απόσταση, ακόμη και αν απαιτεί ταξίδι σε μεγαλύτερη απόσταση κατά 34%. Αυτό δείχνει τη σημασία της ταυτόχρονης καταπλάγισης του εδάφους και της ελάχιστης κατανάλωσης καυσίμων κατά τη βελτιστοποίηση των διαδρομών των οχημάτων. Αυτή η προσέγγιση συνεπάγεται βελτίωση της αποδοτικότητας, μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατά την καθημερινή λειτουργία και σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων. Η πρωτοτυπία της εργασίας βρίσκεται στην επιλογή του κριτηρίου της ελάχιστης κατανάλωσης καυσίμων για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών των οχημάτων, αντί της συνήθως χρησιμοποιούμενης συντομότερης απόστασης, καθώς η κατανάλωση καυσίμων αντικατοπτρίζει τον πραγματικό κόστος σχετικά με τη διαχείριση των απορριμμάτων». (Tavares, et al., 2008)

Σύμφωνα με τους Delgado et al. (2019), σκοπός της μελέτης τους είναι η βελτιστοποίηση των διαδρομών συλλογής απορριμμάτων σε έξυπνες και βιώσιμες πόλεις, λαμβάνοντας υπόψη **περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες**. «Έχει αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος και μια πλατφόρμα για τις έξυπνες και βιώσιμες πόλεις που υπολογίζει τις βέλτιστες διαδρομές συλλογής απορριμμάτων, μειώνοντας τις εκπομπές CO₂, την ηχορύπανση, τον αριθμό των φορτηγών και την κατανάλωση καυσίμου. Ο αλγόριθμος υλοποιείται στο Net2Plan, ένα εργαλείο προγραμματισμού ανοικτού κώδικα, το οποίο ενσωματώνει πληροφορίες για τη διάταξη της πόλης από βάσεις δεδομένων GIS και τις θέσεις των έξυπνων κάδων. Ο αλγόριθμος, το εργαλείο Net2Plan και η επέκτασή του είναι ανοικτού κώδικα και διατίθενται για δημόσια χρήση. Μια μελέτη περίπτωσης στην Καρθαγένη, Ισπανία, που επικεντρώνεται στη συλλογή πλαστικών απορριμμάτων, δείχνει την πρακτική εφαρμογή της προσέγγισης. Αυτή η έρευνα συνεισφέρει στον σχεδιασμό της αστικής κινητικότητας σε έξυπνες πόλεις και μπορεί να προσαρμοστεί για τον βέλτιστο προγραμματισμό διαδρομών σε άλλα σενάρια έξυπνων πόλεων». (Bueno-Delgado, et al., 2019)

Σύμφωνα με τους Awuah et al. (2021), «Η **ανεπαρκής δρομολόγηση** οχημάτων στη συλλογή μητροπολιτικών στερεών αποβλήτων (ΜΣΑ) μπορεί να οδηγήσει σε **απώλεια στόχων εξυπηρέτησης και ανεπάρκειες**.» Η μελέτη τους εξετάζει εργαλεία και τεχνικές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για τη βελτιστοποίηση των δρομολογήσεων σε δύσκολες συνθήκες.

Χρησιμοποιώντας μια μελέτη περίπτωσης στο Accra της Γκάνας, αξιολογήθηκαν διάφορα σενάρια βελτιστοποίησης. «Τα αποτελέσματα έδειξαν εξοικονόμηση απόστασης και χρόνου που κυμαίνεται από 2,21% έως 10,9%. Η βελτιστοποίηση της διαδρομής και της επιλογής της σειράς συλλογής των κάδων "οδηγούν" στις μεγαλύτερες εξοικονομήσεις. Αυτό υπογραμμίζει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης των διαδρομών στη συλλογή στερεών αποβλήτων, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου και το κόστος». (Awuah, et al., 2021)

Στην μελέτη των Gezer et al (2021) προτείνεται ένας **αλγόριθμος βελτιστοποίησης ant colony** για ένα πρόβλημα δρομολόγησης χωρητικότητας οχημάτων στη συλλογή και μεταφορά απορριμμάτων. «Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται στο δήμο Σαχινμπέι στη Γκαζιαντέπ, Τουρκία. Τα αποτελέσματα δείχνουν μείωση 28% στις καθημερινές αποστάσεις και κατανάλωση ενέργειας, μαζί με μείωση 30% στις ετήσιες δαπάνες συλλογής και μεταφοράς απορριμμάτων ανά οχήματα. Το βελτιστοποιημένο δρομολόγιο μειώνει σημαντικά την ατμοσφαιρική ρύπανση και τις δαπάνες εργασίας, καυσίμων και συντήρησης που συνδέονται με τα ανεπαρκή οχήματα συλλογής απορριμμάτων». (Gezer, et al., 2021)

Σύμφωνα με τους Gazder et al. (2021), «Η συλλογή μεταλλικών απορριμμάτων των δήμων απορροφά το υψηλότερο ποσοστό του προϋπολογισμού διαχείρισης των απορριμμάτων. Επιπλέον, η επιλογή μιας μεθόδου βελτιστοποίησης διαδρομής οχήματος είναι πολύπλοκη, δύσκολη και δεν εγγυάται πάντα την πιο πρακτική προσέγγιση. Υπάρχουν περιορισμένες δημοσιευμένες πληροφορίες σχετικά με ένα **σύστημα υποστήριξης αποφάσεων** (Decision Support Systems) που βοηθά στην επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου βελτιστοποίησης διαδρομής. Αυτή η μελέτη στοχεύει στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός καθολικού πλαισίου DSS που προτείνει αποτελεσματικές μεθόδους βελτιστοποίησης διαδρομής. Το σύστημα αποτελείται από 21 στοιχεία δεδομένων βελτιστοποίησης και τέσσερα κριτήρια που αξιολογούν τους διαθέσιμους περιορισμούς και προτείνουν την πιο κατάλληλη μέθοδο βελτιστοποίησης. Το πρωτότυπο του DSS επικυρώθηκε με τη δοκιμή του σε υπάρχουσα βιβλιογραφία και τη σύγκριση των προτάσεών του με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές. Παρατηρήθηκε ότι το σύστημα μπόρεσε να προβλέψει τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στο 73% των μελετών. Επιπλέον, το σύστημα πρότεινε μια βελτιωμένη έκδοση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στο 18% των μελετών. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το προτεινόμενο πλαίσιο μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή των καλύτερων αλγορίθμων σχεδόν σε όλα τα υπάρχοντα σενάρια που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Επομένως, συνιστάται η χρήση του πλαισίου για την επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου βελτιστοποίησης διαδρομής για τη συλλογή των μεταλλικών απορριμμάτων». (Gazder, et al., 2021)

Σύμφωνα με τους Sulemana et al. (2018), σκοπός του άρθρου ήταν να ερευνηθεί την επίδραση της βελτιστοποίησης διαδρομών στην απόσταση ταξιδιού, τον χρόνο ταξιδιού και την κατανάλωση καυσίμων στο πλαίσιο των φορητών συλλογής αστικών στερεών αποβλήτων (MSW). «Η μελέτη επικεντρώθηκε σε τρεις τοπικές αρχές στη Γκάνα και χρησιμοποίησε την επέκταση ArcGIS Network Analyst της Esri για τη μοντελοποίηση των υφιστάμενων διαδρομών συλλογής απορριμμάτων και την πρόταση βέλτιστων εναλλακτικών. Για να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα των βέλτιστων διαδρομών, τα φορητά συλλογής υποβλήθηκαν σε αυτές, και πραγματοποιήθηκε ένας **διασυνδεδεμένος δειγματοληπτικός t-έλεγχος** για την ανάλυση των διαφορών στις μέσες τιμές μεταξύ των υφιστάμενων και των βέλτιστων αποτελεσμάτων. Τα συλλεγόμενα δεδομένα υποβλήθηκαν σε αναλύσεις συσχέτισης και αβεβαιότητας». (Sulemana, et al., 2018)

Ο Παναγιωτακόπουλος (2002) είπε «Η **συχρότητα** συλλογής επηρεάζει παράλληλα και το κόστος συλλογής. Με βάση τα δεδομένα που προαναφέρθηκαν καθορίζεται το είδος και ο αριθμός των φορητών που θα χρησιμοποιηθούν, υπολογίζονται οι αναγκαίες οχηματοβάρδιες σε εβδομαδιαία βάση, με το απαιτούμενο προσωπικό. Επίσης σχεδιάζεται ο μηχανισμός μεταφόρτωσης, αν απαιτείται, και

μεταφοράς του υλικού, τα αναγκαία φορτηγά, οι βάρδιες και το προσωπικό, καθώς και οι απαιτούμενοι χώροι (Παναγιωτακόπουλος, 2002).

Η μελέτη των Sulemana et al. (2018), εξετάζει την επίδραση των μεθόδων βελτιστοποίησης στη διαδικασία συλλογής στερεών αποβλήτων, επικεντρώνοντας ιδιαίτερα στις μαθηματικές προγραμματιστικές και γεωγραφικές προσεγγίσεις με χρήση συστημάτων πληροφοριών γεωγραφικού χώρου (GIS) σε αναπτυσσόμενες χώρες. «Οι μαθηματικές προγραμματιστικές προσεγγίσεις στοχεύουν στη **βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας** και παρέχουν **υποστήριξη** στη λήψη αποφάσεων μέσω της βελτιστοποίησης μιας αντικειμενικής συνάρτησης. Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις μπορεί να προσφέρουν μόνο μερικές λύσεις στην πραγματική εφαρμογή και αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην αντιμετώπιση περιορισμών που σχετίζονται με τα οδικά δίκτυα. Από την άλλη πλευρά, οι γεωγραφικές προσεγγίσεις με χρήση GIS επιτρέπουν την ενσωμάτωση επιπλέον παραγόντων, όπως η μοντελοποίηση του οδικού δικτύου, που συχνά παραμελούνται από άλλες μεθόδους. Ωστόσο, η ενσωμάτωση παραμέτρων όπως η περιβαλλοντική ρύπανση αντιμετωπίζει προκλήσεις, και οι λύτες του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων μπορεί να αντιμετωπίσουν περιορισμούς με μεγάλα σύνολα δεδομένων. Για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων δρομολόγησης οχημάτων, μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην ενσωμάτωση όλων των περιορισμών του δικτύου, των περιβαλλοντικών παραμέτρων ρύπανσης και της επίδρασης των αλλαγών στη χρήση του εδάφους στη δρομολόγηση». (Sulemana, et al., 2018)

Σύμφωνα με τον Sahib (2021), «Το θέμα της διαχείρισης στερεών αποβλήτων έχει αποκτήσει σημασία λόγω της αστικοποίησης, της βελτίωσης των βιοτροπικών προτύπων και των περιβαλλοντικών ανησυχιών. **Αποτελεσματικά συστήματα** συλλογής μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση κόστους. Στην Καρμπάλα, ο δήμος πραγματοποιεί τη συλλογή και μεταφορά στερεών αποβλήτων χωρίς ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα». Η μελέτη τους επικεντρώνεται σε τρία διαμερίσματα της Καρμπάλας και περιλαμβάνει μια έρευνα πεδίου για τον προσδιορισμό των μηκών των δρόμων και την ποσότητα των αποβλήτων. Προετοιμάζονται τρία διαφορετικά σχέδια δρομολόγησης χρησιμοποιώντας μαθηματική ανάλυση. (Sahib & Hadi, 2021)

Σύμφωνα με τους Nagarajappa et al (2015), «Η αύξηση του αστικού πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή στερεών αποβλήτων. Η συλλογή και η μεταφορά είναι καθοριστικά στοιχεία μεγάλου κόστους στα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων. Η βελτιστοποίηση του δρομολογισμού, η συστηματοποίηση των δραστηριοτήτων συλλογής και μεταφοράς είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων.». Το έργο τους επικεντρώνεται στη βελτίωση της διαχείρισης αποβλήτων στην πόλη Davanagere. Προτείνεται ένα ενσωματωμένο **μοντέλο αξιολόγησης ως εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων** για αποτελεσματικές λειτουργίες χρησιμοποιώντας GIS. Επιπλέον, προτείνεται ένα απλό βέλτιστο μοντέλο δρομολόγησης με στόχο την ελαχιστοποίηση των δαπανών, της απόστασης και του χρόνου στη συλλογή και τη μεταφορά των αποβλήτων. (Nagarajappa, et al., 2015)

Σύμφωνα με τους Kinobe et al. (2015), «Η συλλογή και η μεταφορά απορριμμάτων αποτελεί μια σημαντική δημοτική υπηρεσία που συνεπάγεται υψηλές δαπάνες εάν δεν αντιμετωπιστεί **αποτελεσματικά**. Αυτό έχει εμποδίσει τη διαχείριση απορριμμάτων σε πολλές χώρες της Υποσαχάριας Αφρικής. Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για τη βελτιστοποίηση των αποστάσεων ταξιδιού, των δρομολογίων και του χρόνου συλλογής, με αποτέλεσμα τη μεγιστοποίηση της συνολικής συλλογής απορριμμάτων, αποφέροντας μεγάλες οικονομίες και διατηρώντας το περιβάλλον καθαρό. Η μελέτη πρότεινε τις καλύτερες διαδρομές συλλογής απορριμμάτων και καθόρισε έναν κατάλληλο στόλο οχημάτων και χωρητικότητα για τη χρήση από την Αρχή Πρωτεύουσας της Καμπάλα (KCCA), η οποία είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση

απορριμμάτων στην Καμπάλα. Η χρήση των εργαλείων GIS οδήγησε στη **μείωση** του συνολικού αριθμού δρομολογίων και αποστάσεων ταξιδιού, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές οχημάτων. Επιπλέον, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους εξωτερικούς ιδιωτικούς φορείς που συλλέγουν και απορρίπτουν στερεά απόβλητα. Δεδομένου ότι ο τρέχων δημοτικός χώρος υγειονομικής ταφής για την πόλη της Καμπάλα είναι σχεδόν πλήρης, το εργαλείο GIS χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό της βέλτιστης τοποθεσίας ενός νέου προτεινόμενου χώρου υγειονομικής ταφής, με βάση τις βελτιστοποιημένες αποστάσεις ταξιδιού. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορούν να βοηθήσουν την KCCA να μειώσει τα κόστη διαχείρισης απορριμμάτων και τις περιβαλλοντικές καθώς και κοινωνικές επιπτώσεις». (Kinobe, et al., 2015)

Σύμφωνα με τον Γρηγοριάδη (2013) «έγινε μία απογραφή όλων των κάδων του νεοσύστατου καλλικρατικού δήμου Νεάπολης – Συκεών που περιλαμβάνει 4 δημοτικές ενότητες (Νεάπολη, Συκιές, Πεύκα και Άγιο Παύλο). Καταγράφηκε το σύνολο των κάδων απορριμμάτων και ανακύκλωσης του δήμου και **συλλέχτηκαν δεδομένα** σχετικά με τις κατασκευαστικές ιδιότητές τους, την παρούσα κατάστασή τους και την χωροταξική τους θέση. Εν συνεχεία, ακολούθησε μία πλήρης **ανάπτυξη του υπάρχοντος συστήματος** αποκομιδής απορριμμάτων – ανακυκλώσιμων βάσει της απογραφής και του τρόπου λειτουργίας του συστήματος την παρούσα περίοδο και προέκυψαν τα συμπεράσματα για τα σημεία που μπορεί να γίνει βελτίωση και σε ποιο βαθμό είναι εφικτή αυτή. Αναφέρονται οι παράγοντες που πρέπει να λάβει υπόψη του ο δήμος για ένα οικονομικά και κοινωνικά αποδεκτό σύνολο λύσεων και προτείνονται οι πλέον σύγχρονες λύσεις για τη βελτιστοποίηση των υπαρχόντων δρομολογίων σε πρώτη φάση και εν συνεχεία προτείνονται δοκιμασμένες λύσεις που βρίσκουν εφαρμογή στο δεδομένο σύστημα αποκομιδής και που ουσιαστικά δημιουργούν πολλαπλά σενάρια προς εκτίμηση και υλοποίηση». (ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΗΣ & ΔΑΓΔΙΛΕΛΗΣ, 2013)

Όνομα Άρθρου	Συγγραφείς	Ημερομηνία	Πειραματική διαδικασία (NAI/OXI)	Πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε	Περιοχή μελέτης	Είδος απορριμμάτων	Έξυπνα συστήματα
Χρήση μεθόδων γεωπληροφορικής για τη βελτιστοποίηση διαδρομών συλλογής απορριμμάτων: Η περίπτωση της Μύρινας Λήμνου	Αλεξοδάκη Ελευθερία	2017	NAI	ArcMap, Qgis, Grass GIS,	Μύρινα Λήμνου	Αστικά απορρίμματα	
Route optimization to increase energy efficiency and reduce fuel consumption of communal vehicles	Nebojsa M. Jovicic, Goran B. Boskovic, Goran V. Vujic, Gordana R. Joviciv, Milan Z. Despotovic, Dobrica M. Milovanovi,	2011	NAI	G-target device ArcGis	Kragujevac	Αστικά απορρίμματα	οχι αισθητες
Optimization of vehicle Routing for waste collection and transportation	Hailin Wu, Fengming Tao, Bo Yang	09/07/2020	δεδομένα απο άλλους	αλγόριθμοι Particle swarm optimization meta-/Heuristic methods	china	waste bins	αισθητες
Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem for Sustainable Municipal Solid Waste Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal	Qingqing Qiao, Fengming Tao, Hailin Wu, Xuewei Yu, Mengjun Zhang	24/3/20	OXI	μοντέλο/αλγοριθμοι	OXI	τα πάντα	OXI
Integrated geographical information system (GIS) for urban solid waste management	Zdena Zsigraiova, Viriato Semiao, Filipa Beijoco	23/12/12	NAI	GIS	Barreiro	Αστικά απορρίμματα	
Integrated geographical information system (GIS) for urban solid waste management	A.C. Caputo & P.M. Pelagagge	θα το ψάξω ξανά	data	GIS	OXI	Αστικά απορρίμματα	OXI
Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study	O. APAYDIN, M. T. GONULLU	2007	NAI		Trabzon, Turkye	Αστικά απορρίμματα	
Route optimization for solid waste collection Onitsha (Nigeria) case study	OGWUELEKA, T.C.	2010	NAI	heuristic approaches/the program written in visual/Basic.net	Onitsha, Nigeria	Αστικά απορρίμματα	OXI
Genetic Algorithms for Municipal Solid Waste Collection and Routing Optimization	Nikolaos V. Karadimas, Katerina Papatzelou and Vassili G. Loumos	2007	NAI	Genetic Algorithm implementation	Athens	Αστικά απορρίμματα	OXI
Benefits from GIS Based Modelling for Municipal Solid Waste Management	Christos Chalkias, Katia Lasaridi	2011	NAI	GIS	Νικαια	Αστικά απορρίμματα	OXI
A case study of fuel savings through optimisation of MSW transportation routes	Gilberto Tavares, Zdena Zsigraiova, Viriato Semiao, Maria da Grac,a Carvalho	13/06/2008	NAI	ArcMap, Qgis, Grass GIS,	Santo Antao, Republic of Cape Verde	Αστικά απορρίμματα	OXI
Optimal Path Planning for Selective Waste Collection in Smart Cities	María-Victoria Bueno-Delgado, José-Luis Romero-Gázquez, Pilar Jiménez,Pablo Pavón-Mariño	24/04/2019	NAI?	Net2Plan	Cartagena, Spain	Αστικά απορρίμματα	OXI
Rational Approach To Optimization Of Solid Waste Collection Routing Using GIS: A Case Study Of Adentan West Residential Area Of Accra	Edmund Baffour Awuah, Mizpah A. D. Rockson, d Samuel A. Andam-Akorful	01/042021	NAI	ArcMap 10.1 Route Analysis tool (ArcGIS Network Analyst)	GA East District and La Nkwantanang	Αστικά απορρίμματα	OXI
Minimizing Solid Waste Collection Routes Using Ant Colony Algorithm: A Case Study in Gaziantep District	Serap Ulusam Seçkiner , Amanuel Moges Shumye , Sena Geçer	2021	NAI	Matlab R2018, LINGO	Guneykent district of Sahinbey,	Αστικά απορρίμματα	OXI
Universal Decision Support System for Selection of MSW Route Optimization Method	Ahmed Omar , Uneb Gazder , Khalil Aljuboori , Nedal Ratrout	2021	OXI	Decision Support System βαζεις δεδομένα και σου δίνει αλγοριθμο που βελτιστοποιει τις	OXI	Αστικά απορρίμματα	OXI
Effect of optimal routing on travel distance, travel time and fuel consumption of waste collection trucks	Alhassan Sulemana, Emmanuel Amponsah Donkor, Eric Kwabena Forkuo, Sampson Oduro-Kwarteng	2019	Data from Kumasi Metropolitan Assembly of the Ashanti	ArcGIS Network Analyst Extension	Ghana KMA, SMA, BMA	Αστικά απορρίμματα	OXI
Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods	Donkor, Eric K. Forkuo, and Sampson Oduro-Kwarteng	2018	OXI Βιβλιογραφικό	mathemtaical programming and GIS	N/A	Αστικά απορρίμματα	OXI
Truck route optimization in Karbala city for solid waste collection	Fadak Salah Sahib, Nabaa Shakir Hadi	2021	NAI	QSB WIN AutoCad	Karbala, Iraq	Αστικά απορρίμματα	OXI
Route Optimization of Municipal Solid Waste for Davangere City Using GIS	Hareesh K.B, Manjunath N.T, Nagarajappa D.P.	2015	NAI	GIS	Davangere, central part of Karnataka	Αστικά απορρίμματα	OXI

2.3 Σύνοψη

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων υπογραμμίζει τη σημασία της **οργάνωσης** της συλλογής απορριμμάτων και της βελτιστοποίησης των διαδρομών των απορριματοφόρων για τη μείωση των δαπανών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- **Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)**

Τα GIS επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων και τη βελτιστοποίηση της συλλογής απορριμμάτων, μειώνοντας την απόσταση, τον χρόνο και το κόστος, ενώ περιορίζουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

- **Δυναμικές Διαδρομές**

Οι δυναμικές διαδρομές με βάση το επίπεδο γεμίματος των κάδων αποδεικνύονται αποτελεσματικές, μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

- **Ευριστικές Μέθοδοι και Βελτιστοποίηση**

Οι ευριστικές μέθοδοι, όπως ο βελτιωμένος γενετικός αλγόριθμος LSHA, μειώνουν τον αριθμό των απαιτούμενων οχημάτων, το λειτουργικό κόστος και επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των οχημάτων. Η χρήση του γενετικού αλγόριθμου (GA) και άλλων τεχνικών, όπως η βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών και η αναζήτηση με απαγορευτικές κινήσεις (Tabu Search), βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα της δρομολόγησης.

- **Οικονομικές, Περιβαλλοντικές και Κοινωνικές Παραμέτρους**

Τα προσαρμοσμένα μοντέλα βελτιστοποίησης λαμβάνουν υπόψη τις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές παραμέτρους, προσφέροντας ισορροπημένες λύσεις. Ο αλγόριθμος βέλτιστου σχεδιασμού διαδρομών με βάση το ILP ενσωματώνεται στο εργαλείο Net2Plan-GIS, επιτρέποντας την πρακτική εφαρμογή του.

- **Βελτιστοποίηση μέσω Ανάλυσης Δεδομένων**

Η χρήση 3D μοντελοποίησης GIS για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών με βάση την κατανάλωση καυσίμων δείχνει ότι η τοπογραφία επηρεάζει την κατανάλωση. Βέλτιστες διαδρομές που λαμβάνουν υπόψη το ανάγλυφο του εδάφους μπορούν να επιτύχουν εξοικονόμηση καυσίμων έως 9% σε τοπική κλίμακα και 52% σε παγκόσμια κλίμακα.

- **Προκλήσεις και Μελλοντικές Έρευνες**

Η διαθεσιμότητα και το κόστος απόκτησης χωρικών δεδομένων, καθώς και η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, αποτελούν προκλήσεις. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να εξετάσουν τη χρήση πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης και πιο πρόσφατων δεδομένων για αξιόπιστα συμπεράσματα. Επίσης, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη ρεαλιστικοί παράγοντες όπως οι τύποι απορριμμάτων και οι εγκαταστάσεις ταξινόμησης.

Συνολικά, οι τεχνολογίες GIS και οι ευριστικές μέθοδοι βελτιστοποίησης αποδεικνύονται κρίσιμες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας στη συλλογή και μεταφορά απορριμμάτων, προσφέροντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για τις τοπικές κοινότητες.

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η **ανάπτυξη και εξέλιξη** των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) έχει επηρεάσει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο διαχειριζόμαστε, αναλύουμε και παρουσιάζουμε γεωγραφικά δεδομένα. Το ArcGIS, ως μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα GIS, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο σε αυτόν τον τομέα, παρέχοντας εργαλεία και λύσεις που απευθύνονται σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών και εφαρμογών. Αυτή η ενότητα εξετάζει τις θεωρητικές βάσεις και τις δυνατότητες των δύο κύριων εργαλείων της πλατφόρμας ArcGIS, το ArcGIS Pro και το ArcGIS Online, αναλύοντας τις βασικές αρχές λειτουργίας τους, τις διαφορές στις μεταβλητές επεξεργασίας και το περιβάλλον εργασίας τους.

Το ArcGIS Pro και το ArcGIS Online, αν και σχεδιάστηκαν με στόχο την επεξεργασία και την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων, εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες και παρέχουν **ποικίλες δυνατότητες** που ανταποκρίνονται σε διαφορετικά σενάρια χρήσης. Το ArcGIS Pro, ως η επαγγελματική desktop εφαρμογή, προσφέρει προηγμένα εργαλεία και λειτουργίες για την ενδελεχή ανάλυση και την δημιουργία γεωγραφικών δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, το ArcGIS Online παρέχει μια ευέλικτη και προσβάσιμη λύση για τη δημιουργία, την κοινή χρήση και τη συνεργασία σε χάρτες μέσω διαδικτύου.



Εικόνα 3: ArcGIS pro

Η κατανόηση της **θεωρητικής βάσης** αυτών των εργαλείων είναι κρίσιμη για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Στη συνέχεια, θα αναλύσουμε λεπτομερώς τις βασικές αρχές και τις λειτουργίες του ArcGIS Pro και του ArcGIS Online, εστιάζοντας στις δυνατότητες επεξεργασίας, ανάλυσης και παρουσίασης των γεωγραφικών δεδομένων. Επιπλέον, θα εξετάσουμε τις διαφορές και τις ομοιότητες μεταξύ των δύο εργαλείων, προσφέροντας μια συνολική εικόνα των δυνατοτήτων που προσφέρουν στους χρήστες τους.

- **ArcGIS Pro**

Το ArcGIS Pro είναι το επαγγελματικό λογισμικό GIS της Esri για desktop υπολογιστές, σχεδιασμένο να προσφέρει **προηγμένες δυνατότητες** επεξεργασίας, ανάλυσης και απεικόνισης γεωγραφικών δεδομένων. Ενσωματώνει μια ποικιλία εργαλείων που επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν λεπτομερείς χάρτες, να πραγματοποιούν χωρικές αναλύσεις και να διαχειρίζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων με αποδοτικό τρόπο. Μια από τις κεντρικές λειτουργίες του ArcGIS Pro είναι η δυνατότητα του να υποστηρίζει πολλαπλά layout και 3D χάρτες, δίνοντας στους χρήστες την ευκαιρία να οπτικοποιήσουν τα δεδομένα τους με διαφορετικούς τρόπους.

Το ArcGIS Pro διαθέτει ένα πλούσιο περιβάλλον εργασίας που επιτρέπει την εξατομίκευση και τη διαμόρφωση σύμφωνα με τις **ανάγκες του χρήστη**. Οι δυνατότητες ανάλυσης δικτύων (Network Analysis) είναι εξαιρετικά προηγμένες, επιτρέποντας την ανάλυση της ταχύτητας των οχημάτων, τον βέλτιστο χρόνο διαδρομής και την ελαχιστοποίηση της απόστασης. Η πλήρης ενσωμάτωση με τα εργαλεία ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων επιτρέπει την εκτέλεση πολύπλοκων γεωχωρικών ερωτημάτων και την παραγωγή ακριβών και χρήσιμων αποτελεσμάτων.

- **ArcGIS Online**

Το ArcGIS Online είναι η **cloud-based πλατφόρμα** GIS της Esri, που επιτρέπει τη δημιουργία, την κοινή χρήση και τη συνεργασία σε χάρτες και γεωγραφικά δεδομένα μέσω διαδικτύου. Η πλατφόρμα παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε εργαλεία χαρτογράφησης και ανάλυσης από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χρησιμοποιώντας έναν Web browser. Το ArcGIS Online είναι ιδανικό για χρήστες που χρειάζονται ευκολία στη χρήση και γρήγορη πρόσβαση σε δεδομένα και εφαρμογές GIS χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης εξειδικευμένου λογισμικού στον υπολογιστή τους.

Η ανάλυση δικτύων στο ArcGIS Online επικεντρώνεται στην ευκολία χρήσης και στην ταχεία επεξεργασία δεδομένων μέσω του Web interface. Οι χρήστες μπορούν να αναλύσουν τον αριθμό των οχημάτων και των στάσεων τους, να υπολογίσουν τον βέλτιστο χρόνο διαδρομής για κάθε όχημα και να βελτιστοποιήσουν την απόσταση διαδρομής. Η cloud-based φύση του ArcGIS Online επιτρέπει τη συνεργασία σε **πραγματικό χρόνο**, καθιστώντας το ένα πολύτιμο εργαλείο για ομάδες που εργάζονται εξ αποστάσεως ή σε διαφορετικές τοποθεσίες.

Συνοψίζοντας, το ArcGIS Pro και το ArcGIS Online, παρά τις κοινές τους βάσεις ως **εργαλεία GIS**, εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες και χρήσεις, καλύπτοντας ένα **ευρύ φάσμα εφαρμογών** γεωγραφικής ανάλυσης και χαρτογράφησης. Το ArcGIS Pro αποτελεί μια εξαιρετικά προηγμένη πλατφόρμα για επαγγελματίες GIS, προσφέροντας εργαλεία υψηλής ακρίβειας και δυνατότητες επεξεργασίας που επιτρέπουν την εκτέλεση πολύπλοκων αναλύσεων και την παραγωγή λεπτομερών γεωγραφικών δεδομένων. Η ικανότητα να υποστηρίζει πολλαπλά layout και 3D χάρτες, καθώς και η προηγμένη ανάλυση δικτύων, το καθιστούν ιδανικό για χρήστες που απαιτούν βαθιά και ακριβή ανάλυση των δεδομένων τους.

Από την άλλη πλευρά, το ArcGIS Online παρέχει μια πιο **προσιτή και ευέλικτη λύση** για χρήστες που χρειάζονται γρήγορη και απλή πρόσβαση σε εργαλεία GIS μέσω του διαδικτύου. Η cloud-based φύση του επιτρέπει την εύκολη συνεργασία σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας το ιδανικό για ομάδες που εργάζονται απομακρυσμένα ή σε διαφορετικές τοποθεσίες. Παρά

τις πιο περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας σε σχέση με το ArcGIS Pro, το ArcGIS Online προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες ανάλυσης και κοινής χρήσης δεδομένων, καθιστώντας το κατάλληλο για εκπαιδευτικούς, μικρές επιχειρήσεις και γενικούς χρήστες GIS.

Η κατανόηση των θεωρητικών βάσεων αυτών των εργαλείων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική χρήση και αξιοποίησή τους σε διάφορα έργα και εφαρμογές GIS. Η επιλογή του κατάλληλου εργαλείου εξαρτάται από τις συγκεκριμένες **ανάγκες και απαιτήσεις** του χρήστη, καθώς και από το είδος των δεδομένων και των αναλύσεων που απαιτούνται. Είτε πρόκειται για την εκτέλεση πολύπλοκων αναλύσεων και την παραγωγή υψηλής ακρίβειας δεδομένων στο ArcGIS Pro, είτε για τη γρήγορη πρόσβαση και συνεργασία σε γεωγραφικά δεδομένα μέσω του ArcGIS Online, τα εργαλεία αυτά προσφέρουν ισχυρές λύσεις για την κατανόηση και την αξιοποίηση των γεωγραφικών πληροφοριών.

3.1 Συλλογή απορριμμάτων – Προβλήματα και προκλήσεις

Η συλλογή απορριμμάτων αποτελεί μια **κρίσιμη και απαιτητική διαδικασία** για κάθε αστική και αγροτική περιοχή. Ένα από τα κύρια προβλήματα είναι ο αυξημένος όγκος απορριμμάτων, ο οποίος έχει προκύψει από τη συνεχή αύξηση του πληθυσμού και τις αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες. Αυτός ο αυξημένος όγκος κάνει τη διαχείριση των απορριμμάτων ολοένα και πιο δύσκολη, απαιτώντας περισσότερους πόρους και αυξημένη προσπάθεια. Επιπλέον, πολλοί δήμοι και κοινότητες αντιμετωπίζουν περιορισμούς στις υποδομές τους, όπως παλαιωμένα απορριμματοφόρα, περιορισμένο αριθμό κάδων και έλλειψη κατάλληλων χώρων διάθεσης.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση στις αστικές περιοχές αποτελεί άλλη μια σημαντική **πρόκληση**. Η συμφόρηση καθυστερεί την κίνηση των απορριμματοφόρων, αυξάνοντας έτσι το λειτουργικό κόστος. Στενοί δρόμοι και περιορισμένες δυνατότητες στάθμευσης καθιστούν τη συλλογή απορριμμάτων ακόμη πιο περίπλοκη. Σε πολλές περιοχές, οι κάδοι απορριμμάτων είναι άνισα κατανομημένοι, με αποτέλεσμα κάποια σημεία να υπερφορτώνονται ενώ άλλα να παραμένουν ανεξυπηρετήτα, δημιουργώντας προβλήματα στην αποτελεσματική συλλογή και διαχείριση των απορριμμάτων.



Εικόνα 4: λειτουργία απορριμματοφόρου σε αστικό οδικό δίκτυο

Η **βελτιστοποίηση** των διαδρομών των απορριμματοφόρων είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη μείωση των λειτουργικών εξόδων. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις. Οι ανάγκες συλλογής διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των περιοχών, με αποτέλεσμα οι διαδρομές να είναι σύνθετες και να απαιτούν συνεχή προσαρμογή. Οι διαφορετικές ώρες αιχμής, οι εποχικές αλλαγές και οι τοπικές εκδηλώσεις προσθέτουν επιπλέον επίπεδα δυσκολίας στη χάραξη των διαδρομών.

Επιπλέον, η έλλειψη ακριβών και ενημερωμένων δεδομένων αποτελεί σημαντική πρόκληση. Για να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση, απαιτούνται **ακριβή δεδομένα** σχετικά με τις ποσότητες απορριμμάτων, τις τοποθεσίες των κάδων και την κατάσταση των οδικών δικτύων. Χωρίς αυτά, η λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων γίνεται δύσκολη. Αν και οι σύγχρονες τεχνολογίες, όπως τα συστήματα GIS και τα εργαλεία παρακολούθησης στόλου, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη βελτιστοποίηση των διαδρομών, η εφαρμογή και η ενσωμάτωσή τους σε πολλούς δήμους είναι περιορισμένη λόγω κόστους ή έλλειψης τεχνογνωσίας.

Ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Η εκπαίδευση των οδηγών και του προσωπικού είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική χρήση των τεχνολογιών και την εφαρμογή των βέλτιστων πρακτικών. Επίσης, η προσαρμογή στις νέες τεχνολογίες και μεθόδους μπορεί να συναντήσει αντίσταση. Οι καιρικές συνθήκες και οι φυσικές καταστροφές μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις διαδρομές και τη δυνατότητα συλλογής απορριμμάτων, απαιτώντας ευελιξία και γρήγορη προσαρμογή των δρομολογίων.

Η **αντιμετώπιση** αυτών των προκλήσεων απαιτεί την εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών και τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών. Η βελτιστοποίηση των διαδρομών των απορριμματοφόρων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οφέλη, όπως η μείωση του κόστους, η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών και η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

3.2 ArcGIS



Εικόνα 5: ArcGIS logo

Το ArcGIS αποτελεί μια σημαντική σουίτα **λογισμικού γεωγραφικής πληροφορίας (GIS)**, που αναπτύχθηκε από την Esri (Environmental Systems Research Institute). Η Esri, η οποία ιδρύθηκε το 1969 από τον Jack Dangermond και την Laura Dangermond, έχει εξελιχθεί σε **κορυφαία εταιρεία** στον τομέα της GIS, επιδιώκοντας την προώθηση καινοτόμων λύσεων στον χώρο της χαρτογράφησης και της ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων. Η επιδίωξη της Esri για τη διευκόλυνση της κατανόησης του κόσμου μέσω της χαρτογράφησης και της ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων επηρέασε θετικά την επιστημονική κοινότητα, τον

επιχειρηματικό κόσμο και τον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Με το πάθος τους για τη χαρτογραφία και τη γεωγραφική πληροφορία, δημιουργήθηκε το ArcGIS με σκοπό να προσφέρει στους επαγγελματίες και τους ερευνητές ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για τη διαχείριση και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων.

Εφαρμογές και χρήσεις:

Το ArcGIS είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο σε πολλούς τομείς, όπως η γεωγραφία, οι χωροταξικές μελέτες, οι φυσικοί πόροι, η περιβαλλοντική διαχείριση, η αστική προσχώρηση, και πολλοί άλλοι. Η **ευελιξία** του αντικατοπτρίζεται στην ποικιλία εφαρμογών του. Στον τομέα της υγείας για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρτογραφικό εντοπισμό επιδημιών και την παρακολούθηση της εξέλιξης της υγείας του πληθυσμού. Στην εκπαίδευση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία εκπαιδευτικών υλικών με γεωγραφικό προσανατολισμό. Στην αστική προσχώρηση, χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση της πόλης, ενώ στη γεωεπιστήμη χρησιμοποιείται για την κατανόηση των φυσικών περιβαλλοντικών διεργασιών.

Το ArcGIS προσφέρει ποικίλες **εφαρμογές** για τη δημιουργία, τη διαχείριση και την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Ανάμεσα σε αυτές, η Online εφαρμογή του, αποτελεί μια cloud-based υπηρεσία που επιτρέπει τη δημιουργία χαρτών, την ανάλυση δεδομένων και τη συνεργασία με άλλους χρήστες. Οι χρήστες μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε έτοιμα δεδομένα και εργαλεία, καθώς και να αποθηκεύσουν τα δικά τους δεδομένα σε ασφαλείς υποδομές.

Επίσης προσφέρει desktop εφαρμογές, όπως το ArcMap και το ArcGIS Pro, που επιτρέπουν τη **δημιουργία** και την **επεξεργασία** γεωγραφικών δεδομένων σε τοπικό επίπεδο. Επιπλέον, υπάρχουν εφαρμογές και εργαλεία που στοχεύουν σε συγκεκριμένους τομείς, όπως το ArcGIS for Environmental Management, το ArcGIS for Urban Planning κ.α.

3.2.1 Επέκταση του Network Analyst



Εικόνα 6: GISGeography

Το Network Analyst αποτελεί μια εξαιρετικά **ισχυρή επέκταση** του ArcGIS που επιτρέπει την ανάλυση και την βελτιστοποίηση των δικτύων και των διαδρομών. Με την επέκταση αυτή, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν προηγμένα μοντέλα δρομολόγησης και ανάλυσης δικτύων για να λύνουν πολύπλοκα προβλήματα.

Μια από τις **βασικές λειτουργίες** του Network Analyst είναι η δρομολόγηση, όπου μπορεί να υπολογίσει τις βέλτιστες διαδρομές μεταξύ πολλαπλών σημείων σε ένα δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψιν διάφορους παράγοντες όπως η κυκλοφορία, οι περιορισμοί και ο χρόνος. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε επιχειρήσεις με διανομή προϊόντων ή υπηρεσιών.

Επιπλέον, το Network Analyst προσφέρει λειτουργίες όπως οι χωρικές αναλύσεις για την εύρεση της βέλτιστης τοποθεσίας για νέα καταστήματα ή εγκαταστάσεις. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να λάβουν **στρατηγικές αποφάσεις** βάσει της γεωγραφικής τους κατανομής και των αναγκών τους. Οι Ghose et al. χρησιμοποίησαν το ArcGIS® Network Analyst για να μειώσουν με επιτυχία την απόσταση και το κόστος μεταφοράς απορριμμάτων στον χώρο υγειονομικής ταφής στην πόλη Ansasol, Ινδία.

Συνολικά, η επέκταση Network Analyst ανοίγει νέους ορίζοντες στη χρήση του ArcGIS, επιτρέποντας την ανάλυση και τον σχεδιασμό δικτύων με προηγμένο τρόπο, προσφέροντας **λύσεις** για πολύπλοκα γεωγραφικά προβλήματα.

3.2.2 GIS και βελτιστοποίηση διαδρομών

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) αποτελεί ένα **ισχυρό εργαλείο** στη διαχείριση και βελτιστοποίηση των διαδρομών των απορριμματοφόρων. Το GIS ενσωματώνει τεχνολογίες χαρτογράφησης και ανάλυσης χωρικών δεδομένων, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας της συλλογής απορριμμάτων.



Εικόνα 7: Κυκλική διασταύρωση

- **Χωρική Ανάλυση και Δεδομένα**

Το GIS επιτρέπει τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση και απεικόνιση γεωγραφικών δεδομένων που σχετίζονται με τη συλλογή απορριμμάτων. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν τις τοποθεσίες των κάδων απορριμμάτων, τα οδικά δίκτυα, τις ζώνες κατοικίας και εμπορικές περιοχές, καθώς και τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Με την **ανάλυση** αυτών των δεδομένων, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις ανάγκες κάθε περιοχής και να σχεδιάσουμε δρομολόγια που καλύπτουν αποτελεσματικά όλες τις ζώνες συλλογής.

- **Βελτιστοποίηση Διαδρομών**

Η χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης διαδρομών στο GIS επιτρέπει τον καθορισμό των πιο **αποδοτικών** δρομολογίων για τα απορριμματοφόρα. Αυτοί οι αλγόριθμοι λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η απόσταση, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι ώρες αιχμής και η χωρητικότητα των οχημάτων, με στόχο τη μείωση του χρόνου και του κόστους συλλογής. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων πραγματικού χρόνου, όπως η τρέχουσα κατάσταση των δρόμων και οι αλλαγές στην κυκλοφορία, τα GIS μπορούν να προσαρμόζουν δυναμικά τις διαδρομές για βέλτιστη απόδοση.

- **Παρακολούθηση και Διαχείριση Στόλου**

Με τη χρήση GIS, οι αρμόδιες αρχές μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την τοποθεσία και την κατάσταση των απορριμματοφόρων. Αυτό επιτρέπει την άμεση

αναπροσαρμογή των διαδρομών σε περίπτωση έκτακτων περιστατικών, όπως κυκλοφοριακά ατυχήματα ή προβλήματα οχημάτων, διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη συνέχιση της συλλογής απορριμμάτων. Επίσης, η παρακολούθηση του στόλου συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της χρήσης των οχημάτων και στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

- **Προβλέψεις και Προγραμματισμός**

Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την **πρόβλεψη** μελλοντικών αναγκών και την καλύτερη προετοιμασία των υπηρεσιών συλλογής απορριμμάτων. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων πληθυσμού, της ανάπτυξης των αστικών περιοχών και των ιστορικών δεδομένων απορριμμάτων, οι δήμοι μπορούν να σχεδιάσουν πιο αποδοτικά δρομολόγια και να καθορίσουν τις ανάγκες σε εξοπλισμό και προσωπικό. Η χρήση χωρικών αναλύσεων βοηθά στην πρόβλεψη της αύξησης των απορριμμάτων και στην προσαρμογή των διαδρομών ανάλογα με τις εποχιακές ή άλλες μεταβολές.

- **Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων**

Η χρήση του GIS επιτρέπει την εύκολη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σχετικά με τα απορρίμματα και τις διαδρομές. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη **συνεχή βελτίωση** των δρομολογίων και των πρακτικών συλλογής, βασιζόμενες σε ακριβή και ενημερωμένα δεδομένα. Επιπλέον, η ανάλυση δεδομένων ιστορικής καταγραφής μπορεί να αποκαλύψει πρότυπα και τάσεις που μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη καλύτερων αποφάσεων.

- **Επικοινωνία και Συνεργασία**

Το GIS παρέχει πλατφόρμες για την καλύτερη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων φορέων. Οι πληροφορίες σχετικά με τις διαδρομές των απορριμματοφόρων, τις ανάγκες των περιοχών και την απόδοση των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων μπορούν να κοινοποιηθούν εύκολα, ενισχύοντας τη συνεργασία και τη λήψη αποφάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου απαιτείται **συντονισμός** μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών ή δήμων.

Συνολικά, το GIS παρέχει ένα **ισχυρό σύνολο εργαλείων** που μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη διαδικασία χάραξης διαδρομών για τη συλλογή απορριμμάτων, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας τα λειτουργικά κόστη. Με την ενσωμάτωση των τεχνολογιών GIS, οι δήμοι μπορούν να διασφαλίσουν μια πιο καθαρή και υγιεινή αστική και αγροτική περιβάλλον, ενώ παράλληλα εξοικονομούν πόρους και βελτιώνουν τις υπηρεσίες τους.

3.2.3 GIS και συλλογή απορριμμάτων

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) έχει σημαντική **επιρροή** και στη διαδικασία συλλογής απορριμμάτων, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αποτελεσματική διαχείριση και βελτιστοποίηση αυτής της κρίσιμης δραστηριότητας. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών GIS στη συλλογή απορριμμάτων επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων και τη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών.

- **Βελτιστοποίηση Διαδρομών Συλλογής**

Μία από τις **σημαντικότερες εφαρμογές** του GIS στη συλλογή απορριμμάτων είναι η βελτιστοποίηση των διαδρομών των απορριμματοφόρων. Με τη χρήση του ArcGIS® Network Analyst και άλλων εργαλείων GIS, οι αρμόδιοι φορείς μπορούν να σχεδιάσουν διαδρομές που ελαχιστοποιούν την απόσταση και το χρόνο που απαιτείται για τη συλλογή των απορριμμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των λειτουργικών εξόδων, όπως το κόστος καυσίμων και τη φθορά των οχημάτων, και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της συλλογής.

- **Παρακολούθηση και Διαχείριση Δεδομένων**

Το GIS παρέχει επίσης τη δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε **πραγματικό χρόνο** σχετικά με τη θέση και την κατάσταση των απορριμματοφόρων, την ποσότητα των απορριμμάτων που συλλέγονται και τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Μέσω της παρακολούθησης αυτών των δεδομένων, οι υπεύθυνοι μπορούν να προσαρμόζουν τις διαδρομές ανάλογα με τις ανάγκες, εξασφαλίζοντας τη συνεχή βελτίωση της διαδικασίας συλλογής. Η παρακολούθηση του στόλου σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει επίσης την άμεση αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως βλάβες οχημάτων ή κυκλοφοριακές καθυστερήσεις, διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία της υπηρεσίας.

- **Προβλέψεις και Στρατηγικός Σχεδιασμός**

Η χρήση των GIS επιτρέπει ακόμη, την πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών και τον στρατηγικό σχεδιασμό των υπηρεσιών συλλογής απορριμμάτων. Μέσω της ανάλυσης χωρικών δεδομένων και τάσεων, όπως η αύξηση του πληθυσμού και η ανάπτυξη των αστικών περιοχών, οι δήμοι μπορούν να προετοιμάσουν αποτελεσματικά τα σχέδιά τους για την επέκταση και τη βελτίωση των υπηρεσιών τους. Αυτό περιλαμβάνει την τοποθέτηση νέων κάδων απορριμμάτων, την αναβάθμιση του εξοπλισμού και την εκπαίδευση του προσωπικού.

- **Ενίσχυση της Συνεργασίας και της Επικοινωνίας**

Το GIS παρέχει επίσης πλατφόρμες για την καλύτερη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων φορέων, όπως οι δήμοι, οι εταιρείες διαχείρισης απορριμμάτων και οι πολίτες. Οι πληροφορίες σχετικά με τις διαδρομές συλλογής, τις ανάγκες των περιοχών και την απόδοση των υπηρεσιών μπορούν να κοινοποιηθούν εύκολα, ενισχύοντας τη συνεργασία και τη λήψη αποφάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου απαιτείται συντονισμός μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών ή δήμων, διασφαλίζοντας μια πιο ολοκληρωμένη και αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων.

- **Περιβαλλοντικά και Κοινωνικά Οφέλη**

Επιπρόσθετα, η βελτίωση της συλλογής απορριμμάτων μέσω του GIS δεν έχει μόνο οικονομικά οφέλη, αλλά συμβάλλει επίσης στη μείωση των **περιβαλλοντικών επιπτώσεων** και στην ενίσχυση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η μείωση της απόστασης και του χρόνου συλλογής μειώνει την εκπομπή ρύπων από τα απορριμματοφόρα, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ατμοσφαιρικής ποιότητας. Επιπλέον, η αποτελεσματικότερη συλλογή απορριμμάτων μειώνει την παρουσία σκουπιδιών στους δρόμους και τους δημόσιους χώρους, προάγοντας ένα καθαρότερο και υγιές περιβάλλον.

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση των GIS στη διαδικασία συλλογής απορριμμάτων παρέχει μια σειρά από **πλεονεκτήματα** που συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας των υπηρεσιών διαχείρισης απορριμμάτων. Μέσω της ανάλυσης και της χρήσης χωρικών δεδομένων, οι δήμοι μπορούν να επιτύχουν μια πιο αποδοτική και βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων, εξοικονομώντας πόρους και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των πολιτών τους.

Κεφάλαιο 4: Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων αποτελεί **κρίσιμο στάδιο** σε κάθε έργο, και ιδίως σε ένα έργο που ασχολείται με τη βελτιστοποίηση διαδρομών για τη συλλογή απορριμμάτων, όπως στην περίπτωση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Η σημαντικότητα αυτού του βήματος εκδηλώνεται με διάφορους τρόπους

Η **ποιότητα** και η **ακρίβεια** των δεδομένων επηρεάζουν αποφασιστικά την επιτυχία της ανάλυσης και των αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα που συλλέγονται από την περιοχή μελέτης με τη χρήση GPS, δορυφορικών εικόνων και άλλων τεχνικών, παρέχουν πληροφορίες για τις ακριβείς τοποθεσίες των απορριμμάτων και των σημείων ενδιαφέροντος. Με αυτόν τον τρόπο η συγκέντρωση πλήρων και αξιόπιστων δεδομένων είναι κρίσιμη για την ακριβή και συνεκτική ανάλυση του προβλήματος.

Η **ποιοτική και ποσοτική φύση** αυτών των δεδομένων είναι επίσης ουσιώδης για την καλή λειτουργία της μεθοδολογίας, καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό των βέλτιστων διαδρομών. Η συλλογή ακριβών γεωχωρικών δεδομένων σχετικά με τις θέσεις των απορριμμάτων επιτρέπει την απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης στον χώρο. Κατόπιν, αυτά τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της ψηφιοποίησης και της εισαγωγής τους στο περιβάλλον του ArcGIS. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων, η προσεκτική ανάλυση και ο συστηματικός χειρισμός τους είναι απαραίτητα για την αφαίρεση ανωμαλιών, την επίτευξη εναρμονισμένων και συγκρίσιμων αποτελεσμάτων, καθώς και για την ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων και αλγορίθμων βελτιστοποίησης.

Έτσι, η **αξιόπιστη συλλογή και επεξεργασία** δεδομένων αποτελεί τη βάση για την επίλυση προβλημάτων και την παραγωγή ενδεικτικών αποτελεσμάτων που ενισχύουν την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων.

4.1 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με **έρευνα επί πεδίου**. Χρησιμοποιήθηκε το GPS του κινητού τηλεφώνου για τον εντοπισμό της τοποθεσίας. Η ακρίβεια του GPS σε συσκευές εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων της ποιότητας του σήματος GPS, του υλικού του GPS δέκτη και του λογισμικού που τον διαχειρίζεται. Οι σύγχρονες συσκευές χρησιμοποιούν συνήθως συνδυασμό GPS, GLONASS, Galileo και BeiDou για να βελτιώσουν την ακρίβεια τοποθεσίας.



Εικόνα 8: GPS εντοπισμός θέσης

Η **ακρίβεια** μπορεί να είναι καλή, συνήθως με ακρίβεια μερικών μέτρων, αλλά εξαρτάται επίσης από τις **συνθήκες** όπου χρησιμοποιείται η συσκευή. Σε ανοιχτό χώρο με καλή ορατότητα προς τον ουρανό, η ακρίβεια είναι συνήθως καλύτερη από ό,τι σε περιοχές με υψηλά κτίρια ή σε εσωτερικούς χώρους, όπου το σήμα GPS μπορεί να αποκλίνει.

Η ακρίβεια που παρέχει το GPS του κινητού τηλεφώνου είναι της τάξης των 2-5 μέτρων σε καλές καιρικές συνθήκες και με την απουσία υψηλών κτηρίων. Υπάρχει **περιθώριο βελτίωσης** της ακρίβειας όσο περισσότερο χρονικό διάστημα παραμένουμε στο σημείο. Για την παρούσα εργασία δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην καταγραφή των σημείων/κάδων, ώστε να ληφθεί μια ακριβή εικόνα των κάδων της περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να είμαστε σίγουροι για την ακρίβεια των δεδομένων μας, όσο είναι και η ακρίβεια του GPS τηλεφώνου μας.

Στην συνέχεια έγινε σάρωση της περιοχής για τον εντοπισμό των κάδων της περιοχής, και με την χρήση της εφαρμογής Google Earth τοποθετήθηκαν πινακίδες στις τοποθεσίες αυτές. Η εφαρμογή του Google Earth δίνει την δυνατότητα εξαγωγής των τοποθετημένων πινακίδων σε μορφή .kml , τύπος αρχείου που μπορεί να εισαχθεί αργότερα στο πρόγραμμα του ArcGIS.

4.2 Ψηφιοποίηση δεδομένων



Εικόνα 9: Ψηφιοποίηση

Η **ψηφιοποίηση** αποτελεί κεντρικό στοιχείο της εργασίας, αναδεικνύοντας τον σύγχρονο χαρακτήρα και την προηγμένη φύση της. Μέσω αυτής, τα δεδομένα που συλλέγονται από διάφορες πηγές, όπως το Google Earth, μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή και ενσωματώνονται στο περιβάλλον του ArcGIS παρέχοντας τη δυνατότητα αποτελεσματικής διαχείρισης, ανάλυσης και επεξεργασίας τους. Η ψηφιοποίηση των πληροφοριών από το Google Earth στο περιβάλλον του ArcGIS διευκολύνει τη δημιουργία ενός αξιόπιστου γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS) και επιτρέπει την ευέλικτη και ακριβή αναπαράσταση της γεωγραφικής πληροφορίας, δίνοντας την δυνατότητα στον ερευνητή να εκτελέσει πολύπλοκες χωρικές αναλύσεις και βελτιστοποιήσεις. Ταυτόχρονα, επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση και ανανέωση των δεδομένων, βοηθώντας στη διατήρηση της ενημέρωσης και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων και επίσης τον ακριβή χαρτογραφικό προσδιορισμό των τοποθεσιών των απορριμματοφόρων, παρέχοντας τη βάση για τη διεξαγωγή λεπτομερών αναλύσεων.

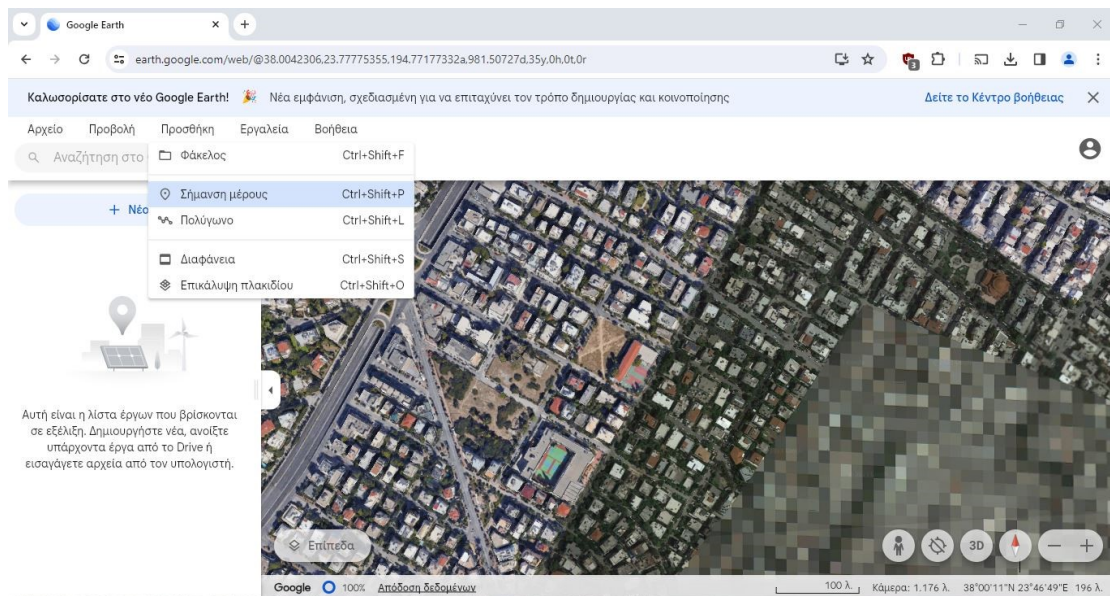
Η επέκταση Network Analyst του ArcGIS παρέχει την αυτοματοποιημένη εισαγωγή των τοποθεσιών αυτών, σε συνδυασμό με το οδικό δίκτυο του OpenStreetMap. Επιπλέον, δημιουργεί τη δυνατότητα αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης και ενημέρωσης των δεδομένων με ευκολία, επιτρέποντας την **εξέλιξη** της εργασίας με τον χρόνο.

Αυτή η ψηφιοποίηση και η εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης δικτύου **ενισχύουν** την διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων διαδρομών, προσφέροντας αξιόπιστες απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας. Συνολικά, η ψηφιοποίηση συμβάλλει στην αυξημένη ακρίβεια, την ευκολότερη ανταλλαγή πληροφοριών και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διπλωματικής εργασίας. Συνεπώς, είναι καθοριστική για την ακριβή, αποτελεσματική και συστηματική ανάλυση των γεωχωρικών πληροφοριών, ενισχύοντας τη σημαντικότητα της επιστήμης του GIS στον τομέα της βελτιστοποίησης διαδρομών για τη συλλογή απορριμμάτων.

4.2.1 Διαδικασία ψηφιοποίησης

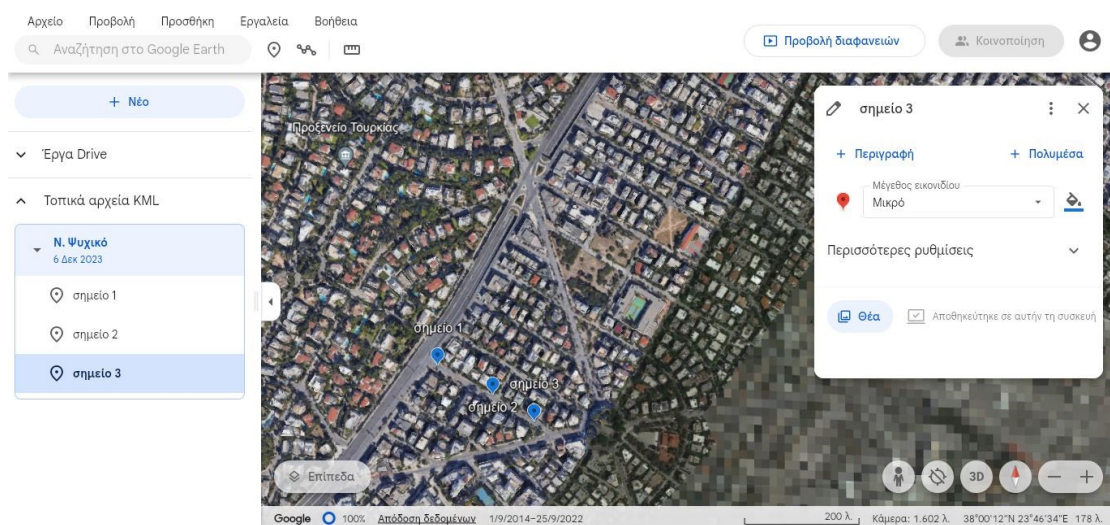
Στην συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία εισαγωγής των σημείων/πινεζών στην εφαρμογή του Google Earth.

Ξεκινώντας από την εισαγωγή των πινακίδων-σημείων στο Google Earth η διαδικασία είναι σχετικά απλή. Με την χρήση της εφαρμογής του Google Earth και στην καρτέλα προσθήκη, επιλέγεται το “Σήμανση μέρους”.



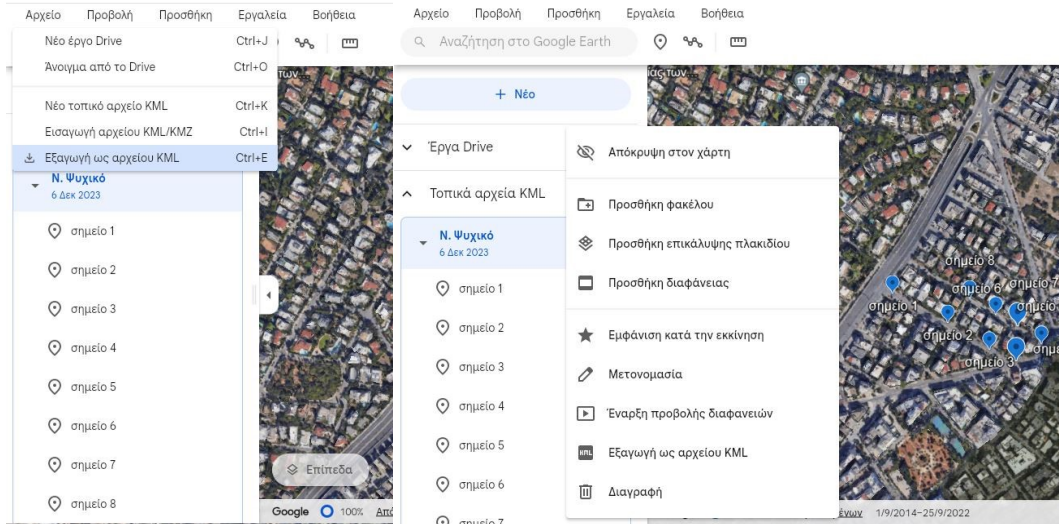
Εικόνα 10: Σήμανση μέρους

Με την δημιουργία του σημείου, δίνεται η επιλογή ονομασίας του καθώς και ο έλεγχος των συντεταγμένων του. Προχωράμε με τον ίδιο τρόπο για όλα τα σημεία-κάδους που εντοπίσαμε στην περιοχή μας.



Εικόνα 11: Καταγραφή σημείων

Μόλις ολοκληρωθεί η προσθήκη όλων των σημείων με τις τοποθεσίες από τους κάδους, σειρά έχει η **εξαγωγή** των σημείων με την μορφή .kml. Από το αρχείο και επιλέγεται το “Εξαγωγή ως αρχείου KML” ή στα τοπικά αρχεία KML στις τρεις τελείες επιλέγεται η αντίστοιχη επιλογή “Εξαγωγή ως αρχείου KML”.

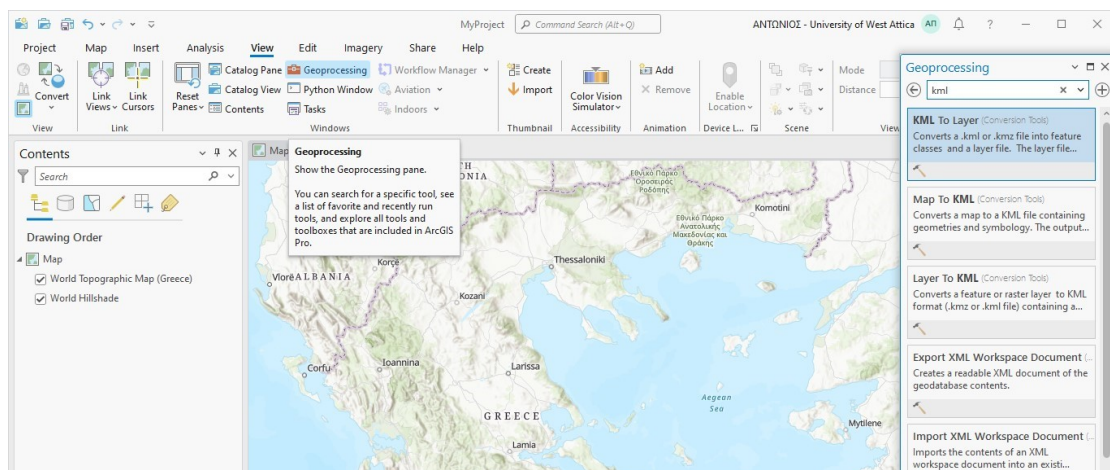


Εικόνα 12: Εξαγωγή KML (1)

Εικόνα 13: Εξαγωγή KML (2)

Στην συνέχεια σειρά έχει η εισαγωγή του αρχείου kml με τα σημεία στο ArcGIS.

Στην εφαρμογή του ArcGIS pro γίνεται δημιουργία καινούργιου project και επιλέγεται στην καρτέλα view η εργαλειοθήκη «Geoprocessing». Εκεί γίνεται αναζήτηση το εργαλείο “KML to Layer». Επιλέγεται το αρχείο KML που έγινε εξαγωγή από το Google Earth στο «Input KML file». Στο «Output location» επιλέγεται ο φάκελος εξαγωγής του layer και στο «Output Data Name» την ονομασία του layer.



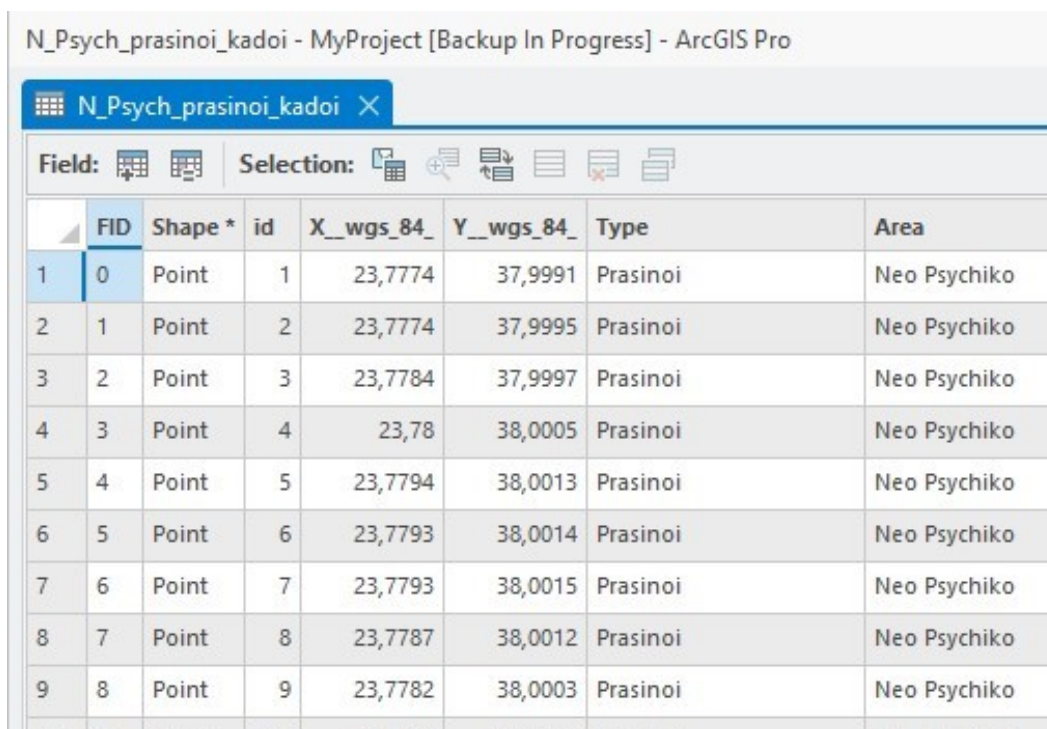
Εικόνα 14: KML to Layer

4.3 Επεξεργασία δεδομένων

4.3.1 Διαδικασία στο ArcGIS pro

Όπως έχει προαναφερθεί, η επεξεργασία δεδομένων αποτελεί κρίσιμο στάδιο στη διαδικασία γεωχωρικής ανάλυσης και αναπαράστασης πληροφοριών. Μέσω της μετατροπής δεδομένων από τη μορφή KML σε layer, οι γεωχωρικές πληροφορίες αποκτούν τη δυνατότητα να ενσωματωθούν σε ένα περιβάλλον εργασίας που παρέχει **εξειδικευμένα εργαλεία** για την ανάλυση, την οπτικοποίηση και τη διαχείριση των γεωχωρικών τους δεδομένων.

Με την εισαγωγή του layer στο πρόγραμμα του ArcGIS online (ή στο ArcGIS pro) μπορεί να ξεκινήσει το στάδιο **επεξεργασίας** τους. Αρχικά, δίνεται πρόσβαση στον πίνακα περιεχομένων όπου παρέχονται πληροφορίες όσον αφορά την γεωμετρία των σημείων (point), το συγκεκριμένο id του κάθε σημείου (που προκύπτει με την σειρά εισαγωγής), τις συντεταγμένες τους X και Y σε γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS 84, τον τύπο των κάδων (Prasinoi) καθώς και την περιοχή που βρίσκονται (Neo Psychiko).

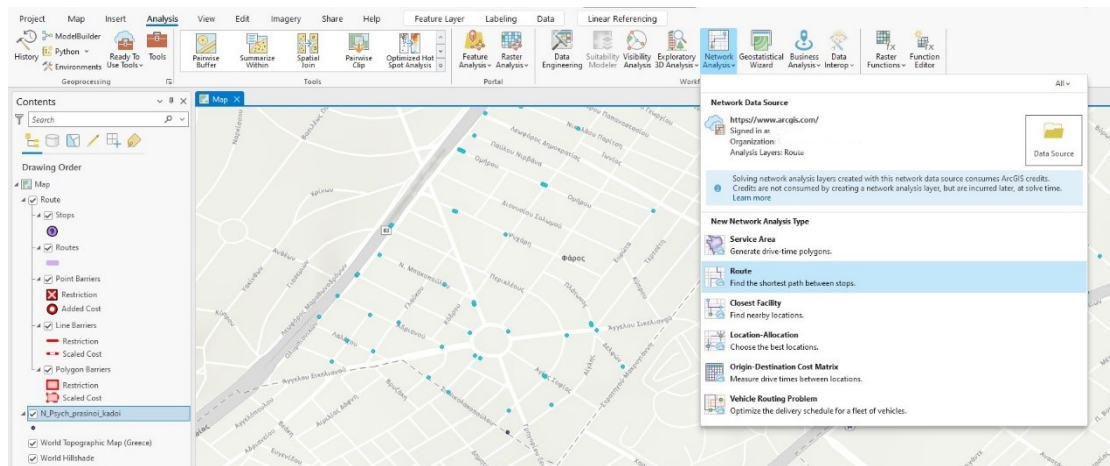


FID	Shape *	id	X_wgs_84_	Y_wgs_84_	Type	Area
0	Point	1	23,7774	37,9991	Prasinoi	Neo Psychiko
1	Point	2	23,7774	37,9995	Prasinoi	Neo Psychiko
2	Point	3	23,7784	37,9997	Prasinoi	Neo Psychiko
3	Point	4	23,78	38,0005	Prasinoi	Neo Psychiko
4	Point	5	23,7794	38,0013	Prasinoi	Neo Psychiko
5	Point	6	23,7793	38,0014	Prasinoi	Neo Psychiko
6	Point	7	23,7793	38,0015	Prasinoi	Neo Psychiko
7	Point	8	23,7787	38,0012	Prasinoi	Neo Psychiko
8	Point	9	23,7782	38,0003	Prasinoi	Neo Psychiko

Εικόνα 15: Attribute table

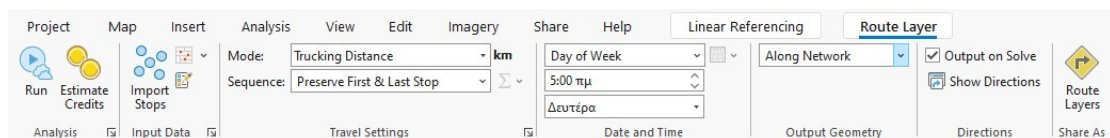
Στην συνέχεια, γίνεται χρήση του εργαλείου “Network Analysis” το οποίο βρίσκεται είτε από την εργαλειοθήκη είτε από την καρτέλα “Analysis”. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος ανάλυσης “Route” ο οποίος παράγει τη βέλτιστη Σενάριο μεταξύ δύο ή περισσότερων

σημείων σε ένα δίκτυο οδών λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφορία, τους περιορισμούς και άλλες παραμέτρους.



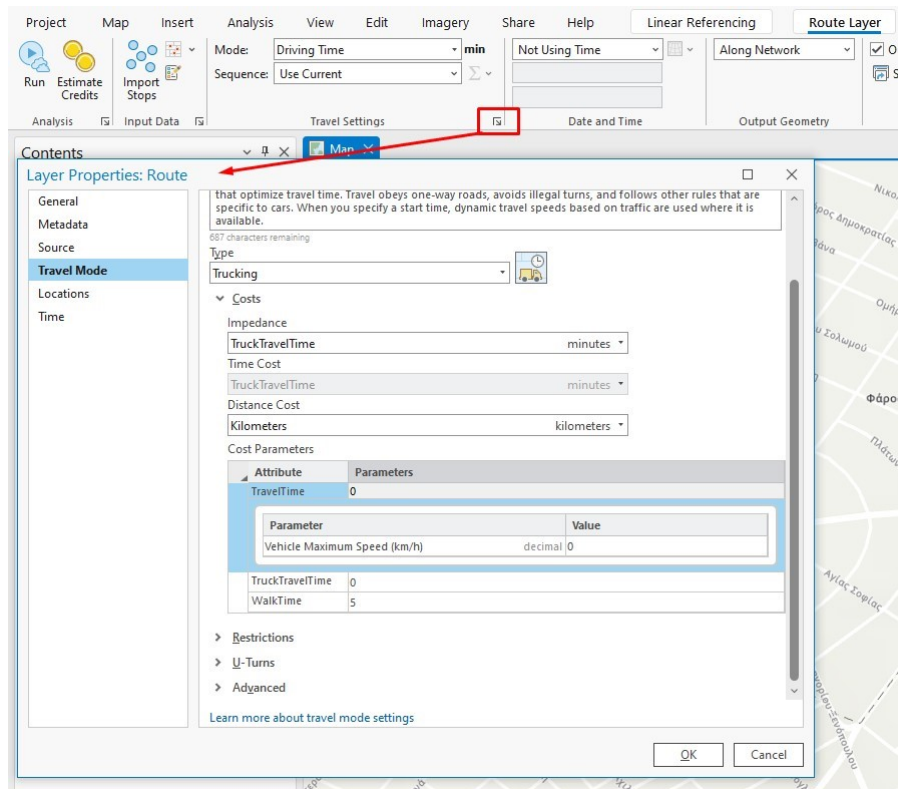
Εικόνα 16: Network Analysis – Route

Στο εργαλείο αυτό, γίνεται εισαγωγή των στάσεων “Import Stops” (οι τοποθεσίες των κάδων της περιοχής μελέτης), επιλέγεται ο τρόπος βελτιστοποίησης της διαδρομής σε απόσταση ή χρόνο “Mode”, επιλέγεται η ακολουθία των στάσεων “Sequence” όπου η επιλογή της σειράς των σημείων που ακολουθεί η Σενάριο μπορεί να προσαρμοστεί. Αυτή η επιλογή περιλαμβάνει τη δυνατότητα διατήρησης της πρώτης ή/και τελευταίας στάσης, την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ των σημείων ή τη διατήρηση της αρίθμησης εισαγωγής σημείων. Ακόμα έχοντας την δυνατότητα να λαμβάνεται υπόψη η κυκλοφορία, δίνεται η δυνατότητα επιλογής ημερομηνίας και ώρας του δρομολογίου “Date and Time”.



Εικόνα 17: Route layer

Επιπρόσθετα στο πλαίσιο του συγκεκριμένου εργαλείου, παρέχεται η δυνατότητα προσαρμογής των μεταβλητών της ταχύτητας των οχημάτων, των οδικών περιορισμών π.χ. αποφυγή ιδιωτικών δρόμων ή δρόμους με υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, καθώς και των αναστροφών (U-turn) για την περαιτέρω εξατομίκευση της λειτουργικότητας του συστήματος.

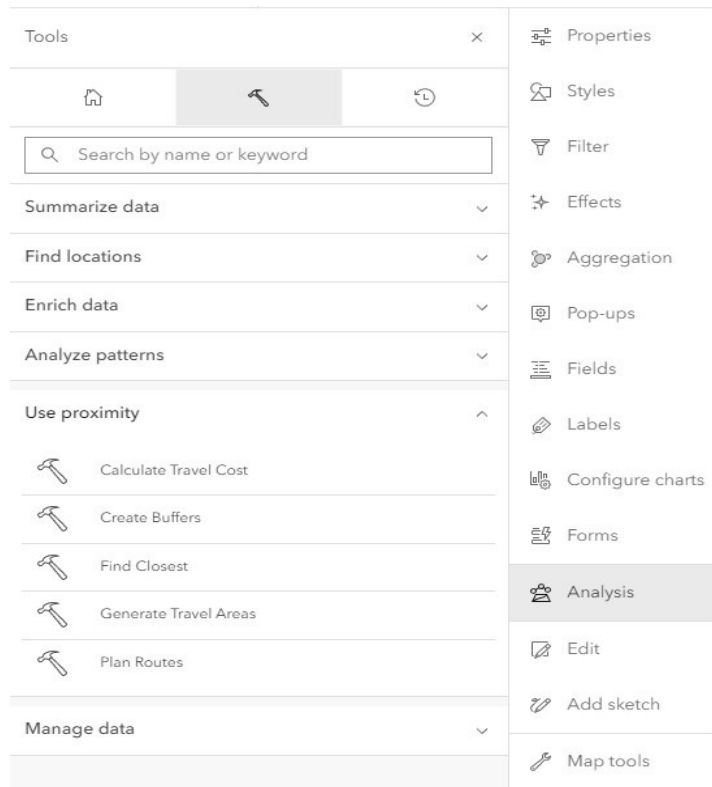


Εικόνα 18: Travel settings - ArcGIS pro

4.3.2 Διαδικασία στο ArcGIS online

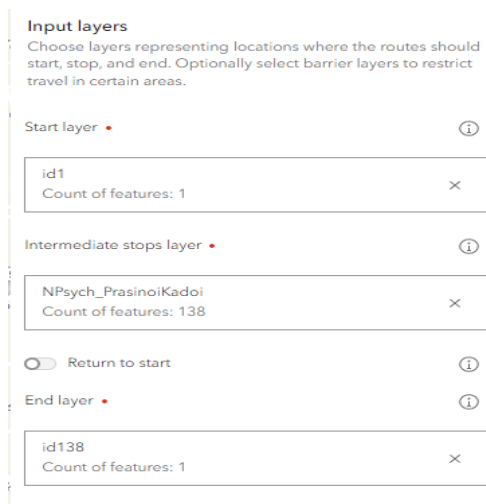
Η διαδικασία του Network Analysis στα προγράμματα ArcGIS Pro και ArcGIS Online παρουσιάζει ορισμένες **ομοιότητες** αλλά και **διαφορές**. Τόσο στο ArcGIS Pro όσο και στο ArcGIS Online, η διαδικασία του Network Analysis περιλαμβάνει τη δημιουργία και τον ορισμό ενός δικτύου, την εισαγωγή των αντίστοιχων δεδομένων και την εκτέλεση αναλύσεων όπως η δρομολόγηση, η εύρεση πλησιέστερων εγκαταστάσεων κλπ. Ωστόσο στο περιβάλλον του ArcGIS online όπως θα αναλύσουμε στην συνέχεια, παρέχονται επιπλέον μεταβλητές όπως ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που είναι διαθέσιμα για δρομολόγηση, ο αριθμός των στάσεων που μπορεί να πραγματοποιήσει το κάθε όχημα, τον αναμενόμενο μέσο χρόνο εξυπηρέτησης που δαπανάται σε κάθε στάση καθώς και το μέγιστο χρονικό διάστημα που θα διαρκέσει μια Σενάριο από την αρχή μέχρι το τέλος.

Έχοντας δημιουργήσει ένα project και έχει εισαχθεί το layer με τα σημεία σε αυτό, γίνεται εντοπισμός του εργαλείου “Analysis” στην δεξιά πλευρά της οθόνης. Επιλέγοντας το γίνεται αναζήτηση του εργαλείου “plan routes” είτε από την μπάρα αναζήτησης είτε πηγαίνοντας στην καρτέλα “Use proximity” και από εκεί στην αντίστοιχη επιλογή.

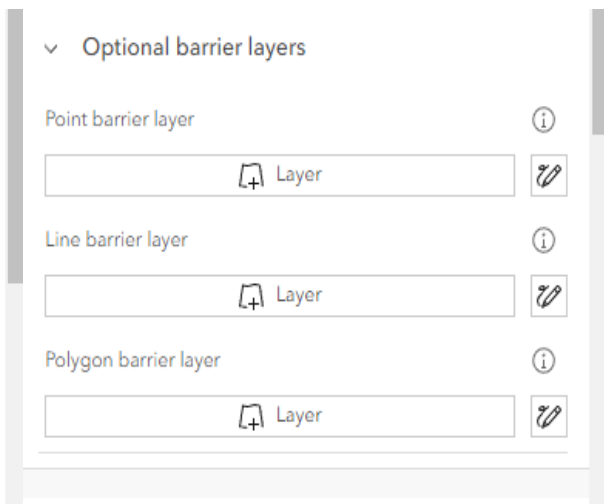


Εικόνα 19: ArcGIS online - Analysis - plan routes

Σε αντίθεση με το ArcGIS pro, πέρα από το layer των στάσεων που πρέπει να επισκεφθούν τα οχήματα κατά την διάρκεια των διαδρομών τους, απαιτείται ένα layer που καθορίζει την αφετηρία των διαδρομών καθώς και ένα layer που καθορίζει τον τερματισμό. Αφετηρία και τερματισμός μπορεί να είναι κάποιος χώρος φύλαξης των οχημάτων, ο χώρος διανομής των απορριμμάτων κ.α.. Για να έχουμε την δυνατότητα επεξεργασίας του αριθμού των οχημάτων για τις διαδρομές, τα layer αφετηρίας και τερματισμού, πρέπει να αποτελούνται από layer με ένα μόνο χαρακτηριστικό. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως αφετηρία και τερματισμός το πρώτο και τελευταίο σημείο κάδων. Επίσης δίνεται η δυνατότητα προσθήκης φραγμών ή σχεδιασμού περιορισμών επάνω στο χάρτη “Optional barrier layers”, αποκλείοντας με αυτόν τον τρόπο κάποιους δρόμους που είναι γνωστό πως θα αποτελέσουν εμπόδιο στις διαδρομές και θα ήταν επιθυμητή η αποφυγή τους.



Εικόνα 20: *Input layers*



Εικόνα 21: *Optional barrier layers*

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι **παράμετροι** του ArcGIS online. Όπως και στο ArcGIS pro, εντοπίζεται ο τρόπος μετακίνησης “Travel mode” με τον οποίο θα δημιουργηθούν τα δρομολόγια (driving, trucking, walking, rural driving), η λειτουργία ταξιδιού μπορεί να βασίζεται στην απόσταση ή τον χρόνο. Επίσης υπάρχει η επιλογή της ημερομηνίας και ώρας αναχώρησης των οχημάτων “departure time” η οποία χρησιμοποιεί ιστορικές συνθήκες κυκλοφορίας. Αυτό σημαίνει πως δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας διαδρομής/ων σε μια περιοχή με βάση τις τυπικές συνθήκες για την συγκεκριμένη ημέρα.

Ακόμα εντοπίζεται η παράμετρος του μέγιστου αριθμού οχημάτων “Max number of vehicles to route”, των μέγιστων στάσεων ανά όχημα “Max number of stops per vehicle”, του χρόνου που αφιερώνουν σε κάθε στάση τα οχήματα σε λεπτά “Time spent at each stop (minutes)” καθώς και του χρόνου ταξιδιού που μπορεί να αφιερώσει κάθε όχημα σε λεπτά “Max time per vehicle (minutes)”.

Analysis settings

Travel mode • ⓘ
Trucking Time ▾

Departure time • ⓘ
3/11/2024 ▾ 05:30 AM ▾

Max number of vehicles to route • ⓘ
Enter a value... ▾

Max number of stops per vehicle • ⓘ
Enter a value... ▾

Time spent at each stop (minutes) ⓘ
0 ▾

Limit max time per vehicle ⓘ

Max time per vehicle (minutes) ⓘ
480 ▾

Εικόνα 22: Παράμετροι Analysis - ArcGIS online

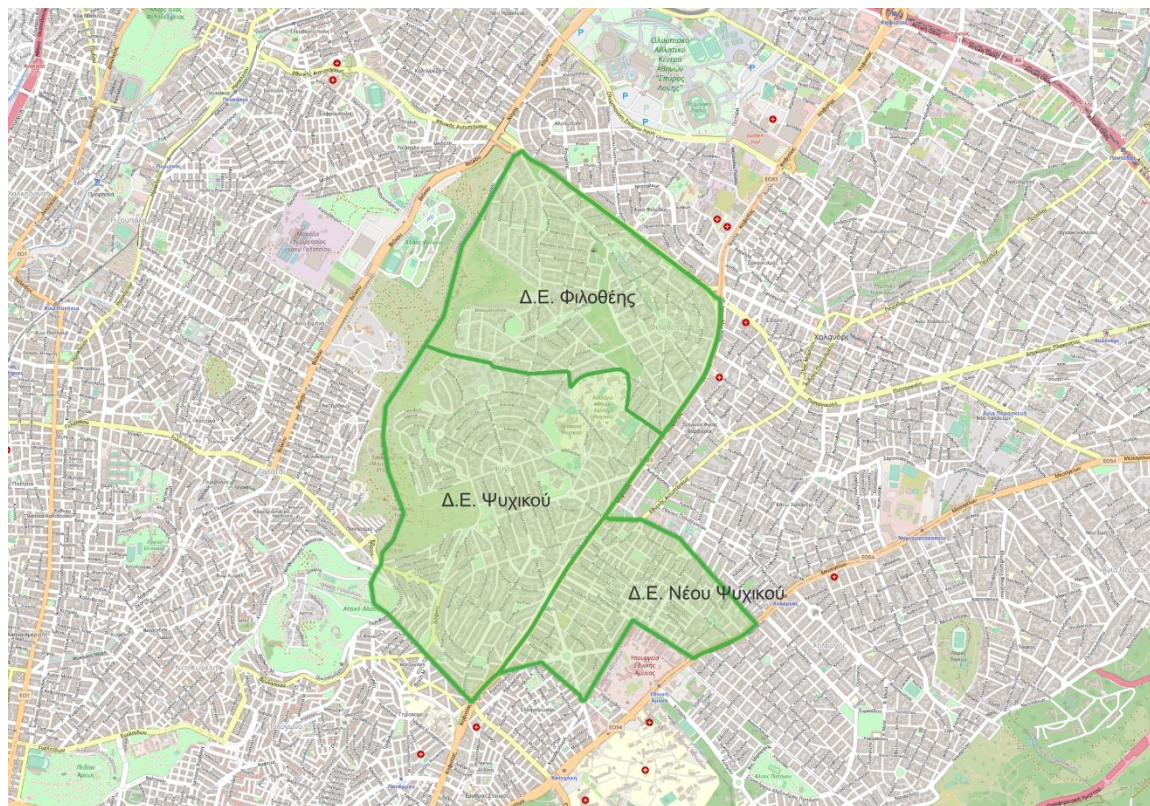
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

5.1 Περιγραφή Έρευνας Πεδίου

Ο Δήμος Φιλοθέης-Ψυχικού ανήκει στην Περιφέρεια Αττικής και, πιο συγκεκριμένα, στην Περιφερειακή Ενότητα του Βορείου Τομέα Αθηνών. Τα διοικητικά όρια του Δήμου Φιλοθέης-Ψυχικού εκτείνονται ως το νότιο τμήμα του Βορείου Τομέα Αθηνών, ενώ ταυτόχρονα συνορεύει και με τον Κεντρικό Τομέα της Αθήνας.

Ειδικότερα, συνορεύει βόρεια με τους Δήμους Αμαρουσίου και Χαλανδρίου, νοτιοανατολικά με τον Δήμο Χαλανδρίου έως τη Λεωφόρο Μεσογείων και δυτικά με τους Δήμους Γαλατσίου και Νέας Ιωνίας, με φυσικό όριο τα Τουρκοβούνια. Συστάθηκε σύμφωνα με το Πρόγραμμα «Καλλικράτης» του Ν. 3852/2010 και προέκυψε έπειτα από τη συνένωση των τριών πρώην Δήμων Φιλοθέης, Ψυχικού, Νέου Ψυχικού οι οποίοι σήμερα αποτελούν τις αντίστοιχες διοικητικές Δημοτικές Ενότητες (ΔΕ).

Το δυτικό τμήμα που οριοθετείται από τον λόφο Τουρκοβουνίων και της Λεωφόρου Κηφισίας απαρτίζεται από περιοχές αποκλειστικής κατοικίας σε συνεχόμενες κηπουπόλεις. Αντίθετα, το ανατολικό τμήμα, στο οποίο συγκαταλέγεται η Διοικητική Ενότητα του Νέου Ψυχικού, αποτελείται από υπερ-τοπικές οικονομικές δραστηριότητες τριτογενούς τομέα κατά μήκος της Λεωφόρου Μεσογείων καθώς και στην ανατολική πλευρά της Λεωφόρου Κηφισίας.



Εικόνα 23: Δημοτικές Ενότητες του Δήμου Φιλοθέης-Ψυχικού

Ο **συνολικός πληθυσμός** του Δήμου Φιλοθέης-Ψυχικού ανέρχεται σε 26.968 κατοίκους. Ειδικότερα, στη Διοικητική ενότητα Φιλοθέης κατοικούν 7.302 άτομα, στη Διοικητική ενότητα Ψυχικού 9.529 και στη Διοικητική ενότητα Νέου Ψυχικού 10.137.

Συγκριτικά με το 2001, ο Δήμος εμφανίζει αρνητική **πληθυσμιακή μεταβολή** η οποία ισούται με -12,31% συνολικά. Εστιάζοντας στις επιμέρους δημοτικές ενότητες, παρατηρείται ότι και στις 3 περιπτώσεις η πληθυσμιακή μεταβολή είναι επίσης αρνητική. Συγκεκριμένα, η ΔΕ Φιλοθέης εμφανίζει μεταβολή -8,95%, η ΔΕ Ψυχικού -13,73% και η ΔΕ Νέου Ψυχικού -13,27%. Συνεπώς, παρατηρείται μια σημαντική μείωση του πληθυσμού του Δήμου, η οποία μάλιστα είναι εμφανής και στις 3 επιμέρους δημοτικές ενότητες.

5.2 Περιγραφή σεναρίων

Σε αυτήν την ενότητα, αναφέρονται οι **παράμετροι** και οι **συνδυασμοί** τους που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών, με στόχο την **εξαντλητική κάλυψη** του πεδίου της μελέτης. Καθώς η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σωστή επιλογή και τη σωστή ρύθμιση των παραμέτρων, οι δοκιμές αποσκοπούν στην εύρεση της βέλτιστης παραμετροποίησης που θα οδηγήσει στα επιθυμητά αποτελέσματα.

Οι **αναμενόμενες προσεγγίσεις** στα δύο προγράμματα, ArcGIS Pro και ArcGIS Online, διαφέρουν ανάλογα με τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται. Το ArcGIS Pro, εστιάζει στην κατά τη διάρκεια των διαδρομών και γίνεται αναζήτηση του βέλτιστου χρόνου διαδρομής και/ή της ελαχιστοποίησης της απόστασης διαδρομής. Από την άλλη πλευρά, στο ArcGIS Online εξετάζεται ο αριθμός των οχημάτων και των στάσεων τους, ενώ αναζητείται επίσης ο βέλτιστος χρόνος διαδρομής για κάθε όχημα, καθώς και η βέλτιστη ελαχιστοποίηση της απόστασης διαδρομής. Η επιλογή των παραμέτρων και η ανάλυσή τους αντανακλά την καθοδήγηση των δοκιμών προς την εύρεση των βέλτιστων λύσεων για κάθε περίπτωση χρήσης. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών θα παρουσιαστούν λεπτομερώς στη συνέχεια της ενότητας, παρέχοντας μια κατανοητή εικόνα των αναλύσεων και των επιπτώσεών τους.

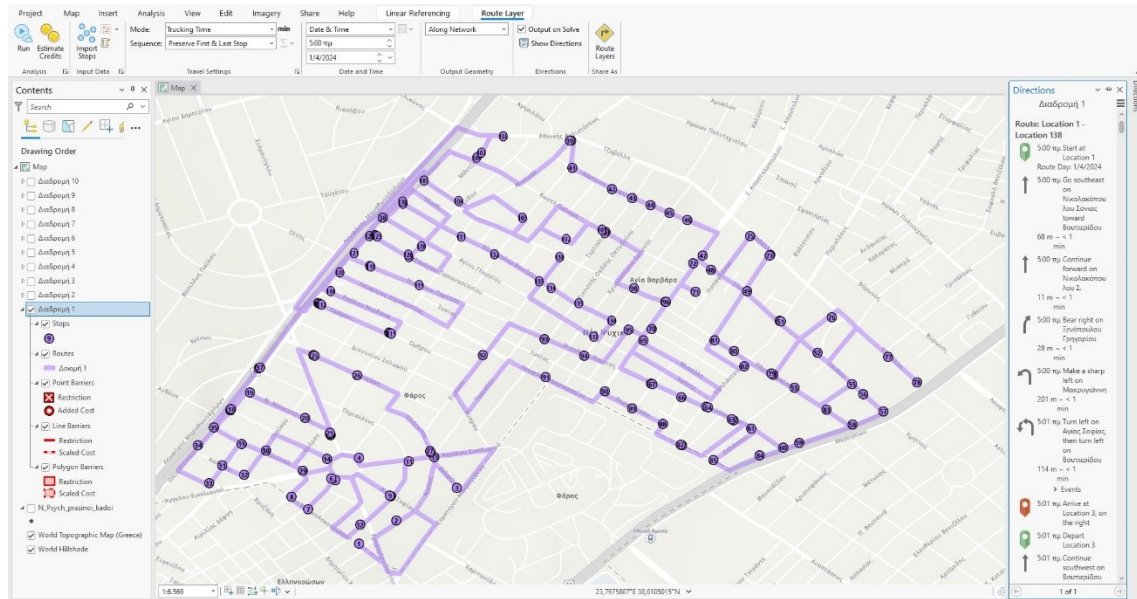
Παρακάτω παρουσιάζονται τα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν σε ArcGIS pro και ArcGIS online. Για καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων διατηρείται η ίδια ημερομηνία, και ώρα πραγματοποίησης των διαδρομών, ώστε να ληφθούν οι τυπικές συνθήκες οδικής κίνησης. Χρησιμοποιήθηκε η 1^η Απριλίου 2024 και ώρα 05:00 τα ξημερώματα καθώς συνηθίζεται η συλλογή των απορριμμάτων να γίνεται σε ώρες με λιγιστή κυκλοφοριακή κίνηση ώστε να μην εμποδίζεται η κυκλοφορία από τις συχνές στάσεις των απορριμματοφόρων. Επίσης ως αφετηρία και τερματισμός διαδρομής χρησιμοποιήθηκαν η πρώτη και τελευταία στάση – κάδος απορριμμάτων. Κάθε δήμος, έχει τον δικό του χώρο στάθμευσης των οχημάτων, αυτό σημαίνει πως στο μοντέλο το μόνο που αλλάζει είναι η αφετηρία και ο τερματισμός των οχημάτων.

5.2.1 Σενάρια ArcGIS pro

Τα παρακάτω 4 σενάρια έγιναν με λειτουργία βελτιστοποίησης του ArcGIS pro, τον χρόνο.

Σενάριο 1

Για το σενάριο 1, έγινε χρήση των **default** τιμών των παραμέτρων ώστε να ληφθεί μια πρώτη εκτίμηση της διαδρομής. Επίσης έγινε αποκλεισμός των αναστροφών.

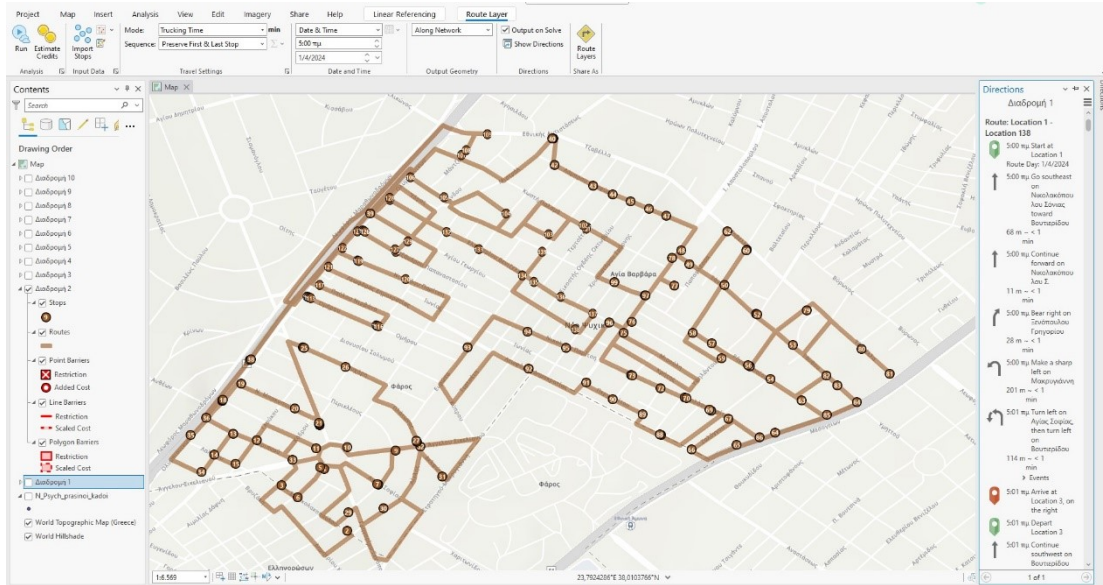


Εικόνα 24: Σενάριο 1

Total Time: 55 min
 Total Distance: 23 km
 Start Time: 1/4/2024 5:00 πμ
 Finish Time: 1/4/2024 5:52 πμ

Σενάριο 2

Για το σενάριο 2, έγινε επεξεργασία της παραμέτρου του κόστους και αλλαγή της παραμέτρου της **μέγιστης ταχύτητας** σε 30χλμ/ω (η οποία είναι μια αποδεκτή μέγιστη ταχύτητα για τον όγκο του απορριμματοφόρου και τις συχνές στάσεις που πραγματοποιεί σε αστικό περιβάλλον). Επίσης έγινε αποκλεισμός των αναστροφών.

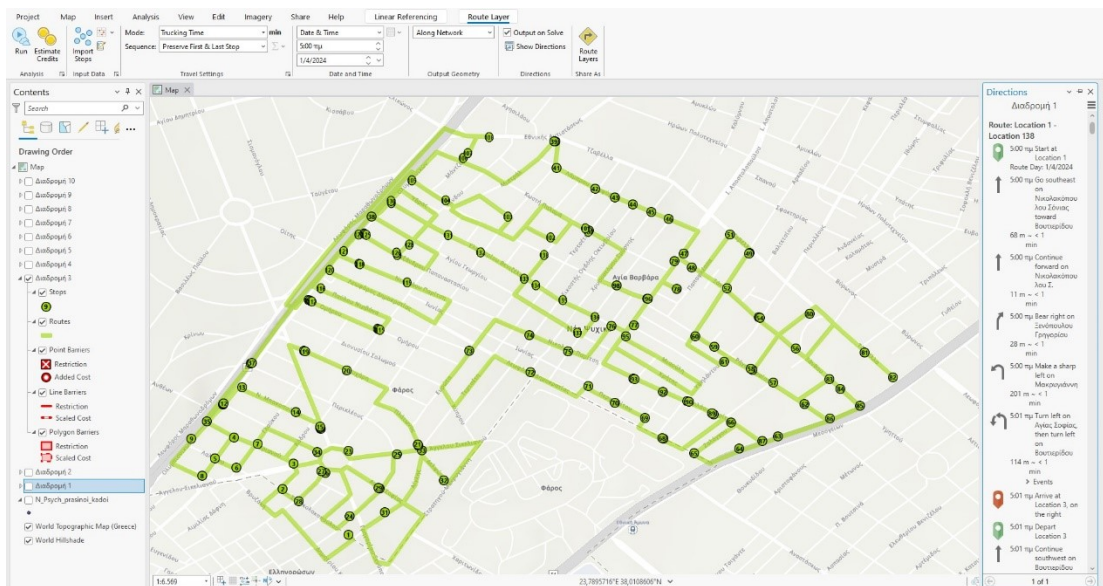


Εικόνα 25: Σενάριο 2

Total Time: 59 min
 Total Distance: 23 km
 Start Time: 1/4/2024 5:00 πμ
 Finish Time: 1/4/2024 5:59 πμ

Σενάριο 3

Για το σενάριο 3, έγινε επαναφορά των παραμέτρων στις **default** τιμές τους όπως στο σενάριο 1 αλλά προστέθηκε η παράμετρος της **αναστροφής U-Turn** σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις.

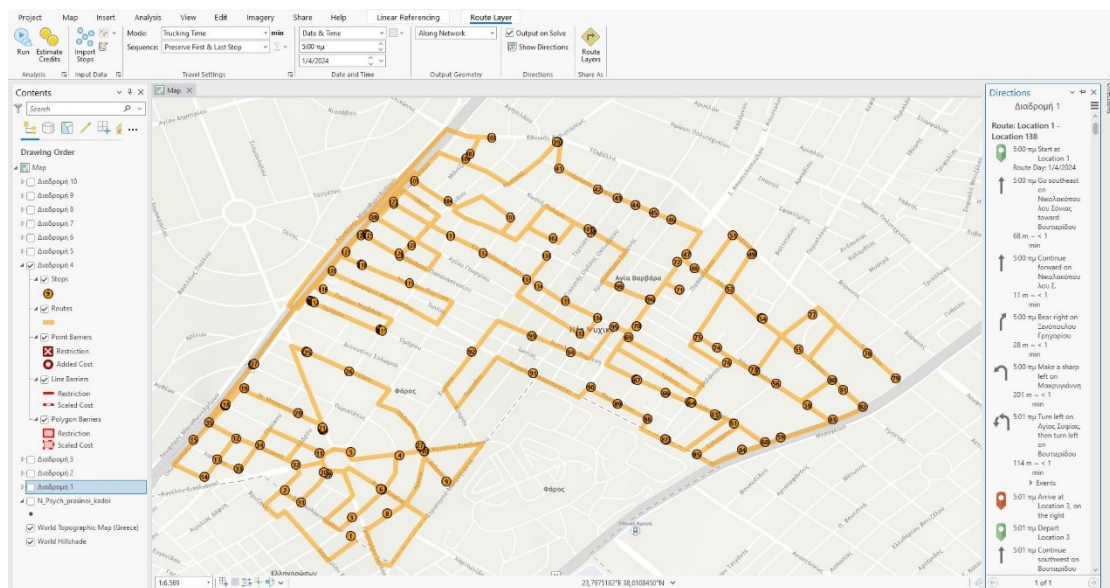


Εικόνα 26: Σενάριο 3

Total Time: 55 min
Total Distance: 22 km
Start Time: 1/4/2024 5:00 πμ
Finish Time: 1/4/2024 5:55 πμ

Σενάριο 4

Για το σενάριο 4, έγινε επεξεργασία των **παραμέτρων κόστους – μέγιστης ταχύτητας** στα 30χλμ/ω, όπως στο σενάριο 2, και προστέθηκαν οι **αναστροφές** σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις.

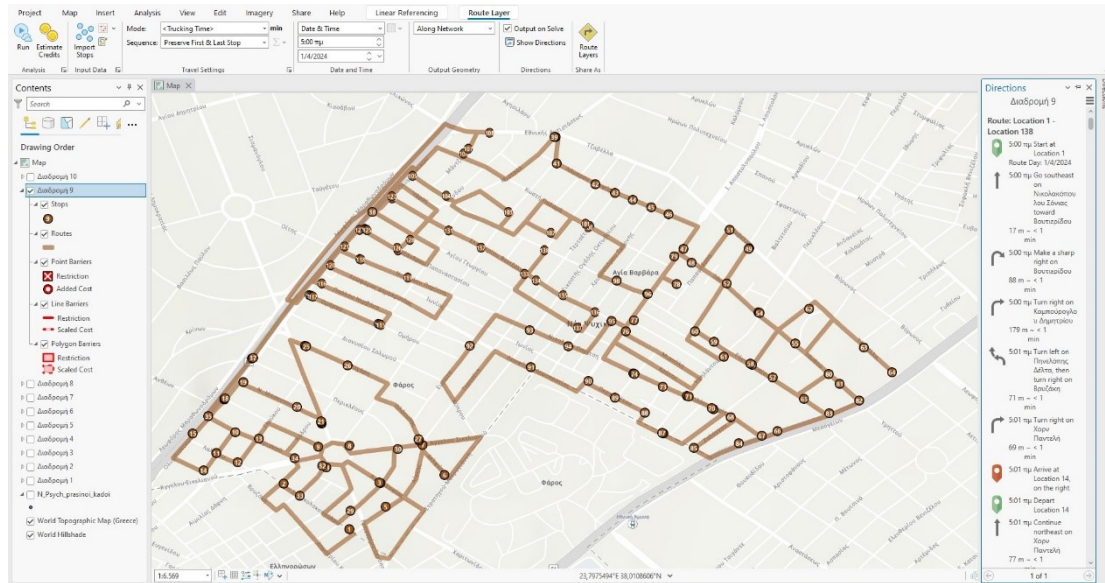


Εικόνα 27: Σενάριο 4

Total Time: 59 min
Total Distance: 22 km
Start Time: 1/4/2024 5:00 πμ
Finish Time: 1/4/2024 5:59 πμ

Σενάριο 9

Για το σενάριο 9, έγινε επιλογή της **μέγιστης ταχύτητας** οχήματος στα 50χλμ/ω και η επιτράπηκαν οι **αναστροφές** σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις.



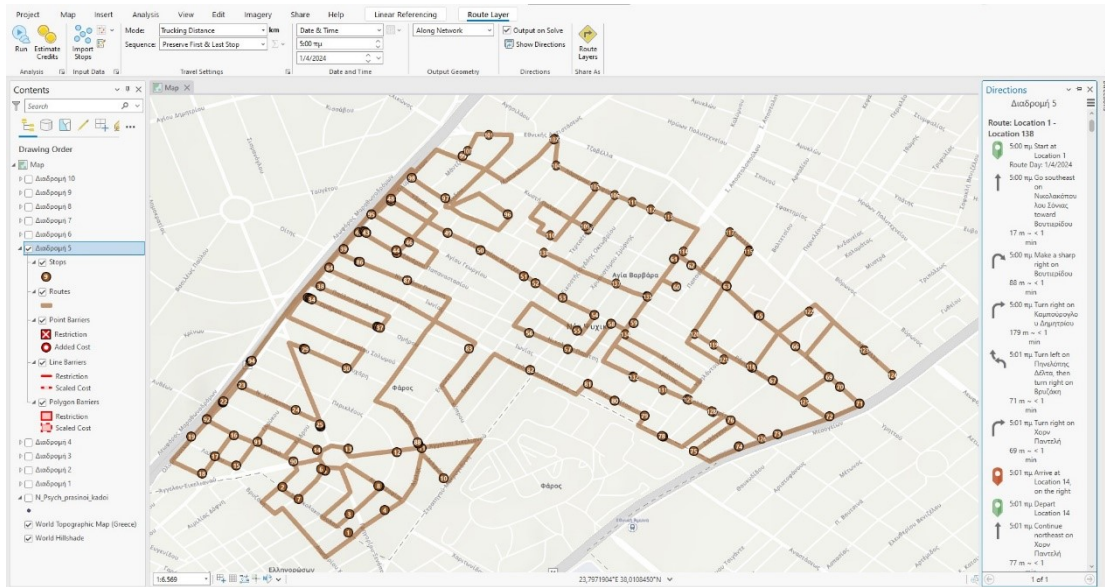
Εικόνα 28: Σενάριο 9

Total Time: 56 min
 Total Distance: 22 km
 Start Time: 1/4/2024 5:00 πμ
 Finish Time: 1/4/2024 5:56 πμ

Στην συνέχεια ακολουθούν 4 σενάρια με λειτουργία βελτιστοποίησης του ArcGIS pro, την απόσταση.

Σενάριο 5

Για το σενάριο 5, έγινε χρήση των **default** τιμών των παραμέτρων και έγινε αποκλεισμός των αναστροφών.

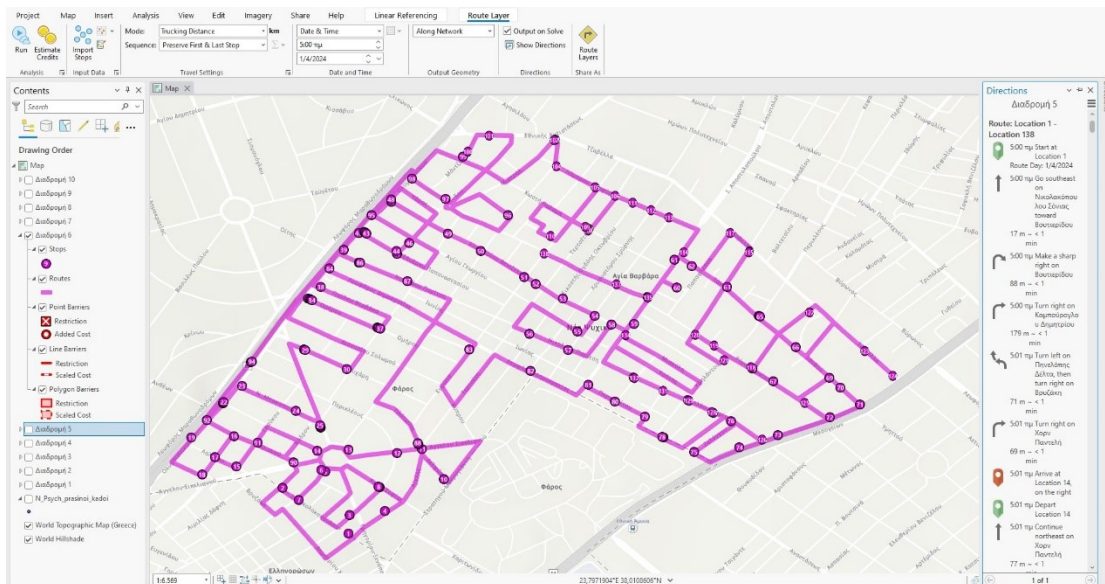


Εικόνα 29: Σενάριο 5

Total Time: 57 min
Total Distance: 22 km

Σενάριο 6 – ArcGIS pro

Για το σενάριο 6, έγινε επεξεργασία της παραμέτρου του κόστους **μέγιστης ταχύτητας** στα 30χλμ/ω, και αποκλεισμός των αναστροφών.



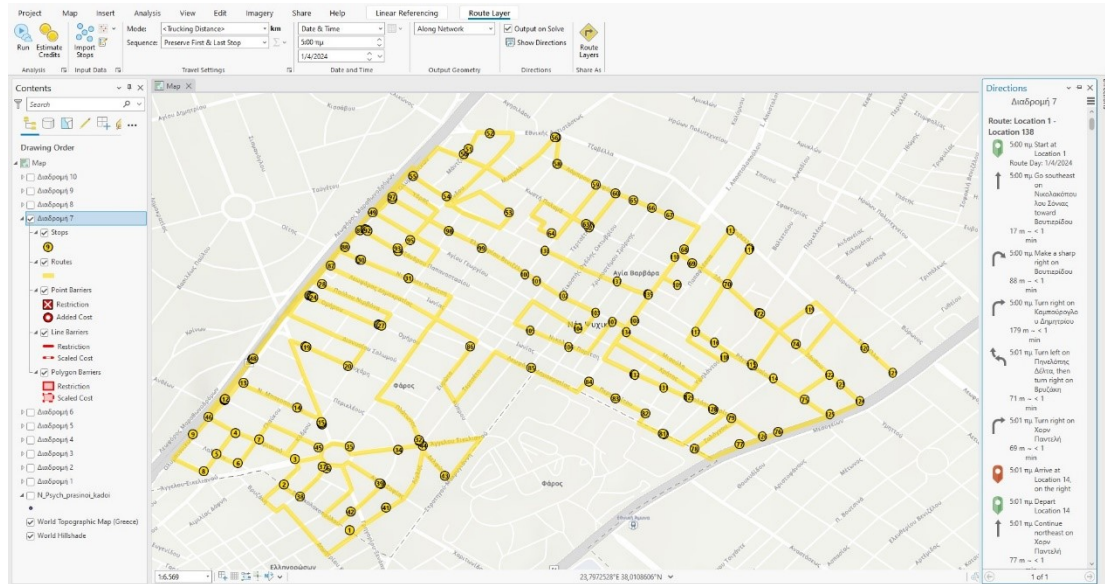
Εικόνα 30: Σενάριο 6

Total Time: 59 min
Total Distance: 22 km

Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Βελτιστοποίησης Λειτουργίας Απορριμματοφόρων σε Αστικό Περιβάλλον

Σενάριο 7 – ArcGIS pro

Για το σενάριο 7, έγινε χρήση των **default** τιμών των παραμέτρων, επιτρέποντας μόνο τις **αναστροφές** σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις.



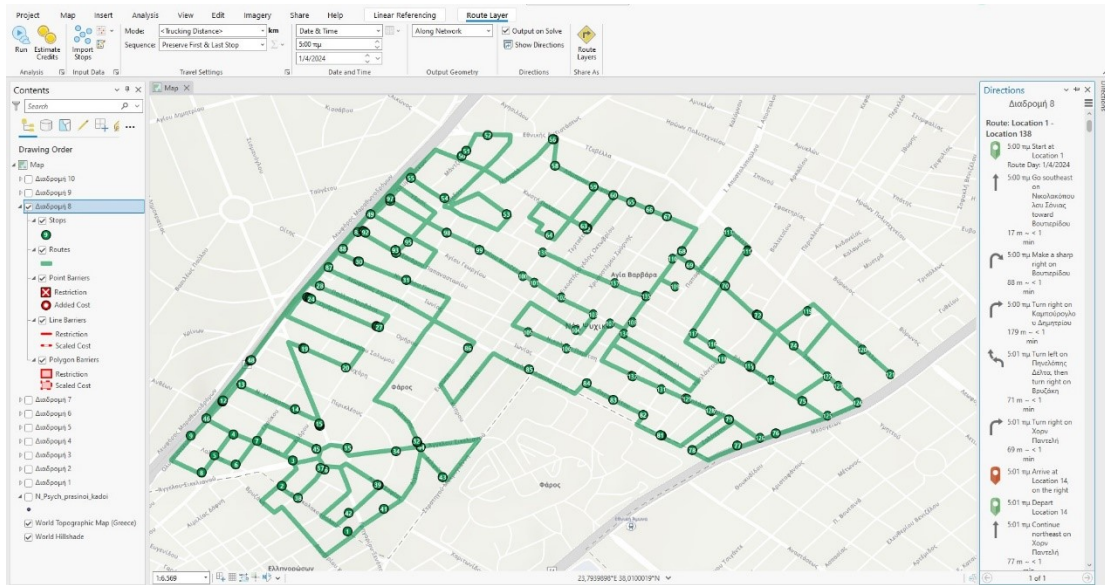
Εικόνα 31: Σενάριο 7

Total Time: 57 min

Total Distance: 22 km

Σενάριο 8 – ArcGIS pro

Για το σενάριο 8, έγινε επιλογή της παραμέτρου του κόστους **μέγιστης ταχύτητας** στα 30χλμ/ω, επιτρέποντας τις **αναστροφές** σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις.

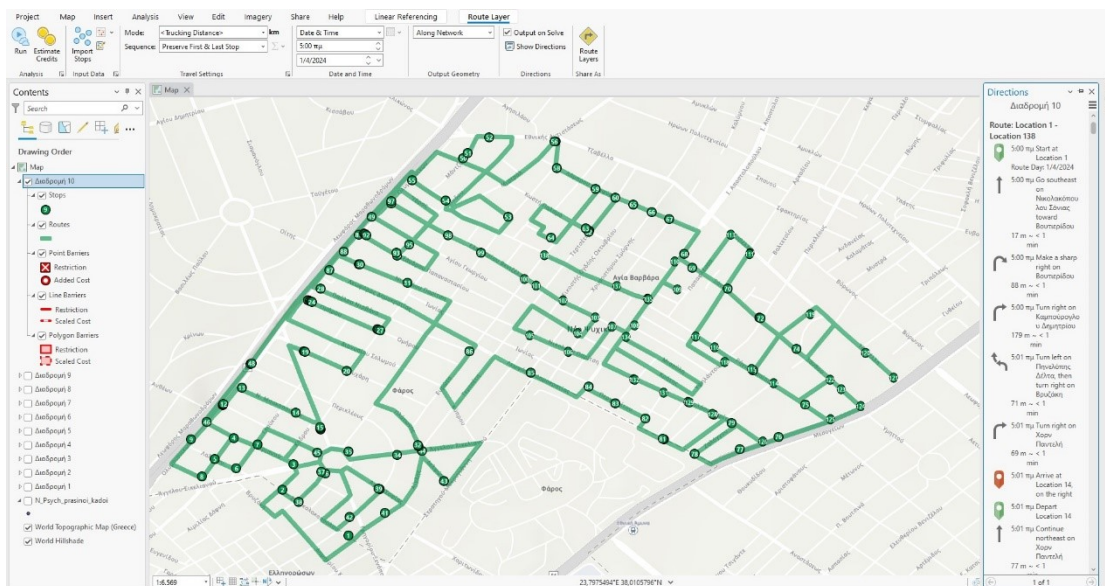


Εικόνα 32: Σενάριο 8

Total Time: 59 min
Total Distance: 22 km

Σενάριο 10 – ArcGIS pro

Για το σενάριο 10 έγινε επιλογή της μέγιστης ταχύτητας οχήματος τα 50χλμ/ω επιτρέποντας τις αναστροφές σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις.



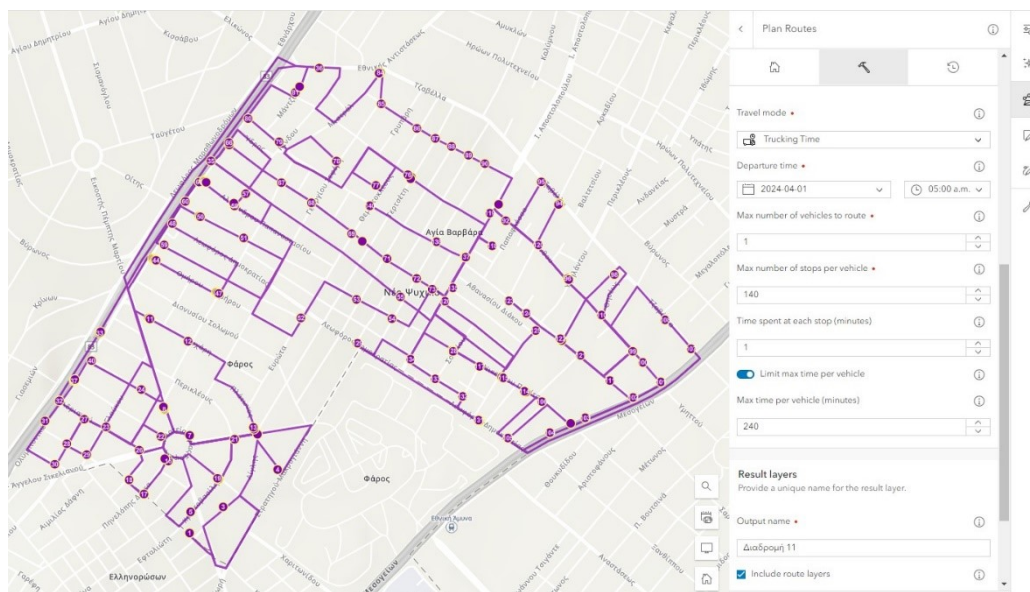
Εικόνα 33: Σενάριο 10

Total Time: 57 min
Total Distance: 22 km

5.2.2 Σενάρια ArcGIS online

Σενάριο 11

Για το σενάριο 11, έγινε επιλογή του μέγιστου αριθμού οχημάτων ίσο με 1 απορριμματοφόρο, μέγιστο αριθμό στάσεων όσες και οι στάσεις της περιοχής μελέης (138+2 για την αφετηρία και τον τερματισμό του σεναρίου), χρόνο σε κάθε στάση ίσο με 1 λεπτό καθώς και μέγιστη ώρα λειτουργίας των οχημάτων στα 240 λεπτά.



Εικόνα 34: Σενάριο 11

Total time: 213,78 min ~ 3 ώρες και 33 λεπτά

Total travel time: 75,78 min

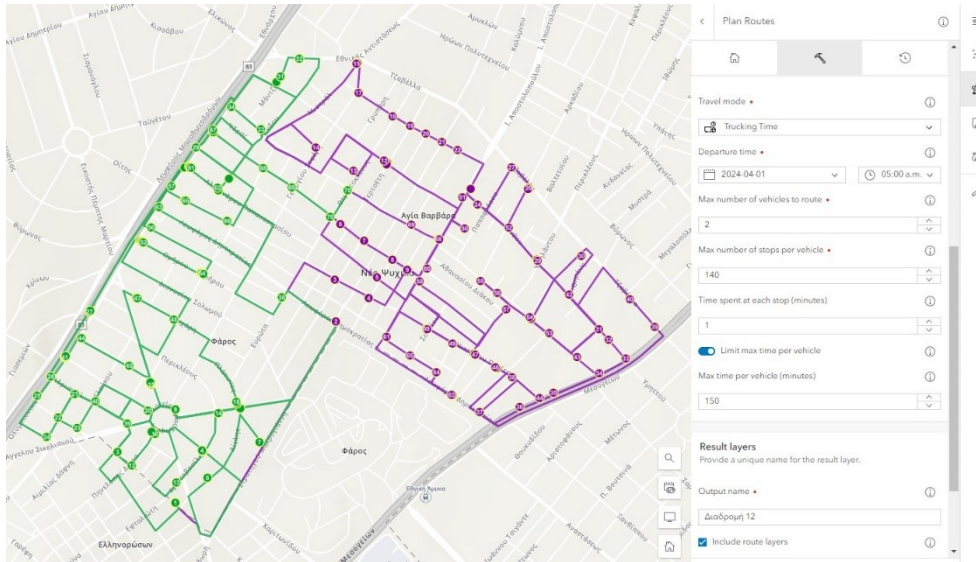
Start time: 2024-04-01 05:00 a.m.

End time 2024-04-01 08:33a.m.

Total distance: 25,34 Km

Σενάριο 12

Για το σενάριο 12, έγινε επιλογή του μέγιστου αριθμού των οχημάτων ίσο με 2 απορριμματοφόρα, μέγιστο αριθμό στάσεων 140, χρόνο σε κάθε στάση ίσο με 1 λεπτό και μέγιστη διάρκεια λειτουργίας των οχημάτων τα 150 λεπτά.

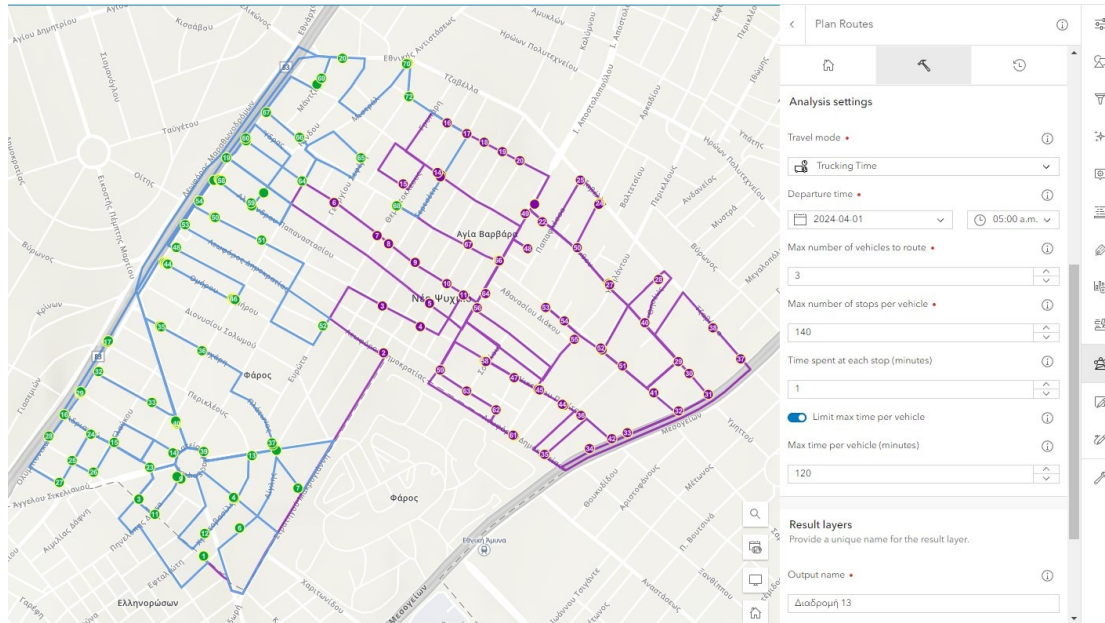


Εικόνα 35: Σενάριο 12

Total time: Απορριμματοφόρο 1 (μωβ) – 106,2 min ~ 1 ώρα και 46 λεπτά
Απορριμματοφόρο 2 (πράσινο) – 110,4 min ~ 1 ώρα και 50 λεπτά
Total travel time: Απορριμματοφόρο 1 – 37 λεπτά
Απορριμματοφόρο 2 – 41 λεπτά
Start time: 2024-04-01 05:00 a.m.
End time: Απορριμματοφόρο 1 – 2024-04-01, 06:46 a.m.
Απορριμματοφόρο 2 – 2024-04-01. 06:50 a.m.
Total distance: Απορριμματοφόρο 1 – 12,6 m
Απορριμματοφόρο 2 – 13,27m.

Σενάριο 13

Για το σενάριο 13, έγινε επιλογή του μέγιστου αριθμού οχημάτων ίσο με 3 απορριμματοφόρα, μέγιστο αριθμό στάσεων 140, χρόνο σε κάθε στάση ίσο με 1 λεπτό και μέγιστη διάρκεια λειτουργίας των οχημάτων τα 120 λεπτά.

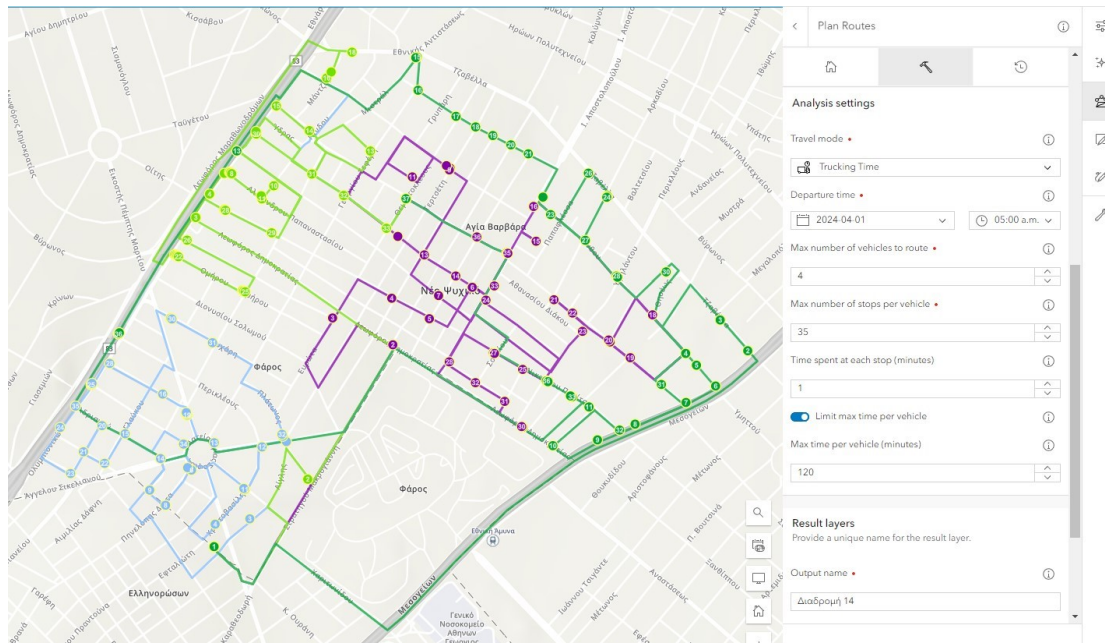


Εικόνα 36: Σενάριο 13

Total time: Απορριμματοφόρο 1 (μωβ) – 102 min ~ 1 ώρα και 42 λεπτά
Απορριμματοφόρο 2 (γαλάζιο) – 114 min ~ 1 ώρα και 54 λεπτά
Total stops: Απορριμματοφόρο 1 – 67 στάσεις
Απορριμματοφόρο 2 – 71 στάσεις
Απορριμματοφόρο 3 – 0 στάσεις
Total travel time: Απορριμματοφόρο 1 – 35 λεπτά
Απορριμματοφόρο 2 – 43 λεπτά
Start time: 2024-04-01 05:00 a.m.
End time: Απορριμματοφόρο 1 – 2024-04-01, 06:41 a.m.
Απορριμματοφόρο 2 – 2024-04-01, 06:53 a.m.
Total distance: Απορριμματοφόρο 1 – 12,6 m
Απορριμματοφόρο 2 – 13,27m.

Σενάριο 14

Για το σενάριο 14, έγινε επιλογή του μέγιστου αριθμού οχημάτων ίσο με 4 απορριμματοφόρα, μέγιστο αριθμό στάσεων οχήματος 35, χρόνο σε κάθε στάση ίσο με 1 λεπτό και μέγιστη διάρκεια λειτουργίας του οχήματος τα 120 λεπτά.



Εικόνα 37: Σενάριο 14

Total time: Απορριματοφόρο 1 (μωβ) – 58,14 min
 Απορριματοφόρο 2 (γαλάζιο) – 58,76 min
 Απορριματοφόρο 3 (ανοιχτό πράσινο λεμονί) – 51,50 min
 Απορριματοφόρο 4 (σκούρο πράσινο) – 57,57 min

Total stops: Απορριματοφόρο 1 – 35 στάσεις
 Απορριματοφόρο 2 – 35 στάσεις
 Απορριματοφόρο 3 – 33 στάσεις
 Απορριματοφόρο 4 – 35 στάσεις

Total travel time: Απορριματοφόρο 1 – 23,14 min
 Απορριματοφόρο 2 – 23,76 min
 Απορριματοφόρο 3 – 18,2 min
 Απορριματοφόρο 4 – 22,57 min

Start time: 2024-04-01 05:00 a.m.

End time: Απορριματοφόρο 1 – 2024-04-01, 05:58 a.m.
 Απορριματοφόρο 2 – 2024-04-01, 05:58 a.m.
 Απορριματοφόρο 3 – 2024-04-01, 05:51 a.m.
 Απορριματοφόρο 4 – 2024-04-01, 05:57 a.m.

Total distance: Απορριματοφόρο 1 – 7.51 km.
 Απορριματοφόρο 2 – 7.64 km.
 Απορριματοφόρο 3 – 6.08 km.
 Απορριματοφόρο 4 – 8.79 km.

5.3 Συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων

5.3.1 Αξιολόγηση σεναρίων ArcGIS pro

Για να αναλυθούν τα παραπάνω σενάρια από το ArcGIS pro, μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες. Η πρώτη είναι η κατηγορία βελτιστοποίησης ως προς τον **χρόνο** ενώ η δεύτερη είναι η κατηγορία βελτιστοποίησης ως προς την **απόσταση**. Συνοπτικά δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας για κάθε κατηγορία.

Πίνακας 2: Κατηγορία βελτιστοποίησης χρόνου

	Μεταβλητές	Distance (Km)	Time (minutes)
Σενάριο 1	Default, no U-Turn	23	55
Σενάριο 2	max Vehicle speed 30km/h , no U-Turn	23	59
Σενάριο 3	Default, U-Turn σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις	22	55
Σενάριο 4	max Vehicle speed 30km/h , U-Turn σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις	22	59
Σενάριο 9	max Vehicle speed 50km/h , U-Turn σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις	22	56

Πίνακας 3: Κατηγορία βελτιστοποίησης απόστασης

	Μεταβλητές	Distance (meters)	Time (minutes)
Σενάριο 5	Default, no U-Turn	22	57
Σενάριο 6	max Vehicle speed 30km/h , no U-Turn	22	59
Σενάριο 7	default, U-Turn σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις	22	57
Σενάριο 8	max Vehicle speed 30km/h , U-Turn σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις	22	59
Σενάριο 10	max Vehicle speed 50km/h , U-Turn σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις	22	57

Ξεκινώντας με την κατηγορία βελτιστοποίησης του χρόνου και χρησιμοποιώντας την **μέθοδο του αποκλεισμού** έγινε σύγκριση του σεναρίου 1 και 3. Παρατηρείται πως το βέλτιστο σενάριο που προκύπτει είναι το σενάριο 3, το οποίο είχε default παραμέτρους και επέτρεπε τις αναστροφές. Το σενάριο 1 το οποίο δεν επέτρεπε τις αναστροφές παρουσιάζει μια αύξηση ενός χιλιομέτρου στην απόσταση του. Και στα δύο σενάρια ο συνολικός χρόνος είναι τα 55 λεπτά.

Συγκρίνοντας τα σενάρια 2 και 4 ενώ παρουσιάζουν ίδια τιμή χρόνου στα 59 λεπτά, παρατηρείται μια αύξηση στην τιμή της απόστασης του σεναρίου 2 της τάξης του ενός

χιλιόμετρο. Το σενάριο 2 δεν επέτρεπε τις αναστροφές, κάνοντας έτσι το σενάριο 4 το βέλτιστο του ζεύγους αυτού.

Από την σύγκριση των δύο αυτών ζευγών προκύπτει πως η χρήση αναστροφών U-Turn (σε αδιέξοδα και διασταυρώσεις) **μειώνει** την απόσταση διαδρομής. Επίσης από την σύγκριση των σεναρίων 3 και 4 παρατηρούμε πως το σενάριο 3 εξοικονομεί 4 λεπτά στον χρόνο. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός πως ως default τιμή της μέγιστης ταχύτητας οχήματος, το ArcGIS συμπληρώνει Value = 0, κάτι που θα μπορούσε να μεταφραστεί ως το ανώτατο όριο που επιτρέπει ο Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ) το οποίο είναι 50χλμ/ω εντός πόλης για την Ελλάδα.

Πραγματοποιήθηκε ένα ακόμη σενάριο, το σενάριο 9, θέλοντας να ελεγχθεί η ορθότητα της παραπάνω σκέψης. Από τον πίνακα 1, το σενάριο 9 είναι 56 λεπτά, μόλις 1 λεπτό μεγαλύτερο χρονικά από το σενάριο 3. Η διαφορά των default value = 0 με value = 50 στην μέγιστη ταχύτητα οχήματος μας δίνει διαφορά ενός λεπτού στα σενάρια μας. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας θεωρείται πως ισχύει αυτή η σκέψη, ωστόσο θα δίνεται και το αντίστοιχο σενάριο με value = 50 για την σύγκριση.

Στην κατηγορία βελτιστοποίησης της απόστασης είναι προφανές πως έχει **επιτευχθεί** το επιθυμητό αποτέλεσμα το οποίο είναι η ελαχιστοποίηση της απόστασης. Παρατηρείται πως και στα 5 σενάρια που πραγματοποιήθηκαν από το μοντέλο του ArcGIS pro, η απόσταση είναι 22χλμ.. Στα σενάρια 6 και 8 τα οποία έχουν ως μέγιστη ταχύτητα τα 30χλμ/ω παρατηρείται ίδια διάρκεια διαδρομής. Ωστόσο το σενάριο 6 σε αντίθεση με το σενάριο 8 δεν επιτρέπει αναστροφές. Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και στα σενάρια 5, 7 και 10. Το σενάριο 5 σε σχέση με το 7 και 10, δεν επιτρέπει τις αναστροφές, παρόλα αυτά χαρακτηρίζονται από ίδια χρονική διάρκεια. Επίσης τα σενάρια 5 και 7, έχοντας default values = 0 για την μέγιστη ταχύτητα οχήματος, παρουσιάζουν ίδια τιμή στην διάρκεια διαδρομής με το σενάριο 10, που έχει value = 50.

Επομένως μπορεί να γίνει η υπόθεση πως έχοντας πετύχει την βέλτιστη απόσταση του σεναρίου, μόνο η ταχύτητα των οχημάτων επηρεάζει τον χρόνο διαδρομής.

5.3.2 Αξιολόγηση σεναρίων ArcGIS online

Όσο αναφορά τα σενάρια του ArcGIS online ακολουθήθηκε **διαφορετική προσέγγιση**. Έχοντας την δυνατότητα επιλογής του αριθμού των απορριμματοφόρων καθώς και τον αριθμό των στάσεων που μπορούν να πραγματοποιήσουν, μπορεί σε λογικά πλαίσια, να δημιουργηθεί σεντ διαδρομών ανάλογα με την διαθεσιμότητα των οχημάτων του εκάστοτε δήμου ή φορέα. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μέγιστη χρήση 4 απορριμματοφόρων καθώς σε αυτό τον αριθμό απορριμματοφόρων παρατηρήθηκε ταύτιση των τιμών μεταξύ των ArcGIS online και ArcGIS pro.

Πίνακας 4: Σενάρια ArcGIS online

	Μεταβλητές	Distance (meters)	Time (minutes)	Stops
Σενάριο 11	1 vehicle, 140 stops, 1min/stop, max time per vehicle 240 min	25,3	214	138
Σενάριο 12	2 vehicle, 140 stops, 1min/stop, max time per vehicle 150 min	25,8	217	69+69
Σενάριο 13	3 vehicle, 140 stops, 1min/stop, max time per vehicle 120 min	26	215	67+71
Σενάριο 14	4 vehicle, 35 stops, 1min/stop, max time per vehicle 120 min	30	225,5	35+35+33+35

Πίνακας 5: Σενάριο 12

Σενάριο 12	Όχημα 1	Όχημα 2
Travel time (min)	106	110
Stops	69	69
Travel distance (Km)	12,6	13,27

Πίνακας 6: Σενάριο 13

Σενάριο 13	Όχημα 1	Όχημα 2	Όχημα 3
Travel time (min)	102	114	0
Stops	67	71	0
Travel distance (Km)	12,6	13,27	0

Πίνακας 7: Σενάριο 14

Σενάριο 14	Όχημα 1	Όχημα 2	Όχημα 3	Όχημα 4
Travel time (min)	58	59	52	58
Stops	35	35	33	35
Travel distance (Km)	7,51	7,64	6,08	8,79

Στα παραπάνω σενάρια στόχος είναι η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού αριθμού απορριματοφόρων και χρόνου λειτουργίας τους. Ακούγεται λογικό πως όσα περισσότερα απορριματοφόρα λειτουργούν σε μια περιοχή, τόσο πιο γρήγορα γίνεται η συλλογή των απορριμμάτων από τους κάδους. Ωστόσο, δεν διαθέτουν όλοι οι δήμοι την ίδια δυνατότητα για την προμήθεια οχημάτων, καθώς υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην έκταση και στον προϋπολογισμό τους.

Διατηρώντας τον χρόνο στάσης των απορριμματοφόρων (στάση και συλλογή κάδων) στο ένα λεπτό για όλες τις διαδρομές, το σενάριο 11 με ένα απορριμματοφόρο χρειάζεται 138 λεπτά για την συλλογή όλων των κάδων της περιοχής, και άλλα 76 λεπτά διαδρομής από την αφετηρία προς κάθε στάση μέχρι τον τερματισμό του, σύνολο 214 λεπτά. Με την προσθήκη ενός ακόμη απορριμματοφόρου στο μοντέλο του ArcGIS online, το σενάριο 12 με 2 πλέον απορριμματοφόρα, μειώνει τον χρόνο λειτουργίας των οχημάτων μοιράζοντας τις στάσεις ισάριθμα. Με αυτόν τον τρόπο τα δύο οχήματα πραγματοποιούν 69 στάσεις το καθένα, μειώνοντας τον χρόνο στα 106 και 110 λεπτά αντίστοιχα και την απόσταση στα 12,6 και 13,27 χλμ.

Συγκρίνοντας τα σενάρια 12 και 13, που μόνη τους διαφορά είναι ο αριθμός των απορριμματοφόρων κατά 1 μεγαλύτερο για το σενάριο 13, τα αποτελέσματα που λήφθηκαν ήταν σχεδόν παρόμοια. Παρατηρείται πως στο 3^ο απορριμματοφόρο του σεναρίου 13, δεν ανατέθηκαν στάσεις/κάδοι. Αυτό σημαίνει πως τα 2 απορριμματοφόρα μπορούν να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες του συγκεκριμένου δήμου μοιράζοντας ισάριθμα τον αριθμό των κάδων και το χρόνο λειτουργίας του κάθε απορριμματοφόρου.

Για το σενάριο 14, αυξήθηκε ο αριθμός των απορριμματοφόρων φτάνοντας τα 4 στον αριθμό, και μειώθηκε ο μέγιστος αριθμός επιτρεπόμενων στάσεων του κάθε οχήματος στις 35 στάσεις. Με αυτόν τον τρόπο μοιράστηκαν οι στάσεις στα 4 απορριμματοφόρα μειώνοντας την απόσταση που χρειάζεται να διανύσουν και τον χρόνο λειτουργίας τους. Παρατηρείται από τον πίνακα 3.4 πως τα 3 από τα 4 οχήματα έχουν παρόμοιο χρόνο λειτουργίας και απόσταση διαδρομής, ενώ για το 3^ο όχημα παρατηρούμε 2 στάσεις λιγότερες και αντίστοιχα μείωση στον χρόνο και την απόσταση. Τέλος το 4^ο όχημα διατηρώντας παρόμοιο χρόνο διαδρομής με τα οχήματα 1 και 2, έχει αυξημένη απόσταση κατά ένα χιλιόμετρο κάτι που μπορεί να οφείλεται στην απόσταση αφετηρίας και τερματισμού ή στην ακολουθία των στάσεων που ακολουθεί.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην **ανάπτυξη** μιας **μεθοδολογίας βελτιστοποίησης** των διαδρομών απορριμματοφόρων, αξιοποιώντας τις δυνατότητες του ArcGIS Pro και του ArcGIS Online. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε ανέδειξε τη σημασία της χρήσης γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των υπηρεσιών καθαριότητας.

Η χρήση των συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), έχει αναδειχθεί ως ένα **πολύτιμο εργαλείο** στην καθημερινή μας ζωή, προσφέροντας λύσεις και βελτιστοποιώντας ποικίλα καθημερινά προβλήματα. Από τη διαχείριση των αστικών υποδομών μέχρι τον προγραμματισμό των διαδρομών για την αποκομιδή απορριμμάτων, το ArcGIS μπορεί να **αναλύσει** σύνθετα γεωχωρικά δεδομένα και να **παρέχει** βέλτιστες λύσεις που συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στην εξοικονόμηση πόρων.

Συγκεκριμένα, η έρευνα ανέδειξε ότι η δυνατότητα πραγματοποίησης αναστροφών και η ρύθμιση της μέγιστης ταχύτητας των οχημάτων **επηρεάζουν σημαντικά** την απόσταση και τον χρόνο των διαδρομών. Παράλληλα, η χρήση πολλαπλών απορριμματοφόρων συμβάλλει στη μείωση του συνολικού χρόνου λειτουργίας, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση των απορριμμάτων και να εξοικονομήσει πόρους.

Τα βασικά συμπεράσματα των σεναρίων που πραγματοποιήθηκαν είναι:

1. Επίδραση των Αναστροφών στη Βελτιστοποίηση Διαδρομών

Οι διαδρομές που επέτρεπαν τις αναστροφές παρουσίασαν σημαντική **μείωση** στην απόσταση, χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά ο συνολικός χρόνος. Αντίθετα, στις ήδη βελτιστοποιημένες διαδρομές ως προς την απόσταση, οι αναστροφές δεν είχαν επίδραση στον συνολικό χρόνο.

2. Διαχείριση Απορριμματοφόρων

Η αύξηση του αριθμού των απορριμματοφόρων και η μείωση των στάσεων ανά όχημα οδήγησε σε **εξισορρόπηση** του χρόνου και της απόστασης μεταξύ των οχημάτων, επιβεβαιώνοντας την αποδοτικότητα της αύξησης του αριθμού των απορριμματοφόρων σε συνάρτηση με τις ανάγκες της περιοχής.

3. Επίδραση της Μέγιστης Ταχύτητας των Οχημάτων στον Χρόνο Διαδρομής:

Η μέγιστη ταχύτητα των οχημάτων είναι **καθοριστική** για τον χρόνο ολοκλήρωσης των διαδρομών. Η σύγκριση των διαδρομών 3 και 9, όπου η default τιμή της ταχύτητας (0, θεωρούμενη ως 50 χλμ/ω) συγκρίθηκε με τη ρητά καθορισμένη τιμή των 50 χλμ/ω, έδειξε ότι η διαφορά στον χρόνο ήταν μόλις ένα λεπτό. Αυτό δείχνει ότι η μέγιστη ταχύτητα, όταν ορίζεται κατάλληλα, μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των διαδρομών και τον χρόνο αυτών.

6.1 Περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει σημαντικά αποτελέσματα στη βελτιστοποίηση των διαδρομών απορριμματοφόρων, ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι **περιορισμοί** που πρέπει να αναφερθούν για να παρέχεται μια πλήρης εικόνα της μεθοδολογίας και των ευρημάτων.

- **Χωρητικότητα των Απορριμματοφόρων:**

Ένας από τους κύριους περιορισμούς της έρευνας είναι ότι δεν λήφθηκε υπόψη η χωρητικότητα των απορριμματοφόρων. Η **χωρητικότητα** παίζει σημαντικό ρόλο στον προγραμματισμό των διαδρομών, καθώς ένα όχημα μπορεί να χρειαστεί να επιστρέψει στη βάση για να αδειάσει πριν συνεχίσει τη Σενάριο του. Η ενσωμάτωση αυτού του παράγοντα θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ρεαλιστικά και πρακτικά αποτελέσματα.

- **Αφειρηρία και Τερματισμός Διαδρομών**

Στην παρούσα μελέτη, οι διαδρομές σχεδιάστηκαν χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο χώρος αποθήκευσης των απορριμματοφόρων ως αφειρηρία και ο χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ως τερματισμός. Η ενσωμάτωση αυτών των κρίσιμων σημείων θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά τις διαδρομές, καθιστώντας τις πιο **αντιπροσωπευτικές** των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας.

Αυτοί οι περιορισμοί δείχνουν ότι υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω **βελτίωση** και **επέκταση** της έρευνας. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να ενσωματώσουν αυτούς τους παράγοντες για να παράγουν πιο ολοκληρωμένες και ακριβείς λύσεις στη βελτιστοποίηση των διαδρομών απορριμματοφόρων, συμβάλλοντας ακόμα περισσότερο στην αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των υπηρεσιών καθαριότητας αλλά και μεταφοράς.

6.2 Επόμενα βήματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρέχει μια στέρεη μεθοδολογία για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών απορριμματοφόρων μέσω της χρήσης του ArcGIS. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές κατευθύνσεις που μπορούν να ακολουθηθούν για να επεκταθούν και να βελτιωθούν τα ευρήματα της έρευνας. **Τα επόμενα βήματα** για τη βελτίωση της μεθοδολογίας περιλαμβάνουν:

1. **Ενσωμάτωση Χωρητικότητας Απορριμματοφόρων**

Η ενσωμάτωση της χωρητικότητας των απορριμματοφόρων στο μοντέλο βελτιστοποίησης αποτελεί ένα κρίσιμο επόμενο βήμα. Αυτό θα περιλαμβάνει τη διαχείριση της επιστροφής των απορριμματοφόρων στη βάση για άδειασμα και την επανεκκίνηση της διαδρομής τους, διασφαλίζοντας ότι τα σενάρια θα είναι πιο **ρεαλιστικά** και **εφαρμόσιμα** στην πράξη.

2. **Αφειρηρία και Τερματισμός στις Διαδρομές**

Η προσθήκη του χώρου αποθήκευσης των απορριμματοφόρων ως αφειρηρία και του χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ως τερματισμός των διαδρομών. Αυτή η προσαρμογή θα εξασφαλίσει ότι οι διαδρομές θα αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις **πραγματικές συνθήκες λειτουργίας** και θα βελτιώσει την **αποδοτικότητα** των διαδρομών.

3. Δοκιμές σε Πραγματικές Συνθήκες

Η εφαρμογή και δοκιμή των βελτιστοποιημένων διαδρομών σε πραγματικές συνθήκες. Αυτό θα επιτρέψει την **αξιολόγηση** των αποτελεσμάτων της έρευνας στην πράξη και θα παρέχει πολύτιμα δεδομένα για τη βελτίωση του μοντέλου.

4. Διαχείριση Δυναμικών Παραγόντων

Η ενσωμάτωση δυναμικών παραγόντων όπως η κίνηση στους δρόμους, οι καιρικές συνθήκες και οι διακυμάνσεις στον όγκο των απορριμμάτων. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις διαδρομές και η ενσωμάτωσή τους θα οδηγήσει σε πιο **ακριβή** και **ευέλικτα μοντέλα**.

5. Χρήση Προηγμένων Αλγορίθμων Βελτιστοποίησης

Η εξερεύνηση και χρήση **προηγμένων αλγορίθμων βελτιστοποίησης**, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι και οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης, για την περαιτέρω βελτίωση των διαδρομών και τη μείωση του χρόνου και της απόστασης.

6. Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Η αξιολόγηση των **περιβαλλοντικών επιπτώσεων** των βελτιστοποιημένων διαδρομών, όπως η μείωση των εκπομπών CO₂ και η εξοικονόμηση καυσίμων. Αυτή η ανάλυση θα μπορούσε να συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

7. Συνεργασία με Δήμους και Φορείς

Η **συνεργασία** με δήμους και άλλους φορείς για την εφαρμογή των ευρημάτων της έρευνας στις πραγματικές τους ανάγκες και για την προσαρμογή των μοντέλων στις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε περιοχής.

Με την υλοποίηση αυτών των βημάτων, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε μπορεί να επεκταθεί και να βελτιωθεί περαιτέρω, προσφέροντας **ολοκληρωμένες και αποτελεσματικές λύσεις** για τη διαχείριση των απορριμμάτων. Αυτό θα συμβάλει όχι μόνο στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών καθαριότητας, αλλά και στην ενίσχυση της ποιότητας ζωής στις πόλεις, υποστηρίζοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Αναφορές

- Apaydin, O. & Gonullu, M. T., 2006. *Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study*
- Awuah, E. B., Rockson, M. & Andam-Akorful, S. A., 2021. *Rational Approach To Optimization Of Solid Waste Collection Routing Using GIS: A Case Study Of Adentan West Residential Area Of Accra*
- Bueno-Delgado, M.-V., Romero-Gázquez, J.-L., Jiménez, P. & Pavón-Mariño, P., 2019. *Optimal Path Planning for SelectiveWaste*
- Caputo, A. & Pelagagge, P., 2000. *Integrated geographical information system (GIS) for urban solid waste management*
- Chalkias, C. & Lasaridi, K., 2011. *Benefits from GIS Based Modelling for Municipal Solid Waste Management*
- Gazder, U., Omar, A., Aljuboori, K. & Ratrout, N., 2021. *Universal Decision Support System for Selection of MSW Route Optimization Method*
- Geçer, S., Shumye, A. M. & Seçkiner, S. U., 2021. *Minimizing Solid Waste Collection Routes Using Ant Colony Algorithm: A Case Study in Gaziantep District*
- Jovicic, N. M. και συν., 2011. *Route Optimization to Increase Energy Efficiency and Reduce Fuel Consumption of Communal Vehicles*
- Karadimas, N. V., Papatzelou, K. & Loumos, V. G., 2007. *Genetic Algorithms for Municipal Solid Waste Collection and Routing Optimization*
- Kinobe, J. και συν., 2015. *Optimization of waste collection and disposal in Kampala city*
- Nagarajappa, D., Manjunath, N. & Hareesh, K., 2015. *Route Optimization of Municipal Solid Waste for Davangere City Using GIS*
- Ogwueleka, T., 2009. *Route optimization for solid waste collection: Onitsha (Nigeria) case study*
- Qiao, Q. και συν., 2020. *Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem for Sustainable Municipal Solid Waste Collection Management Using the PSO-TS Algorithm*
- Sahib, F. S. & Hadi, N. S., 2021. *Truck route optimization in Karbala city for solid waste collection*
- Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K. & Oduro-Kwarteng, S., 2018. *Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods*
- Sulemana, A., Donkor, E. A., Kwabena Forkuo, E. & Oduro-Kwarteng, S., 2018. *Effect of optimal routing on travel distance, travel time and fuel consumption of waste collection trucks*

Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V. & Carvalho, M. d. G., 2008. *A case study of fuel savings through optimisation of MSW transportation routes*

Wu, H., Tao, F. & Yang, B., 2020. *Optimization of Vehicle Routing for Waste Collection and Transportation*

Zsigraiova, Z., Semiao, V. & Beijoco, F., 2012. *Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal*

Αλεξουδάκη, Ε., 2017. *Χρήση Μεθόδων Γεωπληροφορικής για τη Βελτιστοποίηση Διαδρομών Συλλογής Απορριμμάτων: Η περίπτωση της Μύρινας Αήμνου, Μυτιλήνη*

Γρηγοριάδης, Ν. & Δαγδιλέλης, Ε., 2013. *Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Βελτιστοποίησης της Αποκομιδής Απορριμμάτων στο Δήμο Νεάπολης - Συκεών*

Ταλιούρα, Λ. Α., 2021. *Σχεδιάζοντας το βέλτιστο: Η έννοια της Βελτιστοποίησης στον Αρχιτεκτονικό Σχεδιασμό*