



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY of the PELOPONNESE

Σχολή Οικονομίας και Τεχνολογίας
Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας

«Η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για τη βελτίωση της
διαχείρισης κυκλοφορίας στις πόλεις»

Διπλωματική Εργασία που υποβάλλεται για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων
για το Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης

Δημόσια Διοίκηση και Ψηφιακός Μετασχηματισμός

Μαρία Νικ. Μακρυκώστα

2026

Όνοματεπώνυμο Φοιτήτριας : Μαρία Νικ. Μακρυκώστα

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας: «Η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για τη βελτίωση της διαχείρισης κυκλοφορίας στις πόλεις»

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου και εγκρίθηκε στις από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- Αναπλ. Καθηγητής Σπηλιωτόπουλος Δημήτριος
- Επίκουρος Καθηγητής Δερμάτης Ζαχαρίας
- Καθηγητής Κριεμάδης Αθανάσιος

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, 2026

Η Διπλωματική Εργασία της Μαρίας Μακρυκώστα εγκρίνεται και είναι
αποδεκτή ως προς την ποιότητα και τη μορφή της για δημοσίευση

**Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου,
2026**

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Η φοιτήτρια Μαρία Μακρυκώστα, γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα τα παρακάτω:

1. Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας,
2. Όλες οι πηγές που έχω χρησιμοποιήσει, έχουν δηλωθεί κατάλληλα στις βιβλιογραφικές παραπομπές και αναφορές,
3. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή,
4. Για όποιο πνευματικά κατοχυρωμένο υλικό έχει συμπεριληφθεί αυτούσιο (όπως εικόνες, σχήματα, κ.α.) έχω λάβει τη σχετική άδεια αναπαραγωγής,
5. Δηλώνω ότι το κείμενο δεν έχει υποβοηθηθεί από εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης.

Η Δηλούσα

Μαρία Νικ. Μακρυκώστα

ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένειά μου, η οποία υπήρξε διαχρονικά πηγή έμπνευσης, στήριξης και ενθάρρυνσης σε κάθε μου προσπάθεια.

Τους ευχαριστώ θερμά για την αγάπη, την υπομονή και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η αδιάκοπη παρουσία και η πίστη τους στις δυνατότητές μου αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον σύζυγό μου, για την αμέριστη συμπαράσταση, την κατανόηση και τη δύναμη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της πορείας.

Η υποστήριξή του, τόσο σε πρακτικό όσο και σε συναισθηματικό επίπεδο, συνέβαλε ουσιαστικά στην επιτυχή ολοκλήρωση της προσπάθειάς αυτής.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται, με βαθιά εκτίμηση και ευγνωμοσύνη, σε όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου με αγάπη και πίστη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Το ζήτημα της διαχείρισης της κυκλοφορίας	1
1.2 Σκοπός – Ερευνητικά Ερωτήματα-Εννοιολογικό Πλαίσιο	2
1.3 Σημασία – Αναγκαιότητα -Διάρθρωση της Έρευνας	3
Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία.....	6
2.1 Εισαγωγή - Σκοπός	6
2.2 Πηγές Δεδομένων – Κριτήρια Αναζήτησης και Ένταξης.....	7
2.3 Διαδικασία Επιλογής Άρθρων	7
2.4 Χρονολογική Εξέλιξη των Δημοσιεύσεων – Μέθοδοι Ανάλυσης	10
2.5 Περιορισμοί - Συμπεράσματα της Μεθοδολογίας.....	10
Κεφάλαιο 3: Κυκλοφοριακή Διαχείριση	12
3.1 Έννοια της Κυκλοφοριακής Διαχείρισης – Ιστορικό και παρούσα Κατάσταση.....	12
3.2 Βασικοί Στόχοι της Κυκλοφοριακής Διαχείρισης.....	14
3.3 Τεχνολογίες Κυκλοφοριακής Διαχείρισης	17
3.4 Αισθητήρες και συστήματα.....	21
3.5 Πλατφόρμες Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Traffic Management Platforms) ..	23
3.6 Δίκτυα επικοινωνίας (V2V, V2I).....	24
Κεφάλαιο 4: Intelligent Management Systems (IMS)	29
4.1 Έννοιες-Θεωρητικό Πλαίσιο	29
4.2 Βασικές Τεχνολογίες Υποστήριξης των IMS.....	30
4.3 Κατηγορίες και Εφαρμογές IMS	32
4.4 Αναλυτική Παρουσίαση Δέκα (10) IMS: Χρονολογική Σειρά και Αξιολόγηση 33	
4.5 Σύγκριση και Κριτική Αξιολόγηση των IMS	35
Κεφάλαιο 5: Μελέτη Περίπτωσης-Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας στο Άμστερνταμ	37
5.1 Εισαγωγή – Amsterdam Smart City	37
5.2 Δήμος Άμστερνταμ – Σχεδιασμός και Εφαρμογή Πρακτικών Διαχείρισης Κυκλοφορίας.....	39
5.3 "Talking Traffic" - Συνεργασία Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα	40

5.4	"Amsterdam Smart City" - Πρωτοβουλία για Έξυπνες Μεταφορές	43
Κεφάλαιο 6: Προκλήσεις και περιορισμοί.....		46
6.1	Ζητήματα Προστασίας Δεδομένων και Ασφάλειας.....	46
6.2	Οικονομικό Κόστος και Υποδομές.....	47
6.3	Τεχνολογικές Προκλήσεις και Διαλειτουργικότητα	48
6.4	Κοινωνική Αποδοχή και Εφαρμογή Πολιτικών.....	49
6.5	Περιβαλλοντικές και Προκλήσεις Βιωσιμότητας	50
7.	Συμπεράσματα	52
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		55

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1:	μεθοδολογία PRISMA.....	8
Εικόνα 2:	Ανάλυση Λέξεων-Κλειδιών.....	9
Εικόνα 3:	Κατηγοριοποίηση Λέξεων-Κλειδιών	9
Εικόνα 4:	Οπτικοποίηση Συχνότητας Λέξεων-Κλειδιών	9
Εικόνα 5:	Αριθμός Εγγεγραμμένων Οχημάτων στην Ελλάδα, περίοδος 2012-2023 (πηγή: CEICDATA, 2024)	14
Εικόνα 6:	Το σύστημα SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique), στην πόλη του Λονδίνου (Πηγή: Brodieetal., 2012)	15
Εικόνα 7:	Διασύνδεση Οχημάτων για Ανταλλαγή Δεδομένων (Πηγή: Chen&Li, 2020)....	19
Εικόνα 8:	Εφαρμογή Διασύνδεσης 5G σε κυκλοφορία Οχημάτων (Πηγή: Smithetal, 2022).	19
Εικόνα 9:	Διασύνδεση UVs & EVs σε συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Πηγή: Gonzalezetal, 2021).....	21
Εικόνα 10:	Ενδεικτική λειτουργία επαγωγικού βρόγχου (Πηγή: Chenetal, 2020).	22
Εικόνα 11:	Radar Κυκλοφορίας (Πηγή: Gonzalezetal., 2019).	22
Εικόνα 12:	Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας με κάμερες υψηλής ανάλυσης (Πηγή: Zhou&Wu, 2022).	23
Εικόνα 13:	Σχηματική απεικόνιση δικτύων V2V και V2X (Πηγή: Zhouetal., 2022).....	25
Εικόνα 14:	Αρχιτεκτονική Διασύνδεσης συστήματος Talking Traffic (Πηγή: Bos, 2024) .	42
Εικόνα 15:	Θεμελιώδης Αρχές Smart City Πηγή: www.amsterdal.nl.....	44
Εικόνα 16:	Moby Park APP Πηγή: www.amsterdal.nl.....	45

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για τη βελτίωση της διαχείρισης της κυκλοφορίας στις πόλεις, με ειδική αναφορά στην περίπτωση του Άμστερνταμ. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η περιβαλλοντική επιβάρυνση και η ασφάλεια είναι από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες πόλεις, τα οποία επιδρούν αρνητικά στην ποιότητα ζωής των πολιτών. Για τον λόγο αυτό τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται στην παρούσα εργασία είναι: EE1: Ποιος είναι ο ρόλος των ψηφιακών τεχνολογιών στη σύγχρονη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας και πώς αυτές έχουν εξελιχθεί διαχρονικά; EE2: Ποιες είναι οι βασικές τεχνολογικές καινοτομίες στα Intelligent Management System (IMS) και πώς αυτά λειτουργούν; Η εργασία αποσκοπεί στην αξιολόγηση του τρόπου που ψηφιακές τεχνολογίες, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), και η Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data), μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα. Αρχικά, η έρευνα προσδιορίζει τη σημασία της κυκλοφοριακής διαχείρισης ως μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης που επιδιώκει την αποτελεσματικότητα, τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια και παρουσιάζονται οι ιστορικές και σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις, Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάλυση των ευφυών συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας (IMS) για να προσφέρουν δυναμική ρύθμιση της κυκλοφορίας.

Η εργασία εξετάζει αναλυτικά το παράδειγμα του Άμστερνταμ, το οποίο θεωρείται κορυφαίο μοντέλο έξυπνης πόλης. Η πόλη έχει αναπτύξει και εφαρμόσει καινοτόμες πρωτοβουλίες όπως το "Talking Traffic" και η πρωτοβουλία Amsterdam Smart City προωθεί τη χρήση βιώσιμων μέσων μεταφοράς και έχει μειώσει σημαντικά την εξάρτηση από ιδιωτικά αυτοκίνητα, ενισχύοντας τη χρήση ποδηλάτων και δημόσιων μεταφορών. Η έρευνα αναδεικνύει και σημαντικές προκλήσεις, όπως την προστασία προσωπικών δεδομένων, τον κίνδυνο κυβερνοεπιθέσεων, και το υψηλό κόστος εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών. Η μελέτη περίπτωσης του Άμστερνταμ παρέχει πολύτιμα συμπεράσματα για την εφαρμογή και διαχείριση των ψηφιακών τεχνολογιών, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για συντονισμένη δράση μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών φορέων και την υιοθέτηση μιας συνολικής στρατηγικής για τη βιώσιμη κινητικότητα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Διαχείριση Κυκλοφορίας, Έξυπνες Πόλεις, Ψηφιακές Τεχνολογίες, Τεχνητή Νοημοσύνη, Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων

ABSTRACT

This paper examines the use of digital technologies to improve traffic management in cities, with special reference to the case of Amsterdam. Traffic congestion, environmental pollution and safety are among the main problems faced by modern cities, which negatively affect the quality of life of citizens. For this reason, the research questions raised in this paper are RQ1: What is the role of digital technologies in modern urban traffic management and how have they evolved over time? RQ2: What are the main technological innovations in Intelligent Management Systems and how do they work? The paper aims to evaluate how digital technologies, such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and Big Data Analysis, can address these problems. Initially, the research identifies the importance of traffic management as an integrated approach that seeks efficiency, sustainability and safety and presents historical and contemporary technological developments. Particular emphasis is placed on the analysis of intelligent traffic management systems (IMS) to offer dynamic traffic regulation.

The paper examines in detail the example of Amsterdam, which is considered a leading smart city model. The city has developed and implemented innovative initiatives such as "Talking Traffic" and the Amsterdam Smart City initiative promotes the use of sustainable means of transport and has significantly reduced dependence on private cars, enhancing the use of bicycles and public transport. The research also highlights important challenges, such as the protection of personal data, the risk of cyberattacks, and the high cost of implementing these technologies. The Amsterdam case study provides valuable conclusions for the implementation and management of digital technologies, highlighting the need for coordinated action between public and private bodies and the adoption of a comprehensive strategy for sustainable mobility.

KEYWORDS: Traffic Management, Smart Cities, Digital Technologies, Artificial Intelligence, Big Data Analysis

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Το ζήτημα της διαχείρισης της κυκλοφορίας

Η αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας στις σύγχρονες πόλεις αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα με πολυδιάστατες επιπτώσεις που αγγίζουν την καθημερινότητα των πολιτών, τη λειτουργία των επιχειρήσεων και τη βιωσιμότητα των αστικών κέντρων. Καθώς η αστικοποίηση γιγαντώνεται, οι σύγχρονες πόλεις αντιμετωπίζουν ολοένα και σοβαρότερα προβλήματα που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, την περιβαλλοντική υποβάθμιση, τα ατυχήματα και το αυξημένο κόστος μετακινήσεων (Litman, 2021). Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί ίσως το πλέον εμφανές και πιεστικό πρόβλημα. Η αύξηση του αριθμού των ιδιωτικών οχημάτων και η ανεπαρκής υποδομή των δημόσιων μεταφορών έχουν οδηγήσει σε διαρκείς και αυξανόμενες καθυστερήσεις στις καθημερινές μετακινήσεις (Bifulco et al., 2019), με επιπτώσεις στην παραγωγικότητα και την ποιότητα ζωής. Αντίστοιχα εντοπίζονται σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες της αστικής κυκλοφορίας. Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, με τις αστικές περιοχές να είναι τα επίκεντρα αυτών των προβλημάτων λόγω της συγκέντρωσης ανθρώπινων δραστηριοτήτων (IEA, 2020). Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, που επιβαρύνει την υγεία των πολιτών, και τη συνεισφορά στην κλιματική αλλαγή, που εντείνει τις φυσικές καταστροφές και δημιουργεί πρόσθετες κοινωνικοοικονομικές πιέσεις.

Η ασφάλεια στους δρόμους είναι επίσης ένα κρίσιμο ζήτημα που σχετίζεται άμεσα με τη διαχείριση κυκλοφορίας. Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2022), τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν μία από τις κύριες αιτίες θανάτου και σοβαρών τραυματισμών παγκοσμίως, ιδιαίτερα σε αστικά περιβάλλοντα όπου η υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας αυξάνει τους κινδύνους ατυχημάτων. Οι υποδομές που δεν είναι σχεδιασμένες για να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τη ροή της κυκλοφορίας, όπως ελλείψεις στη σήμανση ή η απουσία κατάλληλων πεζοδρομίων και ποδηλατοδρόμων, επιτείνουν το πρόβλημα. Το οικονομικό κόστος της μη αποτελεσματικής διαχείρισης κυκλοφορίας είναι επίσης σημαντικό. Η Παγκόσμια Τράπεζα έχει υπογραμμίσει τη σύνδεση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και των συστημάτων μεταφορών, επισημαίνοντας ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ΑΕΠ μέχρι και κατά 2% σε ορισμένες χώρες (Litman, 2021). Αυτό το κόστος επιβαρύνει τόσο τον δημόσιο όσο και τον ιδιωτικό τομέα, με άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στις επενδύσεις, την παραγωγικότητα και την ανταγωνιστικότητα.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, οι πόλεις χρειάζονται μια ολοκληρωμένη και αποτελεσματική προσέγγιση στη διαχείριση της κυκλοφορίας, αξιοποιώντας νέες τεχνολογίες και καινοτόμες πρακτικές. Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, μέσω της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών όπως η IoT και η Big Data, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της αστικής κινητικότητας, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την ενίσχυση της ασφάλειας στους δρόμους (Albino et al., 2015). Συνολικά, η αναγκαιότητα αντιμετώπισης αυτών των προκλήσεων γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική, καθιστώντας τη μελέτη και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογικών λύσεων στη διαχείριση της κυκλοφορίας απαραίτητη προϋπόθεση για τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη των σύγχρονων αστικών κέντρων.

1.2 Σκοπός – Ερευνητικά Ερωτήματα-Εννοιολογικό Πλαίσιο

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αναλυτική διερεύνηση της συμβολής των ψηφιακών τεχνολογιών στη βελτίωση της διαχείρισης της αστικής κυκλοφορίας, εστιάζοντας στις τεχνολογικές καινοτομίες και τις πρακτικές εφαρμογές που μπορούν να βελτιώσουν την κινητικότητα, να μειώσουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση, να προάγουν την ασφάλεια των χρηστών και να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα των αστικών κέντρων. Η εργασία αποσκοπεί στην κατανόηση των μηχανισμών με τους οποίους σύγχρονες τεχνολογίες όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, τα Μεγάλα Δεδομένα και οι έξυπνες εφαρμογές κινητών συσκευών μπορούν να συνεισφέρουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που έχουν καταγραφεί στην αστική κυκλοφορία.

Επιμέρους στόχοι της εργασίας είναι η ανάλυση και κατανόηση των ψηφιακών τεχνολογιών και των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν για τη διαχείριση κυκλοφορίας, η εφαρμογή μελέτης περίπτωσης στο Άμστερνταμ, μια πόλη που θεωρείται πρωτοπόρος στη χρήση έξυπνων λύσεων κυκλοφορίας, ώστε να αξιολογηθούν οι πραγματικές δυνατότητες των τεχνολογικών εφαρμογών. Τέλος απαραίτητη είναι η κριτική διερεύνηση των προκλήσεων και περιορισμών που συνδέονται με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών, όπως ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων, κυβερνοασφάλειας, οικονομικού κόστους και κοινωνικής αποδοχής. Με τον τρόπο αυτό θα η παρούσα εργασία θα συμβάλει στην παροχή συμβουλών για την υλοποίηση αποτελεσματικών λύσεων στη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας, οι οποίες θα μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα αστικά περιβάλλοντα διεθνώς.

Για τον λόγο αυτό τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται στην παρούσα εργασία είναι:

EE1: Ποιος είναι ο ρόλος των ψηφιακών τεχνολογιών στη σύγχρονη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας και πώς αυτές έχουν εξελιχθεί διαχρονικά;

EE2: Ποιες είναι οι βασικές τεχνολογικές καινοτομίες στα Intelligent Management System και πώς αυτά λειτουργούν;

Το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας εργασίας βασίζεται στην έννοια της διαχείρισης κυκλοφορίας ως μια πολυδιάστατη διαδικασία που περιλαμβάνει σχεδιασμό, εφαρμογή και παρακολούθηση τεχνικών και πολιτικών με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ροής κυκλοφορίας, την ασφάλεια των χρηστών και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Bifulco et al., 2019). Η διαχείριση κυκλοφορίας δεν περιορίζεται μόνο στη ρύθμιση της κυκλοφορίας μέσω σημάτων και σηματοδοτών, αλλά περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα πολιτικών και τεχνολογικών εφαρμογών που προάγουν την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια. Η βασική έννοια που παρουσιάζεται είναι οι έξυπνες πόλεις (Smart Cities), οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, την οικονομική ανάπτυξη και τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων (Albino et al., 2015). Οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν τεχνολογίες όπως το IoT, την AI, την ανάλυση μεγάλων δεδομένων και δίκτυα επικοινωνίας οχημάτων (V2V, V2I), ώστε να αναλυθεί εις βάθος και να κατανοηθούν οι πρακτικές τους εφαρμογές.

1.3 Σημασία – Αναγκαιότητα -Διάρθρωση της Έρευνας

Η σημασία και η αναγκαιότητα της παρούσας έρευνας έγκειται στην ανάδειξη της κρίσιμης συμβολής των ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της κυκλοφορίας, ένα πεδίο που αποκτά ολοένα μεγαλύτερη προτεραιότητα στις σύγχρονες πόλεις. Η εντατικοποίηση της αστικοποίησης και η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα απαιτούν καινοτόμες λύσεις που μπορούν να αντιμετωπίσουν τα σύνθετα και πολυδιάστατα προβλήματα της αστικής κινητικότητας (Gössling et al., 2016). Υπό αυτή την οπτική, η διερεύνηση του ρόλου των ψηφιακών τεχνολογιών καθίσταται επιτακτική, καθώς αυτές οι λύσεις προσφέρουν μοναδικές δυνατότητες για αποτελεσματική διαχείριση των πόρων και ενίσχυση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Η μελέτη αυτή φιλοδοξεί να καλύψει κενά στη βιβλιογραφία που σχετίζονται με την ολοκληρωμένη προσέγγιση εφαρμογής και αξιολόγησης των τεχνολογικών καινοτομιών στον τομέα της διαχείρισης κυκλοφορίας. Παρά τη σημαντική βιβλιογραφική κάλυψη επιμέρους τεχνολογικών εφαρμογών, όπως τα έξυπνα συστήματα σηματοδότησης ή οι πλατφόρμες ανάλυσης μεγάλων δεδομένων, η συνολική προσέγγιση των τεχνολογιών αυ-

τών ως ολοκληρωμένων εργαλείων για την επίτευξη βιώσιμης αστικής κινητικότητας παραμένει σχετικά περιορισμένη (Lytras & Visvizi, 2018). Επιπλέον, η αναγκαιότητα της παρούσας έρευνας ενισχύεται από την αυξανόμενη ανάγκη λήψης πολιτικών αποφάσεων που βασίζονται σε τεκμηριωμένα δεδομένα και αναλύσεις. Οι σύγχρονες πόλεις αντιμετωπίζουν πιέσεις να εφαρμόσουν πρακτικές που όχι μόνο διαχειρίζονται την καθημερινή κυκλοφορία, αλλά ενσωματώνουν και προοπτικές βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής προστασίας, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των παγκόσμιων συμφωνιών για την κλιματική αλλαγή (Cohen & Shaheen, 2016).

Η έρευνα αποκτά περαιτέρω πρακτική σημασία μέσω της εφαρμογής μιας αναλυτικής μελέτης περίπτωσης της πόλης του Άμστερνταμ. Το Άμστερνταμ αποτελεί ένα παράδειγμα προς μίμηση, καθώς έχει ήδη εφαρμόσει ένα σύνολο προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της κυκλοφορίας, παρουσιάζοντας θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την κινητικότητα, την ασφάλεια και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Zuidgeest et al., 2018). Η κριτική ανάλυση και αξιολόγηση αυτής της περίπτωσης θα μπορούσε να προσφέρει χρήσιμα διδάγματα και πρακτικές προτάσεις προς άλλες πόλεις που βρίσκονται στη διαδικασία σχεδιασμού ή υλοποίησης παρόμοιων τεχνολογικών παρεμβάσεων. Η έρευνα επιδιώκει, τέλος, να συμβάλει στη διεπιστημονική κατανόηση του θέματος, ενσωματώνοντας γνώσεις από τομείς όπως η πολεοδομία, η πληροφορική και η περιβαλλοντική επιστήμη. Μέσω αυτής της προσέγγισης, η μελέτη αναμένεται να αποτελέσει ένα πολύτιμο ακαδημαϊκό και πρακτικό εργαλείο για τη διαμόρφωση ολοκληρωμένων και βιώσιμων πολιτικών αστικής κινητικότητας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε 7 βασικά κεφάλαια, καθένα από τα οποία αναλύει συγκεκριμένες πτυχές της συμβολής των ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της κυκλοφορίας, με έμφαση στην πρακτική εφαρμογή και την κριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων τους. Στο Κεφάλαιο 1 πραγματοποιείται μια αναλυτική εισαγωγή, η οποία παρουσιάζει το πρόβλημα της διαχείρισης κυκλοφορίας στις σύγχρονες πόλεις, τον σκοπό της εργασίας, τα ερευνητικά ερωτήματα, το θεωρητικό και εννοιολογικό πλαίσιο καθώς και τη σημασία της έρευνας. Το Κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει την περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή της έρευνας. Αναλύονται λεπτομερώς οι μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν και οι λόγοι επιλογής της συγκεκριμένης περίπτωσης μελέτης.

Αντίστοιχα στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια αναλυτική επισκόπηση των ψηφιακών τεχνολογιών που εφαρμόζονται στη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας. Περιλαμβάνονται

τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων και τα Δίκτυα Επικοινωνίας V2V και V2I, ενώ επιπλέον στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η αναλυτική εισαγωγή στην έννοια των Intelligent Management Systems, με έμφαση στην παρουσίαση 10 συστημάτων IMS (χρονολογικά και τεχνολογικά), την περιγραφή λειτουργιών, την ανάλυση της αποδοτικότητας και επιτυχημένων εφαρμογών, αλλά και τα συμπεράσματα και περιορισμούς από αυτά.

Το Κεφάλαιο 5 επικεντρώνεται στη μελέτη περίπτωσης της πόλης του Άμστερνταμ. Παρουσιάζονται και αναλύονται τα συστήματα και οι εφαρμογές που έχει υλοποιήσει η πόλη, καθώς και τα αποτελέσματα που έχουν επιτευχθεί στον τομέα της κυκλοφορίας, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που σχετίζονται με την εφαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της κυκλοφορίας εξετάζοντας ζητήματα όπως η προστασία προσωπικών δεδομένων, η κυβερνοασφάλεια, οι κοινωνικές αντιδράσεις και οι οικονομικές επιπτώσεις. Τέλος, το Κεφάλαιο 7 συνοψίζει τα κυριότερα συμπεράσματα της έρευνας και διατυπώνει συγκεκριμένες προτάσεις πολιτικής και πρακτικής εφαρμογής. Επίσης, επισημαίνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα που μπορούν να εμβαθύνουν περαιτέρω το θέμα και να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών εφαρμογών στον τομέα της αστικής κυκλοφορίας. Η συγκεκριμένη διάρθρωση επιδιώκει να προσφέρει μια συνεκτική και ολοκληρωμένη ανάλυση, διευκολύνοντας την κατανόηση και αξιολόγηση των δυνατοτήτων που παρέχουν οι ψηφιακές τεχνολογίες στη σύγχρονη διαχείριση κυκλοφορίας.

Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία

2.1 Εισαγωγή - Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόζει μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση (Systematic Literature Review - SLR), με στόχο την εις βάθος μελέτη της υπάρχουσας γνώσης σχετικά με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας. Η επιλογή της μεθόδου αυτής έγινε διότι παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης της βιβλιογραφίας με κριτικό και διαφανή τρόπο, καθιστώντας σαφή τα ερευνητικά ευρήματα, τις μεθόδους και τα κενά γνώσης (Petticrew & Roberts, 2008). Ως κεντρικό μεθοδολογικό πλαίσιο χρησιμοποιείται η τεχνική PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), η οποία εξασφαλίζει τη συστηματική προσέγγιση, την αξιοπιστία και την αναπαραγωγιμότητα της ερευνητικής διαδικασίας (Moher et al., 2009). Η εφαρμογή της τεχνικής PRISMA απαιτεί σαφή προσδιορισμό κριτηρίων επιλογής και αποκλεισμού πηγών, λεπτομερείς διαδικασίες αναζήτησης, καθώς και κριτική σύνθεση των αποτελεσμάτων της βιβλιογραφικής επισκόπησης (Liberati et al., 2009). Η μέθοδος PRISMA, συνεπώς, δεν περιορίζεται στην απλή καταγραφή βιβλιογραφικών πηγών, αλλά προχωρά σε μια αναλυτική και κριτική εκτίμηση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, αναδεικνύοντας έτσι τόσο τις σύγχρονες τάσεις όσο και τα κενά που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης (Tranfield et al., 2003).

Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε στην παρούσα εργασία στοχεύει στην κριτική διερεύνηση, συστηματική καταγραφή και αξιολόγηση των πλέον πρόσφατων επιστημονικών δημοσιεύσεων σχετικά με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση κυκλοφορίας στο αστικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης εξυπηρετεί την ανάγκη εντοπισμού και αποτύπωσης των κυρίαρχων τεχνολογικών τάσεων, αλλά και της ανάλυσης των επιστημονικών συζητήσεων σχετικά με την εφαρμογή και αποτελεσματικότητα των έξυπνων τεχνολογιών στις πόλεις (Albino et al., 2015). Μέσα από τη σαφή δομή της μεθοδολογίας PRISMA, επιτυγχάνεται η ανάδειξη και κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων, ώστε να απαντηθούν στοχευμένα και τεκμηριωμένα τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας (Moher et al., 2009). Επιπλέον, η εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου επιτρέπει την αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας και συνάφειας των δημοσιεύσεων, προκειμένου να διαμορφωθεί μια συνολική εικόνα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, καθώς και να επισημανθούν τυχόν ερευνητικά κενά ή τομείς που χρήζουν περαιτέρω έρευνας (Webster & Watson, 2002). Έτσι, η συγκεκριμένη μεθοδολογία παρέχει το κατάλληλο θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο για την

εμπεριστατωμένη αντιμετώπιση των ερευνητικών ερωτημάτων που έχουν τεθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία.

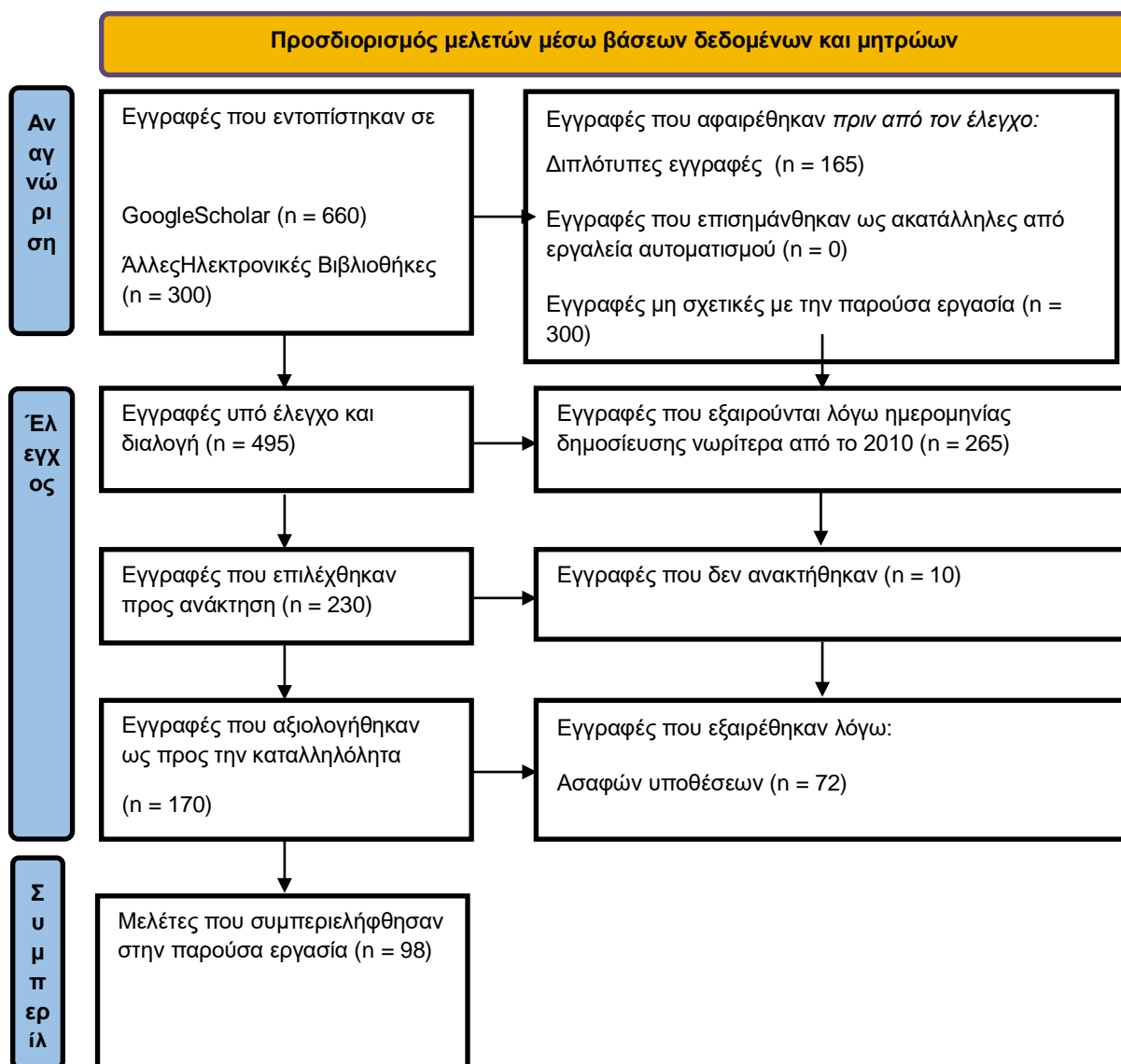
2.2 Πηγές Δεδομένων – Κριτήρια Αναζήτησης και Ένταξης

Η συλλογή των επιστημονικών δεδομένων έγινε μέσω ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων υψηλού επιστημονικού κύρους, συγκεκριμένα μέσω των Google Scholar και Scopus. Οι βάσεις αυτές επιλέχθηκαν λόγω της πληρότητας και αξιοπιστίας τους, καθώς διαθέτουν πλούσια συλλογή επιστημονικών δημοσιεύσεων σε πεδία συναφή με τη διαχείριση κυκλοφορίας και την αξιοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών σε αστικά περιβάλλοντα (Gusenbauer & Haddaway, 2020). Η αναζήτηση των άρθρων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας καθορισμένες αγγλικές λέξεις-κλειδιά: «Traffic Management», «Smart Cities», «Digital Technologies», «Artificial Intelligence», «Big Data Analysis», «Urban Sustainability» και «Amsterdam», ώστε να καλυφθεί η πλήρης έκταση του ερευνητικού πεδίου (Xiao & Watson, 2019).

Τα κριτήρια ένταξης των πηγών ήταν σαφή και δομημένα με γνώμονα την ακαδημαϊκή συνάφεια και επικαιρότητα. Συμπεριλήφθηκαν αποκλειστικά δημοσιεύσεις από το 2010 και μετά, με άμεση συνάφεια προς τη διαχείριση αστικής κυκλοφορίας και την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών. Αντίστοιχα, αποκλείστηκαν οι διπλότυπες εγγραφές, όσες ήταν προγενέστερες του 2010, καθώς και οι πηγές που στερούνταν σαφούς θεωρητικής τεκμηρίωσης ή/και επαρκούς ανάλυσης, εξασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα της ανασκόπησης (Liberati et al., 2009).

2.3 Διαδικασία Επιλογής Άρθρων

Η διαδικασία επιλογής των άρθρων πραγματοποιήθηκε σε διαδοχικά στάδια, ακολουθώντας το διάγραμμα ροής PRISMA (Εικόνα, 1), προκειμένου να εξασφαλιστεί η διαφάνεια και η αξιοπιστία στην επιλογή των πηγών (Moher et al., 2009). Αρχικά εντοπίστηκαν 960 δημοσιεύσεις, από τις οποίες αφαιρέθηκαν 165 διπλότυπες εγγραφές. Στο επόμενο στάδιο, από τις 795 εγγραφές που απέμειναν, 300 αποκλείστηκαν λόγω έλλειψης άμεσης συνάφειας με το ερευνητικό αντικείμενο. Στη συνέχεια, 265 άρθρα αποκλείστηκαν λόγω χρονολογίας (δημοσιεύσεις πριν το 2010). Από τις εναπομείναντες 230 εγγραφές, επιλέχθηκαν προς ανάκτηση 230, με 10 εξ αυτών να μην είναι διαθέσιμες. Τελικά, μετά από αξιολόγηση της καταλληλότητας των άρθρων, στην ανασκόπηση εντάχθηκαν συνολικά 98 επιστημονικές μελέτες.



Εικόνα 1: μεθοδολογία PRISMA

Η ανάλυση των keywords έγινε με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους και την επιστημονική τους σημασία στις επιλεγμένες δημοσιεύσεις (Webster & Watson, 2002). Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε αναλυτικός πίνακας για την καταγραφή των λέξεων-κλειδιών (Εικόνα 2) και αξιολογήθηκε η κατανομή, η ένταση εμφάνισης και η σχετική τους σημαντικότητα στα κείμενα (Εικόνα 3). Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μέσω σχετικού διαγράμματος (Εικόνα 4) βοήθησε στην ανάδειξη των κυρίαρχων εννοιών και τάσεων στο αντικείμενο της εργασίας.

Θεματική Ενότητα

Λέξεις - Κλειδιά

Traffic Management	Traffic Management, Traffic Flow, Urban Mobility
Smart Cities	Smart City, Urban Innovation, Smart Urban Solutions
Digital Technologies	IoT, Big Data, Digitalization
Artificial Intelligence	Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Networks
Sustainability	Urban Sustainability, Environmental Impact, Green Technologies
Case Study	Amsterdam, European Cities, Smart Traffic Initiatives

Εικόνα 2: Ανάλυση Λέξεων-Κλειδιών

Λέξεις-Κλειδιά	Συχνότητα (%)	Σημαντικότητα
Traffic Management	95%	Υψηλή
Smart Cities	90%	Υψηλή
Digital Technologies	88%	Υψηλή
Artificial Intelligence	85%	Υψηλή
Big Data Analysis	80%	Μέτρια
Urban Sustainability	75%	Μέτρια
Amsterdam	60%	Χαμηλή

Εικόνα 3: Κατηγοριοποίηση Λέξεων-Κλειδιών



Εικόνα 4: Οπτικοποίηση Συχνότητας Λέξεων-Κλειδιών

2.4 Χρονολογική Εξέλιξη των Δημοσιεύσεων – Μέθοδοι Ανάλυσης

Η αποτύπωση της χρονολογικής εξέλιξης των δημοσιεύσεων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την κατανόηση της δυναμικής και των τάσεων που έχουν διαμορφωθεί στον τομέα της ψηφιακής διαχείρισης κυκλοφορίας (Tranfield et al., 2003). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση των επιλεγμένων άρθρων, καταγράφοντας τον αριθμό των δημοσιεύσεων ανά έτος από το 2010 έως το 2024. Τα δεδομένα αυτά αποτυπώθηκαν σε πίνακα και σχετικό διάγραμμα, παρέχοντας μία οπτική αναπαράσταση της αυξητικής τάσης του ερευνητικού ενδιαφέροντος για τις εφαρμογές τεχνολογιών όπως το IoT, το AI και τα Big Data στις έξυπνες πόλεις, και ειδικότερα στον τομέα της διαχείρισης κυκλοφορίας.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων στηρίχθηκε στην ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των επιλεγμένων πηγών. Ειδικότερα, έγινε χρήση αναλυτικών εργαλείων και τεχνικών καταγραφής της συχνότητας εμφάνισης και σημαντικότητας των λέξεων-κλειδιών (keywords analysis) σύμφωνα με την προτεινόμενη πρακτική των Webster και Watson (2002). Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία PRISMA ως πλαίσιο για την οργάνωση, την κριτική αξιολόγηση και τη σύνθεση των ευρημάτων (Moher et al., 2009). Αυτή η συνδυαστική προσέγγιση εξασφάλισε την αξιοπιστία, την εγκυρότητα και την πληρότητα της βιβλιογραφικής ανάλυσης, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων.

2.5 Περιορισμοί - Συμπεράσματα της Μεθοδολογίας

Η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρά τη διαφάνεια και την αξιοπιστία που παρέχει, παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Αρχικά, η επιλογή των άρθρων περιορίστηκε σε συγκεκριμένες ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων (Google Scholar, Scopus), κάτι που ενδέχεται να έχει αποκλείσει κάποιες σχετικές δημοσιεύσεις διαθέσιμες σε άλλες βάσεις (Gusenbauer & Haddaway, 2020). Επιπλέον, ο περιορισμός της αναζήτησης σε αγγλόφωνες πηγές μπορεί να έχει επηρεάσει την αντιπροσωπευτικότητα και την πληρότητα της ανασκόπησης. Τέλος, τα κριτήρια αποκλεισμού (ημερομηνία έκδοσης, σαφήνεια υποθέσεων, ανάλυση δεδομένων) ενδέχεται να οδήγησαν στον αποκλεισμό δημοσιεύσεων που θα μπορούσαν να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες (Liberati et al., 2009).

Η επιλογή της μεθοδολογίας PRISMA προσέφερε ένα ισχυρό θεωρητικό και αναλυτικό πλαίσιο, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική αξιολόγηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Μέσω αυτής της μεθοδολογικής προσέγγισης, διασφαλίστηκε η διαφάνεια, η αναπαραγωγιμότητα και η αξιοπιστία των ερευνητικών αποτελεσμάτων (Moher et al., 2009). Ταυτόχρονα, επισημάνθηκαν τα επιστημονικά κενά και οι μελλοντικές προοπτικές, ενισχύοντας την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στον τομέα της διαχείρισης κυκλοφορίας με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών. Η σαφής μεθοδολογική προσέγγιση διαμόρφωσε μια αξιόπιστη βάση για την κριτική ανάλυση και την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 3: Κυκλοφοριακή Διαχείριση

3.1 Έννοια της Κυκλοφοριακής Διαχείρισης – Ιστορικό και παρούσα Κατάσταση

Η έννοια της Διαχείρισης της κυκλοφορίας περιλαμβάνει όλη τη διαδικασία, από το σχεδιασμό, την υλοποίηση-εκτέλεση και την επίβλεψη και παρακολούθησή της, που περιλαμβάνει μέτρα και ενέργειες που λαμβάνονται ώστε να βελτιωθεί η ροή της στο οδικό δίκτυο, με μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, χωρίς όμως τα μέτρα αυτά να επιδρούν στην ασφάλεια των χρηστών και η εξυπηρέτησή τους. Τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας έχουν μία μακρόχρονη πορεία, από την πρώτη εμφάνιση αμαξών και οχημάτων και ιδιαίτερα από την εμφάνιση του αυτοκινήτου στην ζωή του ανθρώπου. (Tingvall&Haworth, 1999).

Η έννοια της διαχείρισης κυκλοφορίας είναι συνυφασμένη με την εξέλιξη της ανθρωπότητας και της τεχνολογίας. Από τα αρχαία χρόνια, φάνηκε η ανάγκη ανάπτυξης υποδομών, με την κατασκευή των πρώτων οδικών δικτύων και η ανάγκη αυτή εξελίχθηκε με την εξέλιξη των μέσων, των αστικών ιστών και συστήματα όπως η σήμανση των δρόμων οι φωτεινοί σηματοδότες, αλλά και προηγμένες τεχνολογικές εφαρμογές, όπως αισθητήρες, κάμερες, να αποτελούν τμήμα της καθημερινότητας των οδηγών (Bifulcoetal., 2019).

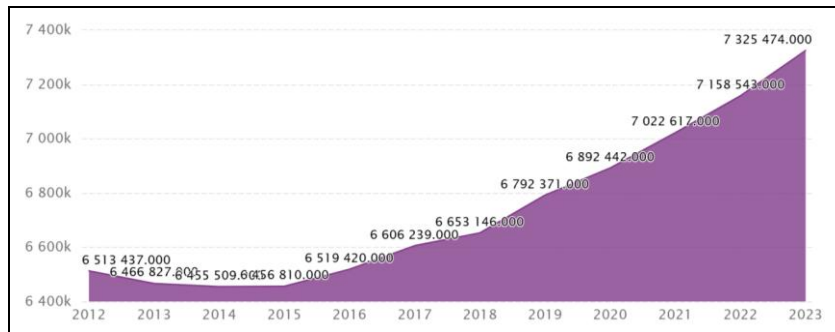
Οι πρώτες υποδομές για τη διαχείριση της κυκλοφορίας, εφαρμόστηκαν σε αρχαίους πολιτισμούς όπως η Ρώμη και η Κίνα. Στην Αρχαία Ελλάδα, ένα δίκτυο οδών, συνέδεε, τις βασικές πόλεις κράτη μεταξύ τους, με βασικές τις οδούς που οδηγούσαν στις Ακροπόλεις, που ήταν το κέντρο του εμπορίου και του θρησκευτικού φρονήματος των Αρχαίων Ελλήνων. Στα Ρωμαϊκά χρόνια, υλοποιήθηκε ένα σύνθετο οδικό δίκτυο, με επίκεντρο την πρωτεύουσα της αυτοκρατορίας, για την υποστήριξη των στρατιωτικών και εμπορικών σκοπών της Ρώμης, ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία με όλες της περιοχές που κατέκτησαν οι Ρωμαίοι. Αντίστοιχα στην Κίνα, γνωστή είναι η περίοδος της δυναστείας των Τανγκ, κατά την οποία εισήχθησαν οι πρώτοι κανόνες οδικής κυκλοφορίας στις πόλεις, αλλά και στον τρόπο που οργανώθηκαν οι περιφερειακές οδοί για την εξυπηρέτηση του εμπορίου (Zhou&Wu, 2021).

Στη συνέχεια κατά το 18^ο και 19^ο αιώνα η βιομηχανική επανάσταση, ήταν κομβική και για την εξέλιξη των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και των αστικών κέντρων, οδήγησε στην εισαγωγή των φωτεινών σηματοδοτών, αρχικά χειροκίνητων και στη συνέχεια με την ανακάλυψη του

ηλεκτρισμού, αντίστοιχων ηλεκτρικών. Η μαζική παραγωγή αυτοκινήτων κατά τον 20^ο αιώνα, οδήγησε σε νέους τρόπους διαχείρισης της κυκλοφορίας, ιδιαίτερα στις πόλεις, εισάγοντας νέους κανόνες, σημάνσεις και συστήματα. Ορόσημο στην εξέλιξη των συστημάτων αποτελεί η περίοδος μετά τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Η έντονη αστικοποίηση, η ευρεία χρήση του εθνικού οδικού δικτύου, οδήγησαν στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων και η διαχείριση της κυκλοφορίας έγινε ένα υπερεθνικό ζήτημα, με τις περισσότερες χώρες να υιοθετούν ορισμένους κοινούς κανόνες, ώστε να διευκολύνεται η κυκλοφορία σε διεθνές επίπεδο (Zhou&Wu, 2021).

Από τη δεκαετία του 1980, η τεχνολογία και η εισαγωγή της πληροφορικής, οδήγησε στον περαιτέρω αυτοματισμό της διαχείρισης κυκλοφορίας. Παράλληλα με την ανάπτυξη του κλάδου της πληροφορικής, έως το 2000, αναπτυχθήκαν τα πρώτα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, με βάση τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, διάφορους αισθητήρες και κάμερες ελέγχου. Πλέον δημιουργήθηκαν κέντρα ελέγχου κυκλοφορίας με αποστολή να συντονίζουν φωτεινούς σηματοδότες και να παρέχουν πληροφορίες στους χρήστες για την κατάσταση που επικρατεί στο οδικό δίκτυο. Από το 2000 έως σήμερα, η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επηρεάσει άμεσα τα συστήματα αυτά. Πλέον σταδιακά, στην καθημερινότητα των χρηστών εισάγονται προηγμένα συστήματα, βασισμένα σε χρήση σύγχρονων αισθητήρων, στο διαδίκτυο των πραγμάτων, στην τεχνητή νοημοσύνη, στην ανάλυση δεδομένων, όπως φωτεινοί σηματοδότες που ρυθμίζουν αυτόματα τη λειτουργία τους ανάλογα τη ροή κυκλοφορίας, εφαρμογές πλοήγησης, που καθοδηγούν τους οδηγούς σε πραγματικό χρόνο, αλλά και καινοτομίες που ακόμα βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, όπως τα αυτόνομα οχήματα. (Lietal., 2019).

Στη σύγχρονη εποχή, παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση, τόσο των μετακινήσεων, όσο και των μεταφορών, που αντιστοιχούν σε αύξηση της κυκλοφορίας οχημάτων τόσο εντός αστικών ιστών, όσο και εκτός αυτών. Η βασική αδυναμία αυτής της κατάστασης είναι ότι η κυκλοφορία καλείται να διαχειριστεί εντός ενός συγκεκριμένου χώρου, με αποτέλεσμα οι κυκλοφοριακές συνθήκες σταδιακά να χειροτερεύουν, ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον. Η αύξηση των οχημάτων επιβαρύνει την κατάσταση με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση, ατυχήματα και ρύπανση, ιδιαίτερα στις πόλεις. Ενδεικτικά, για την Ελλάδα στην εικόνα 5, φαίνεται η ραγδαία αύξηση των εγγεγραμμένων οχημάτων την τελευταία δεκαετία (CEICDATA, 2024).



Εικόνα 5: Αριθμός Εγγεγραμμένων Οχημάτων στην Ελλάδα, περίοδος 2012-2023 (πηγή: CEICDATA, 2024)

Η διαχείριση της κυκλοφορίας, κυρίως σχετίζεται με τη επίλυση των προβλημάτων που αναδύονται στο αστικό περιβάλλον και την αστική κινητικότητα. Η ραγδαία αύξηση του αριθμού κατοίκων ανά έκταση και η εξάρτηση των μετακινήσεων από τα ιδιωτικά οχήματα, επιβαρύνουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση, την ρύπανση των πόλεων και την ασφάλεια των οδηγών, με αύξηση των τροχαίων ατυχημάτων. Η εφαρμογή συγχρόνων συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας, μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής στα αστικά κέντρα, με βελτίωση της κινητικότητας, με στρατηγικές για περιβαλλοντική προστασία και βελτιωμένα μέτρα ασφάλειας των χρηστών (Litman, 2021).

3.2 Βασικοί Στόχοι της Κυκλοφοριακής Διαχείρισης

3.2.1 Ασφάλεια

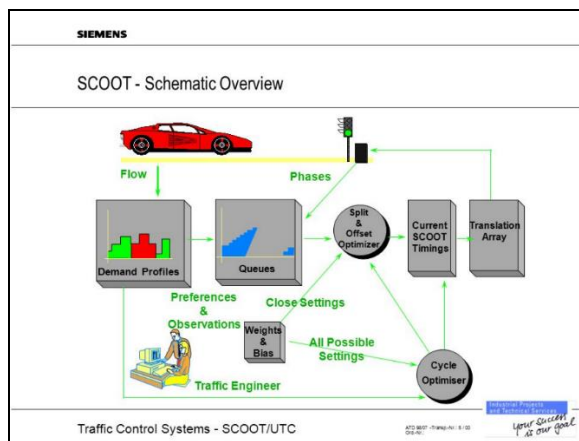
Η ασφάλεια αποτελεί έναν θεμελιώδη στόχο για τα συστήματα κυκλοφοριακής διαχείρισης. Η προστασία της ανθρώπινης ζωής, επιτυγχάνεται με μέτρα που επικεντρώνονται αρχικά στη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων, στην ορθή ενημέρωση των χρηστών του δικτύου οδικής κυκλοφορίας και την εγκατάσταση ασφαλών συστημάτων και υποδομών.

Η μείωση των ατυχημάτων αποτελεί μία βασική παράμετρος, που απαιτεί συντονισμένο σχεδιασμό και προσπάθεια σε εθνικό και τοπικό επίπεδο, με τη συνεργασία κρατικών και ιδιωτικών φορέων και οργανισμών με εταιρείες και επιχειρήσεις στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η υπάρχουσα εμπειρία, έχει αποδείξει ότι τα παραδοσιακά μέτρα και συστήματα, όπως οι φωτεινοί σηματοδότες, οι διασταυρώσεις, οι κυκλικοί κόμβοι, η σωστή σήμανση και διαγράμμιση των οδών αποτελούν βασικές αρχές και αποτελεσματικές λύσεις. Στη σύγχρονη εποχή των «έξυπνων λύσεων», η ασφάλεια μπορεί να ενισχυθεί αποτελεσματικά μέσω των εφαρμογών από καινοτόμα τεχνολογικά προϊόντα (Bifulcoetal., 2019). Η ανάπτυξη αντίστοιχων υποδομών, μπορούν να βελτιώσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα. Μέτρα παθητικής προστασίας, όπως ο καθορισμός μικρών ορίων ταχύτητας, η τοποθέτηση μειωτών ταχύτητας, ανακλαστικών υλικών, περιορίζουν τα

ατυχήματα (Litman, 2021). Όπως αναφέρει και ο Παγκόσμιος Οργανισμός για την Υγεία (ΠΟΥ-WHO), η εγκατάσταση τέτοιου είδους υποδομών αποδίδουν έναντι των θανατηφόρων ατυχημάτων περίπου 30% (Zhangetal., 2022).

3.2.2 Αποτελεσματικότητα

Ένας από τους βασικούς στόχους των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας αποτελεί και η αποτελεσματικότητά τους. Η ρύθμιση της κυκλοφορίας αποτελεί το σημαντικότερο εργαλείο για την αποτελεσματικότητα των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας. Ενδεικτικός τρόπος βελτιστοποίησης της ροής είναι η εξέλιξη των φωτεινών σηματοδοτών, που εξελίσσονται με αισθητήρες και εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης, ώστε η λειτουργία τους να προσαρμόζεται σε πραγματικά δεδομένα κίνησης. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι και το σύστημα SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique), στην πόλη του Λονδίνου, που έχει μειώσει τη κυκλοφοριακή συμφόρηση έως και 12% (Brodieetal., 2012), όπως αυτό φαίνεται και στην εικόνα 6.



Εικόνα 6: Το σύστημα SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique), στην πόλη του Λονδίνου (Πηγή: Brodieetal., 2012)

Ο χρόνος μετακίνησης είναι ζωτικής σημασίας. Για το λόγο αυτό τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας προσφέρουν πλέον σύγχρονα συστήματα πλοήγησης, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια (πχ GoogleMaps), τα οποία μέσω της διάδρασης των χρηστών μεταξύ τους μπορούν να διοχετεύουν την κυκλοφορία σε συντομότερες διαδρομές (Zhangetal., 2020). Όπως αναφέρει και η Παγκόσμια Τράπεζα, στην αναφορά της για τις μεταφορές το 2017, το κόστος και ο χρόνος μετακινήσεων είναι στενά συνδεδεμένο με το ΑΕΠ της κάθε χώρας σε μία αντίστροφη συσχέτιση, καθώς η αύξηση αυτών μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ΑΕΠ έως και 2% (Litman, 2021).

3.2.3 Βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα αποτελεί ένα βασικό στόχο της σύγχρονης διαχείρισης της κυκλοφορίας, συνδυάζοντας περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς στόχους για τη δημιουργία ενός ανθεκτικού αστικού περιβάλλοντος. Ο τομέας των μεταφορών συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς όπως αναφέρει και ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA, 2020), οι εκπομπές CO₂, αντιστοιχούν στο 24%, παγκοσμίως. Μία από τις λύσεις που εισάγουν τα συστήματα κυκλοφορίας είναι τα ηλεκτρικά οχήματα και οι «πράσινες» τεχνολογίες στις μεταφορές. Οι λύσεις αυτές μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών. Η στόχευση στην δημιουργία στόλων οχημάτων με μηδενικές εκπομπές, οδηγούν πολλά κράτη στην παροχή ισχυρών οικονομικών κινήτρων και φοροαπαλλαγών προς τους πολίτες και τις εταιρείες, που συνδέονται με τη διαχείριση οχημάτων και ταυτόχρονα ενισχύουν τις επενδύσεις σε δίκτυα φορτιστών (Merskyetal., 2016). Επιπλέον άλλες λύσεις που εισάγουν τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας είναι η προώθηση εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς, ιδιαίτερα μέσα στον αστικό ιστό όπως το ποδήλατο και τα μέσα μαζικής μεταφοράς, τα οποία μειώνουν τη χρήση ιδιωτικών οχημάτων που καταναλώνουν συμβατικά καύσιμα. (Pucheretal., 2010). Η πλέον σύγχρονη τάση, των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας αποτυπώνεται στην ανάπτυξη νέων μοντέλων, όπως οι «Πόλεις των 15 λεπτών», στις οποίες οι χρήστες δεν χρησιμοποιούν ιδιωτικά οχήματα, αλλά μπορούν να έχουν πρόσβαση στις βασικές υπηρεσίες, εμπορικά αγαθά και διασκέδαση σε χρόνο 15'λεπτών, μέσω της μετακίνησής τους με τα πόδια ή με ήπια μέσα μεταφοράς (Morenoetal., 2021). Τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας σε αυτές τις περιπτώσεις δημιουργούν νέα απαγορευτικά μοτίβα στην κυκλοφορία ιδιωτικών οχημάτων παντός τύπου.

3.2.4 Εξυπηρέτηση των Χρηστών

Η Εξυπηρέτηση των Χρηστών είναι ένα βασικό κριτήριο επιτυχίας των συστημάτων κυκλοφοριακής διαχείρισης. Τα συστήματα εστιάζουν στις ανάγκες τους, ώστε να βελτιώνεται η εμπειρία τους και να ενισχύεται η προσβασιμότητα σε όλους. Οι τεχνολογία αξιοποιείται ώστε να είναι δυνατόν οι χρήστες να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες για το οδικό δίκτυο, όπως οι εφαρμογές σε κινητές συσκευές (smartphones, tablets), ώστε να υπάρχει εικόνα τόσο για το χρόνο διαδρομής, τις εναλλακτικές και την δυνατότητα λήψης απόφασης από το χρήστη (Goodwinetal., 2017: Glaeser&Kahn, 2010). Επιπλέον ένα σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης στις υποδομές μεταφοράς σε όλους τους πολίτες. Η προϋπόθεση αυτή αποτελεί κοινωνική ανάγκη για τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής, ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον (ΠΟΥ, 2015). Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται και δημιουργία ενιαίων δικτύων

για διαφορετικά μέσα μεταφοράς, μέσω των συστημάτων Mobility Service, ώστε οι χρήστες να σχεδιάζουν και να υλοποιούν μεταφορές, μέσω μίας κοινής πλατφόρμας, παρέχοντας ευκολία (Hietanen, 2014).

3.2.5 Υποστήριξη Έξυπνων Πόλεων.

Οι έξυπνες πόλεις βασίζονται σε προηγμένες τεχνολογίες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η διαχείριση της κυκλοφορίας είναι ένας βασικός τομέας, ενσωματώνοντας IoT, AI και Big Data για την προώθηση της αποτελεσματικότητας, της βιωσιμότητας και των υπηρεσιών προς τους πολίτες. Οι ψηφιακές τεχνολογίες συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες και οχήματα, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται από την τεχνητή νοημοσύνη για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Οι έξυπνοι φωτεινοί σηματοδότες ρυθμίζουν το χρονοδιάγραμμα για τη μείωση των καθυστερήσεων, ενώ οι αναλύσεις μεγάλων δεδομένων προβλέπουν τα πρότυπα κυκλοφορίας. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των συστημάτων διασφαλίζει τη σύνδεση με τους τομείς της ενέργειας, της υγειονομικής περίθαλψης και των τηλεπικοινωνιών. Οι εφαρμογές ευφυούς διαχείρισης της κυκλοφορίας περιλαμβάνουν έξυπνες διασταυρώσεις, παρακολούθησης στάθμευσης και επιτήρηση με drone. Τα οφέλη περιλαμβάνουν τη μείωση της συμφόρησης, τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια. (Goodwinetal., 2017). Η υποστήριξη των έξυπνων πόλεων με ψηφιακή τεχνολογία και διαλειτουργικότητα θα αντιμετωπίσει προκλήσεις όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η περιβαλλοντική υποβάθμιση.

3.3 Τεχνολογίες Κυκλοφοριακής Διαχείρισης

3.3.1 Τεχνολογία Διαδίκτυο των Πραγμάτων IOT (Internet of Things)

Το IoT φέρνει επανάσταση στη διαχείριση της κυκλοφορίας συνδέοντας φυσικά αντικείμενα στο διαδίκτυο, επιτρέποντας τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία IoT βελτιστοποιεί τη ροή της κυκλοφορίας, αυξάνει την ασφάλεια και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι εφαρμογές του IoT περιλαμβάνουν τη διαχείριση των φωτεινών σηματοδοτών, τις έξυπνες διαβάσεις πεζών, τη διαχείριση των χώρων στάθμευσης και την παρακολούθηση των δρόμων. Τα οφέλη του IoT στη διαχείριση της κυκλοφορίας περιλαμβάνουν τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, τη βελτίωση της ασφάλειας, τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και τη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν προκλήσεις όπως το κόστος υλοποίησης, η ασφάλεια δεδομένων και η διαλειτουργικότητα.

Παρά τις προκλήσεις αυτές, οι προοπτικές του IoT στον τομέα της κυκλοφορίας παραμένουν λαμπρές, με τη δυνατότητα να αναδιαμορφώσουν το τοπίο των αστικών μεταφορών στο μέλλον (Kumar&Singh, 2020).

3.3.2 Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence-AI)

Η ΤΝ αξιοποιείται για τη βελτίωση της κυκλοφορίας στις σύγχρονες πόλεις με την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, την πρόβλεψη συμπεριφορών και τη λήψη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής, τη μείωση της συμφόρησης και την ενίσχυση της ασφάλειας. Οι βασικές λειτουργίες περιλαμβάνουν την ανίχνευση προτύπων, την πρόβλεψη των συνθηκών κυκλοφορίας και την αυτοματοποίηση αποφάσεων. Οι εφαρμογές ΤΝ στη διαχείριση της κυκλοφορίας περιλαμβάνουν την ευφυή διαχείριση των φωτεινών σηματοδοτών, τα συστήματα πρόβλεψης της ροής της κυκλοφορίας, τα αυτόνομα οχήματα, την ενίσχυση της ασφάλειας και την εξυπηρέτηση των δημόσιων μεταφορών. Και στην περίπτωση αυτή, η τεχνητή νοημοσύνη αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως το υψηλό κόστος εφαρμογής, η διαχείριση δεδομένων και η ανάγκη διαλειτουργικότητας (Kumar&Singh, 2020).

3.3.3 Συλλογή και Ανάλυση Μεγαδεδομένων (Big Data)

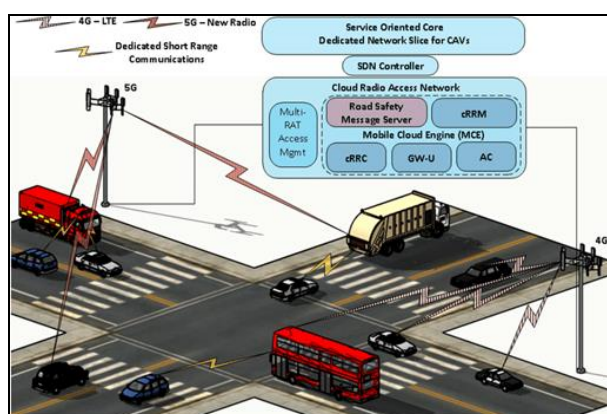
Η συλλογή και ανάλυση μεγάλων δεδομένων έχει φέρει επανάσταση στη διαχείριση της κυκλοφορίας στις σύγχρονες πόλεις. Αξιοποιώντας δεδομένα από αισθητήρες, κινητά τηλέφωνα, μέσα κοινωνικής δικτύωσης και συσκευές IoT, οι πόλεις μπορούν να δημιουργήσουν ακριβή μοντέλα κυκλοφορίας, προβλέψεις και συστήματα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Τα μεγάλα δεδομένα στη διαχείριση της κυκλοφορίας χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο, ποικιλία, ταχύτητα και αξία και περιλαμβάνουν δεδομένα από αισθητήρες, κάμερες, συσκευές GPS, μέσα κοινωνικής δικτύωσης και δημόσιες συγκοινωνίες. Η επεξεργασία των μεγάλων δεδομένων περιλαμβάνει τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων και επιτρέπει εφαρμογές όπως η πρόβλεψη της κυκλοφορίας, η διαχείριση συμβάντων, η βελτίωση των δημόσιων μεταφορών και η δημιουργία ευφών συστημάτων πλοήγησης. (Chen&Li, 2020).



Εικόνα 7: Διασύνδεση Οχημάτων για Ανταλλαγή Δεδομένων (Πηγή: Chen&Li, 2020)

3.3.4 Δίκτυα 5G

Τα δίκτυα 5G φέρνουν επανάσταση στις ασύρματες επικοινωνίες με υψηλές ταχύτητες, χαμηλή καθυστέρηση και μαζική συνδεσιμότητα. Στη διαχείριση της κυκλοφορίας, το 5G επιτρέπει αποδοτικά, ασφαλή και βιώσιμα συστήματα μέσω της διασύνδεσης οχημάτων, υποδομών και υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο. Τα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης, χαμηλή καθυστέρηση και ευρεία συνδεσιμότητα. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν συνδεδεμένα οχήματα, αυτόνομη οδήγηση, διαχείριση υποδομών και παροχή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (εικόνα 8). Τα οφέλη περιλαμβάνουν βελτιστοποιημένη ροή κυκλοφορίας, βελτιωμένη ασφάλεια, περιβαλλοντική βιωσιμότητα και εξατομικευμένες υπηρεσίες. Παρά τις προκλήσεις, το 5G αναμένεται να προσφέρει σημαντικά οφέλη, δημιουργώντας πιο έξυπνα, ασφαλή και βιώσιμα συστήματα μεταφορών (Smithetal, 2022).



Εικόνα 8: Εφαρμογή Διασύνδεσης 5G σε κυκλοφορία Οχημάτων (Πηγή: Smithetal, 2022).

3.3.5 Έξυπνες Εφαρμογές (Smart Mobile Applications)

Οι έξυπνες εφαρμογές για κινητά έχουν φέρει επανάσταση στη διαχείριση της κυκλοφορίας παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, εξατομικευμένες λύσεις και δυνατότητες αλληλεπίδρασης. Τα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν ενημερώσεις κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, πλοήγηση, διαλειτουργικότητα και εξατομίκευση. Εφαρμογές όπως οι GoogleMaps, Waze και Uber βελτιώνουν την πλοήγηση, μειώνουν τη συμφόρηση και προωθούν τη βιωσιμότητα. Άλλες εφαρμογές παρέχουν πληροφορίες για τα μέσα μαζικής μεταφοράς, διαχείριση στάθμευσης και υπηρεσίες κοινής χρήσης ποδηλάτων. Οι έξυπνες εφαρμογές ωφελούν τη διαχείριση της κυκλοφορίας βελτιώνοντας τη ροή, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα, ενώ παράλληλα αυξάνουν την ευκολία για τους χρήστες. Ωστόσο, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την ακρίβεια των δεδομένων, την ασφάλεια και την πρόσβαση στην τεχνολογία. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, οι έξυπνες εφαρμογές θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος των έξυπνων πόλεων (Gonzalezetal., 2021).

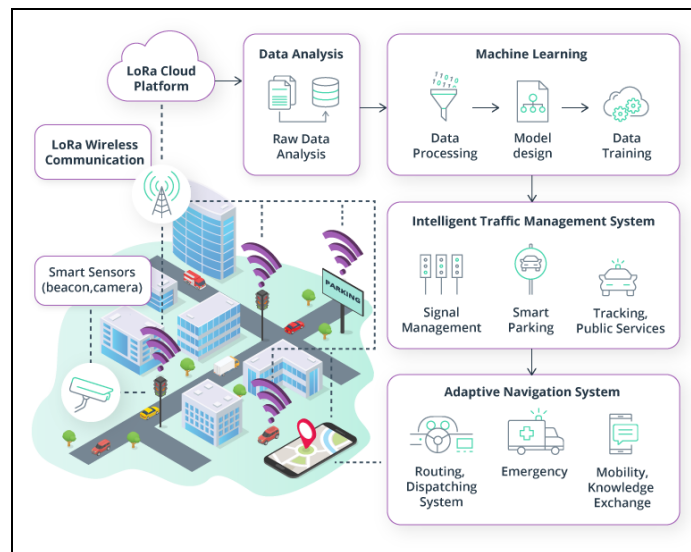
3.3.6 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GeoInfo Systems-GIS)

Τα ΓΣΠ στη διαχείριση της κυκλοφορίας ενισχύουν την αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου, τη ροή της κυκλοφορίας, την ασφάλεια και την ανάπτυξη των υποδομών. Παρέχει χωρικά τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων μέσω της συλλογής, αποθήκευσης, ανάλυσης και οπτικοποίησης δεδομένων. Τα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν χωρική ανάλυση και χαρτογράφηση, προβλέψεις και προσομοιώσεις και διαχείριση έργων υποδομής. Τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, την ανάλυση συμφόρησης, τον σχεδιασμό διαδρομών και την οδική ασφάλεια. Υποστηρίζει επίσης τις έξυπνες πόλεις συνδέοντας τα συστήματα πληροφοριών και επιτρέποντας την ολοκληρωμένη λήψη αποφάσεων. Στα πλεονεκτήματα περιλαμβάνονται η ακρίβεια των δεδομένων, η αποτελεσματική λήψη αποφάσεων, η εξοικονόμηση πόρων και η προώθηση της βιωσιμότητας. Ωστόσο, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος εγκατάστασης, την πολυπλοκότητα και την ανάγκη για αξιόπιστα δεδομένα (Gonzalezetal., 2021).

3.3.7 Αυτόνομα και Ηλεκτρικά Οχήματα (UVs & EVs)

Τα μη επανδρωμένα και τα ηλεκτρικά οχήματα (UVs & EVs) μεταμορφώνουν τις σύγχρονες μεταφορές, προσφέροντας οφέλη για την ασφάλεια, το περιβάλλον και την

αποδοτικότητα. Συνδυάζονται με την Τεχνητή Νοημοσύνη, το 5G και το IoT για τη δημιουργία ενός πιο έξυπνου και βιώσιμου συστήματος κινητικότητας (Εικόνα 9).



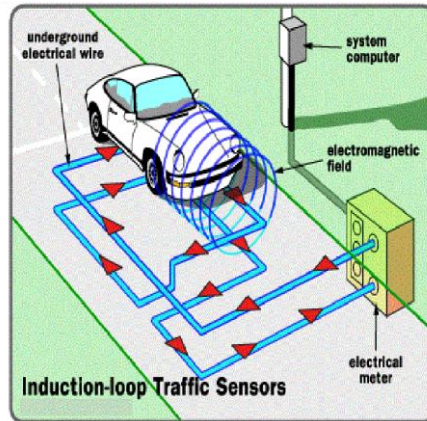
Εικόνα 9: Διασύνδεση UVs & EVs σε συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Πηγή: Gonzalezetal, 2021).

Τα αυτόνομα οχήματα χρησιμοποιούν αισθητήρες, κάμερες, τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση για να πλοηγούνται χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Εντοπίζουν εμπόδια, πλοηγούνται σε διαδρομές και επικοινωνούν με τις υποδομές. Η τεχνολογία αυτή μειώνει τα ατυχήματα που προκαλούνται από ανθρώπινα λάθη, βελτιώνει τη ροή της κυκλοφορίας και μειώνει την κατανάλωση καυσίμων μέσω της αποδοτικής οδήγησης. Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια αντί για παραδοσιακά καύσιμα, μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και τους ρύπους. Μειώνουν το κόστος καυσίμων και συντήρησης και μπορούν να λειτουργήσουν ως κινητή αποθήκη ενέργειας, συμβάλλοντας στη σταθερότητα του δικτύου και στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα αυτόνομα ηλεκτρικά οχήματα βελτιστοποιούν την πλοήγηση, μειώνουν τη συμφόρηση και συνεργάζονται με άλλα οχήματα. Μπορούν να φορτίζονται αυτόματα σε έξυπνους σταθμούς, παρέχοντας μέγιστη άνεση (Gonzalezetal., 2021).

3.4 Αισθητήρες και συστήματα

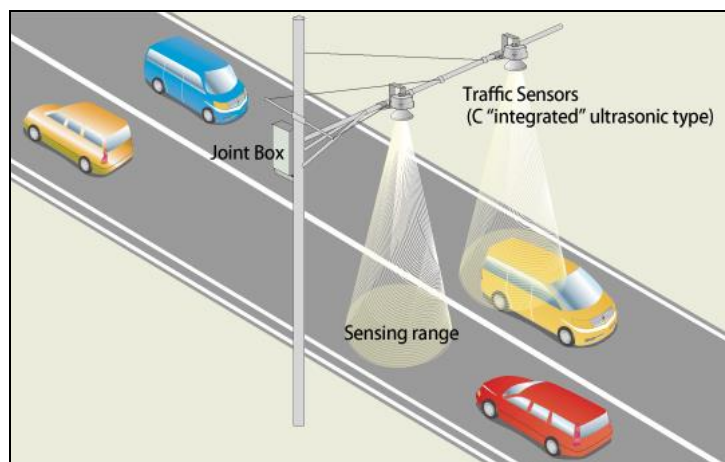
Το βασικό χαρακτηριστικό των αισθητήρων είναι η διαλειτουργικότητα μεταξύ τους και τα οχήματα, αλλά και η δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται αρκετοί και διαφορετικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση κυκλοφορίας, όπως οι επαγωγικοί βρόγχοι, τα ραντάρ, οι κάμερες υψηλής ανάλυσης. (Chen&Li, 2020). Μία βασική κατηγορία των αισθητήρων είναι οι επαγωγικοί βρόγχοι, οι οποίοι τοποθετούνται στο οδόστρωμα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 10,

δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο ανιχνεύει τόσο ταχύτητα όσο και θέση οχημάτων και μεταφέρουν τα αντίστοιχα δεδομένα καταγράφοντας την κυκλοφοριακή πυκνότητα (Chenetal, 2020). Λόγο της διάταξής τους είναι περισσότερο χρηστικοί εντός αστικού ιστού.



Εικόνα 10: Ενδεικτική λειτουργία επαγωγικού βρόγχου (Πηγή: Chenetal, 2020).

Σε αστικό ιστό σημαντικό ρόλο έχουν και οι Αισθητήρες Υπερύθρων (InfraredSensors), οι οποίοι μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορούν και ξεχωρίζουν τους χρήστες, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις χαμηλού φωτισμού (Wangetal., 2021). Αντίστοιχα τα ραντάρ, μπορούν μέσω ραδιοκυμάτων να ανιχνεύουν επίσης την ταχύτητα και την πορεία των οχημάτων (εικόνα 11). Η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη σε αυτοκινητόδρομους, όπου τα οχήματα αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες ώστε να μπορούν να ελέγχονται τα όρια ταχύτητας (Gonzalezetal., 2019).



Εικόνα 11: Radar Κυκλοφορίας (Πηγή: Gonzalezetal., 2019).

Μία λύση που χρησιμοποιείται τόσο σε αστικό ιστό όσο και σε αυτοκινητόδρομους, είναι και οι Κάμερες Υψηλής Ανάλυσης (εικόνα 12). Η συνηθισμένη

διάταξη περιλαμβάνει ένα καταγραφικό εικόνων και βίντεο, που στη συνέχεια οι πληροφορίες που συλλέγονται αναλύονται με αντίστοιχους αλγόριθμους. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο ρόλος τους για αναγνώριση οχημάτων, αριθμών πινακίδων, παραβάσεων και διερεύνηση ατυχημάτων (Zhou&Wu, 2022).



Εικόνα 12: Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας με κάμερες υψηλής ανάλυσης (Πηγή: Zhou&Wu, 2022).

3.5 Πλατφόρμες Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Traffic Management Platforms)

Οι σύγχρονες πόλεις, λόγω της συνεχόμενης αύξησης που παρουσιάζονται σε οχήματα και μεταφορικά μέσα, έχουν επιτακτική την ανάγκη για την αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετές αντίστοιχες πλατφόρμες (Traffic Management Platforms), οι οποίες εφαρμόζοντας τεχνολογικές λύσεις αξιοποιούν τα δεδομένα που παρέχονται, ώστε σε πραγματικό χρόνο να υπάρχει πλήρη επίγνωση της επικρατούσας κατάστασης. Οι πλατφόρμες αυτές είναι ολοκληρωμένα και προηγμένα πληροφορικά συστήματα, με αναβαθμισμένα λογισμικά, εργαλεία συλλογής πληροφοριών, ώστε να προτείνουν τις βέλτιστες λύσεις για την βελτίωση του κυκλοφοριακού προβλήματος, συμβάλλοντας στην ασφάλεια και εξυπηρέτηση των χρηστών, με ένα βιώσιμο και πλέον φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο (Smithetal., 2022) .

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά που έχουν οι πλατφόρμες διαχείρισης κυκλοφορίας είναι η τεχνολογία αιχμής όπως IoT, AI, BigData, με συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μέσω εργαλείων όπως αισθητήρες, κάμερες, GPS οχημάτων και έξυπνες εφαρμογές κινητών συσκευών, παρέχοντας μια πλήρη εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης, σε ένα επιχειρησιακό κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας (Wangetal., 2021). Επιπλέον έχουν τη δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων και προβλέψεων, μέσω της χρήσης αλγορίθμων. Πλέον η χρήση της AI, μοντέλων μηχανικής μάθησης τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα

να αναλύουν δεδομένα με σκοπό την πρόβλεψη κυκλοφοριακών μοτίβων (Chen&Li, 2020). Οι προτάσεις βελτίωσης πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο και με τον τρόπο αυτό μπορούν να ρυθμίζουν φωτεινούς σηματοδότες, να εκτρέπουν την κυκλοφορία από άλλους οδούς και να ειδοποιούν για τον καιρό την κατάσταση του οδοστρώματος, καθυστερήσεις και ατυχήματα (Lietal., 2021).

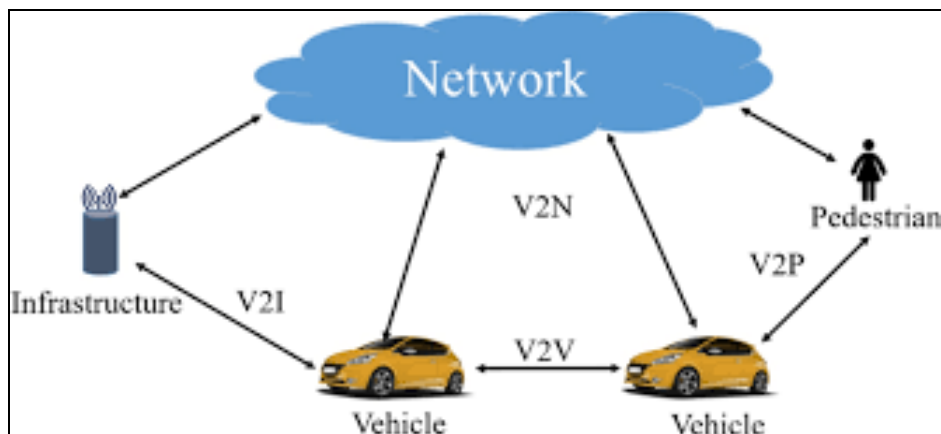
Ενδεικτικές πλατφόρμες διαχείρισης κυκλοφορίες που κυκλοφορούν στην παγκόσμια αγορά είναι το GoogleTraffic, το TomTom Traffic, η HERE Technologies, η INRIX Traffic. Για παράδειγμα η GoogleTraffic, αποτελεί μία καινοτομία της Google, η οποία παρακολουθεί την κυκλοφορία στους δρόμους σε πραγματικό χρόνο, μέσω του GoogleMaps. Συλλέγει πληροφορίες και δεδομένα από GPS, κινητές συσκευές και περιέχει στους οδηγούς πληροφορίες για την κίνηση, ατυχήματα, έργα που δυσχεραίνουν την κυκλοφορία, όρια ταχύτητας, δίνοντας συμβουλές για εναλλακτικές διαδρομές (Google, 2022). Αντίστοιχα η TomTom, αποτελεί μία πρωτοπόρο εταιρεία στον κλάδο της παροχής υπηρεσιών στην αστική κινητικότητα. Και σε αυτή την περίπτωση παρέχονται δεδομένα κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, ώστε ο χρήστης να είναι σε θέση να σχεδιάζει βιώσιμα συστήματα μεταφορών (TomTom, 2021). Βασικό χαρακτηριστικό μίας άλλης εταιρείας της HERE, είναι η χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών GIS και ο συνδυασμός τους με δεδομένα κυκλοφορίας. Η πλατφόρμα αυτή απευθυνόμενη σε επαγγελματίες των μεταφορών και αρχές και επιστημονικές ομάδες, προσφέρει λύσεις για την ενσωμάτωση έξυπνων υποδομών και αυτόνομων οχημάτων. Τέλος γνωστό είναι και το παράδειγμα της εταιρείας INRIX Traffic, η οποία εξειδικεύεται στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων για την κυκλοφορία από ποικίλες πηγές, όπως οχήματα, κάμερες και αισθητήρες. Η εφαρμογή των προϊόντων της, μπορούν να υποστηρίξουν πόλεις στην ανάπτυξη στρατηγικών που μειώνουν τη κυκλοφοριακή συμφόρηση (INRIX, 2020).

3.6 Δίκτυα επικοινωνίας (V2V, V2I)

Τα δίκτυα επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων (Vehicle-To-Vehicle, V2V) και μεταξύ οχημάτων και υποδομών (Vehicle-To-Infrastructure, V2I), αποτελούν θεμελιώδεις συνδέσεις, ώστε να υπάρχουν και να λειτουργούν τα σύγχρονα συστήματα και πλατφόρμες διαχείρισης κυκλοφορίας. Η διασύνδεση τόσο μεταξύ των χρηστών των μέσων όσο και με τις υποδομές, είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό στην προσπάθεια βελτίωσης των στόχων που έχει η κυκλοφοριακή διαχείριση. Η τεχνολογία αυτή επεκτείνεται σε μία ευρύτερη έννοια, με τον όρο V2X (Vehicle-To-Everything), υποδεικνύοντας ότι τα οχήματα προκειμένου να υπάρχει μία ολιστική αλληλεπίδραση και παραγωγή δεδομένων, θα πρέπει

να αξιοποιούν το σύνολο των δυνατοτήτων διασύνδεσης σε πραγματικό χρόνο με όλους τους δυνατούς χρήστες, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων από το σύνολο των ενδιαφερόμενων μερών (Wangetal., 2021).

Η βασική αρχή λειτουργίας των Δικτύων V2V και V2I περιγράφεται στο διάγραμμα της εικόνας . Συγκεκριμένα η τεχνολογία V2V, επιτρέπει την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται έχουν εμβέλεια έως 300 μετρά και τα πιο βασικά συνοψίζονται στο Dedicated Short-Range Communications (DSRC) και το Cellular Vehicle-To-Everything (C-V2X) (Khanetal., 2021). Το βασικότερο πρωτόκολλο το DSRC είναι χαμηλής καθυστέρησης, που χρησιμοποιείται κυρίως για V2V επικοινωνία, ιδιαίτερα αξιόπιστο, αλλά με περιορισμούς στη χωρητικότητα δεδομένων και την εμβέλεια (Smithetal., 2019). Αντίστοιχα το C-V2X, λειτουργεί μέσω δικτύων 4G και 5G, έχει το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης χωρητικότητας. Επιπλέον διευκολύνει και διευρύνει τις δυνατότητες επικοινωνίας με αντίστοιχες υποδομές του δικτύου (Zhouetal., 2022). Ειδικότερα η υιοθέτηση δικτύων 5G ενισχύει περαιτέρω την ταχύτητα και την ακρίβεια της επικοινωνίας. Οι βασικές πληροφορίες που διαμοιράζονται μεταξύ τους τα οχήματα αφορούν κυρίως δεδομένα που αφορούν τη θέση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση των οχημάτων, ειδοποιήσεις για ξαφνικό φρενάρισμα και ακινητοποίηση οχημάτων, κατάσταση οδοστρώματος και καιρικών συνθηκών (Kumar&Singh, 2021). .



Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση δικτύων V2V και V2X (Πηγή: Zhouetal., 2022)

Αντίστοιχα η διασύνδεση V2I αφορά την επικοινωνία των οχημάτων με υποδομές, οι οποίες αφορούν φωτεινούς σηματοδότες, Radar, αισθητήρες κυκλοφορίας και σταθμούς φόρτισης, ώστε οι οδηγοί να μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη διάρκεια των φωτεινών σηματοδοτών, τη κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης σε οδικές

αρτηρίες σε πραγματικό χρόνο και προτεινόμενες εναλλακτικές διαδρομές που μπορούν να έχουν οι χρήστες (Shladover, 2020).

Τα δίκτυα V2V και V2I, παρουσιάζουν μεγάλα πλεονεκτήματα και οφέλη στην καθημερινή χρήση των οχημάτων και των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας. Βασικότερο όφελος είναι η βελτίωση ασφάλειας καθώς συμβάλλουν στη μείωση ατυχημάτων, αντιμετωπίζοντας άσχημες οδηγικές συμπεριφορές και με αυτό τον τρόπο επιτρέπουν την πρόληψη έναντι των συγκρούσεων, ειδοποιώντας για ένα απότομο φρενάρισμα που εγκυμονεί κίνδυνο σύγκρουσης (Smithetal., 2019). Επιπλέον η τεχνολογία αυτή συμβάλει στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, καθώς η επικοινωνία οχημάτων με υποδομές, φωτεινούς σηματοδότες, αισθητήρες κλπ, οι οδηγοί λαμβάνουν πληροφορίες για οδούς με αυξημένη κυκλοφορία, ώστε να επιλέγουν άλλες διαδρομές (Zhouetal., 2022). Τα δίκτυα V2X είναι πολύ σημαντικά στην ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων, καθώς παρέχουν τα δεδομένα που απαιτούνται για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, ώστε να βελτιώνεται η αυτοματοποίηση των διαδικασιών λειτουργίας τους. Τέλος με τη βελτιστοποίηση των δρομολογίων και την αποφυγή άσκοπων στάσεων, τα δίκτυα V2X μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη βιώσιμη κινητικότητα και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (Kumar&Singh, 2020).

Τα δίκτυα V2V και V2I, έχουν σημαντικές εφαρμογές, ώστε να συμβάλουν στην επίτευξη των βασικών στόχων της κυκλοφοριακής διαχείρισης. Μία σημαντική εφαρμογή, που αναπτύσσεται στα οχήματα είναι το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης συγκρούσεων, ή αλλιώς FCW (Forward Collision Warning), το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνολογία V2V για την ειδοποίηση άλλων οδηγών σχετικά με οχήματα που ακινητοποιούνται ή μειώνουν απότομα την ταχύτητά τους, όταν κινούνται μπροστά τους (Lietal., 2021). Επιπλέον η τεχνολογία V2I, έχει τη δυνατότητα, να εντοπίζει, να διαχειρίζεται την προτεραιότητα και τους χρόνους αναμονής στα φανάρια, βελτιώνοντας την ασφάλεια τόσο των οδηγών όσο και των πεζών (Shladover, 2020). Σημαντική είναι επίσης και η δυνατότητα προσαρμογής της ταχύτητας των οχημάτων, ώστε οι οδηγοί να λαμβάνουν ειδοποιήσεις για τα όρια ταχύτητα και την προσαρμογή της, ώστε να διατηρείται η ιδανική που απαιτείται για να μην αυξομειώνεται συχνά σε φωτεινούς σηματοδότες και διασταυρώσεις.

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, οι υλοποίηση δικτύων V2X, διατηρούν ορισμένες επιφυλάξεις και παρουσιάζουν προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Και σε αυτά τα δίκτυα βασική πρόκληση αποτελεί η ασφάλεια και ιδιωτικότητα των

δεδομένων που διακινούνται. Τα ασύρματα δίκτυα προκαλούν ισχυρές ανησυχίες για την ασφάλεια που προσφέρουν, τόσο για την ασφάλεια προσωπικών δεδομένων, όσο και για την ευαισθησία που παρουσιάζουν σε ενδεχόμενες κυβερνοεπιθέσεις, καθώς είναι εύκολο να παραβιαστούν τα πρωτόκολλα ασφαλείας των δικτύων. Το κόστος των υποδομών και σε αυτή την περίπτωση παραμένει υψηλό, καθώς απαιτείται ένα πυκνό πλέγμα σε αισθητήρες κεραιές και αναμεταδότες, υποδομές που θα πρέπει να αναβαθμίζονται σε πυκνά χρονικά διαστήματα, παράλληλα με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας. Για το λόγο αυτό, οικονομικότερα δίκτυα, όταν αναπτύσσονται θα πρέπει να ελέγχονται ώστε να καλύπτουν ένα ελάχιστο εύρος διαλειτουργικότητας, ώστε να αποφεύγεται η απουσία κοινών πρότυπων και πρωτοκόλλων, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά στην συνεργασία μεταξύ υποδομών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές (Shladover, 2020).

Προκειμένου να γίνει καθολική η χρήση των δικτύων V2V, V2I και V2X, θα πρέπει να υιοθετηθούν κάποιες ελάχιστες τεχνολογικές προδιαγραφές, από αρκετά κράτη και πόλεις, ώστε τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας και οι αντίστοιχες εφαρμογές και υποδομές που εγκαθίστανται, να έχουν δυνατότητα διασύνδεσης με τα σύγχρονα οχήματα, όπως ορίζουν οι τάσεις στην αυτοκινητοβιομηχανία. Βασική προϋπόθεση είναι η ευρεία επέκταση και υιοθέτηση των δικτύων 5G, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της ποιοτικής βελτίωσης των επικοινωνιών και η υλοποίηση προηγμένων τεχνολογικών εφαρμογών. Το μέλλον της αυτοκίνησης οδηγείται στην αυτονομία και την ανάπτυξη αυτόνομων μη επανδρωμένων οχημάτων, τάση στην οποία τα υπόψη δίκτυα θα διαδραματίσουν βασικό ρόλο, ώστε η αυτοκινητοβιομηχανία να αναπτύξει πλήρως αυτοματοποιημένα μέσα κίνησης και μεταφορών, μέσω της ενίσχυσης της συνδεσιμότητας μεταξύ αυτόνομων οχημάτων και υποδομών. Με τον τρόπο αυτό η τεχνολογία V2X θα χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα και σταδιακά θα ενσωματωθεί και σε άλλους τομείς, όπως η διαχείριση στόλων εμπορευματικών μεταφορών, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο σε όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Διαπιστώνεται δηλαδή ότι τα δίκτυα V2V και V2I, αποτελούν μία από τις βασικότερες προϋποθέσεις, ανάπτυξης των έξυπνων εφαρμογών στο μέλλον καθώς αποτελούν τον πυρήνα της συνδεσιμότητάς μεταξύ χρηστών και υποδομών. Η εξέλιξή τους στο μέλλον θα βελτιώσουν διάφορα ζητήματα που αφορούν την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα και την εξυπηρέτηση των χρηστών. Επομένως οι παρούσες δυσκολίες και προκλήσεις θα βελτιωθούν με την αναμενόμενη εξέλιξη τεχνολογικών εφαρμογών όπως το 5G και η τεχνητή νοημοσύνη, εξασφαλίζοντας στο μέλλον ένα περιβάλλον που θα ανταποκρίνεται καλύτερα στους στόχους των συστημάτων

της διαχείρισης κυκλοφορίας, όπως η ασφάλεια, η αποτελεσματικότητα, η βιωσιμότητά, η εξυπηρέτηση των χρηστών και η υποστήριξη των έξυπνων πόλεων (Wangetal., 2021).

Κεφάλαιο 4: Intelligent Management Systems (IMS)

4.1 Έννοιες-Θεωρητικό Πλαίσιο

Τα Συστήματα Ευφυούς Διαχείρισης αποτελούν ολοκληρωμένες τεχνολογικές λύσεις που συνδυάζουν σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, την Τεχνητή Νοημοσύνη και την Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων, με στόχο την αποδοτική διαχείριση και επίλυση σύνθετων αστικών ζητημάτων. Τα συστήματα αυτά έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά τη δυνατότητα λήψης αυτόνομων αποφάσεων, την πρόβλεψη και πρόληψη προβλημάτων μέσω προηγμένων αναλύσεων δεδομένων, καθώς και τη συνεχή προσαρμογή των λειτουργιών τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες των αστικών κέντρων (Albino et al., 2015).

Η εμφάνιση του όρου IMS εντοπίζεται αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν οι ψηφιακές τεχνολογίες άρχισαν να εφαρμόζονται ευρύτερα στον τομέα της αστικής διαχείρισης, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις. Ωστόσο, η πραγματική ανάπτυξη και εφαρμογή των IMS πραγματοποιήθηκε κατά την τελευταία δεκαετία, όπου η εξέλιξη και ευρεία διαθεσιμότητα τεχνολογιών όπως οι έξυπνοι αισθητήρες, το 5G και η προηγμένη μηχανική μάθηση, δημιούργησαν ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων και ευέλικτων συστημάτων ευφυούς διαχείρισης (Angelidou, 2014). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαρκής εξέλιξη του εννοιολογικού και εφαρμοσμένου πλαισίου των IMS. Ενώ αρχικά τα IMS περιορίζονταν σε απλές και μεμονωμένες εφαρμογές, σήμερα παρατηρείται μια μετάβαση προς ολοκληρωμένα συστήματα που ενσωματώνουν πολλαπλές τεχνολογίες και εφαρμογές, με σκοπό την πλήρη κάλυψη των πολύπλευρων αναγκών των σύγχρονων πόλεων. Παραδείγματα τέτοιων ολοκληρωμένων προσεγγίσεων περιλαμβάνουν την έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας, τη βελτιστοποίηση των δικτύων ενέργειας, την αποδοτική διαχείριση των απορριμμάτων και την ενίσχυση της ασφάλειας των πολιτών μέσω προηγμένων συστημάτων επιτήρησης και προειδοποίησης (Batty, 2013).

Η σημασία των IMS στη σύγχρονη αστική διαχείριση είναι ιδιαίτερα σημαντική, δεδομένου ότι οι σύγχρονες πόλεις αντιμετωπίζουν ολοένα και πιο σύνθετες προκλήσεις που αφορούν την ταχεία αστικοποίηση, την αυξημένη ζήτηση για υποδομές και υπηρεσίες, καθώς και τις πιέσεις για βιωσιμότητα και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Τα IMS προσφέρουν εργαλεία για τη δυναμική και αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, μέσω της βελτιστοποίησης της χρήσης πόρων, της μείωσης του λειτουργικού κόστους, της αύξησης της ασφάλειας και της ενίσχυσης της ποιότητας ζωής

(Kitchin, 2014). Παράλληλα, η υλοποίηση τέτοιων συστημάτων επιτρέπει τη δημιουργία έξυπνων και διασυνδεδεμένων υποδομών που υποστηρίζουν τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, τη συμμετοχικότητα και την ενίσχυση της καινοτομίας στον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα (Nam & Pardo, 2011).

Ωστόσο, είναι απαραίτητη μια κριτική θεώρηση των IMS, καθώς παρά τα πολλαπλά οφέλη τους, παρουσιάζουν ζητήματα που σχετίζονται με την προστασία προσωπικών δεδομένων, την τεχνολογική εξάρτηση των αστικών υποδομών και τον πιθανό αποκλεισμό κοινωνικών ομάδων που δεν διαθέτουν πρόσβαση στις νέες τεχνολογίες (Greenfield, 2013). Συνεπώς, η αξιοποίηση των IMS πρέπει να συνοδεύεται από κατάλληλες πολιτικές και μέτρα για τη διασφάλιση της κοινωνικής ισότητας, της προστασίας της ιδιωτικότητας και της ψηφιακής προσβασιμότητας όλων των πολιτών.

4.2 Βασικές Τεχνολογίες Υποστήριξης των IMS

Η ανάπτυξη των IMS στηρίζεται καθοριστικά σε μια σειρά από προηγμένες τεχνολογίες, οι οποίες αλληλεπιδρούν και συνδυάζονται για την αποτελεσματική διαχείριση σύνθετων αστικών περιβαλλόντων. Οι βασικές τεχνολογίες που υποστηρίζουν τα IMS, είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Μηχανική Μάθηση, η Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων και τα Συστήματα Νέφους, όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Internet of Things

Το IoT αποτελεί δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών, αισθητήρων και υποδομών που επικοινωνούν μεταξύ τους, επιτρέποντας τη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Στον αστικό χώρο, το IoT εφαρμόζεται ευρέως στη διαχείριση κυκλοφορίας, στα συστήματα έξυπνου φωτισμού, στη διαχείριση αποβλήτων και στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων. Παρέχει τη δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης, αυτοματοποίησης και προληπτικής συντήρησης των υποδομών, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και την εξοικονόμηση πόρων (Gubbi et al., 2013). Ωστόσο, απαιτείται προσεκτική διαχείριση ζητημάτων ασφαλείας και προστασίας δεδομένων για την αποφυγή διαρροών και κακόβουλων ενεργειών.

Τεχνητή Νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στα συστήματα να προσομοιώνουν ανθρώπινες διαδικασίες σκέψης και αποφάσεων. Στα IMS, η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιείται για ανάλυση σύνθετων δεδομένων, βελτιστοποίηση λήψης αποφάσεων και αυτοματοποιημένη διαχείριση συμβάντων. Εφαρμόζεται ευρέως σε τομείς όπως η έξυπνη κινητικότητα, η πρόβλεψη κυκλοφοριακών προβλημάτων, και η διαχείριση έκτακτων καταστάσεων (Russell & Norvig, 2016). Παρόλα αυτά, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης εγείρει ζητήματα διαφάνειας και ευθύνης όσον αφορά τις αποφάσεις που λαμβάνονται αυτόνομα από συστήματα.

Μηχανική Μάθηση

Η μηχανική μάθηση αποτελεί υποκατηγορία της τεχνητής νοημοσύνης, εστιάζοντας στην ανάπτυξη αλγορίθμων που επιτρέπουν στα συστήματα να «μαθαίνουν» από τα δεδομένα και να βελτιώνουν την απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου. Στα IMS, η μηχανική μάθηση βοηθά στην ανάλυση δεδομένων αισθητήρων, πρόβλεψη τάσεων και αυτοματοποίηση αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, όπως για παράδειγμα την πρόβλεψη και αντιμετώπιση κυκλοφοριακής συμφόρησης ή την προληπτική συντήρηση υποδομών (Bishop, 2006). Εντούτοις, απαιτείται προσεκτική επιλογή και επεξεργασία δεδομένων για την αποφυγή ανακριβών συμπερασμάτων και προβλημάτων ηθικής φύσης.

Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων αφορά την επεξεργασία και την εξαγωγή συμπερασμάτων από τεράστιους όγκους δεδομένων που συλλέγονται από ποικίλες πηγές, όπως αισθητήρες, κοινωνικά δίκτυα και κινητά τηλέφωνα. Στον τομέα των IMS, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων επιτρέπει την αποδοτική και ακριβή πρόβλεψη καταστάσεων, βελτιστοποίηση πόρων, και λήψη στρατηγικών αποφάσεων που βασίζονται σε αντικειμενικά δεδομένα (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013). Παράλληλα, ανακύπτουν σημαντικές προκλήσεις όπως η διαχείριση του όγκου δεδομένων, η ποιότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων καθώς και ζητήματα προστασίας ιδιωτικότητας.

Συστήματα Νέφους

Τα συστήματα νέφους προσφέρουν υπολογιστική ισχύ και αποθηκευτικούς πόρους μέσω διαδικτύου, επιτρέποντας την κεντρική διαχείριση, την υψηλή διαθεσιμότητα και την ευελιξία στην επεξεργασία δεδομένων. Στον χώρο των IMS, το cloud computing επιτρέπει

την άμεση πρόσβαση στα δεδομένα, τη γρήγορη απόκριση και τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και φορέων (Buyya et al., 2013). Ωστόσο, η εξάρτηση από το νέφος καθιστά απαραίτητη την προσεκτική διαχείριση ζητημάτων ασφάλειας, αξιοπιστίας και ιδιωτικότητας των δεδομένων.

4.3 Κατηγορίες και Εφαρμογές IMS

Τα Intelligent Management Systems ταξινομούνται και εφαρμόζονται σε διάφορες κατηγορίες, στοχεύοντας στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των σύγχρονων αστικών προκλήσεων. Από αυτές της κατηγορίες και τις εφαρμογές που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας, τα Συστήματα Έξυπνου Φωτισμού και Σηματοδότησης, τα Έξυπνα Συστήματα Στάθμευσης, τα Συστήματα Ενημέρωσης Οδηγών και Πολιτών και τα Συστήματα Διαχείρισης Έκτακτων Περιστατικών.

Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας

Τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας αποτελούν βασική κατηγορία των IMS, χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες αισθητήρων, IoT και τεχνητής νοημοσύνης για τη συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση δεδομένων κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στην αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης, τη βελτίωση της ροής οχημάτων και την αύξηση της ασφάλειας στους δρόμους. Η δυναμική διαχείριση σηματοδότησης και η αυτόματη προσαρμογή των κυκλοφοριακών σχεδίων σε πραγματικό χρόνο είναι ενδεικτικά παραδείγματα της εφαρμογής τους (Papageorgiou et al., 2003).

Συστήματα Έξυπνου Φωτισμού και Σηματοδότησης

Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού και σηματοδότησης ενσωματώνουν τεχνολογίες IoT και αισθητήρων για την προσαρμογή της έντασης και του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας του φωτισμού και των σηματοδοτών, ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες. Αυτές οι τεχνολογίες συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, του κόστους συντήρησης και στην αύξηση της ασφάλειας, ειδικά σε περιπτώσεις έκτακτων συμβάντων ή περιορισμένης ορατότητας (Bhati & Hansen, 2016).

Έξυπνα Συστήματα Στάθμευσης (Smart Parking Systems)

Τα έξυπνα συστήματα στάθμευσης αξιοποιούν αισθητήρες IoT, δεδομένα από εφαρμογές κινητών τηλεφώνων και αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης για τη διαχείριση και βελτιστοποίηση των διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης. Μέσω αυτών των συστημάτων, μειώνεται ο χρόνος αναζήτησης θέσης στάθμευσης, βελτιώνεται η ροή κυκλοφορίας και περιορίζονται οι εκπομπές ρύπων λόγω περιττών μετακινήσεων, παρέχοντας στους οδηγούς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη διαθεσιμότητα θέσεων (Lin et al., 2017).

Συστήματα Ενημέρωσης Οδηγών και Πολιτών

Τα συστήματα ενημέρωσης οδηγών και πολιτών παρέχουν έγκαιρη και αξιόπιστη πληροφόρηση σχετικά με κυκλοφοριακές συνθήκες, καιρικά φαινόμενα, έκτακτα συμβάντα και άλλες κρίσιμες πληροφορίες. Χρησιμοποιώντας εφαρμογές κινητών συσκευών, ψηφιακές πινακίδες και συστήματα κοινωνικής δικτύωσης, τα IMS ενημερώνουν τους πολίτες και συμβάλλουν στη βελτίωση της ασφάλειας και της κινητικότητας, προωθώντας παράλληλα την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στην αποτελεσματική διαχείριση των αστικών χώρων (Goh & Ubeynarayana, 2017).

Συστήματα Διαχείρισης Έκτακτων Περιστατικών

Τα IMS διαχείρισης έκτακτων περιστατικών αξιοποιούν προηγμένες τεχνολογίες, όπως IoT, Big Data και Cloud Computing, για τη γρήγορη ανίχνευση, την αποτελεσματική αξιολόγηση και την άμεση αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων, όπως φυσικές καταστροφές ή ατυχήματα. Η χρήση αυτών των συστημάτων ενισχύει την προετοιμασία και τον συντονισμό των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, περιορίζοντας τις αρνητικές επιπτώσεις στους πολίτες και τις υποδομές (Comfort et al., 2012).

4.4 Αναλυτική Παρουσίαση Δέκα (10) IMS: Χρονολογική Σειρά και Αξιολόγηση

Η αυξανόμενη ανάγκη καλύτερης διαχείρισης της κυκλοφορίας, δημιούργησε έντονα την ανάγκη της εφαρμογής αντίστοιχων συστημάτων, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των τεχνολογιών. Έτσι από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, που οι αυτοματισμοί άρχισαν να παρουσιάζουν ολοένα και ευρύτερο πεδίο εφαρμογών, αντίστοιχα συστήματα εισήλθαν στην υπηρεσία μεγάλων αστικών κέντρων ανά τον κόσμο, ιδιαίτερα στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες. Ένα από τα πρώτα σημαντικά και ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας θεωρείται αυτό που εφαρμόστηκε

στην πόλη του Λονδίνου και σταδιακά η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών υιοθετήθηκε από ολοένα μεγαλύτερο αριθμό πόλεων, μέχρι σήμερα που πλέον τεχνολογίες όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη και η ανάλυση δεδομένων αλλά και η διασύνδεση και διαλειτουργικότητα των εφαρμογών αποτελούν τις βασικές τεχνολογικές καινοτομίες στα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας. Από αυτά τα συστήματα δέκα αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις, σε παγκόσμια κλίμακα, αποτελούν, οι πόλεις του Λονδίνου, του Σύδνεϋ, του Σαν Φρανσίσκο, της Σιγκαπούρης, του Μπουένος Άιρες, της Νέας Υόρκης, της Κοπεγχάγης, του Άμπου Ντάμπι, που παρουσιάζονται στη συνέχεια, αλλά και του Άμστερνταμ, που ιδιαίτερη μελέτη και ανάλυση θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Σύστημα SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique). Το σύστημα SCOOT αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980 στο Λονδίνο και χρησιμοποιεί αισθητήρες δρόμου για δυναμική διαχείριση σηματοδοτών (Robertson & Bretherton, 1991). Εφαρμόζει αλγορίθμους βελτιστοποίησης χρόνου κύκλου σηματοδοσίας, επιτυγχάνοντας βελτίωση της κυκλοφορίας έως και 20% (Papageorgiou et al., 2003).

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System). Το SCATS εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο Σίδνεϋ το 1989, αξιοποιώντας αισθητήρες για τη δυναμική προσαρμογή των σηματοδοτών και μειώνοντας αποτελεσματικά τους χρόνους αναμονής (Lowrie, 1990). Ωστόσο, το υψηλό κόστος εγκατάστασης αποτελεί εμπόδιο για πολλές πόλεις.

Σύστημα Διαχείρισης Έκτακτων Περιστατικών Νέας Υόρκης. Το σύστημα της Νέας Υόρκης, που εφαρμόστηκε μετά το 2001, χρησιμοποιεί IoT, Big Data και Cloud Computing για συντονισμό υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης (Comfort et al., 2012). Προκλήσεις σχετικά με την ασφάλεια δεδομένων εξακολουθούν να υπάρχουν.

Waze, Σύστημα Πληροφόρησης Οδηγών. Το Waze αξιοποιεί την τεχνολογία crowdsourcing από το 2006 για ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με κυκλοφοριακές συνθήκες και συμβάντα (Silva et al., 2013). Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από την ενεργή συμμετοχή των χρηστών. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με το Google Maps. Η εφαρμογή δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες ενταγμένη σε ένα ευρύτερο σύστημα IMS, για πρώτη φορά στο Γιοχάνεσμπουργκ το 2007.

Masdar City Intelligent Systems. Η Masdar City (2008) στο Άμπου Ντάμπι χρησιμοποιεί IoT, AI και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση

στην κατανάλωση ενέργειας (Reiche, 2010). Η υψηλή τεχνολογική εξάρτηση αποτελεί κίνδυνο για αποκλεισμό.

Amsterdam Smart City. Το Amsterdam Smart City (2009) ενσωματώνει IoT, AI, Big Data και Cloud Computing, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα ζωής και τη βιωσιμότητα, παρά τα θέματα προστασίας προσωπικών δεδομένων που έχουν παρουσιαστεί και εκτενέστερα θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο, ώστε να αναδειχθεί η σημασία των IMS και των Συστημάτων Διαχείρισης Κυκλοφορίας.

SFpark Smart Parking. Το SFpark στο Σαν Φρανσίσκο (2011) χρησιμοποιεί αισθητήρες IoT για παρακολούθηση της διαθεσιμότητας θέσεων στάθμευσης. Παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο αναζήτησης θέσεων (Pierce & Shoup, 2013). Ωστόσο, η αξιοπιστία και το κόστος αισθητήρων περιορίζουν την εφαρμογή του.

Intelligent Transport System (ITS), Σιγκαπούρη. Το ITS της Σιγκαπούρης από το 2013 συνδυάζει IoT, Big Data και AI για βελτίωση της κυκλοφορίας, μειώνοντας σημαντικά τους χρόνους μετακίνησης (Menon et al., 2017). Παρόλα αυτά, η διαχείριση προσωπικών δεδομένων αποτελεί βασικό ζήτημα.

Philips CityTouch. Το CityTouch στο Μπουένος Άιρες (2013) χρησιμοποιεί αισθητήρες IoT για τον έλεγχο φωτισμού, επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση ενέργειας έως 50% (Bhati & Hansen, 2016). Το υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης, όμως, αποτελεί πρόκληση.

Copenhagen Connecting. Το Copenhagen Connecting (2014) αξιοποιεί αισθητήρες IoT και Big Data, βελτιώνοντας την αστική κινητικότητα και βιωσιμότητα (Mora et al., 2019). Ωστόσο, το κόστος εφαρμογής και η πολυπλοκότητα των τεχνολογιών είναι περιοριστικοί παράγοντες.

4.5 Σύγκριση και Κριτική Αξιολόγηση των IMS

Η συγκριτική αξιολόγηση των Intelligent Management Systems αποκαλύπτει ποικίλες διαστάσεις της εφαρμογής και της αποτελεσματικότητάς τους στις σύγχρονες αστικές προκλήσεις. Συστήματα όπως το SCOOT και το SCATS αποδεικνύουν ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής, ωστόσο απαιτούν σημαντικές αρχικές επενδύσεις και διαρκή υποστήριξη (Papageorgiou et al., 2003; Lowrie, 1990). Το SFpark επίσης προσφέρει σημαντικά οφέλη, ιδιαίτερα σε πόλεις με έντονο πρόβλημα

στάθμευσης, αλλά αντιμετωπίζει προκλήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία των αισθητήρων και το κόστος εγκατάστασης (Pierce & Shoup, 2013).

Αντίστοιχα τα συστήματα έξυπνου φωτισμού όπως το CityTouch είναι αξιοσημείωτα για τη συμβολή τους στην ενεργειακή απόδοση και στη μείωση του λειτουργικού κόστους (Bhati & Hansen, 2016). Παρόλα αυτά, η αρχική επένδυση παραμένει υψηλή και αποτελεί εμπόδιο, ιδιαίτερα για πόλεις με περιορισμένους οικονομικούς πόρους. Αντίστοιχα, η πλατφόρμα Waze παρουσιάζει μεγάλη αποτελεσματικότητα στην ενημέρωση των οδηγών, αλλά εξαρτάται έντονα από την ενεργό συμμετοχή των χρηστών, θέτοντας ερωτήματα σχετικά με την αξιοπιστία των δεδομένων (Silva et al., 2013).

Όσο αφορά στα συστήματα διαχείρισης έκτακτων περιστατικών, όπως εκείνο της Νέας Υόρκης, αναδεικνύεται η σπουδαιότητα της άμεσης απόκρισης και του αποτελεσματικού συντονισμού. Ωστόσο, ζητήματα όπως η ασφάλεια των δεδομένων και η προστασία της ιδιωτικότητας παραμένουν κρίσιμα (Comfort et al., 2012). Το Copenhagen Connecting και η Masdar City αποδεικνύουν πώς οι τεχνολογίες μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά τη βιωσιμότητα, αλλά η τεχνολογική πολυπλοκότητα και το υψηλό κόστος εφαρμογής περιορίζουν τη δυνατότητα ευρείας υιοθέτησης (Mora et al., 2019; Reiche, 2010).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μίας ολοκληρωμένης προσέγγισης συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας, που ενσωματώνει πολλές τεχνολογίες και προσφέρει πολλαπλά οφέλη είναι το Amsterdam Smart City. Βέβαια παρά το γεγονός ότι αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα, το σύστημα αυτό έχει εγείρει σημαντικά ερωτήματα σχετικά με την προστασία προσωπικών δεδομένων και την ψηφιακή προσβασιμότητα (Zoonen, 2016), όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Συνεπώς η αξιολόγηση των IMS δείχνει ότι, για την επιτυχημένη υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων, απαιτείται μια ολιστική προσέγγιση που θα λαμβάνει υπόψη τεχνολογικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα, η δικαιοσύνη και η ισότιμη πρόσβαση σε όλες τις ομάδες του πληθυσμού.

Κεφάλαιο 5: Μελέτη Περίπτωσης-Συστήματα Διαχείρισης Κυκλοφορίας στο Άμστερνταμ

5.1 Εισαγωγή – Amsterdam Smart City

Το Άμστερνταμ είναι η πρωτεύουσα της Ολλανδίας και η μεγαλύτερη σε πληθυσμό πόλη της χώρας. Η πόλη έχει μεγάλη ιστορία και θεωρείται από τα μεγαλύτερα και πιο ιστορικά κέντρα της Ευρώπης. Το Άμστερνταμ αποτελεί μία από τις πιο προηγμένες πόλεις παγκοσμίως όσον αφορά την υιοθέτηση και εφαρμογή συστημάτων ευφυούς διαχείρισης. Το Amsterdam Smart City (ASC), το οποίο ξεκίνησε το 2009, είναι ένα πρωτοποριακό έργο που ενσωματώνει διάφορες τεχνολογίες όπως το Internet of Things, Big Data, Τεχνητή Νοημοσύνη και Cloud Computing, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο δίκτυο έξυπνων υπηρεσιών για τη διαχείριση της πόλης (Amsterdam Smart City, 2020).

Κεντρικός στόχος του ASC είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και η ενίσχυση της βιωσιμότητας μέσω της αξιοποίησης καινοτόμων τεχνολογιών (Mora et al., 2019). Ενδεικτικές εφαρμογές του συστήματος περιλαμβάνουν την έξυπνη διαχείριση της κυκλοφορίας, τα έξυπνα συστήματα στάθμευσης, τον έξυπνο φωτισμό δρόμων και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Για παράδειγμα, το σύστημα «Talking Traffic» χρησιμοποιεί αισθητήρες IoT, εφαρμογές κινητών τηλεφώνων και προηγμένους αλγόριθμους AI για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας και τη δυναμική διαχείριση των σηματοδοτών (Goh & Ubeynarayana, 2017). Το σύστημα αυτό έχει μειώσει σημαντικά τη συμφόρηση και έχει βελτιώσει τη συνολική κινητικότητα της πόλης, με συνέπεια τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την εξοικονόμηση χρόνου για τους πολίτες (Lin et al., 2017).

Η καινοτομία του ASC δεν περιορίζεται μόνο στις τεχνολογικές εφαρμογές αλλά επεκτείνεται και στη διαχείριση δεδομένων μέσω της χρήσης πλατφορμών νέφους. Η πλατφόρμα δεδομένων του ASC συγκεντρώνει και επεξεργάζεται μεγάλους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι την άμεση λήψη αποφάσεων και την προσαρμογή των πολιτικών και δράσεων της πόλης με βάση την πραγματική κατάσταση και τις ανάγκες των πολιτών (Vanolo, 2014). Η προσέγγιση αυτή προσφέρει αυξημένη διαφάνεια και προωθεί την ενεργή συμμετοχή των πολιτών στη διαχείριση της πόλης μέσω ενημέρωσης και συνεργατικών πρωτοβουλιών.

Ωστόσο, παρά τις σημαντικές επιτυχίες του, το ASC αντιμετωπίζει συγκεκριμένες προκλήσεις. Πρώτον, η συλλογή και επεξεργασία μεγάλων όγκων προσωπικών δεδομένων εγείρει σημαντικά ζητήματα προστασίας ιδιωτικότητας και ασφάλειας, απαιτώντας διαρκή

προσοχή και συμμόρφωση με αυστηρούς κανονισμούς, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) (Zoonen, 2016). Επιπλέον, η τεχνολογική εξάρτηση δημιουργεί κίνδυνο ψηφιακού αποκλεισμού για κοινωνικές ομάδες που δεν έχουν άμεση πρόσβαση στις απαραίτητες υποδομές ή δεν διαθέτουν την απαιτούμενη τεχνολογική εκπαίδευση (Shelton et al., 2015).

Η εφαρμογή του ASC αποτελεί ένα χρήσιμο παράδειγμα βέλτιστης πρακτικής για άλλες πόλεις που επιθυμούν να ενσωματώσουν τεχνολογικές λύσεις για τη βελτίωση της αστικής ζωής. Εντούτοις, για τη βιώσιμη επιτυχία τέτοιων έργων, απαιτείται μια ολιστική προσέγγιση που να αντιμετωπίζει όχι μόνο τεχνολογικά αλλά και κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά ζητήματα, ώστε η εφαρμογή των IMS να είναι αποτελεσματική, δίκαιη και προσβάσιμη σε όλους τους πολίτες (Kitchin, 2014).

Τόσο ο Δήμος του Άμστερνταμ, οι διάφοροι κρατικοί φορείς αλλά και σημαντικές ιδιωτικές πρωτοβουλίες, έχουν συνεισφέρει σε σημαντικά έργα και σε αυτά συμμετέχουν ενεργά οι περισσότεροι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής, αλλά και διάφορες επιχειρήσεις (Huisken et al., 2020). Οι έξυπνες εφαρμογές που αναπτύχθηκαν, στην πόλη του Άμστερνταμ αφορούν σε μεγάλο βαθμό τις μεταφορές και τη βελτίωση της αποδοτικότητάς τους, σε συνδυασμό με την βιώσιμη ανάπτυξη. Μία σημαντική πρωτοβουλία που στοχεύει στην εξέλιξη και ενσωμάτωση νέων καινοτομιών είναι και το Amsterdam Smart City Challenge με το οποίο υποβάλλονται καινοτόμες προτάσεις για να εφαρμοστούν στην πόλη (Hoogerdoorn et al., 2013).

Εφαρμογές που αναδείχθηκαν μέσω του διαγωνισμού, έχουν γίνει αποδέκτες θετικών σχολίων και εφόσον διαπιστωθεί ότι μπορούν να βοηθήσουν εφαρμόζονται στην πράξη. Μία τέτοια εφαρμογή που σχετίζεται με συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας είναι και η Mobypark, (Dinar, 2018), που αφορά στη δυνατότητα που παρέχεται στους χρήστες είτε να ενοικιάσουν ιδιόκτητους χώρους στάθμευσης, αλλά και ταυτόχρονα να παρέχουν πληροφορίες για χρήστες που αναζητούν θέσεις στάθμευσης, αλλά και τη ροή κυκλοφορίας εντός της πόλης. Αντίστοιχες εφαρμογές που έχουν αναδειχθεί από αυτή την πρωτοβουλία, παρείχαν λύσεις για έξυπνο φωτισμό του αστικού δικτύου, αλλά και παρακολούθηση της κυκλοφορίας σε ζωντανό χρόνο (Dinar, 2018). Η μεγάλη αυτή απήχηση, που έχει η εφαρμογή αυτού του μοντέλου στο Άμστερνταμ, δημιουργεί εύλογη την ανάγκη να μελετηθεί περαιτέρω, ώστε να διερευνηθεί ο τρόπος που ο Δήμος Άμστερνταμ έχει σχεδιάσει την διαχείριση κυκλοφορίας οχημάτων εντός του αστικού ιστού, εφαρμογές που προέκυψαν από τη συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, αλλά

και πως γενικότερα το μοντέλο Smart City που εφαρμόζεται στο Άμστερνταμ, επιδρά στα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας (Dinar, 2018).

5.2 Δήμος Άμστερνταμ – Σχεδιασμός και Εφαρμογή Πρακτικών Διαχείρισης Κυκλοφορίας

Βασικό χαρακτηριστικό της πόλης είναι η έντονη παρουσία μετακίνησης με ποδήλατα, καθώς ο Δήμος έχει επενδύσει σημαντικούς πόρους σε ανάπτυξη ποδηλατοδρόμων, με ένα εκτενές δίκτυο, ενός προηγμένου συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας και εφαρμόζει ίδιος αντίστοιχες πρακτικές βιώσιμης ανάπτυξης (Δήμος Γλυφάδας, 2023). Όπως αναφέρει και ο Horijon (2017) η φιλοσοφία της διαχείρισης κυκλοφορίας στο Amsterdam βασίζεται στην προνοητικότητα και πρόβλεψη. Η προσέγγιση όλων των εμπλεκομένων ιδιαίτερα στο Δήμο είναι η βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας οχημάτων δημιουργώντας έξυπνες διαδρομές, σε διαφορετικούς τύπου οδικό δίκτυο με την συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων μερών. Ένα από τα μέτρα που εφαρμόζει είναι και η τηλεργασία, με σκοπό να μειώσει τις μετακινήσεις των εργαζομένων. Επιπλέον σημαντικό ρόλο στην αρνητική αντιμετώπιση των αυτοκινήτων είναι και η δημιουργία φραγμών στη δυνατότητα, ιδιόκτητης θέσεις στάθμευσης, μέσω αύξησης των τιμών. Άλλες πρακτικές που ακολουθούνται σχετίζονται με τη διατήρηση χαμηλών ορίων ταχύτητας εντός αστικού ιστού, προώθησης των μέσων μαζικής μεταφοράς, αλλά και το διαμοιρασμό αυτοκινήτου με άλλους χρήστες (car sharing), (City of Amsterdam, 2023). Εκτενής είναι και η χρήση ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, όπως ηλεκτρικά σκούτερ. Ο Δήμος Άμστερνταμ συνεχίζει και έχει μία πολιτική που προωθεί το ποδήλατο και ενισχύει την παρουσία του με διεύρυνση του δικτύου ποδηλατοδρόμων, ώστε να αυξήσει την ροή της κυκλοφορίας. Επιπλέον ενισχύει τις συνδέσεις των MMM στο εσωτερικό της πόλης, ώστε να αλληλοεπιδρούν θετικά με την ανάπτυξη της πόλης εντός του αστικού περιβάλλοντος, με στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη και διατήρηση του ύφους της πόλης (City of Amsterdam, 2023).

Σύμφωνα με τους Gilderboom κ.α (2019), η διαχείριση μεταφορών και κυκλοφορίας αποτελεί ένας τομέας που έχουν γίνει σημαντικά βήματα από την δημοτική αρχή ώστε να εξαλειφθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση στο κέντρο της πόλης, αλλά χωρίς αυτό να επηρεάσει την προσβασιμότητα για κατοίκους, επισκέπτες και προμηθευτές. (Gilderboom κ.α, 2019). Περίπου το 40% όλων των μετακινήσεων στην πόλη γίνεται με ποδήλατο και το 30% με τα πόδια. Από το 2019, τα μέσα μαζικής μεταφοράς, έχουν μετατραπεί στο μεγαλύτερο βαθμό σε «πράσινα οχήματα», με ηλεκτρικούς κινητήρες,

τάση που έχει μεταφερθεί και στις εταιρείες ταξί της χώρας (Gilderboom κ.α, 2019). Οι επενδύσεις σε έργα που αφορούν στην Έξυπνη Κινητικότητα και την Κινητικότητα ως Υπηρεσία παραμένουν αρκετά υψηλές και ένα από τα βασικά προγράμματα που τρέχουν από το Δήμο αυτή την περίοδο, είναι το Smart Mobility. Με το πρόγραμμα αυτό επιδιώκεται η ανάπτυξη της ηλεκτρικής κινητικότητας για τη δημιουργία ενός πιο ολιστικού δικτύου, αποτελούμενο από τρεις πυλώνες: την εφαρμογή της κοινής κινητικότητας στα οχήματα ιδιωτικής χρήσης, την παροχή κινήτρων για επιλογή οχημάτων φιλικά προς το περιβάλλον και την ψηφιοποίηση του συνόλου του δικτύου με σκοπό την ορθότερη διαχείριση κυκλοφορίας (Somayya & Ramaswamy, 2016). Όπως αναφέρουν και οι Dinnar et al., (2016), ο σχεδιασμός του Δήμου Άμστερνταμ περιλαμβάνει συνεχείς επενδύσεις στην κινητικότητα, στοχεύοντας στην εγκατάσταση περισσότερων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, παρά την υφιστάμενη πυκνότητα που αντιστοιχεί σε έναν σταθμό για κάθε τέσσερα ηλεκτρικά οχήματα. Στην εφαρμογή αυτών των πρακτικών παίζουν ρόλο και άλλοι κρατικοί και ιδιωτικοί φορείς και εταιρείες καθώς αναπτύσσουν συνεχώς νέα καινοτόμα συστήματα σύμφωνα με τις διαπιστωμένες ανάγκες του Δήμου (Somayya & Ramaswamy, 2016).

5.3 "Talking Traffic" - Συνεργασία Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα

Ο Van Der Lee (2024), περιγράφοντας το «έξυπνο» σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας της πόλης, παρατηρεί ότι αυτό είναι έτοιμο ώστε να ενσωματώνονται οι εφαρμογές που διαθέτουν τα οχήματα, όπως τα συστήματα πλοήγησης και να συμμετέχουν στη βελτίωση κυκλοφορίας εντός του αστικού ιστού. Ένα από τα συστήματα που δημιουργήθηκαν προκειμένου να δοθεί στο Δήμο Άμστερνταμ για εφαρμογή είναι το επονομαζόμενο "Talking Traffic". Το υπόψη έργο ήταν μία συνεργασία μεταξύ του Ολλανδικού Υπουργείου Υποδομών και Διαχείρισης Υδάτων, περίπου 60 περιφερειακών και τοπικών αρχών και 20 ολλανδικών και διεθνών εταιρειών, που διήρκησε πειραματικά από το 2019 έως το 2024, έχοντας άνω των 12.000 χρηστών και σκοπό να υλοποιηθεί από το 2025. Στόχος της συνεργασίας αυτής ήταν ο εκσυγχρονισμός και η ψηφιοποίηση της διαχείρισης της κινητικότητας στην Ολλανδία, μέσω της διασύνδεση των οχημάτων με τις υποδομές κυκλοφορίας και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Το πρόγραμμα αυτό περιείχε 39 εφαρμογές που είχαν ως σκοπό την ομαλότερη, ασφαλέστερη και βιώσιμη κυκλοφορία των μεταφορικών μέσων. (Van der Lee, 2024).

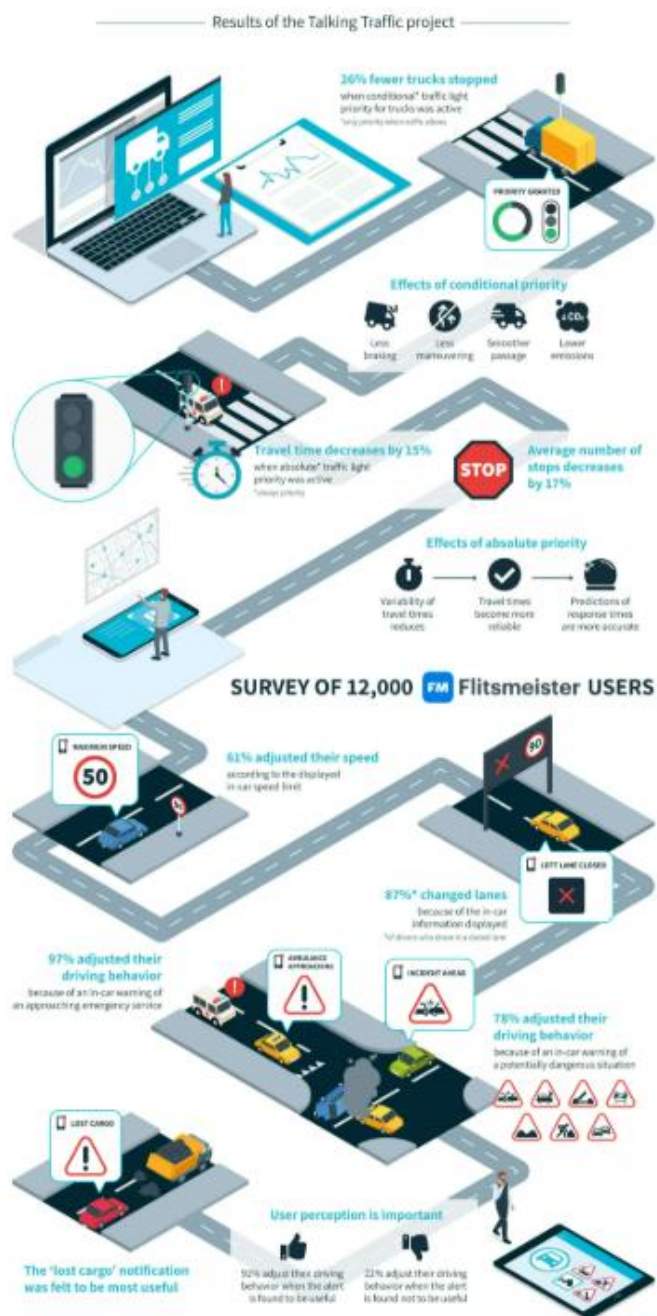
Μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), χρησιμοποιήθηκαν συσκευές ώστε να ενισχυθεί το έργο Talking Traffic και τα αποτελέσματα σε ορισμένες περιοχές της πόλης

εμφανίστηκαν στο επιθυμητό επίπεδο (Belli et al., 2020). Βασικά χαρακτηριστικά του έργου ήταν η εμφάνιση πραγματικών δυναμικών και στατικών ορίων ταχύτητας στο αυτοκίνητο, η προειδοποίηση στο αυτοκίνητο για δυνητικά επικίνδυνες καταστάσεις (οδικά έργα, οχήματα έκτακτης ανάγκης κ.λπ.), ο καθορισμός προτεραιότητας για ορισμένους χρήστες του οδικού δικτύου (οχήματα έκτακτης ανάγκης, ασθενοφόρα, πυροσβεστική, αστυνομία ή δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς). Επιπλέον ο σχεδιασμός του προέβλεπε διασταυρώσεις οι οποίες θα είναι εξοπλισμένες με φωτεινούς σηματοδότες, για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας, χρησιμοποιώντας δεδομένα κυκλοφορίας που μεταδίδονται από οχήματα συνδεδεμένα σε συγκεκριμένο δίκτυο.(Belli et al., 2020).

Η μείωση των ατυχημάτων και η ανάδειξη του τομέα της ασφαλούς πλοήγησης, σύμφωνα με τους Qonita et al., (2024), αποτέλεσε επίσης ένας σημαντικός παράγοντας για την εφαρμογή του έργου, καθώς κατά τη μελέτη περιπτώσεων με χαμηλή-μέση-υψηλή κυκλοφορία οχημάτων παρατηρήθηκε ότι οι συγκρούσεις μπορούσαν να αποφευχθούν πιο εύκολα. Πλέον των ανωτέρω το έργο είχε ως σκοπό την αξιολόγηση περιπτώσεων, παραγόντων και χρηστών που επηρεάζουν οδηγική συμπεριφορά, συγκεντρώνοντας δεδομένα από οχήματα, σηματοδότες, κατάσταση κυκλοφορίας και όρια ταχύτητας. Αποδέκτης όλων αυτών των δεδομένων ήταν το Υπουργείο Υποδομών και Διαχείρισης Υδάτων, το οποίο θα έπρεπε να τα επεξεργαστεί και τα αναλύσει ώστε να καταστήσει τα ευρήματα κατανοητά στο ευρύ κοινό. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάστηκε να γίνει ευρεία μέτρηση των φωτεινών σηματοδοτών, ρυθμίσεις μεταφοράς δεδομένων και χρήσης και όλα αυτά να συντονιστούν με τους δημοτικούς υπαλλήλους και να απεικονιστούν σωστά, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή ευθυγράμμιση με τους διάφορους εμπλεκόμενους φορείς. (Qonita et al., (2024).

Υπό αυτό το πλαίσιο αξιολογώντας την επικοινωνία μεταξύ των φορέων για την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος, διαπιστώθηκε, ότι απαιτείται αυτοματισμός στις διαδικασίες συνεργασίας, ώστε να υπάρχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, ιδιαίτερα όταν η συζήτηση περιστρέφεται γύρω από οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους (Bos, 2024). Το έργο αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μίας συντονισμένης συνεργασίας, μεταξύ κράτους, τοπικής αυτοδιοίκησης Α΄ και Β΄ βαθμού και επιχειρήσεων για να αναπτυχθεί και είχε ως επίκεντρο το χρήστη και την επίγνωση δυνητικά επικίνδυνων καταστάσεων, με τους χρήστες να λαμβάνουν ειδοποιήσεις, αυτοί με τη σειρά τους να κοινοποιούν τη θέση τους, ώστε να προσαρμόζεται συνεχώς ο χρόνος αναμονής στους φωτεινούς σηματοδότες και να έχουν προτεραιότητα οχήματα έκτακτης ανάγκης και ασφαλείας, κάνοντας τη

διαδρομή τους ταχύτερη και ασφαλέστερη. Η αρχιτεκτονική του σχεδίου αλληλεπίδρασης των χρηστών του δικτύου φαίνεται στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική Διασύνδεσης συστήματος Talking Traffic (Πηγή: Bos, 2024)

Τα φιλόδοξα σχέδια του Άμστερνταμ να αναπτύξει «έξυπνους φωτεινούς σηματοδότες» για την αντιμετώπιση της συμφόρησης και τον εξορθολογισμό της ροής της κυκλοφορίας εγκαταλείφθηκαν επίσημα το 2025 μετά από τις αυξανόμενες εκδηλώσεις ανησυχίας σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής, την προστασία δεδομένων και τους κινδύνους στον κυβερνοχώρο (Kurrant, 2025). Μετά από παρέμβαση της Ολλανδικής Αρχής Προστασίας Δεδομένων (DPA), υψώθηκαν περιορισμοί σχετικά με την ενδεχόμενη

απουσία προστασίας προσωπικών δεδομένων και διεγέρθηκαν ανησυχίες σχετικά με τη δυνατότητα κατάχρησης αυτών, την απουσία διαφάνειας ως προς τη διαχείριση και επεξεργασία τους (Kurrant, 2025) Επιπλέον η ψηφιοποίηση των δεδομένων εγείρει ανησυχίες, λόγω των κινδύνων που αναδύονται στον κυβερνοχώρο και την πιθανότητα παραβίασης των υπόψη συστημάτων, από χάκερ ή τρομοκράτες, θέτοντας εν αμφιβόλω τη δημόσια ασφάλεια. Παρά τις αρχικές δοκιμές το 2024 και τις ελπίδες ότι το σύστημα θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας, αυτοί οι κίνδυνοι αποδείχθηκαν πολύ μεγάλοι για να συνεχιστεί το έργο, καθώς η τεχνολογία του βασίστηκε σε δημοφιλή εργαλεία όπως οι Χάρτες Google. Οι επικριτές υποστήριξαν ότι μια τέτοια συλλογή δεδομένων θα δημιουργούσε ένα άνευ προηγουμένου επίπεδο επιτήρησης, εγείροντας ανησυχίες για διαρροές δεδομένων και κακή χρήση, αναστέλλοντας έτσι την λειτουργία του έργου. (Woodward, 2025).

Η απόφαση αναστολής του έργου πάρθηκε, παρά το γεγονός ότι στην Ολλανδία υπάρχει εξισορρόπηση της τεχνολογικής καινοτομίας με τη βιώσιμη ανάπτυξη. Παρόμοια έργα σε άλλες ολλανδικές πόλεις βρίσκονται τώρα υπό έλεγχο, καθώς οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής της χώρας αντιμετωπίζουν αντίστοιχες προκλήσεις. Η φιλόδοξη αυτή προσπάθεια στο Άμστερνταμ για τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, δεν ευοδώθηκε προς το παρόν, καθώς η κατάσταση αυτή τροφοδότησε περαιτέρω τον σκεπτικισμό σχετικά με τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια του έργου (Kurrant, 2025).

5.4 "Amsterdam Smart City" - Πρωτοβουλία για Έξυπνες Μεταφορές

Το "Amsterdam Smart City" είναι επίσης μία πρωτοβουλία συγκέντρωσε δημόσιους φορείς, επιχειρήσεις και πολίτες στο Άμστερνταμ ώστε να αναπτυχθούν καινοτόμες λύσεις ώστε να βελτιωθεί ποιότητα ζωής στην πόλη. Ειδικότερα στον τομέα των μεταφορών, δοκιμάστηκαν διάφορες λύσεις, όπως η διαχείριση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η ανάδειξη βιώσιμων μέσων μεταφοράς, όπως το ποδήλατο, η επιπλέον ανάπτυξη των μέσων μαζικής μεταφοράς, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας. (Raes et al., 2025). Όπως θα αναλυθεί παρακάτω οι λύσεις που εφαρμόστηκαν οδήγησαν στη μείωση χρήσης ιδιωτικής χρήσης οχημάτων, τη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών και την ενίσχυση της βιώσιμης κινητικότητας. Ιδιαίτερα όσο αφορά τη σχέση κόστους-οφέλους των «έξυπνων» συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας, οι Raes et al., (2025), διατύπωσαν ότι αυτή είναι της τάξεως 1:20, υπέρ των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Η πρωτοβουλία αυτή ξεκίνησε το 2007, και αξιοποιήθηκαν οι ψηφιακές

τεχνολογίες και εφαρμογές, διαδικτύου των πραγμάτων και Edge-Networking. (Raes et al., 2025).

Για να υλοποιηθεί το συγκεκριμένο έργο, απαιτήθηκε να εμπλακεί το σύνολο των ενδιαφερόμενων μερών, όπως Δήμος, Κυβέρνηση, Εκπαιδευτικά Ιδρύματα και πολίτες ώστε να αναπτυχθεί το μοντέλο της έξυπνης πόλης. Για το λόγο αυτό το έργο βασίστηκε σε τέσσερις βασικούς πυλώνες, τη συνεργασία, την καινοτομία, την ευαισθητοποίηση και την οικονομική βιωσιμότητα (IO, 2025).



Εικόνα 15: Θεμελιώδεις Αρχές Smart City Πηγή: www.amsterdam.nl

Το έργο υλοποιείται με τη μέθοδο Agile, δηλαδή δοκιμές σε μικρότερες περιοχές και σταδιακή εφαρμογή σε μεγαλύτερη κλίμακα όταν υπάρχουν θετικά επιθυμητά αποτελέσματα. (IO, 2025). Η χρηματοδότηση γίνεται είτε μέσω του Δήμου, του κρατικού προϋπολογισμού, αλλά και είτε μέσω Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων και Ιδιωτικών πρωτοβουλιών. Σχετικά με τις μεταφορές σημαντικά έργα που έχουν υλοποιηθεί είναι τα “Flexible Street Lighting”, Έργο “Smart Lighting”, Έργο “Smart Street Lighting”, που μειώνουν αισθητά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τον απαραίτητο φωτισμό στο οδικό δίκτυο, διατηρώντας παράλληλα υψηλά επίπεδα ασφαλείας. Επίσης όσο αφορά τη διαχείριση κυκλοφορίας σημαντική πρωτοβουλία είναι ο «iBeacon Living Lab», το οποίο ξεκίνησε το 2016 και εξελίσσεται συνέχεια. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιεί φάρους (beacons), ώστε μέσω της κινητής του συσκευής ο κάθε χρήστης να έχει τη δυνατότητα να πληροφορείται για τις διάφορες δυνατότητες σε εμπορικά καταστήματα, εστίαση, που του προσφέρει η διαδρομή που εκτελούν (IO, 2025).

Το Smart City περιλαμβάνει σημαντικές πρωτοβουλίες στον τομέα της κινητικότητας πολιτών αναδεικνύοντας το Smart Mobility. Χαρακτηριστικά είναι τα έργα “Cargohopper” που βοηθά ώστε οι μεταφορείς να μειώνουν τις αποστάσεις που διανύουν, μειώνοντας το ωριαίο κόστος λειτουργίας των οχημάτων, παρέχοντας εναλλακτικές

διαδρομές, υπηρετώντας την ασφάλεια, την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και προάγοντας την ποιότητας ζωής στο κέντρο της πόλης. Επιπλέον μία άλλη εφαρμογή είναι το “Moby Park”,(Van der Lee, 2024) που δίνει στους ιδιοκτήτες ιδιωτικών χώρων στάθμευσης να διαθέτουν ενοικιάζουν βραχυπρόθεσμα τη θέση για όσο χρονικό διάστημα δεν τη χρειάζονται. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα οι χρήστες στο κέντρο της πόλης να υπάρχουν περισσότεροι διαθέσιμος χώρος για στάθμευση οχημάτων σε χαμηλότερο κόστος από τα υφιστάμενα πάρκινγκ. Σύμφωνα με τους Belletta et al., (2020), η κατά γενική ομολογία θετική αυτή πρωτοβουλία, σταδιακά οδήγησε σε άνοδο τις τιμές των θέσεων στάθμευσης δημιουργώντας αντίστοιχους προβληματισμούς. Οι πληροφορίες κίνησης στους οδικούς άξονες σε πραγματικό χρόνο δίνονται από εφαρμογές όπως η Digital Road Authority. Βασικός σκοπός της εφαρμογής είναι η λειτουργία μίας έξυπνης πόλης με αποτελεσματικό οδικό δίκτυο, αποτελεσματικές μεταφορές, με εύκολη και χωρίς εμπόδια πρόσβαση για τους κατοίκους αλλά και τους επισκέπτες, προάγοντας την βιώσιμη ανάπτυξη. Τέλος σημαντική πρωτοβουλία είναι το έργο «Smart Electric Energy Boat», που προωθεί την ηλεκτροκίνηση με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. (Van der Lee, 2024).



Εικόνα 16: Moby Park APP Πηγή: www.amsterdam.nl

Κεφάλαιο 6: Προκλήσεις και περιορισμοί

Τα Συστήματα Ευφυούς Διαχείρισης, παρά την πληθώρα πλεονεκτημάτων που προσφέρουν στις σύγχρονες αστικές κοινωνίες, αντιμετωπίζουν επίσης σημαντικές προκλήσεις και περιορισμούς. Η κριτική αξιολόγηση αυτών των περιορισμών είναι απαραίτητη για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίησή τους.

6.1 Ζητήματα Προστασίας Δεδομένων και Ασφάλειας

Η διαχείριση και προστασία των προσωπικών δεδομένων είναι μια σημαντική πρόκληση για τα IMS. Τα συστήματα όπως το ITS της Σιγκαπούρης και το Amsterdam Smart City συλλέγουν μεγάλους όγκους δεδομένων, γεγονός που εντείνει τους κινδύνους σχετικά με την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια πληροφοριών (Menon et al., 2017; Zoonen, 2016). Απαιτούνται αυστηρά πλαίσια προστασίας δεδομένων και αυξημένα μέτρα κυβερνοασφάλειας. Ένα από τα βασικά ζητήματα που προκύπτουν είναι η προστασία των δεδομένων που διαχειρίζονται όλες αυτές οι εφαρμογές και ιδιαίτερα τα προσωπικά δεδομένα σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία (Vishal et al., 2020). Στην περίπτωση του Άμστερνταμ η Αρχή Προστασίας Δεδομένων της Ολλανδίας, παρενέβη και έθεσε αρκετούς περιορισμούς. Οι ανησυχίες που εγείρονται σχετίζονται με το ενδεχόμενο κατάχρησης των προσωπικών δεδομένων, καθώς παρατηρήθηκε έλλειψη διαφανών διαδικασιών ως προς τη συλλογή, διαχείριση και επεξεργασία, αλλά και ζητήματα ασφαλείας του κυβερνοχώρου. Καθώς οι περισσότερες ψηφιακές πλατφόρμες χρησιμοποιούν ευρέως διαδεδομένα συστήματα (πχ GoogleMaps), κρίθηκε ότι είναι ευάλωτες σε κυβερνοεπιθέσεις, θέτοντας σε κίνδυνο τη δημόσια ασφάλεια (Kurrant, 2025).

Ο όγκος των δεδομένων που συλλέγονται από τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας είναι τεράστιος, καθώς σε αυτή τη διαδικασία συμμετέχουν αισθητήρες, κινητές συσκευές, κάμερες και εφαρμογές πλοήγησης, δημιουργώντας σοβαρές ανησυχίες για την δυνατότητα εξασφάλισης της απαραίτητης ιδιωτικότητας των προσωπικών πληροφοριών. Η ανησυχία αυτές διατυπώθηκαν χαρακτηριστικά στο έργο “Talking Traffic”, στην πόλη του Άμστερνταμ, καθώς δεν εξασφαλιζόταν η διαφάνεια στη διαχείριση και αποθήκευση προσωπικών δεδομένων και την πρόσβαση σε αυτά από τρίτους χωρίς την συγκατάθεση (Polis Network, 2024). Οι κίνδυνοι που αναδύονται στον κυβερνοχώρο, καθώς η ψηφιοποίηση και διασύνδεση, οχημάτων και υποδομών, καθιστούν τα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας ευάλωτα σε επιθέσεις χάκερ, τρομοκρατικές

απειλές και παραποίηση δεδομένων. Οι συνέπειες από αυτές τις απειλές μπορούν να είναι είτε απλές, είτε πιο σύνθετες, ξεκινώντας από απλή διατάραξη της κυκλοφορίας, παραπλάνησης, αλλά και νέες απειλές κατά της δημόσιας ασφάλειας. Τα προβλήματα αυτά έως να επιλυθούν πλήρως, θα αποτρέπουν την καθολική εφαρμογή χρήση ψηφιακών εφαρμογών και καινοτόμων λύσεων, στα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας.

6.2 Οικονομικό Κόστος και Υποδομές

Το υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης και συντήρησης των IMS αποτελεί βασικό περιορισμό, ειδικά για πόλεις με περιορισμένους οικονομικούς πόρους. Έργα όπως το SFpark ή το Philips CityTouch απαιτούν σημαντικές επενδύσεις, γεγονός που περιορίζει την ευρεία υιοθέτησή τους (Pierce & Shoup, 2013; Bhati & Hansen, 2016). Η βιωσιμότητα της χρηματοδότησης και η εξασφάλιση μακροχρόνιων επενδύσεων αποτελούν επίσης προκλήσεις. Δίκτυα όπως το V2X, απαιτούν ένα πυκνό πλέγμα αισθητήρων, κεραιών και αναμεταδοτών, που πρέπει να αναβαθμίζονται διαρκώς για να παραμένουν λειτουργικά και ασφαλή (Coutino et al., 2020). Η παραπάνω συνθήκη απαιτεί την εξασφάλιση και διάθεση σημαντικών οικονομικών πόρων. Ο περιορισμός αυτός αποτελεί ένα βασικό περιορισμό καθώς επηρεάζει την ανάπτυξη και καθολική εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

Τεχνολογίες όπως όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Τεχνητή Νοημοσύνη, τα δίκτυα 5G και οι αισθητήρες παρακολούθησης, απαιτεί την εγκατάσταση σύνθετων συσκευών (επαγωγικοί βρόγχοι, τα ραντάρ κυκλοφορίας και οι κάμερες υψηλής ανάλυσης), με υψηλό αρχικό κόστος και συχνή συντήρηση. Η ραγδαία τεχνολογική πρόοδος απαιτεί οι ψηφιακές πλατφόρμες να χρειάζονται συνεχή αναβάθμιση, ώστε να ενσωματώνουν νέες λειτουργίες. Για το λόγο αυτό παρατηρείται ότι η χρηματοδότηση τέτοιων έργων συχνά απαιτεί τη σύμπραξη του δημόσιου με τον ιδιωτικό τομέα, με τη συμμετοχή του κεντρικού κράτους, της τοπικής αυτοδιοίκησης και ιδιωτικών εταιρειών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι , ότι το έργο "Talking Traffic" στην Ολλανδία, το οποίο τελικά δεν ευοδώθηκε, χρηματοδοτήθηκε από πόρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, την κεντρική κυβέρνηση της Ολλανδίας, 60 τοπικούς και περιφερειακούς φορείς, καθώς ιδιωτικές εταιρείες και αντιμετώπισε ένα πλήθος τεχνολογικών και νομικών προκλήσεων, που επί του παρόντος το απενεργοποίησαν (Kurrant, 2025).

Η σχέση κόστους-όφελους, αντίστοιχων έργων, έχει άμεσο αποτύπωμα στην εθνική οικονομία. Η βασικότερη παράμετρος που επιδρά σε αυτό είναι το κόστος μεταφοράς, που η μείωσή τους έχει θετική επίδραση στα κέρδη των επιχειρήσεων. Την παραπάνω άποψη επιβεβαιώνει και αντίστοιχη έρευνα της Παγκόσμιας Τράπεζας, καθώς επιβεβαιώνεται ότι

η αύξηση του κόστους μετακινήσεων, αυξάνει τις δαπάνες μεταφοράς, κάτι που επιδρά στις επιχειρήσεις, μειώνοντας την παραγωγικότητα και κατ' επέκταση το ΑΕΠ, έως και 2% (Zulfikar et al., 2018).

6.3 Τεχνολογικές Προκλήσεις και Διαλειτουργικότητα

Σημαντική πρόκληση, στην ευρεία εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της κυκλοφορίας, είναι και η διαλειτουργικότητα των συστημάτων που αναπτύσσονται, από διαφορετικούς φορείς. Η ευρεία γκάμα προϊόντων και εφαρμογών που έχουν αναπτυχθεί, σε συνδυασμό με την απουσία έλλειψη κοινών προτύπων και πρωτοκόλλων, προκαλεί δυσχέρεια στη συνεργασία μεταξύ τους, ιδιαίτερα εάν αυτά μεταξύ τους είναι διαφορετικής τεχνολογίας, ή αφορούν διαφορετικές υποδομές, λόγω ασυμβατότητας του υλικού (IO, 2025).

Ο μεγάλος αριθμός είδους συστημάτων που χρησιμοποιούνται (από φωτεινούς σηματοδότες, εφαρμογές για ρύθμιση στάθμευσης, εφαρμογές πλοήγησης, δίκτυα επικοινωνίας κλπ), δημιουργούν δυσκολίες στην επικοινωνία μεταξύ τους ώστε να είναι αποτελεσματική η ροή της κυκλοφορίας (Somayya & Ramaswamy, 2016). Σε αυτή την κατάσταση, σημαντικό ρόλο παίζουν οι νέες τεχνολογικές καινοτομίες, που αναδύονται από την εφαρμογή δικτύων 5G και Τεχνητής Νοημοσύνης, καθώς τα μεν πρώτα εξασφαλίζουν χαμηλή καθυστέρηση και υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και η τεχνητή νοημοσύνη, στην ταχύτητα ανάλυσης δεδομένων κυκλοφορίας και στη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Παρόλα αυτά και οι δύο αυτές αναδυόμενες τεχνολογίες είναι σε στάδιο ανάπτυξης και δεν καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες των συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας (IO, 2025).

Τέλος η υπάρχουσα υποδομή, αποτελεί από μόνη της μία πρόκληση, καθώς οι περισσότερες πόλεις διαθέτουν συστήματα που δεν έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να λαμβάνουν υπόψη τους τις σύγχρονες τεχνολογίες. Η παρούσα κατάσταση, δημιουργεί την ανάγκη για εκτεταμένες αναβαθμίσεις των υποδομών και αναζήτηση τρόπους διασύνδεσης παλαιών υποδομών με σύγχρονες τεχνολογίες για διατήρηση των δεδομένων και ομαλής μετάβασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το ανθρώπινο δυναμικό να απαιτείται να αποκτήσει νέες δεξιότητες, ώστε να εξασφαλιστεί η απαραίτητη εξειδίκευση για την υποστήριξη αυτών των τεχνολογιών. Επομένως οι αλλαγές που απαιτούνται στο τρόπο λειτουργίας προκαλεί διστακτικότητα και αντίσταση στις νέες τεχνολογίες, τόσο από φορείς όσο και από εργαζόμενους (Huisken et al., 2020).

6.4 Κοινωνική Αποδοχή και Εφαρμογή Πολιτικών

Είναι λοιπόν εμφανές ότι εισαγωγή των νέων συστημάτων συχνά συναντά αντιστάσεις και από το κοινό, λόγω της ανησυχίας σε θέματα προστασίας προσωπικών δεδομένων, της επιβολής περιορισμών σε ταχύτητες οχημάτων, σε εκπομπές ρύπων, τόσο από απλούς πολίτες, όσο και από επαγγελματίες. Μία από τις βασικότερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει ένα οποιοδήποτε σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας είναι και η δυνατότητα πρόσβασης και ισότητας στις μεταφορές από όλους τους πολίτες, καθώς η ποιότητα ζωής, ιδιαίτερα των ευπαθών κοινωνικών ομάδων στα αστικά κέντρα, σχετίζεται με την βελτίωση της κινητικότητας. Τα IMS ενδέχεται να εντείνουν κοινωνικές ανισότητες λόγω ψηφιακού αποκλεισμού, καθώς ορισμένες ομάδες του πληθυσμού μπορεί να μην έχουν πρόσβαση σε ψηφιακές τεχνολογίες ή να στερούνται απαραίτητης εκπαίδευσης για τη χρήση τους. Η εφαρμογή του Amsterdam Smart City έδειξε πως απαιτείται συνεχής προσπάθεια για τη διασφάλιση της συμμετοχικότητας και ισότιμης πρόσβασης (Zoonen, 2016). Για το λόγο αυτό τα σύγχρονα συστήματα, προωθούν τη δημιουργία ενιαίων δικτύων, ιδιαίτερα στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, ώστε να επιτρέπεται ο σχεδιασμός και υλοποίηση των μετακινήσεων, δια μέσω μίας ενιαίας πλατφόρμας, εξασφαλίζοντας ευκολία και προσβασιμότητα (Hooorderdoorn et al., 2013).

Η εφαρμογή των IMS αντιμετωπίζει συχνά πολιτικές και νομοθετικές δυσκολίες λόγω της έλλειψης σαφούς και ενιαίου κανονιστικού πλαισίου. Τα διαφορετικά νομοθετικά πλαίσια σε διεθνές επίπεδο δυσχεραίνουν την ομοιογενή ανάπτυξη συστημάτων, καθιστώντας αναγκαία την ανάπτυξη εναρμονισμένων πολιτικών και στρατηγικών (Comfort et al., 2012).

Επιπλέον βασική παράμετρος είναι η περαιτέρω ανάπτυξη της σχέσης των πολιτών με την τεχνολογία, καθώς ενώ είναι κοινώς αποδεκτό ότι οι περισσότερες εφαρμογές, όπως αυτές που παρέχουν υπηρεσίες πλοήγησης και μετακινήσεων, έχουν βελτιώσει τη ροή της κυκλοφορίας, δημιουργούν ενδοιασμούς, όσο αφορά την ακρίβεια και αξιοπιστία δεδομένων, τις ανησυχίες για την ιδιωτικότητα των δεδομένων (Kurrant, 2025). Τέλος οι φορείς σε τοπικό, περιφερειακό και κυβερνητικό επίπεδο, έχουν σημαντικό ρόλο στην αποδοχή των νέων τεχνολογιών και στην ενίσχυση των ρυθμίσεων που απαιτούνται για να εφαρμοστούν σε ευρεία κλίμακα (Mora & Bolici, 2015). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι στο Άμστερνταμ, προκειμένου να ενισχυθεί το πλαίσιο διαχείρισης τη κυκλοφορίας, καθιερώθηκε η τηλεργασία για τη μείωση των μετακινήσεων, αυξήθηκαν οι τιμές στάθμευσης για ιδιωτικά οχήματα, καθιερώθηκαν χαμηλά όρια ταχύτητας στον

αστικό οδικό δίκτυο, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο την αποδοχή νέων κυκλοφοριακών πολιτικών (ΙΟ, 2025).

6.5 Περιβαλλοντικές και Προκλήσεις Βιωσιμότητας

Παρά τη συμβολή των IMS στην ενεργειακή αποδοτικότητα, υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις τεχνολογικές υποδομές, όπως η παραγωγή και απόρριψη ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Συστήματα όπως η Masdar City και το Copenhagen Connecting υπογραμμίζουν την ανάγκη βιώσιμης διαχείρισης των τεχνολογικών υλικών και ανακύκλωσης (Reiche, 2010; Mora et al., 2019). Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το 24% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, καθιστώντας τη μείωση των ρύπων βασική προτεραιότητα (Leonard, Coccone & Mizard, 2019). Οι κύριες πηγές εκπομπών περιλαμβάνουν τα οχήματα εσωτερικής καύσης που καταναλώνουν ορυκτά καύσιμα, τη συμφόρηση σε αστικές περιοχές, και τα βαρέα οχήματα και φορτηγά. Οι προσπάθειες για πιο «πράσινες» μεταφορές συχνά αντιμετωπίζουν προκλήσεις σε επίπεδο υποδομών, πολιτικών και κοινωνικής αποδοχής (Osterneimeijer et al., 2022).

Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευασθησία σε θέματα βιώσιμης ανάπτυξης. Ο ρόλος των Έξυπνων Τεχνολογιών στη Βιωσιμότητα καθώς οι νέες τεχνολογίες, μπορούν να συμβάλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, μειώνοντας τη συμφόρηση και τις περιττές μετακινήσεις με τη βελτιστοποίηση των διαδρομών, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου, η βελτιώνοντας τη διαχείριση στάθμευσης (Mandal et al., 2020). Παρόλα αυτά, η υλοποίησή τους απαιτεί σημαντικούς πόρους και η εφαρμογή τεχνολογιών όπως το 5G και η τεχνητή νοημοσύνη επιδρά αρνητικά στην ενεργειακή κατανάλωση, από μόνη της, περιορίζοντας τα οφέλη της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η χρήση των τεχνολογιών αυτών, μέχρι να γίνουν πραγματικά «πράσινες», δεν έχει επιτευχθεί και αποτελεί μία σημαντική πρόκληση της επιστημονικής κοινότητας (Yanti & Nurhanif, 2025).

Η μετάβαση σε πιο φιλικές προς το περιβάλλον μετακινήσεις απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε ηλεκτρικά οχήματα και εναλλακτικές μορφές μεταφοράς. Η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί μία από τις βασικές λύσεις για τη μείωση των εκπομπών. Ωστόσο, η ανάπτυξη της σχετικής υποδομής αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η έλλειψη επαρκές δίκτυο σταθμών φόρτισης το υψηλό κόστος αγοράς Evs, και τις ανάγκες για την παραγωγή πράσινης ενέργειας καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από ορυκτά καύσιμα (Yanti & Nurhanif, 2025). Για το λόγο αυτό η ανάπτυξη

στόλων οχημάτων μηδενικών εκπομπών υποστηρίζεται από οικονομικά κίνητρα και φοροαπαλλαγές σε πολλές χώρες, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα της λύσης. Η προώθηση εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς, αποτελεί ένα σημαντικό μέτρο για τη μείωση των ρύπων. Οι πολιτικές βιώσιμης κινητικότητας περιλαμβάνουν την ενίσχυση της δημόσιας συγκοινωνίας για να μειωθεί η εξάρτηση από τα ΙΧ., ή την προώθηση της χρήσης ποδηλάτων και άλλων εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς. Σε πόλεις όπως το Άμστερνταμ και η Κοπεγχάγη, η στρατηγική βιώσιμης κινητικότητας έχει μειώσει δραστικά τη χρήση αυτοκινήτων στο κέντρο των πόλεων (Mandal et al., 2020) .

Μελετώντας το ερώτημα EE1, ποιος είναι ο ρόλος των ψηφιακών τεχνολογιών στη σύγχρονη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας και πώς αυτές έχουν εξελιχθεί διαχρονικά, μπορεί να διατυπωθεί ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες έχουν μετασηματίσει ριζικά τη διαχείριση της αστικής κυκλοφορίας, προσφέροντας λύσεις που ενισχύουν τη βιωσιμότητα, την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των μετακινήσεων. Διαχρονικά, η κυκλοφοριακή διαχείριση εξελίχθηκε από τα βασικά μέτρα σήμανσης και φωτεινής σηματοδότησης σε σύγχρονες, ολοκληρωμένες λύσεις βασισμένες στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, την Τεχνητή Νοημοσύνη και την Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων, οι οποίες επιτρέπουν τη συλλογή, επεξεργασία και αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την πρόβλεψη και ρύθμιση της κυκλοφορίας.

Όσο αφορά τη διερεύνηση του EE2, Ποιες είναι οι βασικές τεχνολογικές καινοτομίες στα Intelligent Management Systems και πώς αυτά λειτουργούν διαπιστώνεται ότι αποτελούν τον πυρήνα αυτής της εξέλιξης, καθώς βασίζονται σε αισθητήρες, κάμερες, δικτυακές υποδομές, και δυναμικούς αλγορίθμους ώστε να προσαρμόζουν τη ροή της κυκλοφορίας, να μειώνουν τη συμφόρηση και να ενισχύουν τη συνολική εμπειρία του χρήστη. Η λειτουργία τους περιλαμβάνει αυτόνομη λήψη αποφάσεων, πρόβλεψη κυκλοφοριακών προτύπων και συντονισμό διαφορετικών μέσων μεταφοράς, αποτελώντας δομικό στοιχείο των έξυπνων πόλεων.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, τα IMS αποτελούν μια τεχνολογική καινοτομία με τεράστιες δυνατότητες εφαρμογής, ωστόσο συνοδεύονται από κρίσιμες προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, την τεχνολογική αξιοπιστία, τα ζητήματα ιδιωτικότητας και τις κοινωνικές ανισότητες. Η επιτυχής υλοποίησή τους προϋποθέτει την υιοθέτηση μιας ολιστικής και πολυδιάστατης προσέγγισης, η οποία θα λαμβάνει υπόψη όλες αυτές τις παραμέτρους και θα εξασφαλίζει την κοινωνική αποδοχή και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών.

Τα IMS διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στη σύγχρονη αστική διαχείριση, καθώς η σημασία τους υπερβαίνει τα τεχνολογικά όρια και αγγίζει κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Η εφαρμογή τους προσφέρει σημαντικά οφέλη: βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, ενίσχυση της ασφάλειας και γενικότερη αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών όπως το Internet of Things, η Τεχνητή Νοημοσύνη Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων, τα IMS καθιστούν τις πόλεις ικανές να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε σύνθετες προκλήσεις, επιτυγχάνοντας πιο «έξυπνη» και αποδοτική διαχείριση (Parageorgiou et al., 2003; Mora et al., 2019).

Ωστόσο, η υιοθέτησή τους συναντά πολυάριθμες προκλήσεις. Το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και η ανάγκη για συνεχή συντήρηση και τεχνική υποστήριξη αποτελούν συχνά αποτρεπτικούς παράγοντες, ειδικά για πόλεις με περιορισμένους οικονομικούς πόρους. Εξίσου σημαντική είναι και η απαίτηση για εξειδικευμένη εκπαίδευση του προσωπικού, το οποίο καλείται να χειριστεί και να παρακολουθήσει πολύπλοκες τεχνολογικές υποδομές. Παράλληλα, η αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέγονται και επεξεργάζονται παραμένει κρίσιμο ζήτημα, καθώς λανθασμένα ή ελλιπή δεδομένα μπορεί να οδηγήσουν σε αναποτελεσματικές ή ακόμη και επικίνδυνες αποφάσεις.

Ένα ακόμη πεδίο προβληματισμού αφορά την προστασία προσωπικών δεδομένων και την ασφάλεια στον ψηφιακό χώρο. Η συνεχής συλλογή και ανάλυση δεδομένων πολιτών δημιουργεί εύλογες ανησυχίες για την ιδιωτικότητα, καθώς και για το ενδεχόμενο κακόβουλης χρήσης ή διαρροής αυτών των πληροφοριών (Zoonen, 2016). Συνεπώς, απαιτείται η ανάπτυξη ισχυρών μηχανισμών διακυβέρνησης δεδομένων, διαφανών πολιτικών και κανονιστικών πλαισίων που θα εγγυώνται τον σεβασμό των ατομικών δικαιωμάτων.

Η μελέτη περίπτωσης του Amsterdam Smart City καταδεικνύει ότι η επιτυχία των IMS εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνολογική τους διάσταση αλλά και από τον βαθμό κοινωνικής αποδοχής. Η εμπλοκή των πολιτών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, η διαφάνεια στη χρήση των δεδομένων και η συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα είναι καθοριστικοί παράγοντες. Αυτό υποδηλώνει ότι τα IMS δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποκλειστικά ως τεχνολογικό εγχείρημα, αλλά ως ένα πολυεπίπεδο σύστημα που επηρεάζει και επηρεάζεται από κοινωνικούς, οικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες.

Στο μέλλον, τα IMS θα πρέπει να επικεντρωθούν στη βελτίωση της διαλειτουργικότητας, ώστε διαφορετικά συστήματα και πλατφόρμες να μπορούν να συνεργάζονται αποτελεσματικά. Εξίσου αναγκαία είναι η ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας, με στόχο να καλλιεργηθεί εμπιστοσύνη μεταξύ πολιτών και αρχών. Η ενσωμάτωση μηχανισμών που θα διασφαλίζουν τα δικαιώματα των πολιτών και θα ενισχύουν τη συμμετοχικότητα στη λήψη αποφάσεων συνιστά επίσης κομβικό παράγοντα για τη βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών.

Τέλος, η χρήση ψηφιακών εφαρμογών και καινοτόμων λύσεων στα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας, αν και προσφέρει αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα, αναδεικνύει και σημαντικές προκλήσεις. Ζητήματα που σχετίζονται με την προστασία δεδομένων, την κυβερνοασφάλεια, το υψηλό οικονομικό κόστος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις χρήζουν περαιτέρω μελέτης. Παράλληλα, κοινωνικοί περιορισμοί, όπως η άνιση πρόσβαση στην τεχνολογία, ενδέχεται να ενισχύσουν υφιστάμενες ανισότητες, εάν δεν αντιμετωπιστούν έγκαιρα. Συνεπώς, είναι απαραίτητο τα IMS να μετατρέψουν αυτές τις προκλήσεις σε ευκαιρίες και μοχλούς ανάπτυξης, προκειμένου να συμβάλουν ουσιαστικά στη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου σε παγκόσμια κλίμακα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε σε συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση (PRISMA SLR) και επικεντρώθηκε αποκλειστικά σε δημοσιεύσεις από το 2010 και μετά, με λέξεις-κλειδιά όπως "Traffic Management", "Smart Cities", "Digital Technologies", "Artificial Intelligence", "Big Data Analysis" και "Amsterdam". Ενώ η προσέγγιση αυτή επέτρεψε τη συγκέντρωση επικαιροποιημένων και σχετικών μελετών, δεν καλύφθηκαν επαρκώς άλλα συναφή πεδία, όπως η κοινωνική αποδοχή των τεχνολογιών, τα θέματα ηθικής ή η ψυχολογία των χρηστών σε περιβάλλοντα IMS. Επίσης, δεν συμπεριλήφθηκαν εμπειρικές μελέτες πεδίου (user studies) ή ποσοτικά πειραματικά δεδομένα που θα μπορούσαν να προσδώσουν εμπειρική εγκυρότητα στις

τεχνολογικές επισημάνσεις. Η εστίαση παρέμεινε κυρίως σε τεχνολογικές καινοτομίες που εξυπηρετούν τα δύο βασικά ερευνητικά ερωτήματα, αποκλείοντας άλλες σημαντικές θεματικές όπως οι πολιτικές μεταφορών, η κανονιστική συμμόρφωση (compliance), ή η επίδραση των τεχνολογιών στις ευάλωτες ομάδες χρηστών.

Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επεκτείνει την παρούσα μελέτη με εμπειρικές αναλύσεις και πειραματικά δεδομένα, ειδικά μέσα από in-situ αξιολογήσεις της χρήσης IoT και AI σε πραγματικές συνθήκες πόλης. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να εξεταστούν οι συμπεριφορές και αντιλήψεις των χρηστών (drivers, pedestrians, φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης) αναφορικά με την υιοθέτηση ευφών τεχνολογιών και να διερευνηθεί η δυνατότητα εξατομίκευσης υπηρεσιών με βάση κοινωνικοδημογραφικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, προτείνεται η ανάπτυξη πλαισίων αξιολόγησης της διαλειτουργικότητας μεταξύ IMS και άλλων υποσυστημάτων έξυπνης πόλης (όπως ενεργειακά ή περιβαλλοντικά δίκτυα), καθώς και η εμβάθυνση στην αξιοποίηση του edge computing και της τεχνολογίας 5G για βελτιωμένη απόκριση σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, η ενσωμάτωση ηθικών παραμέτρων και προτύπων προστασίας προσωπικών δεδομένων στις μελλοντικές τεχνολογικές αρχιτεκτονικές αποτελεί αναγκαία προτεραιότητα για την ευρεία και ασφαλή εφαρμογή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3-21.

Amsterdam AI Change (2016), Smart traffic management [Smart traffic management - Amsterdam Smart City](#)

Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, S3-S11.

BADEL, F. (2024). TRANSFORMATION OF PUBLIC SPACE IN DIGITAL AGE

Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., & Pozdnoukhov, A. (2012). Smart Cities of the Future. *European Physical Journal Special Topics*.
<https://link.springer.com/article/10.1140/epjst/e2012-01703-3>

Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. MIT Press.

Be Mobile Group (N/A) Talking Traffic is the textbook example of how to bring major mobility projects to fruition - Infographic included [Talking Traffic is the textbook example of how to bring major mobility projects to fruition - Infographic included | Be-Mobile](#)

Belli, L., Cilfone, A., Davoli, L., Ferrari, G., Adorni, P., Di Nocera, F., ... & Bertolotti, E. (2020). IoT-enabled smart sustainable cities: Challenges and approaches. *Smart Cities*, 3(3), 1039-1071.

Bhati, A., & Hansen, M. (2016). Smart street lighting: opportunities and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 121, 190-203.

Bifulco, G. N., Pariota, L., & Spena, M. R. (2019). Smart mobility and traffic management. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 1-12
<https://www.digi.com/blog/post/introduction-to-smart-transportation-benefits>

Bifulco, G. N., Di Pace, R., & Pucciarelli, M. (2019). Internet of Things for Traffic Management: A Review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*.
https://www.researchgate.net/publication/335499526_IoT_for_Intelligent_Traffic_Management

Bos, T. S. (2024). Mitigating Overcrowding: Evaluating Policy Measures to Reduce Student Peak Travel on Dutch Trains.

Brodie, S., Van Vuren, T., & Hounsell, N. (2012). SCOOT adaptive traffic signal control: Benefits and opportunities. *Traffic Engineering & Control*, 53(2), 88-99. <https://www.ugpti.org/resources/reports/downloads/mpc03-141.pdf>

CEICDATA, 2024, Διαθέσιμο, στο <https://www.ceicdata.com/en/indicator/greece/number-of-registered-vehicles> , Ανακτήθηκε την 25/12/2024

Chen, X., Zhang, Y., & Liu, Q. (2020). Traffic Detection Technologies and Applications. *Journal of Transport Systems*, 18(3), 123-140. https://www.researchgate.net/publication/359691271_A_Review_of_Wi-Fi-Based_Traffic_Detection_Technology_in_the_Field_of_Intelligent_Transportation_Systems

Chen, X., & Li, H. (2020). Real-Time Traffic Management Using AI-Based Platforms. *Journal of Urban Mobility*, 15(4), 122-135. <https://hal.science/hal-04269098/document>

City of Amsterdam (N/A) Policy: Traffic and transport [Policy: Traffic and transport - City of Amsterdam](#)

Comfort, L.K., et al. (2012). Emergency management. *Public Administration Review*, 72(4), 539-547.

Comfort, L. K., Waugh, W. L., & Cigler, B. A. (2012). Emergency management research and practice in public administration: emergence, evolution, expansion, and future directions. *Public Administration Review*, 72(4), 539-547.

Δήμος Γλυφάδας (2023), ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΙΚΗΣ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΗΜΟΥ ΓΛΥΦΑΔΑΣ https://glyfada.gr/svak/uploads/paradoteo3/te/I%CE%99I-%CE%9A%CE%95%CE%A6-2_4%20%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%9B%CE%A5%CE%A3%CE%97.pdf

Dr Giovanni Huisken, Monika Pepikj, Dr Isaak Yperman, Art Feitsma, Nuno Rodrigues, Tiffany Vlemmings, (2020) Optimising Network Traffic Flow with Cooperative Traffic Management in the Amsterdam Region, Virtual ITS European Congress, 9-10 November 2020, <https://www.ndw.nu/binaries/ndw/documenten/rapporten/2021/6/17/optimizing-network-traffic-flow-with-cooperative-tm-in-the-amsterdam-region/Optimising+Network+Traffic+Flow+with+Cooperative+TM+in+the+Amsterdam+Region.pdf>

Felipe Mariz Coutinho, Niels van Oort, Zoi Christoforou, María J. Alonso-González, Oded Cats, Serge Hoogendoorn, (2020), Impacts of replacing a fixed public transport line by a demand responsive transport system: Case study of a rural area in Amsterdam, *Research in Transportation Economics*, Volume 83, 2020, 100910, ISSN 0739-8859, <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100910>.

Gilderbloom, J. I., Hanka, M. J., & Lasley, C. B. (2019). Amsterdam: planning and policy for the ideal city?. *Local Environment*, 14(6), 473-493.

Goh, C. H., & Ubeynarayana, C. U. (2017). Intelligent Transport Systems (ITS) and Smart Mobility: A Review. *Procedia Computer Science*, 124, 813-821.

Gomes, G., May, A., & Horowitz, R. (2021). Coordinated Control of Traffic Networks Using Electric Vehicles. *Transportation Research Record*<https://www.osti.gov/servlets/purl/1871657>

González-González, E., Nogués, S., & Stead, D. (2020). Smart cities and mobility: A review. *Cities*, 105, 102-105<https://doi.org/10.3390/smartcities8010013>

Gonzalez, R., Lopez, A., & Martinez, P. (2019). Sensor Networks for Real-Time Traffic Management. *Smart Cities Review*, 12(4), 45-58.<https://doi.org/10.3390/smartcities8010012>

Gonzalez, P., Martinez, R., & Lopez, J. (2021). Challenges in Traffic Data Privacy. *International Journal of Smart Cities*, 9(3), 98-112.<https://doi.org/10.3390/smartcities8010011>

Goodwin, P., Van Dender, K., & Mackie, P. (2017). Traffic Management and User Experience: Innovation through ICT. *Transportation Research Board*.<https://doi.org/10.3390/smartcities7060147>

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67(3), 404-418.<https://doi.org/10.3390/smartcities7050100>

Greenfield, A. (2013). Against the Smart City. Do Projects.

Gusenbauer, M., & Haddaway, N. R. (2020). Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. *Research Synthesis Methods*, 11(2), 181-217.

Hietanen, S. (2014). Mobility as a Service – the new transport model? ITS Conference. <https://doi.org/10.3390/smartcities7030045>

Horijon, T. (2017). Paving the road towards intelligent transportation systems: A governmentality analysis of smart traffic management in the Netherlands. Wageningen University & Research.

Huisken, G., Pepikj, M., Yperman, I., Feitsma, A., Rodrigues, N., & Vlemmings, T. (2020). Optimising network traffic flow with cooperative traffic management in the Amsterdam region.

<https://www.ndw.nu/binaries/ndw/documenten/rapporten/2021/6/17/optimizing-network-traffic-flow-with-cooperative-tm-in-the-amsterdam-region/Optimising+Network+Traffic+Flow+with+Cooperative+TM+in+the+Amsterdam+Region.pdf>

IEA (2020). CO₂ Emissions from Fuel Combustion. International Energy Agency. https://www.oecd.org/en/publications/co2-emissions-from-fuel-combustion_22199446.html?utm_source=chatgpt.com

INRIX. (2020). Traffic Analysis and Solutions. Retrieved from www.inrix.com

IO Innovation Origins (2025), Amsterdam stops smart traffic lights over privacy concerns [Amsterdam stops smart traffic lights over privacy concerns](#)

Khan, M., Ahmed, S., & Lee, J. (2021). V2X Communication Systems: Current Trends and Future Directions. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 15(2), 134-150. <https://doi.org/10.3390/smartcities7030041>

Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14.

Klarrio (N/A) [Project - Talking Traffic - Klarrio](#)

Kumar, V., & Singh, P. (2020). Internet of things and its applications in transportation management. *Transportation Research Procedia*, 48, 2624-2632.

- Kumar, R., & Singh, M. (2020). Emerging Traffic Management Technologies. *Smart Mobility Review*, 8, 45-59.<https://doi.org/10.3390/smartcities7060124>
- Kumar, R., & Singh, M. (2020). Emerging Traffic Management Technologies. *Smart Mobility Review*, 8 <https://doi.org/10.3390/smartcities7030057>
- Kumar, R., & Singh, M. (2021). Intelligent Transportation Systems: Future Perspectives. *Advances in Urban Mobility*, 10(2), 89-102.<https://doi.org/10.3390/smartcities7010016>
- Kurrant (2025) Amsterdam Halts Plans for Smart Traffic Lights Amid Privacy and Security Concerns - [Amsterdam Halts Plans for Smart Traffic Lights Amid Privacy and Security Concerns - Kurrant](#)
- LEONARD, S., COCONEA, L., & Mizaras, V. (2019). Traffic Management 2.0–Mobility as a Service Task Force. TM2. 0. ERTICO. https://tm20.org/wp-content/uploads/2017/06/TF17_Final-report.pdf
- Li, X., Zhang, Y., & Chen, Z. (2021). Vehicle-to-Vehicle Communication for Collision Prevention. *Transportation Safety Journal*, 14(1),<https://doi.org/10.3390/smartcities6060148>
- Li, J., Wang, L., & Zhao, H. (2021). Next-Generation Sensors in Autonomous Vehicles. *Automotive Research Quarterly*, 15(1), 33-48.<https://doi.org/10.3390/smartcities6020049>
- Lin, T., Rivano, H., & Le Mouël, F. (2017). A survey of smart parking solutions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(12), 3229-3253.
- Lowrie, P. (1990). SCATS: A traffic responsive method of controlling urban traffic. Roads and Traffic Authority.
- Litman, T. (2021). Generated Traffic and Induced Travel. Victoria Transport Policy Institute.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., ... & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS medicine*, 6(7), e1000100.

- Liberati, A., et al. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100.
- Litman, T. (2021). Introduction to multi-modal transportation planning. Victoria Transport Policy Institute <https://doi.org/10.3390/smartcities5020025>
- Ma, Z., Chen, R., & He, T. (2020). Predictive Models for Traffic Flow Management. *Transportation Analytics Journal*, 6(2), 78-93. <https://doi.org/10.3390/smartcities4040068>
- Mersky, A. C., Sprei, F., Samaras, C., & Qian, Z. (2016). Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 102, 343-349. <https://doi.org/10.3390/smartcities3030044>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ*, 339, b2535.
- Mora, L., & Bolici, R. (2015) How to become a smart city: Learning from Amsterdam. In *International conference on smart and sustainable planning for cities and regions* (pp. 251-266). Cham: Springer International Publishing. <https://napier-repository.worktribe.com/preview/986864/Mora%20and%20Bolici%202017.pdf>
- Mora, L., Deakin, M., & Reid, A. (2019). Smart-City Development Paths: Insights from the First Two Decades of Research. *Cities*, 93, 148-160.
- Menon, A.P.G., et al. (2017). Intelligent transport systems in Singapore. *IATSS Research*, 41(2), 47-55.
- Mora, L., et al. (2019). Smart-City Development Paths. *Cities*, 93, 148-160.
- Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, resilience, and place identity in future post-pandemic cities. *Smart Cities*, 4(1), 93-111 <https://doi.org/10.3390/smartcities3020018>
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context. *ICEGOV '11*, 185-194.
- Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, 91(12), 2043-2067.

- Papageorgiou, M., et al. (2003). Road traffic control strategies. *IEEE Proceedings*, 91(12), 2043-2067.
- Pierce, G., & Shoup, D. (2013). Getting the Prices Right. *Journal of the American Planning Association*, 79(1), 67-81
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. John Wiley & Sons.
- Pucher, J., Buehler, R., & Seinen, M. (2010). Walking and cycling for sustainable cities. *Built Environment*, 36(4), 391-414. <https://doi.org/10.3390/smartcities8010013>
- Qonita, M., Rachmawati, R., & Rijanta, (2024) R. Assessing Amsterdam's Urban Mobility Through the Lens of Smart Mobility Goals. Available at SSRN 5039170.
- Ostermeijer, F., Koster, H., Nunes, L., & van Ommeren, J. (2022). Citywide parking policy and traffic: Evidence from Amsterdam. *Journal of Urban Economics*, 128, 103418. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094119021001005>
- POLIS NETWORK (2021)) A New Philosophy: Amsterdam's proactive traffic management, [A New Philosophy: Amsterdam's proactive traffic management - POLIS Network](#)
- Raes, L., Concilio, G., Doran, C., Temmerman, L., & Cromptvoets, J. (2025). Local Digital Twins for Smart Cities: Opportunities for Evidence-Informed Decision-Making. In *Decide Better: Open and Interoperable Local Digital Twins* (pp. 33-57). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Reiche, D. (2010). Renewable Energy Policies in the Gulf countries. *Energy Policy*, 38(5), 2395-2403
- Shelton, T., Zook, M., & Wiig, A. (2015). The 'actually existing smart city'. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 13-25.
- Silva, T.H., et al. (2013). Traffic condition forecasting from social media. *EPJ Data Science*, 2(1), 9.
- Serge Hoogendoorn, Ramon Landman, Jaap van Kooten, Henk Taale, and Marco Schreuder (2013), *Integrated Network Management Amsterdam: Towards a Field*

Operational Test https://www.researchgate.net/profile/Henk-Taale/publication/272497944_Integrated_Network_Management_Amsterdam_Towards_a_Field_Operational_Test/links/54e750750cf2cd2e02930372/Integrated-Network-Management-Amsterdam-Towards-a-Field-Operational-Test.pdf

Shladover, S. E. (2020). Cooperative Intelligent Transport Systems and Their Role in Urban Mobility. *Urban Transport Journal*, 19(4), 357-374. <https://doi.org/10.3390/smartcities8010009>

M. Somayya & R. Ramaswamy (2016) Amsterdam Smart City (ASC): fishing village to sustainable city 11 International Conferenceth on Urban Regeneration and Sustainability, witpress.com/Secure/elibrary/papers/SC16/SC16068FU1.pdf

Smith, J., Brown, T., & Davis, L. (2019). The Role of V2V in Modern Automotive Safety Systems. *Safety Engineering Quarterly*, 32(1), 12-19. <https://doi.org/10.3390/smartcities8010008>

Smith, D., Brown, K., & Johnson, P. (2022). Privacy Challenges in Traffic Data Collection. *International Journal of Urban Data*, 9(1), 22-37. <https://doi.org/10.3390/smartcities7060152>

Tingvall, C., & Haworth, N. (1999). Vision Zero – An ethical approach to safety and mobility. *Transport Policy*, 6(3), 195-200. <https://doi.org/10.3390/smartcities7060141>

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222.

van Den Ende, L., & van Marrewijk, A. (2019). Teargas, taboo and transformation: A neo-institutional study of community resistance and the struggle to legitimize subway projects in Amsterdam 1960–2018. *International journal of project management*, 37(2), 331-346. https://research.vu.nl/files/118939497/Teargas_taboo_and_transformation_A_neoinstitutional_study_of_community_resistance_and_the_struggle_to_legitimize_subway_projects_in_Amsterdam_19602018.pdf

Van der Lee, J. (2024). Succes factors and barriers in car reduction (Doctoral dissertation, Doctoral dissertation, Delft University of Technology]. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:1f998180-218c-41de-988f-1baf55df40ab>).

- Vanolo, A. (2014). Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy. *Urban Studies*, 51(5), 883-898.
- Vishal Mandal, Abdul Rashid Mussah, Peng Jin, and Yaw Adu-Gyamfi (2020), Artificial Intelligence-Enabled Traffic Monitoring System, *Sustainability* 2020, 12, 9177; doi:10.3390/su12219177
- Wang, J., Lin, Q., & Tang, F. (2021). Infrared Sensors in Urban Traffic Applications. *IEEE Transportation Insights*, 7(3), 101-110.<https://doi.org/10.3390/smartcities7060138>
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, xiii-xxiii
- World Bank. (2017). The high toll of traffic congestion on productivity. *World Development Report, 2017*.<https://doi.org/10.3390/smartcities7060135>
- Woodward A (2025) Amsterdam's smart traffic lights scrapped [Amsterdam's smart traffic lights scrapped « Euro Weekly News](#)
- WHO (2015). World Report on Disability. World Health Organization.https://www.who.int/disabilities/world_report/2015/en/
- World Health Organization (WHO) (2022). Global status report on road safety 2022. *WHO*.33(3), 472-480.
- Yeni Yanti, Humasak Simajuntak, Nurhanif (2025), Integrated simulation and optimisation of traffic flow management systems in urban smart cities *International Journal of Simulation, Optimization & Modelling*, (2025) Vol 1, 70-77 <https://e-journal.scholar-publishing.org/index.php/ijsom>
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93-112.
- Zhang, L., Li, Y., & Zhao, Y. (2022). Emerging technologies in traffic management: A review. *Transport Reviews*, 42(1), 45-65<https://doi.org/10.3390/smartcities2010004>
- Zhou, Y., & Wu, J. (2022). Computer Vision in Traffic Surveillance Systems. *Urban Technology Studies*, 14(5), 56-73.<https://doi.org/10.3390/smartcities3030041>

Zhou, H., Liu, M., & Wang, R. (2022). 5G-Based V2X Applications in Smart Cities. *Future Mobility Journal*, 20(5), 278-296 <https://doi.org/10.3390/smartcities3040071>

Zoonen, L.V. (2016). Privacy concerns in smart cities. *Government Information Quarterly*, 33(3), 472-480

Zulfikar Dinar Wahidayat Putra and Wim GM van der Knaap (2018), Urban Innovation System and the Role of an Open Web-based Platform: The Case of Amsterdam Smart City *Journal of Regional and City Planning* vol. 29, no. 3, page. 234-249, December 2018 DOI: 10.5614/jrcp.2018.29.3.4