



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας	Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα: Προκλήσεις και Τεχνολογικές Προσεγγίσεις. Sustainable Urban Mobility: Challenges and Technological Approaches.
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Μιχαήλ Σπάχος
Πατρώνυμο	Κυριάκος
Αριθμός Μητρώου	Π21154
Επιβλέπων	Βέργαδος Δημήτριος, Καθηγητής

Copyright ©

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους με στήριξαν και με ενέπνευσαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της πτυχιακής εργασίας. Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την αμέριστη αγάπη, υποστήριξη και κατανόηση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Η στήριξή τους υπήρξε καθοριστική για την πορεία μου.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στην κοπέλα μου για την ψυχική στήριξη, την υπομονή και την ενθάρρυνσή της καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η παρουσία της αποτέλεσε για μένα σταθερή πηγή δύναμης και έμπνευσης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Δημήτρη Βέργαδο, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη διαρκή υποστήριξη και τις ουσιαστικές παρατηρήσεις του, που συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Αυτή η πτυχιακή εργασία διεξάγει μια εκτενή μελέτη του θέματος-τοπίου της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αποτελεί έναν σύγχρονο τρόπο οργάνωσης των μετακινήσεων μέσα στις πόλεις, με στόχο την ανάπτυξη ενός συστήματος μεταφορών που να είναι φιλικό προς το περιβάλλον, αποτελεσματικό και ανθρώπινο. Εστιάζει σε μορφές μετακίνησης που συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης, του θορύβου και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ενισχύουν την υγεία και την ασφάλεια των κατοίκων, βάζουν στο επίκεντρο τον άνθρωπο, αντί να δίνουν προτεραιότητα στα οχήματα. Προκειμένου να εφαρμοστεί το σχέδιο της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας σε ένα μεγάλο σύνολο πόλεων και χωρών θα πρέπει να λάβουν χώρα ορισμένες αλλαγές και κατάλληλα μέτρα. Στη εν λόγω πτυχιακή μελετάται σε βάθος όλο το αντικείμενο της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας, ξεκινώντας αρχικά αναλύοντας και επεξηγώντας την ατζέντα, των Ηνωμένων Εθνών (United Nations) για την Βιώσιμη Ανάπτυξη και τους δεκαεπτά επιμέρους στόχους-goals που αυτή ορίζει. Εν συνεχεία, επεξηγείται πλήρως η έννοια της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας σε βάθος, με κύριο επίκεντρο την εκτεταμένη ανάλυση των αναγκών και των προκλήσεων της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας, στις σύγχρονες κοινωνίες. Έπειτα δίνεται έμφαση στην αναφορά, επεξήγηση και ανάλυση διαφόρων προτάσεων και πολιτικών για την περαιτέρω εδραίωση και ανάδειξη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιείται και η κατηγοριοποίηση-μοντελοποίηση όλων των τύπων πόλεων και αστικών περιοχών στις σύγχρονες κοινωνίες προκειμένου μέσω μιας στατιστικής ανάλυσης διάφορων δεικτών κινητικότητας της κάθε κατηγορίας, οι προτάσεις και τα μέτρα κινητικότητας να είναι αντιπροσωπευτικά και απολύτως κατάλληλα και προσιτά για κάθε κατηγορία.

Λέξεις Κλειδιά: Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα, Βιώσιμη Ανάπτυξη, Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (SDGs), Αστική Κινητικότητα, Έξυπνη Κινητικότητα, Μοντελοποίηση Τοπολογίας Πόλεων, Αστικός Σχεδιασμός, Προκλήσεις και Ευκαιρίες, Προτάσεις και Πολιτικές, Σχέδια Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (SUMP), Βιώσιμες Κοινωνίες, Προσβασιμότητα, «Πράσινες» και Χαμηλών Εκπομπών Μεταφορές.

Abstract

This thesis presents a comprehensive study of the landscape of Sustainable Urban Mobility. Sustainable Urban Mobility represents a modern approach to organizing urban transportation, aiming to develop a transport system that is environmentally friendly, efficient, and human-centric. It focuses on modes of transport that contribute to reducing pollution, noise levels, and carbon dioxide (CO₂) emissions, while enhancing the health and safety of residents and prioritizing people over vehicles.

To implement the framework of Sustainable Urban Mobility across a wide range of cities and countries, specific changes and appropriate measures are required. This thesis examines the subject in depth, beginning with an analysis of the United Nations Agenda for Sustainable Development and the seventeen Sustainable Development Goals (SDGs) it defines. Subsequently, the concept of Sustainable Urban Mobility is thoroughly explained, focusing primarily on an extensive analysis of the needs and challenges facing sustainable mobility in modern societies.

Emphasis is then placed on the presentation, explanation, and analysis of various proposals and policies aimed at the further establishment and promotion of Sustainable Urban Mobility. In this context, a categorization and modeling of various types of cities and urban areas in modern societies is performed. Through a statistical analysis of mobility indicators for each category, the thesis ensures that the proposed mobility measures and recommendations are representative, entirely appropriate, and accessible for each specific category.

Key Words: Sustainable Urban Mobility, Sustainable Development, United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), Urban Mobility, Smart Mobility, Urban Typology Modeling, Urban Planning, Challenges and Opportunities, Policy Recommendations, Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP), Sustainable Societies, Accessibility, Green and Low-Emission Transport.

Πίνακας Περιεχομένων

Copyright ©.....	i
Ευχαριστίες	ii
Περίληψη	iii
Abstract.....	iv
Key Words	v
Πίνακας Περιεχομένων	vi
Κατάλογος Εικόνων.....	vii
1. Εισαγωγή.....	
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της Μελέτης	
1.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη-Στόχοι των Ηνωμένων Εθνών(SDGs).....	
1.3 Μεθοδολογία Έρευνας.....	
1.4 Δομή της Εργασίας	
2. Θεωρητικό Πλαίσιο.....	
2.1 Ορισμός της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας	
2.2 Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.....	
2.3 Ιστορική Εξέλιξη και Ανάγκη για Βιώσιμες Μετακινήσεις	
2.4 Πυλώνες της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.....	
I. Περιβαλλοντική Διάσταση.....	
II. Κοινωνική και υγειονομική διάσταση.....	
III. Οικονομική και Λειτουργική Αποδοτικότητα.....	
3. Μοντελοποίηση Σύγχρονων Πόλεων και Αστικών Περιοχών.....	
3.1 Αρχική Μοντελοποίηση Σύγχρονων Αστικών Περιοχών.....	
3.2 Ανάπτυξη αλγοριθμικής διαδικασίας για ταξινόμηση πόλεων στην προτεινόμενη μοντελοποίηση.....	
4. Ανάλυση Αναγκών και Προκλήσεων	
4.1 Τρέχουσα Κατάσταση Μετακινήσεων στις Πόλεις.....	
4.2 Προβλήματα και Επιπτώσεις από τη Μη Βιώσιμη Κινητικότητα	
4.3 Προκλήσεις και Ανάγκες.....	
4.4 Ανάλυση Στατιστικών Δεικτών Κινητικότητας για τις πόλεις της μοντελοποίησης.....	
4.5 Ανάπτυξη Συσχετισμών μεταξύ των δεικτών κινητικότητας.....	

5.	Στοχευμένες Πολιτικές, Μέτρα και Μελέτες Εφαρμογής.....
5.1	Μέτρα για Αστικά Κέντρα
5.1.1	Στρατηγικές για Global Giants.....
5.1.2	Στρατηγικές για Asian Anchors.....
5.1.3	Στρατηγικές για Emerging Gateways.....
5.1.4	Στρατηγικές για Factory China/Industrial Engines.....
5.1.5	Στρατηγικές για Knowledge Capitals.....
5.1.6	Στρατηγικές για American Middleweights.....
5.1.7	Στρατηγικές για International Middleweights.....
5.1.8	Στρατηγικές για Τουριστικά και Πολιτιστικά Κέντρα.....
5.2	Μέτρα για Αστικές Συστάδες.....
5.3	Μέτρα για Αγροτικές Περιοχές.....
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις.....
6.1	Κύρια Ευρήματα.....
6.2	Μελλοντικές Κατευθύνσεις.....
	Βιβλιογραφία.....

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1	Κυκλοφοριακή Συμφόρηση/σελίδα 8.
Εικόνα 2	Συνολικά Κόστη που Ξοδεύονται στα Λεωφορεία ετησίως στην Μεγάλη Βρετανία /σελίδα 19
Εικόνα 3	Περιβάλλον Προσομοίωσης/σελίδα 52
Εικόνα 4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης/σελίδα 54
Εικόνα 5	Μοντέλο Πρόβλεψης Κυκλοφορίας /σελίδα 56
Εικόνα 6	Προσομοίωση Διαδρομών /σελίδα 76
Εικόνα 7	Μέσα Μετακίνησης στις Αμερικανικές πόλεις/σελίδα 82

1. Εισαγωγή.

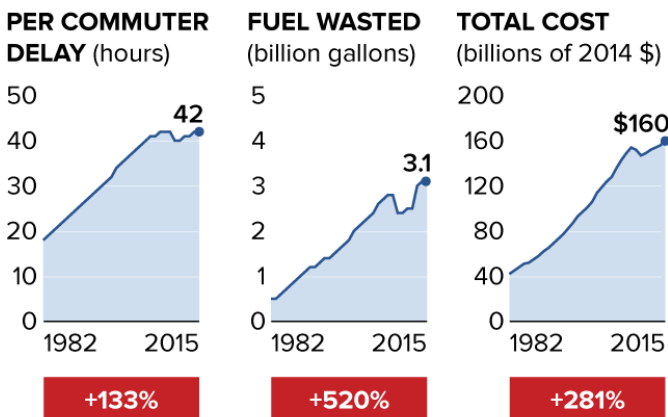
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της Μελέτης.

Ο όρος Αστική Κινητικότητα αναφέρεται σε όλο το πλαίσιο της μετακίνησής των ανθρώπων στα πλαίσια μιας κοινότητας-πόλης. Ο όρος αυτός έχει κάνει την εμφάνιση του τα τελευταία χρόνια λόγω της ραγδαίας αύξησης των κατοίκων στα αστικά κέντρα αλλά και με τη μη σωστή διαχείριση των κατάλληλων πόρων και μέσων για τη μετακίνηση[1,3]. Με την συνεχή αύξηση του πληθυσμού σε κάθε πόλη ανά την υφήλιο η Αστική Κινητικότητα γίνεται όλο και πιο δύσκολη, απαιτητική και χρονοβόρα. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει το πως η κυκλοφοριακή συμφόρηση στους δρόμους έχει αυξηθεί σημαντικά σε σύγκριση με το μακρινό 1982 και συνεχίζει ακόμα να αυξάνεται. Εκτός λοιπόν ότι η μετακίνηση πλέον των ανθρώπων αποτελεί μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία είναι επίσης αρκετά κοστοβόρα για τους ίδιους αλλά και αρκετά βλαβερή για το περιβάλλον καθώς παρατηρείται μια σοβαρή αύξηση των παραγόμενων ρύπων σε σχέση με τη δεκαετία του 1980. Αναλογίζοντας παράλληλα το γεγονός πως η μετακίνηση των ανθρώπων των σύγχρονων κοινωνιών γίνεται κυρίως μέσω ιδιωτικών οχημάτων. Σύμφωνα με ένα άρθρο το οποίο δημοσιεύτηκε το 2024 (More Than Half of Commutes Globally Made by Car, Study Finds) στο ευρέως γνωστό περιοδικό Yale Environment 360, το οποίο ασχολείται με περιβαλλοντικά θέματα παγκοσμίως, περίπου το 51% των μετακινήσεων στις σύγχρονες πόλεις ανά την υφήλιο γίνονται μέσω των αυτοκινήτων.

Συμπερασματικά η τρέχουσα Αστική Κινητικότητα στις περισσότερες πόλεις του σήμερα δεν είναι καθόλου ικανοποιητική και θα πρέπει να ληφθούν σύντομα ορισμένα μέτρα και ενέργειες προκειμένου να γίνει πιο Βιώσιμη. Αναμφίβολα το σχέδιο της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας έχει πολλές προεκτάσεις και είναι απαραίτητη η εφαρμογή του σε κάθε πόλη των σύγχρονων κοινωνιών. Εξάλλου η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αποτελεί εδώ και χρόνια, συγκεκριμένα από το μακρινό 1992 όπου ήταν η πρώτη φορά που αναγνωρίστηκε ως έννοια, κεντρικό άξονα των δράσεων των Ηνωμένων Εθνών[2]. Από το 1992 έως και σήμερα έχουν ληφθεί διάφορα μέτρα και πολιτικές σε διάφορες πόλεις ανά τον κόσμο μέσω της ομαδικής συνεργασίας διάφορων φορέων και φυσικά των κατοίκων αυτών των πόλεων και σε αρκετές περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι αρκετά αισιόδοξα δίνοντας έτσι το έναυσμα για την εδραίωση περισσότερων Αστικά Βιώσιμων κοινωνιών[1,4].

CONGESTION CONTINUES TO CLIMB

Traffic congestion has bounced back from the recession and is getting worse no matter how you measure it.



SOURCE
2015 Urban Mobility Scorecard, Texas A&M Transportation Institute



Εικόνα 1:Κυκλοφοριακή Συμφόρηση

1.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη-Στόχοι των Ηνωμένων Εθνών(SDGs).

Η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αποτελεί μέρος-υπάγεται σε μια ευρύτερη έννοια, αυτή της Βιώσιμης Ανάπτυξης. Ως Βιώσιμη Ανάπτυξη ορίζεται κάθε είδους ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί διάφορες ανάγκες που υπάρχουν στο παρόν χωρίς όμως αυτή να επηρεάζει αρνητικά τυχόν μελλοντικές ανάγκες. Κύριοι πυλώνες στους οποίους εστιάζει η Βιώσιμη Ανάπτυξη αποτελούν ο Κοινωνικός, Οικονομικός και Περιβαλλοντικός τομέας[84]. Στον Οικονομικό τομέα λόγω χάρη η ανάπτυξη θα πρέπει να προωθεί την ευημερία και την οικονομική πρόοδο, χωρίς να εξαντλεί τους φυσικούς πόρους, στον Κοινωνικό τομέα θα πρέπει να διασφαλίζεται η κοινωνική δικαιοσύνη, η δυνατότητα ίσων ευκαιριών, η πρόσβαση στην εκπαίδευση, η υγεία και αξιοπρεπή διαβίωση για όλους και στον Περιβαλλοντικό τομέα η ανάπτυξη θα πρέπει να στοχεύει στην διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων περιορίζοντας την ρύπανση και την υπερκατανάλωση[84]. Η Βιώσιμη Ανάπτυξη αποτελεί ένα πολύ κεντρικό πυλώνα της δράσης των Ηνωμένων Εθνών. Συγκεκριμένα όλα τα μέλη των Ηνωμένων Εθνών έχουν θεσπίσει μια κοινή «ατζέντα», γνωστή ως «The 2030 Agenda for Sustainable Development». Η συγκεκριμένη ατζέντα, θεσπίστηκε το 2015 και σκοπός της είναι να διαμορφώσει ένα κοινό πλάνο δράσης λαμβάνοντας υπόψιν τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης(SDGs) που εμπεριέχει αυτή. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι στόχοι:

- **Εξάλειψη κάθε μορφής Φτώχειας(1^{ος} Στόχος):** Η ατζέντα των Ηνωμένων Εθνών στοχεύει στην εξάλειψη της φτώχειας σε όλες τις διαστάσεις και μορφές της ανά την υφήλιο. Ακόμα και τώρα περίπου 700 εκατομμύρια άνθρωποι, 8.5% του παγκόσμιου πληθυσμού, ζει ακόμα κάτω από συνθήκες ακραίας φτώχειας. Οι τρεις λοιπόν κύριοι στόχοι των Ηνωμένων Εθνών που επιδιώκουν να επιτευχθούν μέχρι το 2030 είναι αρχικά η πλήρης εξάλειψη της ακραίας φτώχειας και μείωση του ποσοστού των ανδρών, γυναικών και παιδιών όλων των ηλικιών που ζουν σε συνθήκες φτώχειας τουλάχιστον κατά το ήμισυ. Σε αυτό το πλαίσιο κρίνεται και απαραίτητη η εδραίωση και εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων κοινωνικής προστασίας τα οποία θα προσφέρουν βασικές κοινωνικές παροχές και στήριξη στις πληθυσμιακές ομάδες που ζουν υπό τα όρια της φτώχειας. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Εξάλειψη Πείνας, Επίτευξη Ασφαλείας Τροφίμων, Βελτίωση Διατροφής και Ανάπτυξη της Βιώσιμης Γεωργίας(2^{ος} Στόχος):** Ακόμα και στις σύγχρονες μέρες περίπου 733 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως ζουν όντας υποσιτισμένοι. Κύριος στόχος λοιπόν των Ηνωμένων Εθνών αποτελεί η εξάλειψη της πείνας σε όσο γίνεται μεγαλύτερο βαθμό. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει βέβαια, λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι ανάγκες για περισσότερη τροφή αυξάνονται παράλληλα και με την πληθυσμιακή αύξηση, την πραγματοποίηση περισσότερων προσπαθειών και εφαρμογή νέων καινοτομιών για την αύξηση της γεωργικής παραγωγής με βιώσιμο τρόπο, την βελτίωση και επέκταση της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας και την μείωση της σπατάλης και απώλειας τροφίμων. Στόχος λοιπόν είναι όσοι υποφέρουν από υποσιτισμό και πείνα να έχουν πρόσβαση σε θρεπτικές και επαρκείς τροφές. Στο πλαίσιο αυτού του στόχου(SDGs) εντάσσεται και η λεγόμενη «Zero Hunger Challenge». Στόχοι αυτής είναι η επίτευξη μηδενικής καθυστέρησης της ανάπτυξης των παιδιών σε ηλικίες έως 2 ετών, η πρόσβαση όλων των ανθρώπων σε τρόφιμα, η αύξηση της παραγωγικότητας και του εισοδήματος των μικροκαλλιεργητών και η επίτευξη μηδενικής απώλειας και σπατάλης τροφίμων. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Εξασφάλιση Υγείας Ζωής και Ευημερίας για Όλους τους Ανθρώπους και για Όλες τις Ηλικίες(3^{ος} Στόχος):** Σε αυτό το πλαίσιο τα Ηνωμένα Έθνη εστιάζουν στην αξία της υγείας και της ευημερίας. Οι επιμέρους στόχοι αυτού του στόχου είναι

επιγραμματικά:

- ❖ Μείωση του Παγκόσμιου δείκτη Μητρικής Θνησιμότητας.
- ❖ Πλήρη εξάλειψη των αποτρέψιμων θανάτων παιδιών και νεογνών.
- ❖ Εξάλειψη των επιδημιών του AIDS, της φυματίωσης, της ελονοσίας και άλλων μεταδοτικών ασθενειών.
- ❖ Μείωση της θνησιμότητας από μη-μεταδοτικές ασθένειες.
- ❖ Ενίσχυση της πρόληψης και των θεραπειών.
- ❖ Σταδιακή απεξάρτηση από ψυχοδραστικές ουσίες.
- ❖ Μείωση κατά το ήμισυ των θανάτων και τραυματισμών από τροχαία ατυχήματα.
- ❖ Διασφάλιση καθολικής πρόσβασης σε υπηρεσίες που αφορούν την υγεία του αναπαραγωγικού συστήματος.
- ❖ Επίτευξη καθολικής υγειονομικής κάλυψης.
- ❖ Μείωση των θανάτων και ασθενειών που προκαλούνται από επικίνδυνες χημικές ουσίες και ρύπανση.

Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).

- **Εξασφάλιση Ποιοτικής και Ισότιμης Εκπαίδευσης για όλους(4^{ος} Στόχος):** Τα Ηνωμένα Έθνη αναγνωρίζουν την αξία της εκπαίδευσης και της παιδείας και επισημαίνουν ότι μέσω αυτής θα μπορέσουν οι νέες γενιές να προοδεύσουν στο μέλλον και να αναπτυχθούν ακόμα περισσότερο. Κύριος στόχος λοιπόν αυτού του SDG είναι η επίτευξη πρόσβασης ,για όλους τους ανθρώπους ανά την υφήλιο, σε δωρεάν, ισότιμη και ποιοτική πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Επεξηγηματικά τονίζεται ιδιαίτερα πως η εκπαίδευση θα πρέπει να περιλαμβάνει, εκτός από την εκμάθηση, την καλλιέργεια διαφόρων χρήσιμων δεξιοτήτων και την διαμόρφωση καλλιεργημένων συναισθηματικά μελών της κοινωνίας, έτοιμα για να ενταχθούν ομαλά στην κοινωνία. Παράλληλα, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εξάλειψη οποιουδήποτε είδους ανισότητας όσο αφορά την εκπαίδευση που λαμβάνει ο οποιοσδήποτε. Δηλαδή η εκπαίδευση θα πρέπει να είναι ένα κοινό δικαίωμα για όλους ανεξαρτήτως της κοινωνικής, οικονομικής κατάστασης του καθενός. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Επίτευξη Απόλυτης Ισότητας των Δύο Φύλων και Υποστήριξη των Γυναικών(5^{ος} Στόχος):** Από την πρώτη μέρα δημιουργίας του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών, έχουν πραγματοποιηθεί πάρα πολλές προσπάθειες και έχουν ληφθεί αρκετές πρωτοβουλίες για την εξάλειψη της ανισότητας των δύο φύλων. Παρότι έχουν σημειωθεί τεράστια βήματα προόδου ακόμα και σήμερα οι ανισότητες των δύο φύλων είναι ακόμα βαθιά ριζωμένες σε κάθε κοινωνία. Σημειώνεται ότι ακόμα και στις σύγχρονες και πιο αναπτυγμένες κοινωνίες αρκετές γυναίκες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εύρεση μιας αξιοπρεπής θέσης εργασίας με ικανοποιητικές αποδοχές και πέφτουν συχνά θύματα διακρίσεων και βίας σε οποιαδήποτε μορφή. Για την πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου ιδρύθηκε το 2010 ο Ο.Η.Ε Γυναικών-UN Women. Στόχος αυτού η επίτευξη και εδραίωση πλήρους ισότητας των δύο φύλων με ίσες ευκαιρίες για όλους και η ανάδειξη της ιδιαίτερης αξίας του γυναικείου φύλου. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Διασφάλιση Διαθεσιμότητας και Βιώσιμης Διαχείρισης του Νερού και της Υγιεινής(6^{ος} Στόχος):** Τις τελευταίες δεκαετίες η εύρεση και αξιοποίηση καθαρών και πόσιμων πηγών νερού όλο και λιγοστεύουν κάτι το οποίο οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η κλιματική αλλαγή(ξηρασιές ,πλημμύρες), η

ρύπανση και η υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πηγών. Να σημειωθεί πως σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, στις μέρες μας, 2,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό, ενώ περισσότεροι από 4,2 δισεκατομμύρια στερούνται ασφαλείς εγκαταστάσεις υγιεινής. Σε αυτή τη κατάσταση συνέβαλε αρνητικά και η εμφάνιση της ασθένειας COVID-19 εξαιτίας της οποίας περιορίστηκε περαιτέρω η δυνατότητα πρόσβασης εκατομμυρίων ανθρώπων σε ασφαλές, πόσιμο νερό, κατάλληλη υγιεινή και απολύμανση. Αυτή την κατάσταση, έχουν θέσει ως στόχο τα Ηνωμένα Έθνη να ανατρέψουν, μετασχηματίζοντας πλήρως τον τρόπο διαχείρισης των υδάτινων πόρων και την παροχή υπηρεσιών ύδρευσης, αποχέτευσης και άλλων εγκαταστάσεων υγιεινής. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).

- **Διασφάλιση πρόσβασης σε προσιτή, αξιόπιστη, βιώσιμη και σύγχρονη ενέργεια για όλους(7^{ος} Στόχος):** Η ενέργεια αποτελεί πλέον ένα άκρως απαραίτητο αγαθό για την ζωή κάθε ανθρώπου παγκοσμίως. Κάθε άνθρωπος πρέπει να έχει πρόσβαση σε προσιτές αξιόπιστες και «καθαρές» ενεργειακές υπηρεσίες. Παρόλα αυτά, ακόμα και στις μέρες μας δεν έχουν όλοι οι άνθρωποι πρόσβαση σε «καθαρή» ενέργεια και έτσι αναγκάζονται να χρησιμοποιούν μη «καθαρές» μορφές ενέργειας οι οποίες προκαλούν σοβαρές συνέπειες τόσο στην υγεία των ανθρώπων όσο και στο περιβάλλον. Επομένως στο πλαίσιο αυτό τα Ηνωμένα Έθνη στοχεύουν στην συνεχή αύξηση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην σταδιακή μείωση των μη ανανεώσιμων και συνεπώς στην αύξηση του ρυθμού βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Πρώθηση Βιώσιμης Οικονομικής Ανάπτυξης, Παραγωγικής Απασχόλησης και Αξιοπρεπής Εργασίας για Όλους(8^{ος} Στόχος):** Σε αυτό το κομμάτι δίνεται αρχικά έμφαση στην σημασία της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης, χωρίς αποκλεισμούς και διακρίσεις. Η επίτευξη οικονομικής ευημερίας για μια κοινωνία αποτελεί ένα μοχλό για την επίτευξη ευημερίας και μια καλύτερη ποιότητα ζωής. Παράλληλα με την οικονομική ανάπτυξη τα Ηνωμένα Έθνη στοχεύουν στην παροχή μιας αξιοπρεπής, χωρίς διακρίσεις, εργασίας για κάθε άνθρωπο με κατάλληλα δικαιώματα και απολαβές. Στο πλαίσιο αυτό, δίνεται έμφαση στην δημιουργία και διάθεση περισσότερων θέσεων εργασίας για τις ευάλωτες κοινωνικές ομάδες όπως οι άνεργοι αγροτικοί εργάτες, οι φτωχοί των πόλεων και οι κάτοικοι χαμηλού εισοδήματος. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Ανάπτυξη Ανθεκτικών Υποδομών, Πρώθηση Βιώσιμης Βιομηχανοποίησης και Ενίσχυση Καινοτομίας(9^{ος} Στόχος):** Σε αυτό τον 9^ο στόχο(SDG) τα Ηνωμένα Έθνη επικεντρώνουν τον ενδιαφέρον τους στη δημιουργία και ανάπτυξη ανθεκτικών και βιώσιμων υποδομών, στον εκσυγχρονισμό της βιομηχανίας μετατρέποντας την σταδιακά σε βιώσιμη και στην ενίσχυση της καινοτομίας. Η υλοποίηση αυτού του στόχου είναι αρκετά σημαντική καθώς επιφέρει περισσότερη οικονομική ανάπτυξη, θα δημιουργήσει νέες και περισσότερες θέσεις εργασίας βελτιώνοντας τις συνθήκες ζωής των ανθρώπων. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Μείωση των Ανισοτήτων Εντός και Μεταξύ των Χωρών(10^{ος} Στόχος):** Με τον όρο ανισότητα εννοούμε την κατάσταση κατά την οποία οι άνθρωποι έχουν άνιση προσβασιμότητα σε πόρους, υπηρεσίες, και θέσεις στην κοινωνία. Το φαινόμενο της ανισότητας έχει αυξηθεί σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια δίνοντας έτσι έναυσμα στα Ηνωμένα Έθνη να δράσουν αναλόγως. Παρακάτω λοιπόν παρουσιάζονται επιγραμματικά οι επιμέρους στόχους που έχουν τεθεί:

- ❖ Διασφάλιση δίκαιας κατανομής πόρων και εισοδήματος.
- ❖ Μείωση κοινωνικής ανισότητας.
- ❖ Ενίσχυση της κοινωνικής, οικονομικής και πολιτικής ένταξης όλων των ατόμων ανεξαρτήτως της κοινωνικής τους τάξης και προσωπικών χαρακτηριστικών και ιδιαιτεροτήτων.
- ❖ Προώθηση διακρατικής συνεργασίας, εντάσσοντας όλο και περισσότερο τις αναπτυσσόμενες χώρες στο διεθνές εμπόριο και συνεργασίες, προσφέροντας έτσι την ευκαιρία σε αυτές τις χώρες να αναπτυχθούν περαιτέρω οικονομικά αλλά και πολιτιστικά.

Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).

- **Ανάπτυξη Βιώσιμων Πόλεων και Κοινοτήτων(11^{ος} Στόχος):** Σύμφωνα με έρευνες πάνω από το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε αστικές περιοχές-πόλεις. Η ραγδαία αυτή αστικοποίηση που συμβαίνει τις τελευταίες δεκαετίες έχει δημιουργήσει διάφορες προκλήσεις και προβλήματα στα πλαίσια των πόλεων όπως δυσκολία εύρεσης στέγης, κυκλοφοριακή συμφόρηση, ατμοσφαιρική ρύπανση και ανισότητα πρόσβασης σε διάφορες βασικές υποδομές. Τα Ηνωμένα Έθνη αναγνωρίζουν τη σοβαρότητα της κατάστασης και τονίζουν την αναγκαιότητα βελτίωσης της βιωσιμότητας των αστικών κέντρων λαμβάνοντας υπόψιν πως η αστικοποίηση θα συνεχίζει να πραγματοποιείται με τους ίδιους ρυθμούς, αναμένοντας κιάλας έως το 2050 τα δύο τρίτα του παγκόσμιου πληθυσμού να κατοικούν σε κάποια πόλη. Επομένως τα Ηνωμένα Έθνη θέτουν τους εξής στόχους για την επίτευξη της εδραίωσης βιώσιμων αστικών κέντρων:
 - ❖ Προσιτή, ασφαλής και οικονομική στέγαση για όλους.
 - ❖ Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα και Βελτίωση Συστημάτων Μεταφορών.
 - ❖ Ανθεκτικότητα απέναντι σε φυσικές καταστροφές.
 - ❖ Σωστή διαχείριση των απορριμμάτων.
 - ❖ Ενίσχυση στη συμμετοχικότητας στην αστική διακυβέρνηση.
 - ❖ Προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς των πόλεων.

Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).

- **Εξασφάλιση Βιώσιμης Κατανάλωσης και Παραγωγής(12^{ος} Στόχος):** Οι απαιτήσεις για την συνεχή μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας ολοένα και αυξάνονται στις μέρες μας, ενώ η κατανάλωση των τροφίμων γίνεται όλο και περισσότερο υπέρμετρη και λιγότερο φειδωλή. Για αυτό το λόγο η βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη στοχεύει στη βελτίωση της οικονομικής ευημερίας μέσω της πιο αποδοτικής χρήσης των πόρων. Αυτό πρακτικά σημαίνει μείωση της κατανάλωσης και καλύτερη διαχείριση πρώτων υλών και ενέργειας, καθώς και σταδιακή ελάττωση του παραγόμενου όγκου αποβλήτων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής των προϊόντων. Περιλαμβάνει επίσης, την προώθηση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας καθ' όλη την αλυσίδα της παραγωγικότητας, την ορθολογική αξιοποίηση των φυσικών πόρων, τη βιώσιμη διαχείριση απορριμμάτων, την ενίσχυση υπεύθυνων προτύπων κατανάλωσης και την ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών στις επιχειρηματικές δραστηριότητες. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Αντιμετώπιση Κλιματικής Αλλαγής και των Επιπτώσεων που Επιφέρει(13^{ος} Στόχος):** Σύμφωνα με τους επιστήμονες η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια παρατηρώντας παράλληλα μια ραγδαία αύξηση των συγκεντρώσεων CO₂ στην ατμόσφαιρα. Ο ανθρώπινος παράγοντας και οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προκαλέσει μια πληθώρα επιβλαβών αλλαγών

στην ατμόσφαιρα, στο φυσικό περιβάλλον και στη βίο-ποικιλομορφία του πλανήτη μας. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η άμεση δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών και επιπτώσεων αυτής. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).

- **Βιωσιμότητα και Προστασία των Ωκεανών και των Θαλάσσιων Πόρων(14^{ος} Στόχος):** Οι ωκεανοί και οι θάλασσες αποτελούν ένα πάρα πολύ απαραίτητο και σημαντικό κομμάτι του οικοσυστήματος του πλανήτη μας. Καλύπτουν σχεδόν τα δύο τρίτα της Γης και είναι άκρως σημαντική η διατήρηση και προστασίας τους. Αν αναλογιστούμε κίολας ότι αποτελούν βασικό ρυθμιστή του κλίματος, σημαντικό απορροφητή των αερίων του θερμοκηπίου, παρέχουν νερό και οξυγόνο και φιλοξενούν τεράστια αποθέματα βιοποικιλότητας μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε την αναγκαιότητα προστασίας τους. Επομένως τα Ηνωμένα Έθνη λαμβάνουν την πρωτοβουλία για την διατήρηση, προστασία των ωκεανών, την ελάττωση της ρύπανσης τους, την μείωση της υπέρμετρης αλιείας και εκμετάλλευσης των θαλάσσιων πόρων και την καλύτερη αξιοποίηση τους για το περιβαλλοντικό και ανθρώπινο συμφέρον. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών (<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Αποκατάσταση και Προώθηση της Βιωσιμότητας των Χερσαίων Οικοσυστημάτων(15^{ος} Στόχος):** Όπως και με τους ωκεανούς έτσι και σε αυτό το στόχο τίθεται η αναγκαιότητα διατήρησης του χερσαίου φυσικού περιβάλλοντος. Τα τελευταία χρόνια η υπέρμετρη εκμετάλλευση του φυσικού χερσαίου πλούτου έχει λάβει μεγάλες διαστάσεις παρατηρώντας φαινόμενα όπως ξηρασία, μόλυνση υδάτινων πόρων και καταστροφή οικοσυστημάτων. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος άμεσα. Κάτι τέτοιο ορίζουν τα Ηνωμένα Έθνη πως πρέπει να γίνει μέσω μια συντονισμένης προσπάθειας και δράσης σε διεθνές επίπεδο μέσω της ενσωμάτωσης και εδραίωσης βιώσιμων πρακτικών στην γεωργία, δασοκομία και γενικά σε κάθε δραστηριότητα που αξιοποιεί το φυσικό περιβάλλον, της εφαρμογής νέων μέτρων προστασίας των χερσαίων οικοσυστημάτων και της επένδυσης στην αποκατάσταση των ζημιών που έχουν γίνει στο φυσικό πλούτο του πλανήτη μας. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Διασφάλιση Ειρήνης, Δικαιοσύνης και Κατάλληλων Θεσμών(16^{ος} Στόχος):** Αυτός ο στόχος επικεντρώνεται στην προώθηση ειρηνικών, δίκαιων και περιεκτικών κοινωνιών, απαραίτητων για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Στόχος είναι η διασφάλιση ίσης και δικαίας πρόσβασης στη δικαιοσύνη για όλους και η δημιουργία αποτελεσματικών, υπεύθυνων και περιεκτικών θεσμών σε όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης. Η επίτευξη του απαιτεί ενίσχυση της διαφάνειας, της λογοδοσίας και της συμμετοχικής διακυβέρνησης, καθώς και την καταπολέμηση της διαφθοράς, της βίας και των κοινωνικών ανισοτήτων, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον σταθερό, ασφαλές και δίκαιο για όλους τους πολίτες. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).
- **Ενίσχυση των Παγκόσμιων Συνεργασιών για την Επίτευξη της Βιώσιμης Ανάπτυξης(17^{ος} Στόχος):** Σε αυτό τον στόχο τα Ηνωμένα Έθνη εστιάζουν στην αναγκαιότητα εδραίωσης ισχυρών δεσμών και συνεργασίας μεταξύ διάφορων χωρών και οργανισμών με σκοπό την επίτευξη και προώθηση της Βιώσιμης Ανάπτυξης. Επισημαίνεται πως η ενδυνάμωση των διεθνών συνεργασιών, η συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων μερών και η αποτελεσματική διακυβέρνηση είναι καθοριστικές για την επιτυχή εφαρμογή διαφόρων πολιτικών και μέτρων για την αντιμετώπιση παγκόσμιων προκλήσεων. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν

από την επίσημη σελίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών(<https://sdgs.un.org/goals>).

Μέσω της πλήρους κατανόησης των 17 αυτών στόχων των Ηνωμένων Εθνών γίνεται ευρέως αντιληπτό ότι η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα εντάσσεται κυρίως στον 11^ο Στόχο(Ανάπτυξη Βιώσιμων πόλεων και κοινοτήτων) αλλά έχει και προεκτάσεις σε υπόλοιπους τομείς. Στόχος της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας αποτελεί η πλήρη εναρμόνιση με τους στόχους των Ηνωμένων Εθνών προσφέροντας υπηρεσίες φιλικές προς τους ανθρώπους και το περιβάλλον. Παρακάτω παρατίθεται τι ακριβώς πρεσβεύει η έννοια της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας, ποιος είναι ο σκοπός της και θα γίνει ενδεικτική αναφορά στους στόχους(SDG) που επιτυγχάνει-αξιοποιεί κάποια ενέργεια της:

- Σκοπός της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας αποτελεί η δυνατότητα παροχής καθολικής και ισότιμης πρόσβασης ,όλων των ανθρώπων, στα κατάλληλα μέσα μεταφοράς δίνοντας και περαιτέρω έμφαση στην εξυπηρέτηση, ασφάλεια και διευκόλυνση στις ευάλωτες κοινωνικές ομάδες όπως ηλικιωμένους και άτομα με αναπηρίες. Συνεπώς δίνεται η ευκαιρία σε όλους τους ανθρώπους ανεξαρτήτως της γεωγραφικής τους θέσης και οικονομικής κατάστασης να έχουν πρόσβαση σε μια πληθώρα μέσων μεταφοράς για την αξιοποίηση τους[2,85]. Αυτή η πτυχή της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας εναρμονίζεται και προάγει τον 5^ο και 10^ο Στόχο των Ηνωμένων Εθνών.
- Στόχος της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας αποτελεί να μεν η επίτευξη της καλύτερης δυνατής τακτικής-πολιτικής μεταφοράς σεβόμενη όμως πάντα το περιβάλλον[3]. Μέσω αυτής, προωθούνται οι Στόχοι 3, 7 και 13. Σύμφωνα με την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα κρίνεται απαραίτητη η σταδιακή απεξάρτηση από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας(βενζίνη, πετρέλαιο) για την μετακίνηση των ανθρώπων[1]. Αυτό σημαίνει αντικατάσταση οχημάτων τόσο ιδιωτικών όσο και δημόσιων με ηλεκτρικά οχήματα, πραγματοποίηση περισσότερων δρομολογίων από τα μέσα μαζικής μεταφοράς, προώθηση νέων τρόπων μετακίνησης και αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας[86]. Αυτές οι αλλαγές θα ελαττώσουν αισθητά την ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις βελτιώνοντας και διαφυλάσσοντας έτσι περισσότερο την υγεία των ανθρώπων αλλά και την ευημερία του περιβάλλοντος[3,86] ελαττώνοντας τις εκπομπές CO₂.
- Η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα θα έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στην υγεία και την ευημερία των ανθρώπων. Αρχικά προωθεί την μετακίνηση με τα πόδια ή το ποδήλατο, δύο μορφές μετακίνησης που προάγουν την σωματική άσκηση και δίνουν ενέργεια και ευεξία στους ανθρώπους[87]. Στοχεύει στην μείωση των τροχαίων ατυχημάτων και θανάτων στους δρόμους με την εισαγωγή χαμηλότερων ορίων ταχύτητας ,νέων τεχνολογιών εντοπισμού κίνησης και αυτόματου φρεναρίσματος στα μέσα μεταφοράς, δημιουργία περισσότερων διαβάσεων για τους πεζούς και ποδηλατοδρόμων(bike lanes)[3].
- Τα θετικά στοιχεία της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας επεκτείνονται και στον οικονομικό τομέα μιας κοινωνίας. Αυτό συμβαίνει αρχικά με την παροχή φθηνών και αξιόπιστων λύσεων μετακίνησης για όλους τους πολίτες, βοηθώντας έτσι και στηρίζοντας αισθητά τις πιο οικονομικά ευάλωτες ομάδες ανθρώπων. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα ευέλικτης μετακίνησης των ανθρώπων από και προς τη δουλειά τους. Επεξηγηματικά η απόσταση της κατοικίας ενός ανθρώπου με τον χώρο εργασίας του αποτελούσε διαχρονικά μια πρόκληση καθώς υπήρχε η ανάγκη η εργασία να είναι σχετικά κοντά στην κατοικία του. Κάτι τέτοιο αλλάζει με την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα δίνοντας την δυνατότητα στον κάθε άνθρωπο να μετακινηθεί ευέλικτα και γρήγορα στο χώρο εργασίας του, χωρίς να τον

απασχολεί όπως παλιότερα η απόσταση. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν γίνεται πιο απλή η εύρεση εργασίας. Στο ίδιο τομέα με αυτό αντίστοιχα προσφέρεται η δυνατότητα στα παιδιά να μεταβούν στο σχολείο τους με την απαραίτητη ασφάλεια και ταχύτητα και ειδικά σε εκείνα τα παιδιά που κατοικούν σε γενικά απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές ή στα περίχωρα μιας πόλης [2,4]. Αυτή η πτυχή, προάγει τους στόχους 1,4,8 και εναρμονίζεται πλήρως με αυτούς.

- Μέσω της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας λοιπόν προωθείται και ο 17^{ος} Στόχος των Ηνωμένων Εθνών καθώς για την εδραίωση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στις σύγχρονες κοινωνίες απαιτείται συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, τοπικών αρχών, ιδιωτικού τομέα και πολιτών για τα βιώσιμα συστήματα κινητικότητας.

Συνεπώς η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα ως έννοια δεν εντάσσεται πλήρως και καθολικά σε ένα αποκλειστικό στόχο από τους 17, των Ηνωμένων Εθνών αλλά αντικατοπτρίζεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, άμεσα και έμμεσα, σε όλους τους παραπάνω στόχους καθώς αποτελεί ένα καταλυτικό παράγοντα για την επίτευξη όλων αυτών [1,88]. Αναλογίζοντας, την ιδιαίτερη σημασία και προσοχή που προβάλλουν τα Ηνωμένα Έθνη για την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα τα οποία έχουν παράλληλα ορίσει την Δεκαετία των Ηνωμένων Εθνών για τις Βιώσιμες Μεταφορές (2026-2035) η οποία στοχεύει στην ενίσχυση της παγκόσμιας συνεργασίας, της καινοτομίας και της δράσης για τη δημιουργία ενός βιώσιμου, χωρίς αποκλεισμούς και ανθεκτικού συστήματος μεταφορών. Το Σχέδιο Εφαρμογής, που παρουσιάστηκε επίσημα στις 10 Δεκεμβρίου 2025 στα Ηνωμένα Έθνη, θα αποτελέσει στρατηγικό πλαίσιο για τον συντονισμό, τη χρηματοδότηση και την παρακολούθηση των προσπαθειών για βιώσιμη κινητικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.3 Μεθοδολογία Έρευνας.

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην αναγκαιότητα της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας και των προεκτάσεων αυτής. Σκοπός της πτυχιακής αποτελεί η προβολή και ανάδειξη προτάσεων και αλλαγών που πρέπει να γίνουν για την επίτευξη των διάφορων στόχων. Οι προτάσεις και βιώσιμες στρατηγικές ενδέχεται να διαφέρουν από μια αστική περιοχή - αστικό κέντρο σε μια άλλη. Ως παράδειγμα, σε μια πόλη η οποία είναι αρκετά πολυπληθής και με μεγάλο αστικό κέντρο λόγω χάρη η Αθήνα και σε μια άλλη πόλη η οποία είναι μια πόλη της επαρχίας λόγω χάρη τα Τρίκαλα, οι ανάγκες για μετακίνηση διαφέρουν κατά πολύ. Η Αθήνα όντας και πρωτεύουσα της Ελλάδας, είναι ταυτόχρονα και το επιστημονικό, επιχειρησιακό και εργασιακό κέντρο της χώρας. Εκατοντάδες χιλιάδες άνθρωποι καθημερινά μετακινούνται από και προς την εργασία τους διανύοντας αρκετά χιλιόμετρα είτε με ένα ιδιωτικό όχημα ή μέσω άλλων μεθόδων μεταφοράς [89]. Η ύπαρξη μετρό, ηλεκτρικού, λεωφορείων, τραμ και μεν συμβάλουν στην μετακίνηση των κατοίκων αλλά υπάρχει μεγάλος χώρος για διορθώσεις και αλλαγές [89]. Αντιθέτως τα Τρίκαλα όντας μια επαρχιακή πόλη έχει λιγότερες ανάγκες όσο αφορά την αστική κινητικότητα. Χαρακτηρίζεται από μικρότερες αποστάσεις μετακίνησης σε καθημερινή βάση, μεγαλύτερη εξάρτηση από το αυτοκίνητο και από λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση, επομένως οι αλλαγές στην κινητικότητα που πρέπει να γίνουν εκεί είναι τελείως διαφορετικές σε σχέση με την Αθήνα.

Συνεπώς οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν καθώς και οι ανάγκες κάθε πόλης διαφέρουν. Για τον λόγο η εν λόγω πτυχιακή δεν εστιάζει μόνο στην παρουσίαση γενικών τεχνολογικών προτάσεων για την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αλλά πραγματοποιεί αρχικά μια μοντελοποίηση-κατηγοριοποίηση όλων των σύγχρονων πόλεων και κατοικιών ανάλογα με την τοποθεσία τους, το πληθυσμό τους και άλλα χαρακτηριστικά και σε κάθε κατηγορία πόλεων προτείνει και αναλύει τα πιο κατάλληλα μέτρα και αλλαγές που θα μπορούν να ληφθούν για την επίτευξη του καλύτερου

δυνατού αποτελέσματος για την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα.

1.4 Δομή της Εργασίας.

Η δομή της εργασίας είναι αρκετά απλή. Συγκεκριμένα η εν λόγω πτυχιακή ξεκινάει με μια εισαγωγική ενότητα στην οποία επεξηγείται πλήρως η έννοια της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στις σύγχρονες κοινωνίες και πραγματοποιείται αναφορά στους 17 στόχους των Ηνωμένων Εθνών σχετικά με την Βιώσιμη Ανάπτυξη. Είναι σημαντική η σύνδεση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας με τους 17 αυτούς στόχους και καθ' όλη την πτυχιακή γίνεται προσπάθεια προκειμένου να προάγονται αυτοί μέσω των προτάσεων, μέτρων και στρατηγικών βιώσιμης κινητικότητας που προτείνονται.

Συνεχίζοντας, στην δεύτερη ενότητα της πτυχιακής πραγματοποιείται μια εκτεταμένη ανάλυση και περαιτέρω επεξήγηση της έννοιας της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας σε ένα πιο θεωρητικό πλαίσιο επεξηγώντας διάφορες σημαντικές έννοιες όπως το σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (SUMP). Η γνώση των εννοιών αυτών κρίνεται απαραίτητη για την πλήρη κατανόηση του συνόλου της πτυχιακής εργασίας.

Εν συνεχεία, στην 3^η Ενότητα πραγματοποιείται η μοντελοποίηση των σύγχρονων πόλεων και αστικών περιοχών σε διάφορες κατηγορίες και υπο-κατηγορίες με σκοπό στην συνέχεια να προταθούν και να αναλυθούν περαιτέρω τα κατάλληλα μέτρα και προτάσεις Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας για κάθε κατηγορία ξεχωριστά λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαίτερες συνθήκες και προκλήσεις της κάθε κατηγορίας. Παράλληλα με βάση την μοντελοποίηση υλοποιείται και ένα πρόγραμμα ταξινόμησης πόλεων με την γλώσσα προγραμματισμού *python* στις εν λόγω κατηγορίες.

Στην επόμενη ενότητα, η πτυχιακή επικεντρώνεται στις προκλήσεις και τις ανάγκες κάθε κατηγορίας πόλεων αναλύοντας αυτές. Παράλληλα πραγματοποιείται μια στατιστική ανάλυση δεικτών σχετικά με την κινητικότητα των πόλεων της κάθε κατηγορίας και η εξαγωγή συσχετίσεων μεταξύ των δεικτών. Είναι αρκετά σημαντικό κομμάτι της πτυχιακής καθώς για την πρόταση κατάλληλων μέτρων βιώσιμης κινητικότητας για κάθε κατηγορία απαιτείται πλήρη γνώση και των προκλήσεων που θα προκύψουν αλλά και των ιδιαίτερων αναγκών και των τωρινών πραγματικών δεδομένων κινητικότητας σε αυτές..

Στην 5^η ενότητα, παρουσιάζονται τα προτεινόμενα καινοτόμα μέτρα, πολιτικές και στρατηγικές Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας που κρίνονται κατάλληλα να εφαρμοστούν για κάθε κατηγορία πόλεων ξεχωριστά. Στο πλαίσιο αυτό αντλούνται και πληροφορίες και ιδέες από διάφορα παραδείγματα πόλεων ανά τον κόσμο οι οποίες έχουν εφαρμόσει ήδη κάποια μέτρα Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας με ανάλογη επιτυχία.

Εν τέλει, στην τελευταία ενότητα, η οποία περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της εργασίας, παρουσιάζονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

2. Θεωρητικό Πλαίσιο

2.1 Ορισμός της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.

Η βιώσιμη αστική κινητικότητα αποτελεί μια ολιστική και σύγχρονη προσέγγιση στον σχεδιασμό και την οργάνωση των μετακινήσεων μέσα στις πόλεις, επιδιώκοντας να καλύψει τις ανάγκες μετακίνησης των ανθρώπων με τρόπο περιβαλλοντικά υπεύθυνο, κοινωνικά δίκαιο και οικονομικά αποδοτικό[1,2]. Δεν αφορά μόνο την επιλογή μέσων μεταφοράς, αλλά και τη διαμόρφωση ενός αστικού περιβάλλοντος που ενθαρρύνει τη βιώσιμη συμπεριφορά, μέσα από έξυπνες πολιτικές, καινοτόμες τεχνολογίες και συμμετοχικό σχεδιασμό. Βασικός της στόχος είναι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος μεταφορών που μειώνει την ατμοσφαιρική ρύπανση, τον θόρυβο και την κυκλοφοριακή συμφόρηση, ενώ προάγει την ασφάλεια, την υγεία και την ποιότητα ζωής των πολιτών[3]. Παράλληλα, συμβάλλει στην ενίσχυση της κοινωνικής συνοχής και της προσβασιμότητας, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι πολίτες -ανεξαρτήτως ηλικίας, φύλου ή οικονομικής κατάστασης- έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης. Η βιώσιμη κινητικότητα δίνει έμφαση σε εναλλακτικούς και χαμηλών εκπομπών τρόπους μετακίνησης, όπως το περπάτημα, η ποδηλασία, τα μέσα μαζικής μεταφοράς και τα συστήματα κοινής χρήσης οχημάτων, ενώ περιορίζει την εξάρτηση από το ιδιωτικό αυτοκίνητο. Η ανάπτυξή της συνδέεται άμεσα με την προώθηση των Έξυπνων Πόλεων(Smart Cities), μέσω της αξιοποίησης ψηφιακών τεχνολογιών, δεδομένων και καινοτόμων λύσεων κινητικότητας[1,2,3,6].

2.2 Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας(SUMP).

Ένα Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (SUMP) είναι ένα στρατηγικό σχέδιο που αποσκοπεί στην κάλυψη των διαφόρων αναγκών μετακίνησης των πολιτών στα πλαίσια των πόλεων, τα αστικά κέντρα και τις γύρω περιοχές, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Αξιοποιεί σύγχρονες μεθόδους σχεδιασμού, ενσωματώνοντας αρχές όπως η συμμετοχικότητα και η αξιολόγηση[3,90].

Το SUMP οφείλει να περιλαμβάνει ολόκληρη τη λειτουργική αστική ζώνη (πόλη, περιοχές μετακινήσεων και περίχωρα), λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εν δυνάμει κυκλοφοριακές ροές. Ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών επιπέδων διοίκησης (τοπικών, περιφερειακών, εθνικών) και διάφορων πολιτικών πεδίων. Διαμορφώνεται σε συνεργασία με τους κατοίκους και τους σχετικούς φορείς, προωθώντας βιώσιμες λύσεις μετακίνησης που εξασφαλίζουν την ασφάλη, υγιεινή και πιο αποδοτική μεταφορά ανθρώπων και αγαθών, με σεβασμό τόσο στους πολίτες όσο και στο περιβάλλον. Πιο αναλυτικά, ένα Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας αναπτύσσεται μέσω μιας δομημένης διαδικασίας που περιλαμβάνει αρκετά βασικά στάδια[31,90].

Αρχικά, απαιτείται η μεθοδική συλλογή και ανάλυση μια πληθώρας δεδομένων σχετικά με τα υφιστάμενα πρότυπα κινητικότητας, τις υποδομές και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στη συνέχεια, καθορίζονται μακροπρόθεσμοι στόχοι που ευθυγραμμίζονται με τις αρχές της βιωσιμότητας. Η φάση του σχεδιασμού περιλαμβάνει τη συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων και τη διαμόρφωση στρατηγικών για τη βελτίωση της αστικής κινητικότητας, όπως η ανάπτυξη υποδομών, η εφαρμογή πολιτικών μέτρων και η αξιοποίηση τεχνολογικών καινοτομιών. Η υλοποίηση περιλαμβάνει την εκτέλεση των προγραμματισμένων δράσεων, ενώ πραγματοποιείται συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση για την εκτίμηση της προόδου και την προσαρμογή όπου είναι απαραίτητο[32].

Η διαδικασία δίνει εξίσου έμφαση στην ενοποίηση των αναγκών μετακίνησης επιβατών και εμπορευμάτων, λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα ζωής των πολιτών και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Συμπερασματικά ο ορισμός και η υλοποίηση ενός Σχεδίου Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (SUMP) αποτελεί μια σύνθετη, ολοκληρωμένη και εξελισσόμενη διαδικασία στρατηγικού σχεδιασμού, που στοχεύει στη διαμόρφωση ενός αποδοτικού, περιβαλλοντικά υπεύθυνου και κοινωνικά ισότιμου συστήματος μεταφορών.

Το SUMP βασίζεται σε έναν κυκλικό, συμμετοχικό και προσαρμοστικό σχεδιασμό, ο

οποίος περιλαμβάνει διαδοχικά στάδια και προσαρμόζεται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της κάθε πόλης-κοινωνίας και των κατοίκων της[31,32]. Αναλυτικά τα στάδια αυτά ενός πλάνου SUMP.

Στο αρχικό στάδιο προετοιμασίας καθορίζονται το πεδίο εφαρμογής και τα «όρια» του σχεδίου, ενώ πραγματοποιείται συστηματική συλλογή και ανάλυση δεδομένων που αφορούν τις υπάρχουσες συνθήκες κινητικότητας, τις υποδομές, καθώς και το θεσμικό και πολιτικό πλαίσιο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία εντοπίζονται οι βασικές προκλήσεις και οι υπάρχουσες ανάγκες αλλά και οι ευκαιρίες βελτίωσης του αστικού συστήματος μεταφορών, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές παραμέτρους. Η ενεργή συμμετοχή των πολιτών και των εμπλεκόμενων φορέων αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο της διαδικασίας, καθώς μέσω διαβουλεύσεων και συμμετοχικών διαδικασιών συλλέγονται και ακούγονται περισσότερες απόψεις, ανάγκες και προτάσεις που συμβάλλουν στη διαμόρφωση ενός κοινού οράματος για τη βιώσιμη κινητικότητα[31,90].

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης, η οποία περιλαμβάνει την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος μεταφορών, τη μελέτη των προτύπων μετακίνησης, των επιπέδων προσβασιμότητας και των κυκλοφοριακών προβλημάτων. Μέσα από αυτή τη διερεύνηση αναδεικνύονται κρίσιμα ζητήματα, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ανεπαρκής εξυπηρέτηση από τα δημόσια μέσα μεταφοράς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που απορρέουν από την υπέρμετρη χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου[31,90].

Κατόπιν, αναπτύσσονται εναλλακτικά σενάρια και καθορίζονται οι στρατηγικοί στόχοι του σχεδίου, οι οποίοι συνδέονται με τους 17 στόχους(SDGs) των Ηνωμένων Εθνών δηλαδή ενδεικτικά με τη μείωση των εκπομπών ρύπων, την προώθηση βιώσιμων τρόπων μετακίνησης όπως το περπάτημα, η ποδηλασία και τα μέσα μαζικής μεταφοράς, καθώς και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Σε αυτό το πλαίσιο διαμορφώνεται ένα μακροπρόθεσμο όραμα, που ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης, της κοινωνικής δικαιοσύνης και της καθολικής προσβασιμότητας.

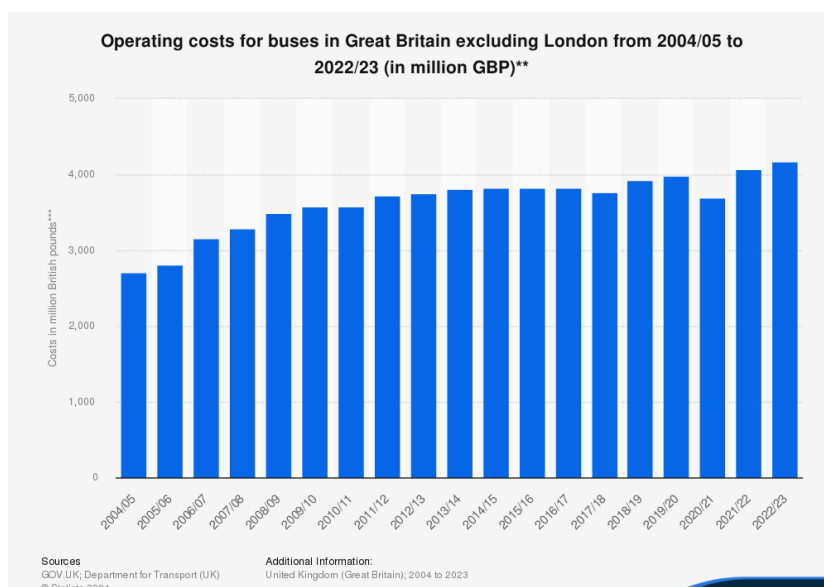
Ακολουθεί η κατάρτιση στρατηγικών και συγκεκριμένων μέτρων πολιτικής, τα οποία κατηγοριοποιούνται σε θεματικές ενότητες όπως η διακυβέρνηση, η κυκλοφοριακή διαχείριση, η ενίσχυση των υποδομών για πεζούς και ποδηλάτες, καθώς και η αναβάθμιση των δημόσιων συγκοινωνιών[31]. Τα προτεινόμενα μέτρα αξιολογούνται και ιεραρχούνται βάσει του αναμενόμενου αντίκτυπου, της οικονομικής αποδοτικότητας και του βαθμού κοινωνικής αποδοχής τους. Η φάση που ακολουθεί αφορά τη σύνταξη και τον ορισμό του σχεδίου δράσης, στο οποίο καθορίζονται τα συγκεκριμένα έργα, τα χρονοδιαγράμματα υλοποίησης, οι υπεύθυνοι φορείς και οι πηγές χρηματοδότησης. Το σχέδιο αυτό ενσωματώνεται στα υφιστάμενα στρατηγικά και χωρικά σχέδια της πόλης, εξασφαλίζοντας τη συνέργεια και τη συνοχή των πολιτικών μεταφορών με τις λοιπές αστικές πολιτικές. Κατά το στάδιο υλοποίησης πραγματοποιούνται οι προβλεπόμενες παρεμβάσεις, όπως αναβαθμίσεις υποδομών, εισαγωγή νέων μεταφορικών υπηρεσιών ή θέσπιση ρυθμιστικών μέτρων[31]. Παράλληλα, εφαρμόζονται δράσεις ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών, προκειμένου να ενισχυθεί η αποδοχή και η θετική αλλαγή συμπεριφοράς προς πιο βιώσιμες μορφές μετακίνησης. Η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση της προόδου αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο ενός επιτυχημένου και αποδοτικού SUMP. Μέσω καθορισμένων δεικτών απόδοσης αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των εφαρμοσμένων μέτρων και ο βαθμός επίτευξης των στόχων, ενώ τα αποτελέσματα της αξιολόγησης τροφοδοτούν διαδικασίες αναθεώρησης και βελτίωσης του σχεδίου. Με αυτόν τον τρόπο, το SUMP λειτουργεί ως ένα δυναμικό και ιδιαίτερα προσαρμοστικό εργαλείο μακροπρόθεσμου σχεδιασμού, που εξελίσσεται διαρκώς μέσα από έναν κύκλο συνεχούς ανατροφοδότησης. Έτσι, διασφαλίζεται ότι το σύστημα μεταφορών μιας πόλης παραμένει ανθεκτικό, ευέλικτο, ασφαλές, αποδοτικό και προσανατολισμένο στις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης, προωθώντας παράλληλα την οικονομική ευημερία, την κοινωνική συνοχή και την προστασία του περιβάλλοντος[3,31,32]

2.3 Ιστορική Εξέλιξη και Ανάγκη για Βιώσιμες Μετακινήσεις.

Όπως είναι λογικό η Αστική Κινητικότητα έχει αλλάξει αισθητά καθ' όλη την διάρκεια της ύπαρξης της έννοιας αυτής. Συγκεκριμένα αρκεί να αναλογιστούμε πως πριν 50 χρόνια οι κοινωνίες και πολιτείες εστίαζαν κυρίως στην εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας, των αυτοκινητοδρόμων και του οδικού δικτύου. Περνώντας τα χρόνια από τότε οι πολιτείες και φορείς συνέχισαν να εξελίσσουν ότι έχει σχέση με την μετακίνηση μέσω του αυτοκινήτου εξελίσσοντας βέβαια και τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, όχι στον ίδιο βαθμό βέβαια. Τα τελευταία όμως χρόνια τώρα κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να αναθεωρηθεί πλήρως ο τομέας της Αστικής Κινητικότητας μετατοπίζοντας την έμφαση σε πιο βιώσιμους τρόπους μετακίνησης.

Η έννοια τώρα της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας πρώτο-έκανε την εμφάνιση της την δεκαετία του ενενήντα δηλαδή περίπου 35 χρόνια πριν. Συγκεκριμένα το 1992 στο διεθνές συνέδριο-συνάντηση United Nation's Earth Summit αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά επισήμως η έννοια της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Έκτοτε αποτελεί ένα ιδιαίτερο σημαντικό θέμα που απασχολεί όλες τις σύγχρονες κοινωνίες και είναι ο κεντρικός άξονας της Βιώσιμης Ανάπτυξης. Συγκεκριμένα το 2002 στην διεθνή Διάσκεψη του Ο.Η.Ε για την Βιώσιμη Ανάπτυξη(Rio+20) στην πόλη του Ρίο της Βραζιλίας αναγνωρίστηκε ομόφωνα ότι οι μεταφορές και η κινητικότητα αποτελούν κεντρικό πυλώνα της βιώσιμης ανάπτυξης. Γενικά λοιπόν η έννοια και η σημασία που δίνεται στην Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αυξάνεται κατά πολύ τα τελευταία χρόνια. Εξάλλου όλο και περισσότεροι ευσυνείδητοι πολίτες έχουν κατανοήσει την σημασία της υιοθέτησης μιας πιο βιώσιμης αστικής κινητικότητας στην καθημερινότητα τους[2]. Μην ξεχνάμε επίσης κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την προσεχή βελτιστοποίηση της αστικής κινητικότητας το οποίο είναι η στοχευμένη ευαισθητοποίηση των πολιτών-ανθρώπων πάνω στο συγκεκριμένο θέμα προκειμένου οι αλλαγές που θα γίνουν στην Αστική Κινητικότητα να γίνουν αμέσως μέρος της νέας τους καθημερινότητας.

Παρατηρώντας παράλληλα και το παρακάτω διάγραμμα το οποίο οποία αναφέρεται στα κόστη που ξοδεύονται ετησίως ανά χρόνο στα λεωφορεία στην Μεγάλη Βρετανία παρατηρούμε μια σταδιακή αύξηση αυτών το οποίο υποδηλώνει την ανάγκη των πολιτών για ένα πιο ικανοποιητικό και εξυπηρετικό δίκτυο Αστικής Μετακίνησης[4].



Εικόνα 2:Συνολικά Κόστη που Ξοδεύονται στα Λεωφορεία ετησίως στην Μεγάλη Βρετανία

2.4 Πυλώνες της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.

Όπως έχει προ-αναφέρει η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αποτελεί μια ευρεία έννοια η οποία χαρακτηρίζεται από διάφορες προεκτάσεις. Δεν αφορά μόνο την αλλαγή των τρόπων μετακίνησης των κατοίκων μιας περιοχής αλλά αφορά την αλλαγή της νοοτροπίας στο πως λειτουργεί μια κοινωνία και οι κάτοικοι αυτής[1,86]. Προάγει έναν αρκετά πιο υγιεινό τρόπο ζωής σεβόμενο το περιβάλλον παρέχοντας σε όλους, δίχως διακρίσεις, ίσες ευκαιρίες για μετακίνηση. Ωθεί τους ανθρώπους στο να μάθουν να σέβονται το περιβάλλον και να μην χρησιμοποιούν άσκοπα και αλόγιστα τα αυτοκίνητα τους. Παρακάτω λοιπόν ομαδοποιούνται οι κεντρικοί πυλώνες της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας με γνώμονα πως τα οφέλη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας είναι πολυάριθμα[3,4]:

- **Περιβαλλοντική Διάσταση:**

Η περιβαλλοντική σημασία της βιώσιμης αστικής κινητικότητας έγκειται στη δυνατότητά της να μειώνει σημαντικά τις εκπομπές ρύπων, να βελτιώνει την ποιότητα του αέρα και να συμβάλλει στον μετριασμό-επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής. Με την προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον μέσων μεταφοράς, όπως το ποδήλατο, το περπάτημα και οι υπηρεσίες κοινής μετακίνησης, η βιώσιμη αστική κινητικότητα συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τα ιδιωτικά οχήματα, τα οποία αποτελούν σημαντικές πηγές εκπομπών αερίων και ρύπων. Επιπλέον, υποστηρίζει την ανάπτυξη καθαρότερων τεχνολογιών μεταφοράς και ενθαρρύνει αλλαγές στη συμπεριφορά των πολιτών, συμβάλλοντας έτσι στη συνολική προστασία του περιβάλλοντος και στην επίτευξη στόχων για κλιματική ουδετερότητα[1,3].

- **Κοινωνική και Υγειονομική Διάσταση:**

Η κοινωνική και υγειονομική σημασία της βιώσιμης αστικής κινητικότητας περιλαμβάνει την ενίσχυση της ευημερίας των πολιτών μέσω της προώθησης ενεργών τρόπων μετακίνησης, όπως το περπάτημα και η ποδηλασία, οι οποίοι συμβάλλουν στη σωματική υγεία και στη μείωση του καθιστικού τρόπου ζωής. Επιπλέον, προάγει την κοινωνική ένταξη, βελτιώνοντας την πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες και ευκαιρίες για διαφορετικές ομάδες πληθυσμού, μειώνοντας έτσι τις κοινωνικές ανισότητες. Παράλληλα, η βιώσιμη κινητικότητα συμβάλλει στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οδηγώντας σε καλύτερη ποιότητα αέρα και χαμηλότερους κινδύνους για αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα στους κατοίκους. Συνολικά, υποστηρίζει πιο υγιή, δίκαια και βιώσιμα αστικά περιβάλλοντα[2,3].

- **Οικονομική και Λειτουργική Αποδοτικότητα**

Η οικονομική και λειτουργική αποδοτικότητα της βιώσιμης αστικής κινητικότητας ενισχύεται μέσω καινοτομιών όπως οι πλατφόρμες κοινής μετακίνησης, τα μοντέλα κοινής χρήσης οχημάτων (car-pooling, car-sharing) και οι έξυπνες τεχνολογίες που βελτιστοποιούν τη ροή της κυκλοφορίας και μειώνουν τη συμφόρηση. Αυτές οι λύσεις μειώνουν το κόστος μετακίνησης για τους πολίτες και τους δήμους, βελτιώνουν την αξιοποίηση των πόρων και αυξάνουν τη συνολική αποδοτικότητα των αστικών συστημάτων μεταφοράς. Επιπλέον, η υιοθέτηση έξυπνων μοντέλων κινητικότητας μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη απόδοση, αυξημένη ικανότητα εξυπηρέτησης και πιο ευέλικτες υπηρεσίες μεταφοράς, συμβάλλοντας έτσι σε ένα πιο βιώσιμο και οικονομικά προσιτό αστικό περιβάλλον[1,2,3].

3. Μοντελοποίηση Σύγχρονων Πόλεων και Αστικών Περιοχών.

3.1 Αρχική Μοντελοποίηση Σύγχρονων Αστικών Περιοχών

Η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα αποτελεί όπως προαναφέρθηκε ένα πολύ βασικό στόχο για κάθε κοινωνία. Αντιλαμβανόμαστε πως για κάθε πόλη και κοινότητα οι αλλαγές που θα πρέπει να γίνουν σε αυτό το πλαίσιο, η λήψη κατάλληλων μέτρων και πολιτικών αλλά και οι ανάγκες, προκλήσεις διαφέρουν από πόλη σε πόλη. Διαφορετικές ανάγκες έχει ένα μεγάλο αστικό κέντρο όπως το Λονδίνο σε σχέση με μια λιγότερο πολυπληθής πόλη. Συνειδητοποιούμε λοιπόν πως δεν γίνεται να ορίσουμε μια μοναδική πολιτική-ένα SUMP για κάθε πόλη του πλανήτη καθώς κάτι τέτοιο δεν θα είναι αντιπροσωπευτικό αλλά και εφικτό. Για αυτό το λόγο στη συγκεκριμένη Πτυχιακή έγινε η επιλογή να γίνει μια κατηγοριοποίηση-μοντελοποίηση όλων των σύγχρονων πόλεων και κατοικήσιμων περιοχών σε κατάλληλες κατηγορίες έτσι ώστε να μπορούμε να προτείνουμε συγκεκριμένα μέτρα και πολιτικές για την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα, σε κάθε κατηγορία ξεχωριστά.

Αρχικά, θα πραγματοποιηθεί μια αρχική κατηγοριοποίηση η οποία θα βασίζεται στην γεωγραφική συνέχεια μιας περιοχής και στην πληθυσμιακή της πυκνότητα. Βασιζόμενοι στο Degree of Urbanisation Typology for Local Administrative Unit Level2(LAU2) της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζεται αρχικά ως κελί πλέγματος(grid cell) το 1 τετραγωνικό χιλιόμετρο και βάσει αυτού ορίζονται 3 κατηγορίες:

- **Αστικά Κέντρα(1^η Κατηγορία):** Είναι περιοχές με πληθυσμιακή πυκνότητα άνω των 1500 κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και συνολικό πληθυσμό τουλάχιστον 50.000 κατοίκων.
- **Αστικές συστάδες(2^η Κατηγορία):** Είναι περιοχές με πυκνότητα άνω των 300 κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και συνολικό πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων.
- **Αγροτικές Περιοχές(3^η Κατηγορία):** Περιοχές εκτός των δύο παραπάνω κατηγοριών.

Πραγματοποιήθηκε λοιπόν η αρχική κατηγοριοποίηση και πραγματοποιήθηκε ο ορισμός των τριών αρχικών κατηγοριών. Εν συνεχεία, θα πραγματοποιηθεί η συνέχεια της κατηγοριοποίησης ορίζοντας ξεχωριστά για κάθε κατηγορία τις κατάλληλες υπο-κατηγορίες της, ξεκινώντας από την 1^η Κατηγορία.

- **Αστικά Κέντρα:**
Σε αυτή πρώτη κατηγορία που έχει οριστεί, αντλούντε πληροφορίες από ένα άρθρο(Redefining Global Cities), δημοσιευμένο από το Brookings Institution(<https://www.brookings.edu/articles/redefining-global-cities/>), ένα από τα πιο γνωστά και έγκυρα ερευνητικά ινστιτούτα. Με βάση αυτό το άρθρο λοιπόν διακρίνουμε τις εξής 8 κατηγορίες:
 - 1) **Global Giants:** Στην συγκεκριμένη κατηγορία αναφερόμαστε σε μητροπόλεις ανά τον κόσμο οι οποίες έχουν τεράστια οικονομική, πολιτική και πολιτιστική επιρροή. Αποτελούν τεράστια χρηματοοικονομικά κέντρα, με παγκόσμια δίκτυα κεφαλαίου και πολλές επιχειρήσεις και εταιρίες παντός τύπου. Παραδείγματα πόλεων τέτοιου τύπου αποτελούν η Νέα Υόρκη, το Λονδίνο, το Τόκιο.
 - 2) **Asian Anchors:** Σε αυτή τη κατηγορία γίνεται η αναφορά σε παγκόσμια αστικά κέντρα της Ασίας τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ ισχυρή

βιομηχανία, τεχνολογία, καινοτομία, εμπόριο και πολλαπλές επενδυτικές ροές. Παραδείγματα τέτοιων πόλεων αποτελούν το Πεκίνο, Σανγκάη, Σεούλ.

- 3) **Emerging Gateways:** Εδώ γίνεται αναφορά σε περιφερειακά κέντρα -hubs στις αναπτυσσόμενες χώρες τα οποία αποτελούν ένα μέσο σύνδεσης της διεθνούς αγοράς και της τοπικής οικονομίας. Τέτοια κέντρα είναι το Σάο Πάολο, η Τζακάρτα.
 - 4) **Factory China/Industrial Engines:** Σε αυτή τη κατηγορία γίνεται αναφορά σε πόλεις οι οποίες είναι τεράστια βιομηχανικά κέντρα που εξάγουν προϊόντα και είναι παγκόσμιας κλίμακας κινητήριες μηχανές παραγωγής. Τέτοιες πόλεις είναι λόγω χάρη η Τσενγκντου, Σενζέν.
 - 5) **Knowledge Capitals:** Εδώ γίνεται αναφορά σε πόλεις οι οποίες είναι κέντρα καινοτομίας, τεχνολογίας και εκπαίδευσης. Χαρακτηρίζονται από την πληθώρα ερευνητικών κέντρων, πανεπιστημίων και «νέων» επιχειρήσεων. Τέτοιες πόλεις αποτελούν η Στοκχόλμη, Ζυρίχη, Βοστόνη.
 - 6) **American Middleweights:** Η κατηγορία αυτή αφορά διάφορες πόλεις των Η.Π.Α με σταθερή οικονομία, βιομηχανία, πανεπιστήμια και περιφερειακή επιρροή. Παραδείγματα πόλεων σε αυτή τη κατηγορία αποτελούν το Σακραμέντο, το Ντένβερ.
 - 7) **International Middleweights:** Εδώ γίνεται αναφορά σε παγκόσμιας κλίμακας πόλεις οι οποίες είναι παγκοσμίως συνδεδεμένες με υψηλή ποιότητα ζωής και διεθνείς επενδύσεις. Κάποιες τέτοιες πόλεις είναι το Τορόντο, Βερολίνο, Σίδνεϊ.
 - 8) **Τουριστικά και Πολιτιστικά Κέντρα:** Εδώ γίνεται λόγος για μεγάλα τουριστικά κέντρα με τεράστια πολιτιστική κληρονομιά. Τέτοια κέντρα είναι η Ρώμη, Βαρκελώνη.
- **Αστικές Συστάδες:**
Στην συγκεκριμένη κατηγορία, όπως προαναφέρθηκε γίνεται λόγος για μικρότερες πόλεις και προάστια. Διακρίνονται συνεπώς οι εξής τρεις υποκατηγορίες:
 - 1) **Περιφερειακά Κέντρα:** Τα περιφερειακά κέντρα παίζουν σημαντικό ρόλο σύνδεσης μεταξύ μεγάλων μητροπόλεων και αστικών κέντρων με αγροτικές περιοχές προσφέροντας διάφορες υπηρεσίες. Παραδείγματα τέτοιων πόλεων είναι το Μπρο, Νανσί.
 - 2) **Λειτουργικά Κέντρα:** Η κατηγορία αυτή αναφέρεται σε μικρά κέντρα τα οποία είναι προσανατολισμένα σε ένα συγκεκριμένο οικονομικό τομέα, όπως η βιομηχανία, η εκπαίδευση. Τέτοιες πόλεις είναι η Ανκόνα, τα Ιωάννινα.
 - 3) **Τουριστικά και Ποιοτικής Ζωής Κέντρα:** Η κατηγορία αυτή κάνει αναφορά σε τουριστικούς πόλους έλξης με πολιτιστική κληρονομιά οι οποίοι προσφέρουν και υψηλή ποιότητα ζωής. Παραδείγματα πόλεων αποτελούν η Σιένα, το Μπριζ.
 - **Αγροτικές Περιοχές:**
Εν κατακλείδι, στην τελευταία κατηγορία της μοντελοποίησης στην οποία διακρίνονται όπως και στην προηγούμενη κατηγορία, τρεις ξεχωριστές

υποκατηγορίες οι οποίες είναι:

- 1) **Παραγωγικές Αγροτικές Περιοχές:** Γίνεται αναφορά σε περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από εντατική γεωργία ή κτηνοτροφία, όπως η Θεσσαλία, η Ολλανδική ύπαιθρος.
- 2) **Ορεινές/Απομονωμένες Αγροτικές περιοχές:** Σε αυτή την κατηγορία, εντάσσονται περιοχές με δύσκολη πρόσβαση και χαρακτηρίζονται με έντονη τοπική ταυτότητα. Τέτοιες περιοχές είναι η Ήπειρος, Άλπεις.
- 3) **Τουριστικές-Αγροτικές Περιοχές:** Σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται περιοχές οι οποίες συνδυάζουν το φυσικό τοπίο, την πολιτιστική κληρονομιά, τα έθιμα με τον εναλλακτικό τουρισμό. Τέτοιες περιοχές είναι η Τοσκάνη, Πήλιο.

Η μοντελοποίηση αυτή θα φανεί ιδιαίτερος χρήσιμη για την συνέχεια της εν λόγω πτυχιακής διότι θα αποτελέσει βάση αναφοράς για διάφορα μέτρα, αλλαγές και προκλήσεις τα οποία θα αναφέρονται ειδικά και στοχευμένα για κάθε κατηγορία και όχι σε μια γενική παρωχημένη μορφή.

3.2 Ανάπτυξη Αλγοριθμικής Διαδικασίας για ταξινόμηση την πόλεων στην προτεινόμενη μοντελοποίηση

Προκειμένου η θεωρητική κατηγοριοποίηση που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα να καταστεί πρακτικά εφαρμόσιμη για τον σχεδιασμό ενός Σχεδίου Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό εργαλείο λήψης αποφάσεων. Στόχος του εργαλείου αυτού αποτελεί μέσω της αλγοριθμικής του διαδικασίας να δημιουργήσει ένα αυτοματοποιημένο τρόπο αντιστοίχισης κάθε σύγχρονης πόλης στην κατηγορία με την οποία ταυτίζεται περισσότερο. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε υιοθετεί αρχές μηχανικής Δεδομένων(Data Engineering) και Αναγνώρισης Προτύπων(Pattern Recognition). Συγκεκριμένα, το πρόβλημα μοντελοποιείται ως ταξινόμηση σε Διανυσματικό Χώρο ή αγγλιστί Vector Space Classification, όπου κάθε πόλη αναπαρίσταται ως διάνυσμα κανονικοποιημένων χαρακτηριστικών. Η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Python, αξιοποιώντας μαθηματικά μοντέλα Ευκλείδειας Απόστασης για τον υπολογισμό της ομοιότητας με πρότυπα που ορίστηκαν με την βοήθεια των Cluster Centroids. Για την υλοποίηση της αλγοριθμικής διαδικασίας με βάση το άρθρο από το Ινστιτούτο της Brookings το οποίο έχει προ-αναφερθεί για κάθε από τις 8 συνολικά κατηγορίες παρατίθενται 5 πόλεις για κάθε κατηγορία. Επομένως θεωρείται δεδομένο ότι οι πόλεις που θα αναφερθούν ανήκουν αδιαμφισβήτητα στην αντίστοιχη κατηγορία τους. Για την 1^η κατηγορία οι πόλεις αυτές είναι Λονδίνο, Τόκιο, Νέα Υόρκη, Χονγκ Κονγκ, Λος Άτζελες. Για την 2^η κατηγορίας οι πόλεις είναι η Σιγκαπούρη, Σεούλ, Πεκίνο, Οσάκα, Μόσχα. Για την 3^η κατηγορία οι πόλεις είναι το Σάο Πάολο, το Γιοχάνεσμπουργκ, η Μπογκοτά, η Πόλη του Μεξικό, Τζακάρτα. Για την 4^η κατηγορία οι πόλεις είναι οι Τιαντζίν, Σεντζέν, Γουχάν, Ντονγκουάν, Τσονγκίνγκ . Για την 5^η κατηγορία οι πόλεις είναι η Στοκχόλμη, Βοστόνη, Άμστερνταμ, Σαν Φρανσίσκο, Κοπεγχάγη. Για την 6^η κατηγορία είναι το Σακραμέντο, το Ντένβερ, η Ατλάντα, το Όστιν, Σαρλότ. Για την 7^η κατηγορία είναι το Τορόντο, το Βερολίνο, Σίδνεϊ, Βανκούβερ, Βιέννη. Για την 8^η κατηγορία είναι η Αθήνα, Βαρκελώνη, Ρώμη, Κιότο, Βενετία. Παρακάτω παρατίθεται η αναλυτική επεξήγηση του προγράμματος:

1. Καθορισμός Προτύπων: Για την ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε χρήση 7 παραμέτρων οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των προτύπων της κάθε κατηγορίας. Οι 7 αυτοί παράμετροι αναφέρονται σε πραγματικά δεδομένα σχετικά με τις σύγχρονες πόλεις. Αυτά είναι ο συνολικός πληθυσμός κάθε πόλης, η πληθυσμιακή πυκνότητα, αριθμός ετήσιων τουριστών, το κατά κεφαλήν εισόδημα , η κυκλοφοριακή συμφόρηση που μετρείται σε ώρες χαμένες στην κίνηση ετησίως, η ταχύτητα του ίντερνετ σε Mbps, και ο δείκτης καινοτομίας. Η επιλογή των 7 παραμέτρων εισόδου του αλγορίθμου δεν έγινε εμπειρικά, αλλά βασίστηκε στο ευρέως αποδεκτό άρθρο στην βιβλιογραφία[56].

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, μια πόλη ορίζεται ως «Έξυπνη» όταν παρουσιάζει υψηλές επιδόσεις σε 6 βασικούς άξονες (Smart Dimensions). Οι παράμετροι που υιοθετήθηκαν στην παρούσα εργασία αποτελούν ποσοτικούς δείκτες (KPIs) που χαρτογραφούν αυτούς ακριβώς τους άξονες. Επιπρόσθετα, η χρήση του πληθυσμού και της πληθυσμιακής πυκνότητας ως θεμελιωδών μεγεθών ευθυγραμμίζεται με τη μεθοδολογία του Brookings Institution, το οποίο κατηγοριοποιεί τα αστικά κέντρα βάσει του μεγέθους και της οικονομικής τους δυναμικής. Συνεπώς, το διάλυμα των 7 παραμέτρων παρέχει μια ολιστική απεικόνιση της κάθε σύγχρονης πόλης, καλύπτοντας τόσο τις υποδομές της όσο και το ανθρώπινο/οικονομικό δυναμικό της. Προκειμένου τα παραπάνω δεδομένα να καταστούν συγκρίσιμα καθορίστηκε για την κάθε παράμετρο η μέγιστη τιμή αναφοράς της. Οι τιμές αυτές λειτουργούν ως παρονομαστές στη διαδικασία της κανονικοποίησης ανάγοντας όλα τα μεγέθη στην κλίμακα [0,1]. Ο καθορισμός των ορίων αυτών δεν έγινε αυθαίρετα, αλλά βασίστηκε σε παγκόσμια ρεκόρ του 2024, όπως αυτά καταγράφονται σε διεθνείς βάσεις δεδομένων. Συνεπώς λόγω χάρη για την παράμετρο του πληθυσμού δόθηκε η τιμή 40.000.000 καθώς η πολυπληθέστερη πόλη παγκοσμίως είναι το Τόκιο με περίπου 37.000.000 κατοίκους. Ο ορισμός αυτού του μικρού περιθωρίου μεταξύ της κανονικής τιμής (37.000.000) και της τιμής που ορίστηκε στον αλγόριθμο (40.000.000) έγινε για να διασφαλιστεί η υπολογιστική ευστάθεια του μοντέλου σε πιθανές μελλοντικές αυξήσεις των δεικτών. Η ίδια διαδικασία γίνεται και στις υπόλοιπες έξι κατηγορίες.

Table 1: Μέγιστες Τιμές Αναφοράς

```
self.MAX_VALS = {
    "population": 40_000_000,    #population(Tokio)
    "density": 46_000,          # Manila(people/km2)
    "tourists": 30_000_000,     # tourists annually
    "gdp_per_capita": 140_000,  # $
    "traffic_index": 120,       # Hours lost
    "internet_speed": 350,      # Mbps
    "innovation_score": 100     # Global Innovation Index
}
```

Επόμενο στάδιο της αλγοριθμικής διαδικασίας αποτελεί ο καθορισμός των προτύπων της κάθε κατηγορίας. Κεντρική αρχή της μεθοδολογίας είναι ότι τα πρότυπα αυτά δεν ορίστηκαν αυθαίρετα, αλλά προέκυψαν υπολογιστικά μέσω των 5 πόλεων αναφοράς της κάθε κατηγορίας που παρατέθηκαν προηγουμένως. Ο αλγόριθμος υπολογίζει το μέσο διανυσματικό όρο των 5 αυτών πόλεων. Για την περαιτέρω επεξήγηση, ως παράδειγμα ορίστηκε η 1^η κατηγορία των Global Giants. Εκεί λαμβάνουμε τα πραγματικά δεδομένα του πληθυσμού της κάθε πόλης, αυτά τα αθροίζουμε μαζί και έπειτα διαιρούμε δια 5, βρίσκουμε δηλαδή το μέσο όρο τους. Τέλος ο μέσος όρος που βρέθηκε διαιρείται με την μέγιστη τιμή αναφοράς που στην περίπτωση αυτή είναι 40.000.000 και προκύπτει έτσι η τιμή 0.6. Με την ίδια λογική υπολογίζονται και οι υπόλοιπες τιμές των προτύπων της κάθε κατηγορίας. Ενδεικτικά παρακάτω παρουσιάζεται το κομμάτι του προγράμματος που ορίζονται οι τιμές του πρότυπου των Global Giants:

Table 2: Ορισμός Προτύπου Global Giants

```
self.profiles = {
    # ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 1: GLOBAL GIANTS
    # Πόλεις: Λονδίνο, Τόκιο, Νέα Υόρκη, Χονγκ Κονγκ, Λος Άντζελες
    "1. Global Giants": {
        "population": 0.60,
        "density": 0.45,
        "tourists": 0.85,
        "gdp_per_capita": 0.80,
        "traffic_index": 0.85,
        "internet_speed": 0.80,
        "innovation_score": 0.95
    },
}
```

2. Διαδικασία Ταξινόμησης: Εφόσον έχουν οριστεί τα πρότυπα της διαδικασίας, το τελικό στάδιο του αλγορίθμου αφορά την ταξινόμηση μιας νέας πόλης. Η διαδικασία αυτή χωρίζεται σε 3 στάδια:
 - A. Κανονικοποίηση Δεδομένων: Οι πραγματικές τιμές της κάθε πόλης που δίνονται διαιρούνται αντιστοίχως με τις μέγιστες τιμές αναφοράς που έχουν οριστεί για τα διανύσματα της κάθε πόλης σε κλίμακα [0,1].
 - B. Υπολογισμός Ευκλείδειας Απόστασης: Ο αλγόριθμος συγκρίνει το διάνυσμα της πόλης με το διάνυσμα κάθε προτύπου, εφαρμόζοντας τον τύπο της Ευκλείδειας Απόστασης. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ομοιότητα μεταξύ τους.
 - C. Υπολογισμός Δείκτη Ομοιότητας: Η απόσταση που υπολογίστηκε προηγουμένως, μετατρέπεται σε ποσοστό ομοιότητας και κατατάσσεται στην κατηγορία που έχει το υψηλότερο σκορ.

Παρακάτω παρατίθεται το κομμάτι του κώδικα που παρουσιάζει τις παραπάνω λειτουργίες και δίνεται μια πιο αναλυτική εξήγηση της λειτουργίας του.

Table 3: Διαδικασία ταξινόμησης- υπολογισμός ομοιότητας

```
def classify(self, city_name, raw_data):
    print(f"\n{' '*60}")
    print(f"ANALYZING UNSEEN CITY: {city_name.upper()}")
    print(f"{' '*60}")

    city_vec = self.normalize(raw_data)

    scores = {}
    for category, target_vec in self.profiles.items():
        dist = 0
        common_keys = set(city_vec.keys()) & set(target_vec.keys())

        for key in common_keys:
            diff = city_vec[key] - target_vec[key]
            dist += diff ** 2

        scores[category] = 1 / (1 + math.sqrt(dist))

    sorted_scores = sorted(scores.items(), key=operator.itemgetter(1),
reverse=True)
    best_match = sorted_scores[0]
    runner_up = sorted_scores[1]

    print(f"-> CLASSIFICATION: {best_match[0]}")
    print(f"    Confidence Score: {best_match[1]*100:.1f}%")
    print(f"-> Runner-up: {runner_up[0]}")

    return best_match[0]
```

Η συνάρτηση `classify` αποτελεί την συνάρτηση που εμπεριέχει τις 3 παραπάνω λειτουργίες. Δέχεται ως όρισμα τα `raw data` νέας πόλης. Αρχικά τώρα καλείται η συνάρτηση `normalize`, η οποία διαιρεί κάθε τιμή με το αντίστοιχο παγκόσμιο μέγιστο-τιμές αναφοράς, επιστρέφοντας το κανονικοποιημένο διάνυσμα `city_vec` με τιμές από 0 έως 1. Αυτό διασφαλίζει ότι όλες οι παράμετροι έχουν ισοδύναμη βαρύτητα. Έπειτα ορίζεται ένας βρόχος επανάληψης `for loop` που διατρέχει και τα 8 πρότυπα των αντίστοιχων κατηγοριών. Η εντολή τώρα μέσα στην `for loop`, `common_keys = set(city_vec.keys()) & set(target_vec.keys())`, εντοπίζει τα κοινά κλειδιά μεταξύ της πόλης και του προτύπου, διασφαλίζοντας ότι η σύγκριση γίνεται μόνο σε υπαρκτά δεδομένα. Εν συνεχεία για κάθε κοινό χαρακτηριστικό, υπολογίζεται η διαφορά(`diff`) και

αθροίζεται το τετράγωνό της ($dist += diff ** 2$), υλοποιώντας το άθροισμα του τύπου της Ευκλείδειας απόστασης. Τέλος το πρώτο στοιχείο της λίστας (`sorted_scores[0]`) αποτελεί την επικρατέστερη κατηγορία, ενώ το δεύτερο (`sorted_scores[1]`) παρέχει την εναλλακτική κατάταξη, προσφέροντας εικόνα για τη βεβαιότητα του αλγορίθμου.

Για την αξιολόγηση του προγράμματος και της αλγοριθμικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε έλεγχος του, ορίζοντας ως είσοδο 3 νέες πόλεις (Παρίσι, Μόναχο, Μουμπάι) οι οποίες δεν ανήκουν προς το παρόν σε καμία κατηγορία από τις 8 διαθέσιμες. Αναμένεται σύμφωνα με την μοντελοποίηση των πόλεων το Παρίσι να καταταγεί ως Global Giant λόγω του μεγάλου πληθυσμού του σε συνδυασμό με τον υψηλό τουρισμό και την οικονομία του. Το Μόναχο αναμένεται να καταταγεί ως International Middleweight λόγω καλής οικονομίας και πληθυσμό που δεν ξεπερνά τα 3 εκατομμύρια ενώ το Μουμπάι αναμένεται να καταταχθεί στην κατηγορία Emerging Gateways λόγω της μεγάλης πληθυσμιακής πυκνότητας, του χαμηλού κατά κεφαλήν εισόδηματος (GDP) και την υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της αλγοριθμικής διαδικασίας που αποδεικνύουν την αποτελεσματική λειτουργικότητα της:

Table 4: Επιτυχή Αποτελέσματα της Αλγοριθμικής Διαδικασίας

```
=====
ANALYZING CITY: PARIS (FRANCE)
=====
-> CLASSIFICATION: 1. Global Giants
Confidence Score: 68.7%
-> Runner-up:      8. Tourist & Cultural
=====
ANALYZING CITY: MUNICH (GERMANY)
=====
-> CLASSIFICATION: 7. International Middleweights
Confidence Score: 72.8%
-> Runner-up:      6. American Middleweights
=====
ANALYZING CITY: MUMBAI (INDIA)
=====
-> CLASSIFICATION: 3. Emerging Gateways
Confidence Score: 79.6%
-> Runner-up:      4. Industrial Engines
```

Το σύνολο της αλγοριθμικής διαδικασίας είναι διαθέσιμο στο παρακάτω σύνδεσμο μέσω του github με όνομα `classification_of_cities.py`:

<https://github.com/spachito/Thesis.git>

4. Ανάλυση Αναγκών και Προκλήσεων

4.1 Τρέχουσα Κατάσταση Μετακινήσεων στις Πόλεις.

Η σημερινή αστική κινητικότητα χαρακτηρίζεται από ταχεία μηχανοκίνηση, αυξανόμενη συμφόρηση και υψηλή εξάρτηση από τα μέσα μαζικής μεταφοράς σε πολλές αναπτυσσόμενες πόλεις. Η συμφόρηση επηρεάζει σημαντικά την κινητικότητα τόσο των χρηστών αυτοκινήτων όσο και των επιβατών των δημόσιων συγκοινωνιών, με τις ταχύτητες να πέφτουν συχνά κάτω από τα 10 χλμ/ώρα σε μεγάλες πόλεις χωρών όπως η Κίνα, η Ινδία και η Ινδονησία, σύμφωνα με τη σελίδα `tom tom traffic index` (<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>). Τα συστήματα δημόσιας μεταφοράς αντιμετωπίζουν προκλήσεις λόγω της συμφόρησης σε βασικές αρτηρίες υψηλής κυκλοφορίας και της ακτινωτής δομής των δικτύων, η οποία περιορίζει τις διασταυρούμενες μετακινήσεις μέσα στην πόλη. Αυτά τα προβλήματα επιδεινώνονται

συχνά από πολιτικές που δίνουν προτεραιότητα στην επέκταση των δρόμων αντί στη βελτίωση των συγκοινωνιών. Η αύξηση του αριθμού των οχημάτων εξακολουθεί να αποτελεί βασικό παράγοντα συμφόρησης και επιδείνωσης της κινητικότητας, εγείροντας ανησυχίες σχετικά με τα όρια κορεσμού υπό τις σημερινές οικονομικές και ρυθμιστικές συνθήκες[91]. Παρά τις προκλήσεις αυτές, ορισμένες πόλεις έχουν εφαρμόσει στρατηγικές διαχείρισης κυκλοφορίας, όμως η γενική πτώση της αστικής κινητικότητας παραμένει ένα πιεστικό παγκόσμιο ζήτημα[44].

4.2 Προβλήματα και Επιπτώσεις από τη μη Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα.

Η σύγχρονη αστική κινητικότητα αντιμετωπίζει πληθώρα προκλήσεων, οι οποίες έχουν σημαντικές κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση ιδιωτικών οχημάτων οδηγεί σε έντονα φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης, τα οποία επιβαρύνουν την καθημερινότητα των πολιτών και μειώνουν την αποδοτικότητα των αστικών μεταφορών[44,91]. Παράλληλα, η αυξημένη κατανάλωση καυσίμων συντελεί στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, γεγονός που επιδεινώνει την κλιματική αλλαγή και υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής στις πόλεις. Η περιορισμένη πρόσβαση σε επαρκείς και αξιόπιστες δημόσιες συγκοινωνίες εντείνει τις κοινωνικές ανισότητες, ενώ η ηχορύπανση και η μείωση των ασφαλών χώρων για πεζούς και ποδηλάτες επηρεάζουν αρνητικά τη δημόσια υγεία και την αστική εμπειρία[91]. Υπό αυτό το πρίσμα, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη υιοθέτησης πολιτικών βιώσιμης αστικής κινητικότητας, που θα διασφαλίζουν τη λειτουργικότητα των μεταφορών, την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική συνοχή.

4.3 Προκλήσεις.

Όπως είναι αντιληπτό από όλους η εδραίωση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας σε όλες τις σύγχρονες κοινωνίες κρίνεται απολύτως απαραίτητη για τα επόμενα χρόνια. Παρόλα αυτά κάθε αλλαγή που επρόκειτο να γίνει, σε οποιοδήποτε πλαίσιο, χαρακτηρίζεται και από μια πληθώρα προκλήσεων τις οποίες πρέπει να λάβουμε υπόψη για την διαμόρφωση μιας πιο κατάλληλης προσέγγισης. Επομένως το να γνωρίζουμε πλήρως τις διάφορες προκλήσεις που υπάρχουν στον τομέα αυτό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εφόδιο το οποίο οφείλουμε να αξιοποιήσουμε. Αρχικά λοιπόν γίνεται αναφορά και παράθεση όλων των προκλήσεων που υφίστανται σε μια γενική μορφή. Οι προκλήσεις αυτές είναι:

- Η μετακίνηση στα πλαίσια των σύγχρονων κοινωνιών έχει διαμορφωθεί γύρω από το αυτοκίνητο. Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα το αυτοκίνητο αποτελεί το πιο δημοφιλές μέσο μετακίνησης παγκοσμίως συμβάλλοντας έτσι στην δημιουργία μιας κουλτούρας που προάγει συνεχώς την ιδιωτική μετακίνηση[91]. Όλες οι σύγχρονες πόλεις έχουν διαμορφωθεί και σχεδιαστεί γύρω από τα μηχανοκίνητα οχήματα. Επομένως γίνεται αντιληπτό πως η χρήση των αυτοκινήτων αποτελεί για ένα τεράστιο πληθυσμιακό ποσοστό παγκοσμίως ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας τους πράγμα που σημαίνει η «στροφή» σε πιο βιώσιμους τρόπους μετακίνησης αποτελεί μια πρόκληση για όλους[34,91].
- Η ταχεία και χωρίς κατάλληλο σχεδιασμό, επέκταση των πόλεων και αστικών περιοχών είναι ένας κύριος λόγος που κρίνει ως αναποτελεσματική την εύλογη χρήση του διαθέσιμου χώρου και φυσικών πόρων. Πολλά οδικά δίκτυα σε διάφορες πόλεις ανά την υφήλιο κρίνονται μη αξιόπιστα συμβάλλοντας έτσι στην σταδιακή αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Συνεπώς η κυκλοφοριακή συμφόρηση μειώνει την ποιότητα ζωής και κάνει μη ελκυστικές τις δημόσιες μεταφορές λόγω συνεχών καθυστερήσεων[35]
- Όπως προ-αναφέρθηκε ο αστικός σχεδιασμός των περισσότερων πόλεων κρίνεται ιδιαίτερα ανεπαρκής με πολλές παθογένειες, μια εκ των οποίων είναι η μη ενσωμάτωση κατάλληλων υποδομών, δρόμων, χώρων στάθμευσης για την μετακίνηση με το ποδήλατο ή με τα πόδια. Συγκεκριμένα ελάχιστες πόλεις και

αστικά κέντρα έχουν λάβει υπόψιν και υλοποιήσει ένα κατάλληλο σχεδιασμό συνεκτικών και ασφαλών δικτύων ποδηλατοδρόμων με κατάλληλους χώρους στάθμευσης, καθώς μια τέτοια πρωτοβουλία απαιτεί πολύ έρευνα, αρκετούς πόρους και ιδιαίτερα άρτιο σχεδιασμό και υλοποίηση[91].

- Ο κατάλληλος σχεδιασμός κατάλληλων ποδηλατοδρόμων σε όλη την έκταση μιας πόλης δεν σημαίνει πως θα ωθήσει και τους ανθρώπους της να στραφούν σε αυτό τον τρόπο μετακίνησης. Υπάρχει φόβος για την χρήση ποδηλάτων όσο αφορά την σωματική ακεραιότητα, καθώς ο μεγαλύτερος αριθμός ατυχημάτων με ποδήλατα συμβαίνει με την παρουσία και ανάμειξη στο ατύχημα, των αυτοκινήτων. Επομένως αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση η κατάλληλη εκπαίδευση των οδηγών προκειμένου να είναι ιδιαίτερος προσεχτικοί κατά την οδήγηση τους, και τους ποδηλάτες επίσης αλλά και να δημιουργηθούν όσο δυνατόν γίνεται ασφαλέστερες υποδομές[6,91].
- Η περιορισμένη διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών μέσων μεταφοράς αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη βιώσιμη αστική κινητικότητα. Η απουσία ασφαλών και άνετων συνδέσεων ανάμεσα σε ποδηλατοδρόμους, στάσεις λεωφορείων και άλλων διαφόρων μέσων μεταφοράς δυσκολεύει τον συνδυασμό μετακινήσεων και μειώνει την ελκυστικότητα των βιώσιμων επιλογών. Συνεπώς, η έλλειψη κατάλληλων κόμβων μετεπιβίβασης και χώρων στάθμευσης ποδηλάτων σε σημεία-κλειδιά περιορίζει τη χρήση του ποδηλάτου ως συμπληρωματικού μέσου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα περισσότεροι πολίτες να καταφεύγουν στο ιδιωτικό αυτοκίνητο, εντείνοντας τα κυκλοφοριακά και περιβαλλοντικά προβλήματα[91,35].
- Η μετάβαση από τη σύγχρονη μορφή της αστικής κινητικότητας προς μια πιο βιώσιμη αστική κινητικότητα αποτελεί μια κοστοβόρα αλλά και χρονοβόρα διαδικασία. Όπως είναι αντιληπτό η εφαρμογή διαφόρων αλλαγών όπως η βελτίωση του αστικού σχεδιασμού, ο εκσυγχρονισμός του στόλου μεταφορών, η δημιουργία ποδηλατοδρόμων, χώρων στάθμευσης, χρειάζεται αρκετό χρόνο προκειμένου να πραγματοποιηθεί με τον πιο κατάλληλο και αποδοτικό τρόπο αλλά και ένα ορισμένο κεφάλαιο[91].
- Η κοινωνική αποδοχή αποτελεί κρίσιμο εμπόδιο στη βιώσιμη αστική κινητικότητα, καθώς πολλοί πολίτες εμφανίζουν αντίσταση σε αλλαγές που περιορίζουν τη χρήση αυτοκινήτου ή μεταβάλλουν τις καθημερινές τους συνήθειες. Η έλλειψη ενημέρωσης για τα οφέλη των βιώσιμων μέσων μετακίνησης, ο φόβος για πιθανή ταλαιπωρία και η ανησυχία για μειωμένη ευελιξία οδηγούν συχνά σε αρνητική στάση απέναντι σε νέα μέτρα. Επιπλέον, ομάδες με διαφορετικά κοινωνικά και επαγγελματικά προφίλ έχουν ποικίλες ανάγκες, γεγονός που δυσκολεύει την καθολική αποδοχή παρεμβάσεων. Χωρίς στοχευμένη επικοινωνία, συμμετοχή των πολιτών και σταδιακή εφαρμογή νέων μέτρων, η μετάβαση σε πιο βιώσιμες επιλογές μετακίνησης γίνεται δυσκολότερη[34].
- Η γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκεται μια πόλη συμβάλει επίσης στον αριθμό των προκλήσεων που ενδέχεται να αντιμετωπίσει για την μετάβαση σε πιο βιώσιμους τρόπους μετακίνησης. Λόγου χάρι αν μια πόλη είναι χτισμένη σε περιοχή η οποία βρίσκεται στους πρόποδες κάποιου βουνού ή λόφου, συνεπώς έχει αρκετές ανηφόρες και κατηφόρες, όπως η Λισαβόνα, κατανοούμε πως η δημιουργία ποδηλατοδρόμων αποτελεί μια μη ρεαλιστική λύση για το πρόβλημα των μετακινήσεων. Αντιθέτως μια πόλη η οποία είναι σχετικά «επίπεδη» ενδείκνυται για την μετακίνηση με τα ποδήλατα ή τα πόδια.

- Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες πόλεις και αστικές περιοχές αποτελούν και αυτές μια σημαντική πρόκληση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Σε πόλεις όπως λόγω χάρη το Λονδίνο όπου χαρακτηρίζεται από συνεχείς βροχοπτώσεις η μετακίνηση μέσω του ποδηλάτου κρίνεται μη ρεαλιστική και επικίνδυνη επίσης. Στο ίδιο πλαίσιο σε διάφορες πόλεις οι οποίες υποφέρουν από αρκετή ζέστη και υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η μετακίνηση με τα μέσα μεταφοράς κρίνεται ιδιαίτερα δύσκολη αν δεν έχουν παρθεί τα κατάλληλα μέτρα για την εγκατάσταση επαρκούς κλιματισμού[6,7,34,35].

Αυτές οι προκλήσεις απαιτούν μια ολιστική προσέγγιση, που να περιλαμβάνει διάφορες μεταρρυθμίσεις πολιτικής, συμμετοχή της κοινότητας και καινοτόμες στρατηγικές σχεδιασμού για την ενίσχυση της βιώσιμης αστικής κινητικότητας. Όλα αυτές οι προκλήσεις που προ-αναφέρθηκαν αποτελούν μια γενικευμένη παρουσίαση των διαφόρων προκλήσεων.

4.4 Ανάλυση Στατιστικών Δεικτών Κινητικότητας για τις πόλεις της μοντελοποίησης

Για την ολοκληρωμένη προσέγγιση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας σε συνδυασμό με τα προβλήματα κινητικότητας που παρατηρούνται στα σύγχρονα αστικά κέντρα η ποιοτική περιγραφή των προβλημάτων- συνθηκών κινητικότητας σε αυτά δεν επαρκεί προκειμένου να αιτιολογήσει πλήρως τα μέτρα που προτείνονται στην 5^η Ενότητα της εν λόγω πτυχιακής. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η χρήση ποσοτικών δεδομένων και μετρήσιμων δεικτών απόδοσης, σχετικά με την κινητικότητα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια εμπειριστατωμένη και αντικειμενική διάγνωση και μελέτη των διαφόρων συνθηκών και παθογενειών της. Μέσω της χρήσης δεικτών θα φανερωθούν πλήρως τα προβλήματα που αντιμετωπίζει σε μεγαλύτερο βαθμό η κάθε κατηγορία συμβάλλοντας έτσι σε μια πιο αποδοτική και στοχευμένη αναφορά προτάσεων και μέτρων στην επόμενη ενότητα. Στόχος της χρήσης αυτών των δεικτών συνεπώς είναι να συνδέσουμε τα θεωρητικά προβλήματα κινητικότητας όπως κυκλοφοριακή συμφόρηση με συγκεκριμένες τεχνολογικές λύσεις. Η επιλογή των δεικτών βασίστηκε σε διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα αξιολόγησης, με βάση την σύγχρονη βιβλιογραφία[60,61]. Οι δείκτες αυτοί είναι:

- I. Δείκτης Κυκλοφοριακής Συμφόρησης: Συμβολίζει με ποσοστό τον επιπλέον χρόνο που απαιτείται για μια διαδρομή μέσω του αυτοκινήτου σε ώρες αιχμής συγκριτικά με συνθήκες ελεύθερης ροής. Αποτελεί το βασικό μέτρο δυσλειτουργίας του οδικού δικτύου.
- II. Δείκτης Ιδιοκτησίας Ιδιωτικών Οχημάτων: Φανερώνει τον αριθμό προσωπικών-ιδιωτικών οχημάτων ανά 1000 κατοίκους.
- III. Μέσος Χρόνος Μετακίνησης: Αναφέρεται στον μέσο χρόνο μετακίνησης από την οικεία μέχρι και την εργασία/δουλειά.
- IV. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς: Το ποσοστό των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται με τα μέσα μαζικής μεταφοράς.
- V. Δείκτης Οδικής Ασφάλειας: Αριθμός οδικών ατυχημάτων-θανάτων στους δρόμους ανά 100 χιλιάδες κατοίκους.
- VI. Αριθμός οχημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

- VII. Συνολικές Στάσεις δικτύου μετρό και σιδηροδρόμου(δηλαδή δημόσιων μέσων σταθερής τροχιάς).
- VIII. Χρήση Ιδιωτικών Οχημάτων: Ποσοστό μετακινήσεων μέσω ιδιωτικών οχημάτων.
- IX. Πληθυσμιακή Πυκνότητα ανά 1 τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Προτού γίνει η εφαρμογή/παρουσίαση των δεικτών στις κατηγορίες με βάση την μοντελοποίηση είναι σημαντικός ο ορισμός ενός πλαισίου αναφοράς για τον κάθε δείκτη. Σκοπός αυτού του πλαισίου αναφοράς αποτελεί η αξιολόγηση του κάθε δείκτη. Ως παράδειγμα, αν για μια πόλη βρεθεί πως ο δείκτης κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι σε ποσοστό 35%, θα πρέπει να είναι γνωστό κατά πόσο αυτό το ποσοστό θεωρείται «χαμηλό», «μέτριο» ή «υψηλό» με βάση τις τωρινές συνθήκες κινητικότητας για την εξαγωγή καλύτερων και πιο ασφαλή συμπερασμάτων. Για τον λόγο αυτό, καθορίστηκαν τα παρακάτω όρια βασισμένα σε διεθνείς εκθέσεις και στατιστικά δεδομένα. Για τον 1^ο δείκτη, τον δείκτη κυκλοφοριακής συμφόρησης, σύμφωνα με την ιστοσελίδα TomTom Traffic Index(<https://www.tomtom.com/traffic-index//ranking/?country=AR%2CBR%2CCL%2CCO%2CPE%2CUY>), αν το ποσοστό είναι μικρότερο ή ίσο του 15% θεωρείται «χαμηλό» καθώς πόλεις των οποίων οι τιμές του δείκτη αυτού κυμαίνονται σε αυτές τις τιμές είναι συνήθως μικρής έκτασης. Αν ο δείκτης μια πόλης ξεπερνά το 30% αυτό μεταφράζεται ως «υψηλό» καθώς σύμφωνα με το TomTom Traffic Index οι πόλεις αυτές αντιμετωπίζουν έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για τον δείκτη Ιδιοκτησίας ιδιωτικών οχημάτων ανά 1000 κατοίκους, αν η τιμή του δείκτη είναι χαμηλότερη του 300 χαρακτηρίζεται ως «χαμηλή» καθώς σύμφωνα με τη World Bank Open Data κάτι τέτοιο παρατηρείται σε πόλεις αναπτυσσόμενων χωρών και σε πόλεις με περιορισμούς όσο αφορά την ιδιοκτησία αυτοκινήτων. Αν η τιμή υπερβαίνει τα 600 οχήματα χαρακτηρίζεται ως «υψηλή» καθώς η αναλογία οχημάτων με ενεργούς οδηγούς τείνει σε μια αναλογία ένα προς ένα σύμφωνα με το άρθρο[62]. Για τον 3^ο δείκτη, σύμφωνα με την θεωρία της «Σταθεράς του Marchetti» ο ιδανικός ημερήσιος χρόνος μετακίνησης για την προσέλευση στον χώρο εργασίας είναι 30 λεπτά για κάθε διαδρομή(σύνολο μια ώρα την ημέρα) πράγμα που σημαίνει πως τιμές κάτω των 30 χαρακτηρίζονται «χαμηλές». Σύμφωνα με έρευνες του Office for National Statistics, UK(<https://www.ons.gov.uk/>) αν η ώρα μετακίνησης για μια μονή διαδρομή δουλειάς-οικίας ξεπερνάει τα 45 λεπτά αυτό συνδέεται με αυξημένο άγχος και χαρακτηρίζεται ως «υψηλό». Για την 4^η κατηγορία, το ποσοστό χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς αν η το ποσοστό είναι χαμηλότερο του 20% χαρακτηρίζεται ως «χαμηλό» καθώς σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία πόλεις με ποσοστά χαμηλότερα του 20% χαρακτηρίζονται ως πόλεις που δεν εξαρτώνται από τα αυτοκίνητα για τις μετακινήσεις. Αν το ποσοστό ξεπερνάει το 40% χαρακτηρίζεται ως «υψηλό» καθώς σύμφωνα με τον Παγκόσμιο οργανισμό δημόσιων μεταφορών ή αγγλιστί International Association of Public Transport(UITP)(<https://www.uitp.org/>), πόλεις που εμφανίζουν αυτές τις τιμές χαρακτηρίζονται από μια κουλτούρα που εξαρτάται για τις μετακινήσεις σε μεγάλο βαθμό από τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Για τον 5^ο δείκτη, Σύμφωνα με την 17η έκθεση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Ασφάλειας των Μεταφορών (ETSC, 2023), ο ευρωπαϊκός μέσος όρος θνησιμότητας ανέρχεται σε 4.6 θανάτους ανά 100.000 κατοίκους. Χώρες-πρότυπα που εφαρμόζουν τη στρατηγική «Vision Zero», μια στρατηγική που θέτει ως στόχο τον εκμηδενισμό των σοβαρών ατυχημάτων και θανάτων στους δρόμους, όπως η Νορβηγία και η Σουηδία, επιτυγχάνουν δείκτες χαμηλότερους του 3, συνεπώς αν οι τιμές είναι μικρότερες του 3 χαρακτηρίζονται ως «χαμηλές». Αν η τιμή υπερβαίνει την τιμή 6 χαρακτηρίζεται ως «υψηλή» καθώς μια τέτοια τιμή δεν θεωρείται αποδεκτή για ένα αναπτυγμένο και σύγχρονο αστικό κέντρο. Για τον 6^ο δείκτη, η συγκέντρωση άνω των 2.500 οχημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο αστικού ιστού χαρακτηρίζεται ως οριακή για τη βιωσιμότητα των οδικών υποδομών σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία[63]. Σχετικά με τον 7^ο δείκτη αν οι στάσεις σε ένα δίκτυο μεταφορών(μετρό ή τρένο) είναι λιγότερες από 30 τότε το δίκτυο χαρακτηρίζεται «γραμμικό» και εξυπηρετεί μόνο ορισμένους άξονες στο

πλαίσιο μια πόλης. Αν οι στάσεις λοιπόν είναι κάτω από 30 η τιμή αυτή χαρακτηρίζεται «χαμηλή». Η ύπαρξη άνω των 60 σταθμών σταθερής τροχιάς υποδηλώνει τη μετάβαση σε μια «Δικτυωτή Δομή». Σύμφωνα με την UITP, τα δίκτυα αυτού του μεγέθους επιτυγχάνουν το λεγόμενο «Network Effect», όπου οι πολλαπλές δυνατότητες μετεπιβίβασης αυξάνουν εκθετικά την προσβασιμότητα και καθιστούν τη δημόσια συγκοινωνία τη βασική επιλογή μετακίνησης στον αστικό ιστό. Για τον 8^ο αν τα ποσοστά χρήσης ιδιωτικού οχήματος είναι χαμηλότερα του 35% υποδηλώνουν ισορροπημένη κινητικότητα με κυριαρχία των βιώσιμων μέσων σύμφωνα με το φορέα Eltis της Ευρωπαϊκής Ένωσης (https://sustainable-energy-week.ec.europa.eu/eltis-eu-urban-mobility-observatory_en). Οι τιμές που υπερβαίνουν το 50% χαρακτηρίζουν τις πόλεις ως «αυτοκινητοκεντρικές», υποδεικνύοντας ότι το Ι.Χ. αποτελεί το κυρίαρχο μέσο έναντι των εναλλακτικών λύσεων σύμφωνα με την European Commission. Για τον τελευταίο δείκτη, αν οι τιμές είναι χαμηλότερες των 1.500 κατοίκων/km² τότε αυτές συνδέονται με το φαινόμενο της αστικής διάχυσης (urban sprawl) και την υψηλή εξάρτηση από το αυτοκίνητο σύμφωνα με τη βιβλιογραφία[64]. Αν οι τιμές ξεπερνούν τους 10.000 κατοίκους/km² οι τιμές αυτές χαρακτηρίζονται ως υψηλές. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας-πλαίσιο αναφοράς τιμών για τους δείκτες.

Πίνακας 1:Πλαίσιο Αναφοράς για Δείκτες

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Χαμηλό(Low)	Μέτριο(Medium)	Υψηλό(High)
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	<15%	15% έως 30%	>30%
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	<300	300 έως 600	>600
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	<30	30 έως 45	>45
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	<20%	20% έως 40%	>40%
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	<3	3 έως 6	>6
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	<1000	1000 έως 2500	>2500
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	<30	30 έως 60	>60
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	<35%	35% έως 50%	>50%
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	<1500	1500 έως 10.000	>10.000

Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση των δεικτών για κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Η στατιστική ανάλυση των δεικτών και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την κινητικότητα και βιωσιμότητα θα γίνει αποκλειστικά για την κατηγορία των Αστικών Κέντρων και των 8 υπο-κατηγοριών αυτής της κατηγορίας.

- **Global Giants:**
Για την πληρέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων σε κάθε κατηγορία επιλέγονται 2 χαρακτηριστικές πόλεις και αναλύονται περαιτέρω τα ευρήματα σχετικά με τους δείκτες

για την κάθε μία. Στην περίπτωση των Global Giants επιλέχθηκαν οι πόλεις της Νέας Υόρκης και του Τόκιο. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 2: Δείκτες για Global Giants

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Νέα Υόρκη	Τόκιο
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	31%(υψηλό)	30%(υψηλό)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	236(χαμηλό)	164(χαμηλό)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	40.6(μέτριο)	53.4(υψηλό)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	41%(υψηλό)	58%(υψηλό)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	2.47(χαμηλό)	1.04(χαμηλό)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	2628(υψηλό)	Ελλιπή στοιχεία
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	472(υψηλό)	882(υψηλό-συμπεριλαμβάνονται και ιδιωτικά δίκτυα σιδηρόδρομου)
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	28%(χαμηλό)	12%(χαμηλό)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	11.400(υψηλό)	15693(υψηλό)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 2 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων(για Νέα Υόρκη: https://data.ny.gov/Transportation/ALL-CAR-REGISTRATIONS/dafn-fsu9/about_data, <https://worldpopulationreview.com/states/new-york> , για το Τόκιο <https://stats-japan.com/t/kiji/10786>, <https://www.metro-ad.co.jp/en/characteristic/>) και εκθέσεις αρμόδιων φορέων όπως το U.S. Census Bureau(<https://www.census.gov/>), τη σελίδα tom tom Traffic Index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>), τη σελίδα της πολιτείας της Νέας Υόρκης(<https://www.nyc.gov/site/operations/index.page>), το Tokyo Metropolitan Government(<https://www.english.metro.tokyo.lg.jp/search?tag=45911893>) και την ιστοσελίδα με στατιστικές αναλύσεις(<https://www.statista.com/>). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Τα στατιστικά που αντλούνται από τις 2 πόλεις φανερώνουν μια φαινομενική αντίθεση. Παρόλο που και οι 2 πόλεις έχουν χαμηλή ιδιοκτησία Ιδιωτικών Οχημάτων(Ι.Χ) και χαμηλό ποσοστό χρήσης Ι.Χ για τις μετακινήσεις των πολιτών, ο δείκτης της κυκλοφοριακής συμφόρησης παραμένει υψηλός. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την ιστοσελίδα Tom Tom Traffic Index, ο μέσος χρόνος για ένα αυτοκίνητο να διανύσει 10 χιλιόμετρα στην μητροπολιτική περιοχή της Νέας Υόρκης ανέρχεται στα 31 λεπτά, αρκετά υψηλός αριθμός και στο Τόκιο ανέρχεται στα 27 λεπτά, επίσης υψηλό. Συνεπώς λαμβάνοντας επίσης υπόψιν πως το ποσοστό χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς και στις 2 πόλεις είναι αρκετά υψηλό προκύπτει το συμπέρασμα πως η υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση σε αυτές τις πόλεις της κατηγορίας οφείλεται στον δομικό υπερκορεσμό του αστικού ιστού[65]. Εξάλλου και οι 2 πόλεις είναι αρκετά πυκνοκατοικημένες με υψηλό ποσοστό οχημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο πράγμα που σημαίνει ότι ακόμα και λίγα αυτοκίνητα ανά κάτοικο αρκούν για να μπλοκάρουν ένα πυκνοδομημένο δίκτυο. Συμπερασματικά η διαχείριση της κυκλοφοριακής συμφόρησης αποτελεί μια πρόκληση στην κατηγορία των Global Giants και για τον λόγο αυτό στη 5^η Ενότητα θα προταθούν κατάλληλα μέτρα για την πιο αποδοτική διαχείριση της.

Παράλληλα τα στατιστικά φανερώνουν ότι ο κύριος τρόπος μετακίνησης στις πόλεις αυτές είναι τα μέσα μαζικής μεταφοράς με υψηλό ποσοστό χρήσης ημερησίως. Τα σιδηροδρομικά δίκτυα και δίκτυα του μετρό στις 2 αυτές πόλεις είναι πάρα πολύ εκτενή με πλήθος σταθμών και στάσεων τα οποία εξυπηρετούν τεράστιο όγκο επιβατών σε καθημερινή βάση. Συγκεκριμένα στο Τόκιο οι επιβάτες του μετρό σε καθημερινή βάση ανέρχονται στους 6.84 εκατομμύρια σύμφωνα με την επίσημη σελίδα [tokyometro.jp\(https://www.tokyometro.jp/en/index.html\)](https://www.tokyometro.jp/en/index.html). Επομένως κύρια πρόκληση των υποδομών αυτών αποτελεί η διαχείριση του τεράστιου όγκου επιβατών και η κατάλληλη ενημέρωση αυτών για τις διάφορες διαδρομές, στάσεις που πραγματοποιούν αυτά τα αρκετά εκτενή και πολύπλοκα δίκτυα μεταφορών.

Ένα ακόμα ενδιαφέρον συμπέρασμα αποτελεί το γεγονός πως παρόλο που τα δίκτυα μεταφορών και στις πόλεις είναι αρκετά εκτενή ο μέσος χρόνος για την μετακίνηση των κατοίκων από την οικία τους στον χώρο εργασίας τους είναι υψηλός ειδικά στο Τόκιο που ανέρχεται στα 53.4 λεπτά για μια μόνο διαδρομή. Αυτό οφείλεται σαφώς στην τεράστια έκταση των πόλεων αυτής της κατηγορίας, στις μεγάλες αποστάσεις και στην έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ένα θετικό των πόλεων αυτών αποτελούν οι χαμηλοί δείκτες θνησιμότητας στις πόλεις αυτές από οδικά ατυχήματα. Συνεπώς η χαμηλή χρήση Ι.Χ. και οι χαμηλές ταχύτητες λόγω συμφόρησης, σε συνδυασμό με την εκτεταμένη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς, δημιουργούν ένα ασφαλέστερο οδικό περιβάλλον συγκριτικά με άλλες πόλεις.

Συνεπώς, βάσει μόνο των αριθμών οι Global Giants είναι πόλεις με τεράστιες υποδομές μετρό και ασφαλείς δρόμους, οι οποίες όμως υποφέρουν από χρονικές καθυστερήσεις και υψηλή συμφόρηση, όχι επειδή έχουν πολλά αυτοκίνητα, αλλά επειδή η πυκνότητα (ανθρώπων και οχημάτων) σε περιορισμένο χώρο είναι οριακή.

- Asian Anchors:
Στην περίπτωση των Asian Anchors επιλέχθηκαν οι πόλεις της Σιγκαπούρης και της Σεούλ. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 3: Δείκτες για Asian Anchors

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Σιγκαπούρη	Σεούλ
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	29%(μέτριο προς υψηλό)	25 λεπτά για 10 χιλιόμετρα(αντί για τον δείκτη κυκλοφοριακής συμφόρησης)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	167(χαμηλό)	339(μέτριο)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	44(μέτριο προς υψηλό)	50(υψηλό)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	64%(υψηλό)	65.6%(υψηλό)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	2.29(χαμηλό)	1.8(χαμηλό)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	1357(μέτριο)	5275(υψηλό)
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	140(υψηλό)	330(υψηλό)
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	29%(χαμηλό)	25%(χαμηλό)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	8065(μέτριο προς υψηλό)	15.537(υψηλό)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 3 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων. Συγκεκριμένα, αντλήθηκαν στοιχεία από το [σελίδα tom tom](#)

traffic(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) και statista (<https://www.statista.com/>) από την Land Transport Authority (LTA)(<https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en.html>) και το Department of Statistics(SingStat)(<https://www.singstat.gov.sg/>), την επίσημη σελίδα του υπουργείου μεταφορών της Σιγκαπούρης(<https://www.mot.gov.sg/>) για τη Σιγκαπούρη, καθώς και από τη Seoul Metropolitan Government(<https://english.seoul.go.kr/>), την επίσημη βάση δεδομένων Seoul Open Data Plaza(<https://data.seoul.go.kr/> και <https://www.seoulsolution.kr/en>) και το σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας TOPIS(<https://topis.seoul.go.kr/eng/english.jsp>) για τη Σεούλ. Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Παρατηρείται το γεγονός ότι και στις 2 αυτές πόλεις παρουσιάζονται πολύ υψηλά ποσοστά χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς από τους κατοίκους των εν λόγω πόλεων. Αυτό υποστηρίζεται από τα εκτεταμένα δίκτυα μεταφορών σταθερής τροχιάς που διαθέτουν οι πόλεις αυτές. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός πως σύμφωνα με το *LTA Master Plan 2040* πάνω από το 80% των νοικοκυριών στην πόλη της Σιγκαπούρης έχουν πρόσβαση σε κάποιο σταθμό δημόσιας μεταφοράς σε μια απόσταση που διανύεται σε λιγότερο από 10 λεπτά ενώ στην πόλη της Σεούλ Seoul Plan 2030, στο κέντρο της πόλης, υπάρχει σταθμός μετρό σχεδόν κάθε 1 με 1.5 χιλιόμετρο. Παρά τα προηγμένα δίκτυα μεταφορών που εξυπηρετούν την πληθώρα των κατοίκων των πόλεων αυτών, ο Μέσος Χρόνος Μετακίνησης παραμένει υψηλός (44 λεπτά στη Σιγκαπούρη και 50 λεπτά στη Σεούλ). Αυτό το φαινομενικό παράδοξο οφείλεται στην πολυπλοκότητα των δικτύων και τις πολλαπλές μετεπιβιβάσεις που απαιτούνται σε μητροπόλεις τέτοιας έκτασης. Το γεγονός ότι τα επίγεια και υπόγεια δίκτυα έχουν φτάσει στα όρια της χωρητικότητάς τους και οι χρόνοι μετακίνησης παραμένουν υψηλοί, δημιουργεί την ανάγκη για εναλλακτικά μέσα σταθερής τροχιάς που δεν καταλαμβάνουν οδικό χώρο[36,37].

Παράλληλα, η ιδιοκτησία Ι.Χ στην Σιγκαπούρη είναι αρκετά χαμηλή και η πυκνότητα των αυτοκινήτων σε μέτριο επίπεδο. Σε αντίθεση η Σεούλ παρουσιάζει ένα πολύ υψηλό ποσοστό στην πυκνότητα των αυτοκινήτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, γεγονός που συμβάλλει σε υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση και κορεσμό του οδικού δικτύου παρότι το ποσοστό χρήσης Ι.Χ παραμένει χαμηλό στην πόλη της Σεούλ. Συνεπώς στη Σεούλ, ο περιορισμένος αστικός χώρος σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό οχημάτων και την υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα δημιουργεί συνθήκες κορεσμού στο οδικό δίκτυο, δικαιολογώντας τον υψηλότερο χρόνο συμφόρησης (25 λεπτά/10km) έναντι της Σιγκαπούρης(20 λεπτά/10km) σύμφωνα με το *tom tom traffic index*(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/?country=AR%2CBBR%2CCCL%2CCO%2CPE%2CUY>). Σε αυτή την παρατήρηση συμβάλλει και το γεγονός πως η Σιγκαπούρη έχει λάβει πληθώρα μέτρων για τον περιορισμό ιδιοκτησίας Ι.Χ(Certificate of Entitlement (COE)) και έχει εφαρμόσει παράλληλα ένα ηλεκτρονικό σύστημα χρέωσης οδικής χρήσης. Τέλος, τα ποσοστά θνησιμότητα και στις 2 πόλεις είναι αρκετά χαμηλά γεγονός που οφείλεται στην πιο χαμηλή εξάρτηση από τα αυτοκίνητα στις μετακινήσεις και εφαρμοσμένων μέτρων και τεχνολογιών όπως το σύστημα GLIDE στη Σιγκαπούρη το οποίο παρακολουθεί καθημερινά την κυκλοφορία στους δρόμους και εφαρμόζει συνεχείς ελέγχους για την οδική κατάσταση. Πληροφορίες για τα συστήματα αυτά στην Σιγκαπούρη αντλήθηκαν από την επίσημη σελίδα: <https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en.html> .

Συμπερασματικά, η Σιγκαπούρη και η Σεούλ αποτελούν παγκόσμια πρότυπα, έχοντας πετύχει πολύ υψηλά ποσοστά χρήσης των μέσω μαζικής μεταφοράς μέσω τεχνολογίας και αυστηρών αντικινήτρων για την χρήση των Ι.Χ. Ωστόσο, οι υψηλοί χρόνοι μετακίνησης αποδεικνύουν ότι ακόμα και τα πιο εξελιγμένα δίκτυα αγγίζουν πλέον τα φυσικά τους όρια. Η λύση, επομένως, δεν βρίσκεται στην περαιτέρω επέκταση των δικτύων και υποδομών, αλλά στην ένταξη νέων εναλλακτικών μέσων σταθερής τροχιάς που δεν καταλαμβάνουν οδικό χώρο και την πλήρη ψηφιοποίηση των μεταφορών, στρατηγικές που θα αναλυθούν διεξοδικά στην 5η Ενότητα.

- Emerging Gateways:
Στην περίπτωση των Emerging Gateways επιλέχθηκαν οι πόλεις του Σάο Πάολο και της Τζακάρτα . Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 4: Δείκτες για Emerging Gateways

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Σάο Πάολο	Τζακάρτα
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	42%(υψηλό)	43%(υψηλό)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	0.591(υψηλό, μετριούνται μόνο τα αυτοκίνητα και μηχανές, αν υπολογιστούν και φορτηγά και άλλα οχήματα το αποτέλεσμα βγαίνει πιο υψηλό)	Ελλιπή στοιχεία- Αναμένεται να είναι πάρα πολύ υψηλό καθώς τα συνολικά δηλωμένα οχήματα είναι 11.500.903)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	60(υψηλό)	53.5(υψηλό)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	34.5%(μέτριο)	9.86%(πολύ χαμηλό)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	13.68(πολύ υψηλό)	3.9(μέτριο)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	7403(πολύ υψηλό)	17.386(πάρα πολύ υψηλό συμπεριλαμβάνονται και μηχανάκια)
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	187(υψηλό)	117(υψηλό)
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	36.2%(μέτριο)	77.81%(πάρα πολύ υψηλό)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	7.528(μέτριο προς υψηλό)	16.158(υψηλή)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 4 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων(<https://itdp.org/city-transformations/sao-paulo/>). Συγκεκριμένα, για το Σάο Πάολο, αξιοποιήθηκαν στοιχεία του Ινστιτούτου IBGE(<https://www.ibge.gov.br/en/>), του συστήματος Infosiga SP (<https://infosiga.detran.sp.gov.br/>) και της Έρευνας Προέλευσης-Προορισμού (Metrô SP)(<https://www.metro.sp.gov.br/>). Αντίστοιχα, για την Τζακάρτα, οι τιμές προέρχονται από τη Στατιστική Υπηρεσία (BPS)(<https://jakarta.bps.go.id/id/>), ενώ οι δείκτες συμμόρφωσης βασίστηκαν στο TomTom Traffic Index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/>) και στατιστικά για ποσοστά μετακινήσεων με Ι.Χ και μέσα μαζικής μεταφοράς η ιστοσελίδα statista(<https://www.statista.com/>). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Παρατηρείται με βάση τα στατιστικά ο δείκτης κυκλοφοριακής συμμόρφωσης να είναι αρκετά υψηλός και για τις δύο πόλεις πράγμα που συνδέει την κινητικότητα στους δρόμους αυτών των πόλεων με πολύωρες καθυστερήσεις. Χαρακτηρίζονται συνεπώς από έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Παράλληλα αυτό αποτυπώνεται και στον μέσο χρόνο μιας διαδρομής(από οικία σε χώρο εργασίας) η οποία ειδικά στο Σάο Πάολο ανέρχεται στα 60 λεπτά. Σε συνδυασμό με το γεγονός πως το συνολικό πλήθος οχημάτων και στις 2 περιπτώσεις ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι πάρα πολύ υψηλό ,ειδικά στην Ινδονησία καταγράφονται 9.167.512 μηχανάκια και 77.81% των μετακινήσεων γίνονται με ιδιωτικά μέσα, συνεπάγεται πως τα οδικά δίκτυα στις πόλεις της κατηγορίας αυτής είναι υπερ-κορεσμένα και δεν μπορούν να υποστηρίξουν τόσο το πλήθος του κόσμου όσο

και των οχημάτων. Επίσης η τεράστια πυκνότητα οχημάτων (ειδικά στην Τζακάρτα με 17.386 οχήματα/km²) επιβεβαιώνει ότι ο αστικός ιστός έχει κατακλυστεί από ιδιωτικά μέσα (αυτοκίνητα και δίκυκλα), ελλείψει ανταγωνιστικών εναλλακτικών λύσεων

Στη Τζακάρτα παρατηρείται ένα πάρα πολύ χαμηλό ποσοστό χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς(9.86%) ενώ στο Σάο Πάολο είναι πιο αυξημένο αυτό το ποσοστό(34.5%). Και στις 2 περιπτώσεις τα δίκτυα μεταφορών τους δεν θεωρούνται ελλιπή ή μικρής έκτασης. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το πρόβλημα δεν εντοπίζεται αποκλειστικά στην έλλειψη υποδομών, αλλά στην αδυναμία του δικτύου να ανταποκριθεί στη ραγδαία και άναρχη αστικοποίηση που χαρακτηρίζει αυτές τις πόλεις. Η εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα οχημάτων, ιδιαίτερα στην Τζακάρτα όπου καταγράφονται πάνω από 17.000 οχήματα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, σε συνδυασμό με τα υψηλά ποσοστά χρήσης ιδιωτικών μέσων (, φανερώνουν ότι οι πολίτες στρέφονται στο ιδιωτικό όχημα ως αναγκαστική λύση, πιθανώς λόγω προβλημάτων αξιοπιστίας, ασφάλειας ή σύνδεσης των μέσων μαζικής μεταφοράς με τις περιοχές κατοικίας τους. Παράλληλα σύμφωνα με την παγκόσμια βιβλιογραφία και τα πιο πρόσφατα στατιστικά παρουσιάζονται υψηλοί δείκτες εγκληματικότητας, παρενοχλήσεων και κλοπών στα μέσα μεταφοράς των πόλεων της εν λόγω κατηγορίας. Συνεπώς, η επιλογή του ιδιωτικού οχήματος δεν είναι μόνο θέμα άνεσης, αλλά συχνά και θέμα προσωπικής ασφάλειας[66].

Τέλος η επικινδυνότητα του οδικού δικτύου στις πόλεις αυτές είναι ιδιαίτερα υψηλή ειδικά στο Σάο Πάολο που ο αριθμός των θανάτων ανά 100.000 κατοίκους ανέρχεται στο 13.86. Στη Τζακάρτα ο αριθμός των θανάτων είναι αρκετά πιο χαμηλός παρόλα αυτά τα ατυχήματα στους δρόμους παραμένουν πάρα πολλά σύμφωνα με την Jakarta Metro Jaya Police.

Συνοψίζοντας, καθίσταται σαφές ότι η βιωσιμότητα στα Emerging Gateways δεν εξαρτάται μόνο από την ποσοτική επέκταση των υποδομών, αλλά πρωτίστως από την ανάκτηση της εμπιστοσύνης των πολιτών μέσω της εγγύησης της ασφάλειας και της αξιοπιστίας. Αυτή ακριβώς η ανάγκη για μια «έξυπνη», ασφαλή και οικονομικά βιώσιμη αναδιοργάνωση του συστήματος μεταφορών αποτελεί τη βάση για τα στοχευμένα μέτρα και τις τεχνολογικές παρεμβάσεις που θα αναλυθούν διεξοδικά στην 5η Ενότητα.

- **Factory China/Industrial Engines:**
Στην περίπτωση της εν λόγω κατηγορίας επιλέχθηκαν οι πόλεις της Τσιαντζίν και της Σεντζέν . Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 5:Δείκτες για Factory China/Industrial Engines

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Τσιαντζίν	Σεντζέν
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	Δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για ακριβή αριθμό, παρόλα αυτά η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι αρκετά υψηλή	Δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για ακριβή αριθμό, παρόλα αυτά η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι υψηλή
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	231,3(χαμηλό)	297,9(χαμηλό προς μέτριο)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	43.17(μέτριο προς υψηλό)	33.6(μέτριο προς χαμηλό)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	33.4%(μέτριο)	38.6%(μέτριο προς υψηλό)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	Ελλιπή στοιχεία(τελευταία ενημέρωση το 2019 που δείχνει 5.51)	Ελλιπή στοιχεία
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	289.2(χαμηλό λόγω της μεγάλης έκτασης	2.347(μέτριο προς υψηλό)

		της πόλης: 11.946 km ²)	
7. Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	258(υψηλό)	421(υψηλό)
8. Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	49.5%(υψηλό)	22.8%(χαμηλό)
9. Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	1300(χαμηλό)	8793(μέτριο προς υψηλό)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 5 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων. Συγκεκριμένα, αντλήθηκαν στοιχεία από το Εθνικό Γραφείο Στατιστικής της Κίνας (National Bureau of Statistics of China)(<https://www.stats.gov.cn/english/>) και τις τοπικές στατιστικές υπηρεσίες των δήμων της Τιαντζίν και της Σεντζέν(Τιαντζίν/Shenzhen Statistics Bureau)(<https://stats.tj.gov.cn/nianjian/2023nj/zk/indexeh.htm>). Επιπλέον, αξιοποιήθηκαν δεδομένα από αναφορές του Υπουργείου Μεταφορών της Κίνας(<https://www.chemradar.com/lawinfo/authority/38> και https://www.sz.gov.cn/en_szgov/govt/agencies/s/content/post_1352419.html), καθώς και δείκτες κυκλοφοριακής συμφόρησης από την ετήσια έκθεση της Baidu Maps(<https://map.baidu.com/@11590057.96,4489812.75,4z>) και από τη σελίδα statista(<https://www.statista.com/>). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Με βάση τα στατιστικά αυτά και οι 2 πόλεις διαθέτουν αρκετά προηγμένα και εκτενή δίκτυα μεταφοράς σταθερής τροχιάς. Αυτό αποδεικνύει ότι οι πόλεις αυτές έχουν επενδύσει μαζικά στη δημιουργία υποδομών για να υποστηρίξουν τον τεράστιο πληθυσμό και την οικονομική τους δραστηριότητα. Παρόλα αυτά στην Τιαντζίν το ποσοστό χρήσης του αυτοκινήτου είναι υψηλό αποτελώντας το κύριο μέσο μεταφοράς, ενώ η κυκλοφοριακή συμφόρηση και στις 2 πόλεις είναι υψηλή, παρότι τα συνολικά οχήματα ανά 1000 κατοίκους είναι χαμηλά. Αυτό υποδηλώνει ότι ο ρυθμός της βιομηχανικής και οικονομικής ανάπτυξης, σε συνδυασμό με τις ανάγκες μεταφοράς εμπορευμάτων (logistics) που χαρακτηρίζουν αυτές τις πόλεις, ξεπερνά την ικανότητα αποσυμφόρησης που προσφέρουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Παράλληλα στην Τιαντζίν η έκταση της πόλης είναι ιδιαίτερα μεγάλη(11.946 τετραγωνικά χιλιόμετρα) γεγονός που δυσκολεύει την μετακίνηση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Αντίθετα, η Σεντζέν εμφανίζει πολύ χαμηλότερη χρήση Ι.Χ. (22.8%) και υψηλότερη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς (38.6%), γεγονός που συνάδει με την υψηλότερη πυκνότητα πληθυσμού και οχημάτων, καθώς και με το πιο ανεπτυγμένο δίκτυο με περισσότερους σταθμούς σε πολύ μικρότερη έκταση έναντι της Τιαντζίν.

Τέλος ο χρόνος μετακίνησης στην Τιαντζίν είναι σε μέτριο προς υψηλό επίπεδο, λόγω των μεγάλων αποστάσεων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αντίθετα ο χρόνος μετακίνησης στην Σεντζέν είναι σε ιδανικά επίπεδα.

Συνοψίζοντας, οι πόλεις της κατηγορίας Factory China βρίσκονται σε ένα κρίσιμο σημείο καμπής. Ενώ έχουν επιτύχει την κατασκευή πληρέστατων και εκτενών υποδομών δημόσιας συγκοινωνίας, καλούνται να διαχειριστούν την πρόκληση της βελτιστοποίησης της χρήσης τους και της μείωσης της εξάρτησης από το αυτοκίνητο (ειδικά σε περιπτώσεις όπως η Τιαντζίν), σε ένα περιβάλλον όπου η βιομηχανική δραστηριότητα και οι μεγάλες αποστάσεις πιέζουν διαρκώς τα όρια του συστήματος μεταφορών[67].

- Knowledge Capitals:
Στην περίπτωση της εν λόγω κατηγορίας επιλέχθηκαν οι πόλεις του Ελσίνκι και της Κοπεγχάγης . Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 6: Δείκτες για Knowledge Capitals

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Ελσίνκι	Κοπεγχάγη
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	30%(μέτριο προς υψηλό)	26%(μέτριο)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	212.8(χαμηλό)	104.2(χαμηλό)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	29(χαμηλό)	38(μέτριο)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	24%(μέτριο)(το 10% των μετακινήσεων γίνεται με ποδήλατο και το 46% με τα πόδια)	15%(χαμηλό)(όμως το 26% των μετακινήσεων γίνεται με ποδήλατο και το 30% με τα πόδια)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	0 το 2025	2.4(χαμηλό)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	405,3(χαμηλό)	822(χαμηλό)
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	30 σταθμοί μετρό(μέτριο)	44σταθμοί μετρό(μέτριο)
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	21%(χαμηλό)	31%(μέτριο)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	3.034(μέτριο)	4400(μέτριο)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 6 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων. Συγκεκριμένα για το Ελσίνκι, αντλήθηκαν στοιχεία από τη Στατιστική Υπηρεσία της Φινλανδίας(Statistics Finland, Tilastokeskus)(<https://stat.fi/en>), σχετικά με τον στόλο οχημάτων και δημογραφικά δεδομένα, καθώς και από τις ετήσιες εκθέσεις του Οργανισμού Μεταφορών της Περιφέρειας του Ελσίνκι (Helsinki Region Transport - HSL) (<https://www.hsl.fi/en>) αναφορικά με τη χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, επίσημη σελίδα Helsinki Region Infoshare(https://hri.fi/data/en_GB/dataset/paakaupunkiseudun-autonomistajuustiedot). αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τον Δήμο του Ελσίνκι (<https://www.hel.fi/en>) σχετικά με την οδική ασφάλεια και τους στόχους βιωσιμότητας. Για τη Κοπεγχάγη, τα δεδομένα προήλθαν από τη Στατιστική Υπηρεσία της Δανίας(Statistics Denmark)(<https://www.dst.dk/en>), την επίσημη σελίδα της πόλης της Κοπεγχάγης(<https://international.kk.dk/>). Και για τις 2 πόλεις αντλήθηκαν δεδομένα από τα δεδομένα του tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) και την statista(<https://www.statista.com/>).Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Με βάση τον Πίνακα 6 αντικατοπτρίζεται η βιωσιμότητα στην κινητικότητα των δύο αυτών πόλεων, οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλή χρήση του αυτοκινήτου, ειδικά στο Ελσίνκι όπου το 21% των μετακινήσεων γίνεται με αμάξι. Παράλληλα το συνολικό πλήθος αυτοκινήτων και στις 2 πόλεις είναι αρκετά χαμηλό, το Ελσίνκι έχει 405.3 συνολικά οχήματα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και η Κοπεγχάγη 822. Τα δεδομένα αυτά αντικατοπτρίζουν την χαμηλή εξάρτηση των πολιτών των πόλεων αυτών από τα αυτοκίνητα για τις μετακινήσεις τους. Αυτό φαίνεται και στην χαμηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση στις πόλεις αυτές.

Παρατηρούνται σχετικά χαμηλά ποσοστά χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς γεγονός που δεν οφείλεται στην χρήση των αυτοκινήτων αλλά στην κυριαρχία της Ενεργής Κινητικότητας που επικρατεί και στις 2 πόλεις. Συγκεκριμένα στο Ελσίνκι το 46% των μετακινήσεων γίνεται με τα πόδια και 10% με ποδήλατο ενώ στη Δανία το 30% γίνεται με τα πόδια και το 26% με το ποδήλατο. Στη Κοπεγχάγη υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένοι δρόμοι-διαδρομές(bike routes-lanes) των οποίων το συνολικό μήκος υπερβαίνει των 385

χιλιομέτρων σε όλη την έκταση της πόλης, σύμφωνα με τις πηγές που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αυτό φανερώνει την κυριαρχία στις δύο πόλεις από βιώσιμους και οικολογικούς τρόπους μετακίνησης και φανερώνει την αυξημένη χρήση της μικρο-κινητικότητας ή αγγλιστί *micro mobility* στις καθημερινές μετακινήσεις των πολιτών[68].

Παράλληλα και στις 2 πόλεις ο μέσος χρόνος μετακίνησης είναι σχετικά μικρός γεγονός που υποδηλώνει άρτιο πολεοδομικό σχεδιασμό, αποτελεσματική ροή μετακινήσεων, χαμηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Τέλος και οι 2 πόλεις παρουσιάζουν πάρα πολύ χαμηλά ποσοστά θνησιμότητας από ατυχήματα στους δρόμους, ειδικά το Ελσίνκι σημείωσε για πρώτη χρονιά το 2025 μηδέν θανάτους, υποδηλώνοντας τον άρτιο πολεοδομικό σχεδιασμό και την λήψη κατάλληλων μέτρων για την κινητικότητα, όπως τον σχεδιασμό ειδικών πεζόδρομων και ποδηλατοδρόμων.

Εν κατακλείδι η μελέτη της κατηγορίας των Knowledge Capitals φανερώνει ότι η επίτευξη της βιώσιμης κινητικότητας σε αυτές τις πόλεις δεν βασίζεται αποκλειστικά σε βαριές υποδομές μαζικής μεταφοράς, αλλά πρωτίστως στην καλλιέργεια μιας κουλτούρας ενεργής κινητικότητας. Η χαμηλή εξάρτηση από το αυτοκίνητο, σε συνδυασμό με την κυριαρχία του ποδηλάτου και του περπατήματος, αποδεικνύει ότι ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός και η επένδυση σε ήπιες μορφές μετακίνησης μπορούν να οδηγήσουν σε πόλεις με υψηλή ποιότητα ζωής, ελάχιστους οδικούς κινδύνους και μικρούς χρόνους μετακίνησης. Συνεπώς στην 5^η ενότητα ένα από τα μέτρα που θα προταθούν θα αφορούν την περαιτέρω βελτίωση της μικρο-κινητικότητας στο πλαίσιο αυτών των πόλεων.

- **American Middleweights:**
Στην περίπτωση της εν λόγω κατηγορίας επιλέχθηκαν οι πόλεις του Σακραμέντο και του Σαρλότ. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 7: Δείκτες για American Middleweight

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Σακραμέντο	Σαρλότ
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	24%(χαμηλό)	25%(χαμηλό)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	757(υψηλό)	Δεν υπάρχει ακριβής αριθμός αλλά σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κάθε νοικοκυριό έχει μέσο όρο 1.9 με 2 αυτοκίνητα(1.92 - 2.0 οχήματα/σπίτι)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	27.7(χαμηλό)	25.4(χαμηλό)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	Δεν βρέθηκε ακριβής αριθμός-υπολογίζεται να είναι κάτω από 10% σύμφωνα με τη βιβλιογραφία	Δεν βρέθηκε ακριβής αριθμός-υπολογίζεται να είναι κάτω από 5% σύμφωνα με τη βιβλιογραφία
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	11.5(υψηλό, αφορά την πόλη και όχι την κομητεία)	6.67(υψηλό)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	451.1(χαμηλό)	Δεν υπάρχει ακριβής αριθμός αλλά σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κάθε νοικοκυριό έχει μέσο όρο 1.9 με 2 αυτοκίνητα(1.92 - 2.0 οχήματα/σπίτι)

7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	53 σταθμοί ελαφρού σιδηροδρόμου-δεν υπάρχει μετρό	43 σταθμοί ελαφρού σιδηροδρόμου και τραμ-δεν υπάρχει μετρό
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	77%(πολύ υψηλό)	82%(πολύ υψηλό-αφορά την μετακίνηση για δουλειά)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	489(πολύ χαμηλό)	1089(χαμηλό)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 6 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων. Συγκεκριμένα, αντλήθηκαν στοιχεία και για τις 2 πόλεις Υπηρεσία Απογραφής των ΗΠΑ (U.S. Census Bureau)(<https://www.census.gov/quickfacts/sacramentocitycalifornia>) και ειδικότερα η ετήσια έρευνα American Community Survey (ACS) (<https://data.census.gov/>), η οποία παρέχει αξιόπιστα δεδομένα . Δεδομένα επίσης αντλήθηκαν για το Σακραμέντο από τη σελίδα της πολιτείας της Καλιφόρνια (California DMV) (<https://www.dmv.ca.gov/>) καθώς και δεδομένα από το Τμήμα Μεταφορών της Βόρειας Καρολίνας(NCDOT)(<https://www.ncdot.gov/Pages/default.aspx>) και τη βάση δεδομένων Data USA (<https://datausa.io/>) για τη Σαρλότ. Επίσης αντλήθηκαν δεδομένα από τις επίσημες σελίδες για τα μέσα μαζικής μεταφοράς της κάθε πόλης(<https://www.sacrt.com/> και <https://www.charlottenc.gov/CATS/Home>). Και για τις 2 πόλεις αντλήθηκαν δεδομένα από τα δεδομένα του tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) και την statista(<https://www.statista.com/>). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα. Στην περίπτωση του Σακραμέντο η εύρεση δεδομένων είναι πιο απαιτητική λόγω του γεγονότος ότι το Σακραμέντο είναι και κομητεία(county) και πόλη.

Με βάση τον πίνακα 7 παρατηρείται το γεγονός της πλήρους εξάρτησης και των 2 πόλεων αυτών από το αυτοκίνητο. Συγκεκριμένα στο Σακραμέντο το 77% των μετακινήσεων πραγματοποιείται με αυτοκίνητο και στο Σαρλοτ το 82%. Το αυτοκίνητο λοιπόν αποτελεί το κύριο μέσο μεταφοράς στις πόλεις της κατηγορίας και το κυρίαρχο μέσο για την μετάβαση από την οικία στον χώρο εργασίας. Παράλληλα η υψηλή πυκνότητα οχημάτων(757) ανά 1000 κατοίκους στο Σακραμέντο και το γεγονός ότι στο Σαρλότ κατά μέσο όρο κάθε νοικοκυριό διαθέτει περίπου 2 αυτοκίνητα επιβεβαιώνουν ότι η καθημερινή ζωή και η οικονομική δραστηριότητα είναι σχεδιασμένες γύρω από την χρήση του αυτοκινήτου. Παρόλο που παρατηρείται υπέρμετρη χρήση των αυτοκινήτων η κυκλοφοριακή συμφόρηση και στις 2 πόλεις παραμένει σε φυσιολογικά επίπεδα ενώ και ο μέσος χρόνος μετακίνησης προς τον χώρο εργασίας είναι σχετικά χαμηλός. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην χρήση αυτοκινητόδρομων για την μετακίνηση ,στην μεγάλη αστική εξάπλωση(urban sprawl) που παρατηρείται καθώς και στην χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα των πόλεων αυτών. Επιπροσθέτως η υπέρμετρη χρήση της μηχανοκίνησης έχει μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Τα μέσα μαζικής μεταφοράς σημειώνουν πολύ χαμηλά ποσοστά χρησιμότητας και στις 2 πόλεις καθώς εξυπηρετούν πολύ μικρό μέρος του πληθυσμού τους για τις καθημερινές τους μετακινήσεις. Αυτό δικαιολογείται εν μέρει από το γεγονός ότι η σχεδίαση και υλοποίηση ενός δικτύου μεταφορών σε πόλεις με τόσο μεγάλη έκταση όσο οι 2 αναφερόμενες κρίνεται άκρως απαιτητική και αποτρεπτική. Τέλος, η ανάγκη χρήσης αυτοκινήτου για την πρόσβαση στους σταθμούς υπογραμμίζει το πρόβλημα του «πρώτου/τελευταίου μιλίου» (First/Last Mile problem). Εν κατακλείδι, σημειώνονται και στις 2 πόλεις αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας σε αυτοκινητιστικά ατυχήματα γεγονός που αφήνει χώρο για αλλαγές και βελτιώσεις σχετικά με την ασφάλεια στους αυτοκινητόδρομους.

Συμπερασματικά, η φιλοσοφία των μετακινήσεων των πόλεων της κατηγορίας American Middleweight στηρίζεται σε τεράστιο βαθμό στην χρήση μηχανοκίνητων μέσων μεταφοράς. Ενώ διαθέτουν πόρους και τεχνολογία, η πολεοδομική τους δομή καθιστά τη μετάβαση στη βιώσιμη κινητικότητα δυσκολότερη, καθώς απαιτείται ριζική αλλαγή όχι μόνο στις υποδομές, αλλά και στην κουλτούρα μετακίνησης των πολιτών

- **International Weights:**
Στην περίπτωση της εν λόγω κατηγορίας επιλέχθηκαν οι πόλεις του Βερολίνου και του Σίδνεϊ. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 8: Δείκτες International Middleweights

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Βερολίνο	Σίδνεϊ
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	29%(μέτριο προς υψηλό)	28%(μέτριο προς υψηλό)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	329 έως 334 περίπου(χαμηλό προς μέτριο)	480 με 500 περίπου(μέτριο)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	Κυμαίνεται στα 32 με 34 λεπτά(χαμηλό προς μέτριο-το 67% των κατοίκων χρειάζονται λιγότερο από 30 λεπτά για να φτάσουν στη δουλειά τους)	37 λεπτά για διαδρομή από οικία σε χώρο εργασίας(μέτριο)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	27% με 30%(μέτριο)	14% για όλες τις μετακινήσεις(χαμηλό-αυξάνεται σε 25% περίπου για τις μετακινήσεις για δουλειά)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	Περίπου 1.1(χαμηλό-το 2023 σημειώθηκαν μόνο 33 θάνατοι στο Βερολίνο)	1.9 με 2.0(χαμηλό-αναφέρεται στη ευρύτερη αστική περιοχή του Σίδνεϊ(Significant Urban Area))
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	1380(μέτριο-περίπου 1.230.000 αμάξια σε όλη την έκταση της πόλης)	1200 με 1300(μέτριο-αναφέρεται στη ευρύτερη αστική περιοχή του Σίδνεϊ(Significant Urban Area))
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	175 σταθμοί μετρό(υψηλό-υπάρχει και δίκτυο τραμ και προαστιακού σιδηρόδρομου)	46 σταθμοί μετρό(υπάρχει και δίκτυο σιδηρόδρομου)
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	26% με 29%(χαμηλό)	67% με 69% για όλες τις μετακινήσεις(υψηλό)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	3809(μέτριο)	Περίπου 2141(μέτριο-αναφέρεται στη ευρύτερη αστική περιοχή του Σίδνεϊ(Significant Urban Area))

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 8 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων.

Συγκεκριμένα για το Βερολίνο αντλήθηκαν στοιχεία από την Στατιστική Υπηρεσία Βερολίνου-Βρανδεμβούργου(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg) (<https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/>), καθώς και από το Τμήμα Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού της Γερουσίας του Βερολίνου (Senate Department for Mobility, Transport, Climate Protection and the Environment)([Berlin - Offizielles Stadtportal der Hauptstadt Deutschlands - Berlin.de](http://www.berlin.de)) και την ερευνητική μελέτη κινητικότητας «Mobility in Cities - SrV» του Πανεπιστημίου της Δρέσδης([Homepage – Mobilität in Städten - SrV – TU Dresden](http://www.tu-dresden.de)). Επίσης, αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τον Σύνδεσμο Μεταφορών Βερολίνου-Βρανδεμβούργου (VBB - Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg)(<https://www.vbb.de/en/>) σχετικά με τη χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς .Για το Σίδνεϊ αντλήθηκαν δεδομένα από το γραφείο στατιστικής της Αυστραλίας(Australian Bureau of Statistics - ABS) (<https://www.abs.gov.au/>), από τον Οργανισμό Μεταφορών της Νέας Νότιας Ουαλίας(Transport for NSW)(<https://www.transport.nsw.gov.au/>), το Γραφείο Στατιστικής και Δεδομένων Εγκληματικότητας(BOCSAR) (<https://www.bocsar.nsw.gov.au/>) για θέματα οδικής ασφάλειας και το Γραφείο Έρευνας Υποδομών και Μεταφορών(BITRE) (<https://www.bitre.gov.au/>). Και για τις 2 πόλεις αντλήθηκαν δεδομένα από τα δεδομένα του tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) και την statista(<https://www.statista.com/>). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Με βάση τον πίνακα 8, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Στο Βερολίνο παρατηρείται μια ισορροπία μεταξύ της χρήσης των αυτοκινήτων(26-29%) και της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς(27-30%) ως μέσα μετακίνησης στην καθημερινότητα των πολιτών. Αντιθέτως στο Σίδνεϊ παρατηρείται η εξάρτηση στα μηχανοκίνητα ιδιωτικά μέσα και η χαμηλή σε ποσοστά χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς για την μετακίνηση στα πλαίσια της πόλης. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο φαινόμενο της αστικής διάχυσης που παρατηρείται στην πόλη του Σίδνεϊ κάτι το οποίο καθιστά την μετακίνηση με το αυτοκίνητο ως το κυρίαρχο τρόπο μετακίνησης. Παράλληλα το συνολικό δίκτυο δημόσιων μεταφορών του Βερολίνου είναι αρκετά αναπτυγμένο, μόνο το μετρό αποτελείται από 175 σταθμούς στο σύνολο ενώ το δίκτυο μεταφορών στο Σίδνεϊ είναι σχεδιασμένο κυρίως για να μεταφέρει εργαζόμενους στο κέντρο. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι η χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς είναι χαμηλή γενικά (14%), αλλά διπλασιάζεται (25%) όταν αφορά μετακινήσεις για δουλειά.

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα του πίνακα είναι ότι οι δύο πόλεις έχουν σχεδόν τον ίδιο δείκτη κυκλοφοριακής συμφόρησης(28% έναντι 29%), παρόλο που έχουν εντελώς διαφορετικά ποσοστά χρήσης Ι.Χ. Αυτό αποδεικνύει ότι η δημιουργία περισσότερων δρόμων και η πιο χαμηλή πυκνότητα(μοντέλο Σίδνεϊ) δεν λύνουν το πρόβλημα της κίνησης. Το Σίδνεϊ, παρόλο που έχει λιγότερα οχήματα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο σε σύγκριση με το Βερολίνο λόγω της μεγάλης του έκτασης, αντιμετωπίζει την ίδια καθυστέρηση με το πιο πυκνοκατοικημένο Βερολίνο, διότι οι κάτοικοί του αναγκάζονται να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις. Παράλληλα ο μέσος χρόνος μετακίνησης στο Βερολίνο ανέρχεται στα 32 με 34 λεπτά έναντι στα 37 λεπτά στο Σίδνεϊ γεγονός που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της ύπαρξης ισορροπίας μεταξύ της χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς και αυτοκινήτου.

Τέλος, η οδική ασφάλεια στο Βερολίνο είναι σχεδόν διπλάσια ανώτερη σε σχέση με το Σίδνεϊ . Συνεπώς η υψηλή χρήση του Ι.Χ. και οι μεγαλύτερες ταχύτητες στους προαστιακούς δρόμους-αυτοκινητόδρομους του Σίδνεϊ αυξάνουν την πιθανότητα θανατηφόρων ατυχημάτων.

Συνοψίζοντας, η ανάλυση της κατηγορίας International Middleweights αποδεικνύει ότι η κυκλοφοριακή αποδοτικότητα μια πόλης δεν καθορίζεται τόσο από το πληθυσμιακό της μέγεθος όσο από την αστική της μορφή, τον πολεοδομικό σχεδιασμό της και το δίκτυο μεταφορών της. Το παράδειγμα του Σίδνεϊ επιβεβαιώνει ότι η χαμηλή οικιστική πυκνότητα (αστική διάχυση) και η εξάρτηση υπέρ του αυτοκινήτου δεν επιλύουν το πρόβλημα της συμφόρησης, αλλά αντιθέτως αυξάνουν τον χρόνο μετακίνησης. Αντιθέτως, το Βερολίνο

αποδεικνύει πως ο συνδυασμός συμπαγούς δόμησης και πυκνού δικτύου σταθερής τροχιάς αποτελεί αναγκαία συνθήκη για τη μείωση της εξάρτησης από το Ι.Χ. Τα ευρήματα αυτά καθιστούν σαφές ότι η βελτίωση των δεικτών κινητικότητας απαιτεί στροφή σε νέες στρατηγικές σχεδιασμού.

- Τουριστικά και Πολιτιστικά Κέντρα:
Στην περίπτωση της εν λόγω κατηγορίας επιλέχθηκαν οι πόλεις της Βαρκελώνης και του Κιότο. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δεικτών με τις τιμές τους:

Πίνακας 9: Δείκτες για Τουριστικά και Πολιτιστικά Κέντρα

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Βαρκελώνη	Κιότο
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	26%(μέτριο προς υψηλό)	39%(υψηλό)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	460 περίπου(μέτριο)	267 περίπου(χαμηλό)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	26 λεπτά(χαμηλό)	37 με 38 λεπτά(μέτριο)
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	37%(μέτριο προς υψηλό- 42% των μετακινήσεων εντός πόλης γίνεται με τα πόδια ή το ποδήλατο)	25% περίπου(μέτριο-το 50% των μετακινήσεων γίνεται με τα πόδια ή το ποδήλατο)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	1.17(χαμηλό)	1.38(χαμηλό)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	5,844(υψηλό)	2600(μέτριο προς υψηλό)
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	189 σταθμοί μετρό(υψηλό-υπάρχει και τραμ και προαστιακός)	31 σταθμοί μετρό(υπάρχουν και ορισμένοι ιδιωτικοί σιδηρόδρομοι(Private Railways))
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	21%(χαμηλό)	22%(χαμηλό)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	16.000 περίπου(υψηλό- αναφέρεται στον ευρύτερο δήμο της Βαρκελώνης(Municipality / Ajuntament de Barcelona))	1768(χαμηλό προς μέτριο)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 9 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων. Συγκεκριμένα για τη Βαρκελώνη, αντλήθηκαν στοιχεία από το Στατιστικό Ινστιτούτο της Καταλονίας(Idsescat)(<https://www.idescat.cat/en/>), το Τμήμα Στατιστικής του Δήμου της Βαρκελώνης(Ajuntament de Barcelona, Departament d'Estadística)(<https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/en/>), την Αρχή Μητροπολιτικών Μεταφορών (ATM - Autoritat del Transport Metropolità)(<https://www.atm.cat/en>) και συγκεκριμένα στην ετήσια Έρευνα Κινητικότητας (EMEF - Working Day Mobility Survey) και την Open Data BCN(<https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/en>). Για το Κιότο τα δεδομένα προήλθαν από την Πύλη Στατιστικών του Δήμου του Κιότο(Kyoto City Statistics Portal)(<https://www2.city.kyoto.lg.jp/sogo/toukei/>), από το Γραφείο Μεταφορών του Δήμου (Kyoto Municipal Transportation Bureau)(<https://www.city.kyoto.lg.jp/kotsu/en/>) και το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Τουρισμού της Ιαπωνίας(MLIT)(<https://www.mlit.go.jp/en/>). Τέλος τα δεδομένα οδικής ασφάλειας διασταυρώθηκαν με τις αναφορές της Αστυνομίας της Περιφέρειας του Κιότο(Kyoto Prefectural Police)(<https://www.pref.kyoto.jp/fukei/>). Και για τις 2 πόλεις αντλήθηκαν δεδομένα από τα δεδομένα του tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) και την

statista(<https://www.statista.com/>). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Με βάση τον πίνακα 9, προκύπτει το συμπέρασμα πως και οι δύο πόλεις εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά χρήσης του αυτοκινήτου ως μέσο μετακίνησης. Παράλληλη η ενεργή κινητικότητα και στις 2 πόλεις αποτελεί τον κύριο τρόπο μετακίνησης σε αυτές. Συγκεκριμένα στη Βαρκελώνη ένα ποσοστό της τάξης του 42% μετακινείται με τα πόδια ή το ποδήλατο για τη δουλειά ενώ στο Κιότο το 50%. Αυτό αποδεικνύει την σημασία του κατάλληλου προς τον άνθρωπο πολεοδομικού σχεδιασμού με την συμπερίληψη πεζόδρομων και ποδηλατοδρόμων σε όλη την έκταση της πόλης. Στην Βαρκελώνη σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα του δήμου της πόλης (<https://www.barcelona.cat/mobilitat/en/type-route>) έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην δημιουργία κατάλληλων ειδικών λωρίδων κυκλοφορίας για τα ποδήλατα. Παρότι και οι δύο πόλεις σημειώνουν πολύ χαμηλά ποσοστά χρήσης Ι.Χ το Κιότο αντιμετωπίζει πιο σοβαρό πρόβλημα στην κυκλοφορία στους δρόμους όπου ο δείκτης κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι σε υψηλό επίπεδο(39%) με μέσο χρόνο για την κάλυψη μιας διαδρομής 10 χιλιομέτρων να ανέρχεται στα 33 λεπτά και 16 δευτερόλεπτα σύμφωνα με το tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/?country=DE%2CAU%2CES>) σε σύγκριση με την Βαρκελώνη όπου ο δείκτης κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι σε σχετικά φυσιολογικά επίπεδα(26%). Παράλληλα ο μέσος χρόνος μετακίνησης στο Κιότο είναι πιο αυξημένος(37 λεπτά) σε σχέση με της Βαρκελώνης που είναι σε ιδανικό επίπεδο(26 λεπτά). Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι το κέντρο του Κιότο όντας κατοικήσιμο για πολλούς αιώνες δεν έχει σχεδιαστεί με κατάλληλο τρόπο για την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση όλων των αυτοκινήτων, χαρακτηρίζεται επίσης από εξαιρετικά στενούς δρόμους και το δίκτυο μεταφορών του δεν είναι τόσο εκτενές, 30 μόνο στάσεις μετρό, σε σύγκριση με αυτό της Βαρκελώνης(189 σταθμοί μετρό).

Στον τομέα της οδικής ασφάλειας, και οι δύο πόλεις καταγράφουν εξαιρετικές επιδόσεις ,επιβεβαιώνοντας τη διεθνή βιβλιογραφία που συνδέει την υψηλή κίνηση πεζών και ποδηλατών με τη μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων, καθώς και την αποτελεσματικότητα των πολιτικών μείωσης ταχυτήτων σε πυκνούς αστικούς ιστούς.

Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν ότι η μείωση της χρήσης του Ι.Χ. είναι αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για την αποσυμφόρηση. Απαιτείται παράλληλη ενίσχυση των μέσων μαζικής μεταφοράς σταθερής τροχιάς για την αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας. Επίσης προτείνεται η ενίσχυση της μικρο-κινητικότητας στις πόλεις της κατηγορίας των Τουριστικών και Πολιτιστικών Κέντρων καθώς αποτελεί κατά βάση ένα από τους κύριους τρόπους μετακίνησης.

4.5 Ανάπτυξη Συσχετισμών μεταξύ των δεικτών κινητικότητας

Στην προηγούμενη ενότητα, ενότητα 4.4, έγινε η παρουσίαση των δεικτών κινητικότητας για κάθε κατηγορία πόλεων της κατηγορίας των Αστικών Κέντρων. Η συλλογή αυτών των δεδομένων συνέβαλε στην καλύτερη αντίληψη της τωρινής κινητικότητας των πόλεων της κάθε κατηγορίας και των χαρακτηριστικών της. Παρόλα αυτά, για την πληρέστερη κατανόηση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στην εν λόγω ενότητα πραγματοποιείται μια στατιστική ανάλυση των δεδομένων που αντλήθηκαν από τους πίνακες των δεικτών για κάθε κατηγορία με σκοπό την εύρεση συσχετίσεων(correlation) μεταξύ των μεταβλητών-δεικτών. Η ανάλυση βασίστηκε στον υπολογισμό του Συντελεστή Συσχέτισης Pearson(r), ο οποίος ποσοτικοποιεί τη γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών σε μια κλίμακα από το -1 έως το +1. Αν το r είναι θετικός αριθμός ($r > 0$) τότε αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της μιας μεταβλητής υποδηλώνει την αύξηση και της άλλης, αν το r είναι αρνητικός αριθμός($r < 0$) τότε σημαίνει ότι η αύξηση της μιας μεταβλητής υποδηλώνει την μείωση της άλλης και τέλος αν το r τείνει στο μηδέν($r \approx 0$) τότε σημαίνει πως οι δύο μεταβλητές δεν εμφανίζουν κάποια γραμμική σχέση μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αναδεικνύουν κρίσιμα συμπεράσματα για όλο τον πλαίσιο της Αστικής

Κινητικότητας και λειτουργούν ως θεμέλιο για την πρόταση κατάλληλων μέτρων και στρατηγικών για την ανάδειξη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στην επόμενη ενότητα (5^η Ενότητα). Ακολουθεί η παρουσίαση των σημαντικότερων συσχετίσεων που εντοπίστηκαν:

I. Θετικές Συσχετίσεις ($r > 0$):

- Ιδιοκτησία Ι.Χ. και Θάνατοι από Τροχαία:

Υπάρχει πολύ ισχυρή σύνδεση ανάμεσα στον αριθμό των αυτοκινήτων ανά 1.000 κατοίκους και τους θανάτους στους δρόμους. Για τον υπολογισμό της γραμμικής εξάρτησης μεταξύ της ιδιοκτησίας Ι.Χ. (ανεξάρτητη μεταβλητή x) και των θανάτων από τροχαία (Εξαρτημένη μεταβλητή y), χρησιμοποιήθηκε ο Συντελεστής Συσχέτισης Pearson (r), όπως προαναφέρθηκε. Ο συντελεστής r ορίζεται ως ο λόγος της συνδιακύμανσης των δύο μεταβλητών προς το γινόμενο των τυπικών τους αποκλίσεων. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο εξής:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Όπου το: n είναι το πλήθος των πόλεων, το δείγμα δηλαδή, το x_i είναι η τιμή της ιδιοκτησίας Ι.Χ για την πόλη i , το y_i είναι η τιμή των θανάτων για την πόλη i , το \bar{x} είναι ο μέσος όρος ιδιοκτησίας Ι.Χ όλων των πόλεων και το \bar{y} είναι ο μέσος όρος θανάτων ανά 100 χιλιάδες κατοίκους όλων των πόλεων.

Εφαρμόζοντας το τύπο του Pearson στο δείγμα των πόλεων (εξαιρέθηκαν οι περιπτώσεις πόλεων που δεν είχαν ακριβή στοιχεία) προέκυψε η τιμή του συντελεστή συσχέτισης:

$$r \approx +0.7$$

Η τιμή αυτή υποδηλώνει μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των Ι.Χ ανά 1000 κατοίκους σε μια πόλη με τον αριθμό των θανάτων ανά 100.000 κατοίκους σε μία πόλη αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική τάση: όσο αυξάνεται ο αριθμός των αυτοκινήτων σε μια πόλη, τόσο αυξάνεται και ο δείκτης θνησιμότητας στους δρόμους. Τα δεδομένα επιβεβαιώνουν ότι οι πόλεις με χαμηλό δείκτη ιδιοκτησίας, όπως το Τόκιο (164 οχήματα/1000 κατ.) και το Ελσίνκι (212 οχήματα/1000 κατ.), καταγράφουν εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά θανάτων. Αντιθέτως, πόλεις με υψηλή εξάρτηση από το αυτοκίνητο, όπως το Σακραμέντο (757 οχήματα/1000 κατ.), εμφανίζουν πολλαπλάσια ποσοστά θνησιμότητας. Με αυτό τον τρόπο αποδεικνύεται ότι η ασφάλεια δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα του οδοστρώματος ή την τεχνολογία των οχημάτων, αλλά και από τη μείωση της έκθεσης σε κίνδυνο (exposure), η οποία επιτυγχάνεται μέσω της μείωσης της χρήσης και της ιδιοκτησίας Ι.Χ.

- Κυκλοφοριακή Συμφόρηση και Πυκνότητα Οχημάτων:

Η δεύτερη ανάλυση εστιάζει στα αίτια της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Εξετάστηκε η συσχέτιση μεταξύ του δείκτη της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της πυκνότητας οχημάτων δηλαδή ο αριθμός οχημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Από την επεξεργασία των δεδομένων που αντλούνται από τους πίνακες δεικτών της προηγούμενης ενότητας και την εφαρμογή του τύπου (1) που αναφέρθηκε, όπου το: n είναι το πλήθος των πόλεων, το δείγμα δηλαδή, το x_i είναι η τιμή της κυκλοφοριακής συμφόρησης για την πόλη i , το y_i είναι η τιμή της πυκνότητας των οχημάτων για την πόλη i , το \bar{x} είναι ο μέσος όρος κυκλοφοριακής συμφόρησης όλων των πόλεων και το \bar{y} είναι ο μέσος όρος πυκνότητας των οχημάτων όλων των πόλεων. Προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$r \approx +0.72$$

Η τιμή αυτή υποδηλώνει μια ιδιαίτερα θετική συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο δεικτών και αναδεικνύει το γεγονός πως η κυκλοφορία στους δρόμους επηρεάζεται αρνητικά από το κορεσμό του αστικού χώρου που παρατηρείται σε ένα σύνολο πόλεων. Συνεπώς προκύπτει το συμπέρασμα πως η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα πρόβλημα που πηγάζει εν μέρει από την μη κατάλληλη διαχείριση και υπερκορεσμό του αστικού χώρου γεγονός που υποδηλώνει πως η πιθανή επέκταση των δρόμων και των λωρίδων σε πόλεις που αντιμετωπίζουν υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν αναμένεται να έχει ουσιαστική θετική επίδραση στην ελάττωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Πόλεις όπως η Τζακάρτα και το Σάο Πάολο, αν και έχουν χαμηλότερη ιδιοκτησία Ι.Χ. ανά κάτοικο σε σχέση με τις πόλεις των Η.Π.Α που αναλύθηκαν προηγουμένως, εμφανίζουν ιδιαίτερους υψηλούς δείκτες κυκλοφοριακής συμφόρησης (43% και 42% αντίστοιχα). Αυτό συμβαίνει διότι η πυκνότητα οχημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι τεράστια, ξεπερνώντας τα όρια του υπάρχοντος οδικού δικτύου.

- Αριθμός σταθμών σταθερής τροχιάς και χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς:

Η τρίτη συσχέτιση εξετάζει τον βαθμό στον οποίο η διαθεσιμότητα υποδομών επηρεάζει τις επιλογές μετακίνησης των πολιτών. Συγκεκριμένα συσχετίζεται ο αριθμός σταθμών-στάσεων μέσων σταθερής τροχιάς (μετρό, τραμ, προαστιακός σιδηρόδρομος, «ελαφρύς» σιδηρόδρομος) με το ποσοστό χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς. Από τα δεδομένα τα οποία αντλούνται από του πίνακες των δεικτών και την εφαρμογή του τύπου (1) που αναφέρθηκε, όπου το: n είναι το πλήθος των πόλεων, το δείγμα δηλαδή, το x_i είναι η τιμή των συνολικών σταθμών για την πόλη i , το y_i είναι η τιμή του ποσοστού χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς για την πόλη i , το \bar{x} είναι ο μέσος όρος σταθμών όλων των πόλεων και το \bar{y} είναι ο μέσος όρος των ποσοστών χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς όλων των πόλεων. Προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$r \approx +0.64$$

Η τιμή αυτή υποδηλώνει μια θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών γεγονός που αποδεικνύει πως όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διαθέσιμων σταθμών και συνεπώς όσο πιο εκτεταμένο και πυκνό είναι ένα δίκτυο δημόσιων μεταφορών τόσο αυξάνεται και το ποσοστό χρήσης του δικτύου αυτού. Αναλυτικότερα οι πόλεις της κατηγορίας Global Giants και Asian Anchors, όπως το Τόκιο και η Σεούλ, επιτυγχάνουν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς παγκοσμίως, γεγονός που δείχνει ότι η ύπαρξη μεγάλου αριθμού σταθμών εξασφαλίζει ότι η πλειονότητα των κατοίκων βρίσκεται σε απόσταση περπατήματος, πολύ κοντινή απόσταση δηλαδή από κάποιον σταθμό. Συμπερασματικά η αύξηση των σταθμών αυξάνει την προσβασιμότητα και καθιστά τα μέσα μαζικής μεταφοράς μια ρεαλιστική εναλλακτική λύση έναντι των Ι.Χ.

- Πληθυσμιακή Πυκνότητα και Μέσος Χρόνος Μετακίνησης:

Σε αυτό το κομμάτι εξετάστηκε η συσχέτιση μεταξύ της πληθυσμιακής πυκνότητας με τον μέσο χρόνο μετακίνησης. Με βάση τις τιμές των πινάκων της ενότητας 4.4 και την εφαρμογή του τύπου (1), όπου το: n είναι το πλήθος των πόλεων, το δείγμα δηλαδή, το x_i είναι η τιμή της πληθυσμιακής πυκνότητας για την πόλη i , το y_i είναι η τιμή του μέσου χρόνου μετακίνησης για την πόλη i , το \bar{x} είναι ο μέσος όρος της πληθυσμιακής πυκνότητας όλων των πόλεων και το \bar{y} είναι ο μέσος όρος του μέσου χρόνου μετακίνησης όλων των πόλεων. Προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$r \approx +0.48$$

Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει μια «μετρίου» επιπέδου θετική συσχέτιση μεταξύ των

δύο συγκεκριμένων μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πυκνότητα του πληθυσμού μιας πόλης, τείνει να αυξάνεται και ο χρόνος που δαπανούν οι κάτοικοι για να πάνε στη δουλειά τους. Αυτό οφείλεται εν μέρει ότι σε πυκνοκατοικιμένες πόλεις επικρατεί μεγαλύτερη συμφόρηση και στους δρόμους αλλά και στα μέσα μαζικής μεταφοράς αυξάνοντας έτσι το μέσο χρόνο μετακίνησης των κατοίκων των πόλεων αυτών. Αντιθέτως πόλεις όπως το Σαρλότ και το Σακραμέντο έχουν μικρότερο μέσο χρόνο μετακίνησης και η πληθυσμιακή πυκνότητα τους είναι χαμηλή. Συμπερασματικά, προκύπτει το συμπέρασμα πως η αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας δεν αρκεί για την μείωση των χρόνων μετακίνησης.

II. Αρνητικές Συσχετίσεις ($r < 0$):

- Αριθμός σταθμών σταθερής τροχιάς και χρήση Ι.Χ:

Η εν λόγω συσχέτιση εξετάζει την συσχέτιση μεταξύ των σταθμών σταθερής τροχιάς με το ποσοστό χρήσης Ι.Χ για την μετακίνηση των πολιτών κάθε πόλης. Λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές των πινάκων της προηγούμενης ενότητας εφαρμόζεται ο τύπος (1), όπου το: n είναι το πλήθος των πόλεων, το δείγμα δηλαδή, το x_i είναι η τιμή των συνολικών σταθμών για την πόλη i , το y_i είναι η τιμή του ποσοστού χρήσης ιδιωτικών οχημάτων μεταφοράς για την πόλη i , το \bar{x} είναι ο μέσος όρος σταθμών όλων των πόλεων και το \bar{y} είναι ο μέσος όρος των ποσοστών χρήσης Ι.Χ όλων των πόλεων. Προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$r \approx -0.48$$

Η τιμή αυτή αναδεικνύει μία «μέτρια» αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών που αναφέρθηκαν και φανερώνει το γεγονός ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των διαθέσιμων σταθμών σε μια πόλη, τείνει να μειώνεται το ποσοστό των πολιτών που επιλέγουν το αυτοκίνητο για τις καθημερινές τους μετακινήσεις. Συγκεκριμένα σε πόλεις όπως είναι το Σαρλότ όπου το δίκτυο μεταφορών δεν είναι καθόλου πυκνό και κατάλληλα σχεδιασμένο η επιλογή του αυτοκινήτου ως μέσο μεταφοράς είναι μονόδρομος (82% ποσοστό χρήσης Ι.Χ στο Σαρλότ). Αντιθέτως πόλεις με ένα πυκνό δίκτυο δημοσίων μεταφορών όπως το Τόκιο σημειώνουν μικρούς αριθμούς χρήσης Ι.Χ (12% για Τόκιο) για τις μετακινήσεις των πολιτών. Το εύρημα αυτό αναδεικνύει ότι η ύπαρξη περισσότερων εναλλακτικών επιλογών για την μετακίνηση ωθεί στην ελάττωση της χρήσης του αυτοκινήτου.

III. Μηδενικές Συσχετίσεις ($r \approx 0$):

- Κυκλοφοριακή Συμφόρηση και ποσοστό χρήσης Ι.Χ:

Στο συγκεκριμένο κομμάτι της πτυχιακής, αναλύεται η συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού χρήσης Ι.Χ με τον δείκτη της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Με βάση τις τιμές των πινάκων εφαρμόστηκε ο τύπος (1) όπου το: n είναι το πλήθος των πόλεων, το δείγμα δηλαδή, το x_i είναι το ποσοστό χρήσης Ι.Χ για την πόλη i , το y_i είναι η τιμή του δείκτη κυκλοφοριακής συμφόρησης για την πόλη i , το \bar{x} είναι ο μέσος όρος των ποσοστών χρήσης Ι.Χ όλων των πόλεων και το \bar{y} είναι ο μέσος όρος των δεικτών κυκλοφοριακής συμφόρησης όλων των πόλεων. Προκύπτει ότι ο συντελεστής συσχέτισης τείνει στο 0:

$$r \approx -0.04$$

Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει μία μηδενική συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών αποδεικνύοντας ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του ποσοστού των οδηγών και της συμφόρησης που βιώνουν. Συγκεκριμένα πόλεις όπως το Τόκιο και η Σεούλ έχουν χαμηλά ποσοστά χρήσης ιδιωτικών οχημάτων παρόλα αυτά η κυκλοφοριακή

συμφόρηση σε αυτές είναι σχετικά υψηλή. Παράλληλα πόλεις όπως το Σακραμέντο και το Σαρλότ τα οποία έχουν αρκετά υψηλά ποσοστά χρήσης Ι.Χ.(77% και 82% αντιστοίχως) έχουν κυκλοφοριακή συμφόρηση σε πιο φυσιολογικά επίπεδα. Το εύρημα αυτό είναι κρίσιμο για την κατανόηση της Βιώσιμης Κινητικότητας. Συνεπώς η μείωση του ποσοστού χρήσης Ι.Χ. είναι αναγκαία για περιβαλλοντικούς λόγους, αλλά δεν λύνει αυτόματα το πρόβλημα της συμφόρησης στις πυκνές πόλεις ενώ η πιο χαμηλή συμφόρηση στις αμερικανικές πόλεις είναι πλασματική. Επιτυγχάνεται μέσω της σπατάλης γης και της δημιουργίας αχανών υποδομών, ένα μοντέλο που είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά μη βιώσιμο μακροπρόθεσμα.

5. Προτεινόμενα Μέτρα και Πολιτικές

5.1 Μέτρα για Αστικά Κέντρα.

Στις προηγούμενες ενότητες αναλύθηκε σε βάθος η έννοια της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας παραλείποντας, σκόπιμα, την ενασχόληση με τα προτεινόμενα μέτρα και πολιτικές που μπορούν να εφαρμοστούν στο πλαίσιο αυτό. Σε αυτή την ενότητα λοιπόν θα γίνεται μια ενασχόληση σε βάθος πάνω σε αυτό το κομμάτι το οποίο είναι και το πιο κρίσιμο. Η μεθοδολογία που ακολουθείται θα εναρμονίζεται με την μοντελοποίηση που έχει εφαρμοστεί στην 3^η Ενότητα. Σε κάθε κατηγορία ξεχωριστά θα αναλύονται μερικές πόλεις, που εντάσσονται σε κάθε κατηγορία αντίστοιχα, θα αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι ανάγκες της κάθε μιας και εν τέλει θα προτείνονται διάφορα μέτρα τα οποία θεωρούνται ως πιο αποτελεσματικά και ταιριαστά για κάθε κατηγορία.

5.1.1 Στρατηγικές για Global Giants

Οι λεγόμενες giant cities ή megacities, ή όπως ονομάζονται στην εξής πτυχιακή Global Giants, αποτελούν τις μεγαλύτερες αστικές περιοχές του πλανήτη και ορίζονται ως πόλεις με συνολικό πληθυσμό που υπερβαίνει τα 10 εκατομμύρια κατοίκους, σύμφωνα με τα κριτήρια του ΟΗΕ. Σύμφωνα με το άρθρο[69], το οποίο αναφέρεται στην βιβλιογραφία, η εξέλιξή τους υπήρξε ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς από μόλις δύο megacities το 1970, ο αριθμός τους ανήλθε σε 23 το 2010, ενώ προβλέπεται να ξεπεράσει τις 37 έως τα τέλη του 2026. Χαρακτηρίζονται από υψηλούς ρυθμούς πληθυσμιακής αύξησης, από συσσώρευση οικονομικών δραστηριοτήτων και από ισχυρή εσωτερική δυναμική που οδηγεί τις μεγαλύτερες πόλεις να αναπτύσσονται ταχύτερα από τις μικρότερες. Η ανάπτυξή τους συνδέεται στενά με το μέγεθος του εθνικού πληθυσμού, καθώς μεγαλύτερες χώρες έχουν αυξημένη πιθανότητα να φιλοξενούν περισσότερες megacities. Παρά τη συμβολή τους στην οικονομική πρόοδο και την καινοτομία, οι giant cities επιβαρύνονται από έντονα φαινόμενα συμφόρησης, έντονη πληθυσμιακή πυκνότητα όπως διαπιστώθηκε και στην ενότητα 4.4, κοινωνικές ανισότητες και περιβαλλοντικές πιέσεις, γεγονός που καθιστά κρίσιμη τη διαμόρφωση στρατηγικών βιώσιμης αστικής ανάπτυξης.

Οι πόλεις λοιπόν που εντάσσονται στην πρώτη κατηγορία της συγκεκριμένης ενότητας, παρουσιάζουν ένα σύνολο ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων, τα οποία διαφοροποιούν ριζικά τις ανάγκες και τις προτεραιότητες της αστικής κινητικότητας σε σχέση με μικρότερες ή λιγότερο πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία πρέπει να σχεδιάζονται και να αξιολογούνται τα προτεινόμενα μέτρα βιώσιμης αστικής κινητικότητας. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό αυτών των πόλεων αποτελεί η εξαιρετικά υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα παράλληλα με τις πολλαπλές τουριστικές ροές που δέχονται αυτές οι πόλεις η οποία οδηγεί σε έντονες πιέσεις στο υπάρχον δίκτυο μεταφορών, τόσο σε επίπεδο χωρητικότητας όσο και σε επίπεδο αξιοπιστίας και ασφάλειας. Οι μετακινήσεις πραγματοποιούνται με ένα τεράστιο όγκο επιβατών και με έντονες χρονικές

ανισορροπίες, καθώς παρατηρούνται σαφώς συνηθισμένες ώρες αιχμής, κατά τις οποίες το σύστημα μεταφορών λειτουργεί στα όρια του. Παράλληλα, οι πόλεις αυτές χαρακτηρίζονται από αρκετά περιορισμένο φυσικό χώρο, ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή του κέντρου τους. Η έλλειψη διαθέσιμου χώρου καθιστά δύσκολη την ενδεχόμενη επέκταση διαφόρων οδικών υποδομών και δημιουργία κατάλληλων χώρων στάθμευσης, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για αποδοτικότερη διαχείριση των τρέχων υποδομών μέσω τεχνολογικών και ψηφιακών λύσεων[21,69,2].

Ένα ακόμη κρίσιμο χαρακτηριστικό αποτελεί η υψηλή πολυπλοκότητα των συστημάτων μεταφορών της κάθε πόλης. Τα δίκτυα δημόσιας συγκοινωνίας αποτελούνται από πολλαπλά μέσα, όπως μετρό, λεωφορεία, τραμ τα οποία συχνά λειτουργούν υπό την αιγίδα διαφορετικών φορέων. Η πολυπλοκότητα αυτή καθιστά επιτακτική τον συνδυασμό και συνεργασία όλων των διαθέσιμων πληροφοριών και υπηρεσιών μέσω ψηφιακών πλατφόρμων, προκειμένου όλο το σύστημα-δίκτυο μεταφορών να είναι κατανοητό και εύχρηστο για τους πολίτες.

Επιπλέον, οι πόλεις και αστικές περιοχές της κατηγορίας χαρακτηρίζονται από έντονες οικονομικές και εμπορικές δραστηριότητες, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες ανάγκες αστικής διανομής εμπορευμάτων. Η κυκλοφορία οχημάτων διανομής επιβαρύνει σημαντικά την οδική κυκλοφορία και επιδεινώνει σημαντικά το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης, ειδικά σε περιοχές υψηλής εμπορικής πυκνότητας, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή εξειδικευμένων πολιτικών για την εφοδιαστική αλυσίδα[69].

Συνεπώς τα μέτρα και στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοστούν για την Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα είναι αρκετά, όμως η συγκεκριμένη πτυχιακή δεν εστιάζει στην απλή αναφορά τους αλλά θα προτείνει τα καταλληλότερα και πιο αποδοτικά μέτρα Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας για αυτού του είδους πόλεων. Για τον σκοπό αυτή της πτυχιακής αναλύονται δύο παραδείγματα πόλεων που εντάσσονται στην συγκεκριμένη κατηγορία, το Τόκιο της Ιαπωνίας και την Νέα Υόρκη των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Το Τόκιο αποτελεί την πρωτεύουσα της Ιαπωνίας και την πολυπληθέστερη πόλη αυτής με πληθυσμό που ανέρχεται, υπολογίζοντας και την ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή σε 37 εκατομμύρια κατοίκους[21]. Συνειδητοποιείται λοιπόν πως οι απαιτήσεις για μετακινήσεις στην συγκεκριμένη πόλη είναι πάρα πολλές. Η πολιτεία του Τόκιο έχει λάβει μια πληθώρα μέτρων για την επίτευξη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας, το κυριότερο από τα οποία είναι η δημιουργία ενός εκτενούς δικτύου δημόσιων μεταφορών, το οποίο συνεχώς επεκτείνεται, και το οποίο αποτελείται από αστικά λεωφορεία, monorail, μετρό και το εθνικό σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας. Τα μέσα μαζικής μεταφοράς του Τόκιο έχουν πάρα πολύ συχνά δρομολόγια ανα 2 με 3 λεπτά[21,22]. Για την ενημέρωση των επερχόμενων δρομολογίων υπάρχουν και διάφορες εφαρμογές που ενημερώνουν σε πραγματικό χρόνο τους πολίτες για τα δρομολόγια. Η πόλη του Τόκιο επίσης παρότι είναι μια τεράστια μητροπολιτική περιοχή έχει αρκετούς πεζόδρομους και ικανοποιητικά πεζοδρόμια για την μετακίνηση με τα πόδια. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία (2020-2024), η βιώσιμη αστική κινητικότητα στο Τόκιο παρουσιάζει μια σύνθετη εικόνα επιλεκτικής βελτίωσης. Η πόλη διατηρεί την παγκόσμια πρωτοπορία της στις δημόσιες συγκοινωνίες και ενισχύει δυναμικά τη χρήση ποδηλάτου μέσω μεγάλων επενδύσεων, επιτυγχάνοντας παράλληλα μείωση των ρύπων. Ωστόσο, υστερεί σημαντικά στην υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σύγκριση με άλλες μητροπόλεις, χάνοντας έδαφος στον τεχνολογικό εκσυγχρονισμό του στόλου της. [21,22]

Η Νέα Υόρκη αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια ένα παγκόσμιο οικονομικό, πολιτιστικό σημείο αναφοράς. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στα 20 εκατομμύρια συνυπολογίζοντας και την ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή. Η τουριστική κίνηση είναι επίσης τεράστια, αν αναλογιστούμε πως μόνο την χρονιά του 2024 σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της πολιτείας της Νέας Υόρκης nyc.gov, το σχετικό άρθρο Mayor Adams Celebrates Nearly 65 Million Visitors to NYC in 2024, Second Highest Number of Visitors in City History, η πόλη δέχτηκε 65 εκατομμύρια τουρίστες. Συμπεραίνεται λοιπόν πως οι απαιτήσεις για

την αστική κινητικότητα σε μια πόλη σαν την Νέα Υόρκη είναι πάρα πολύ υψηλές. Η αλήθεια είναι πως έχουν ληφθεί διάφορες αποφάσεις και μέτρα για την ενίσχυση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας όπως η δημιουργία ενός αρκετά μεγάλου δικτύου δημόσιων μεταφορών το οποίο λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο καθ' όλη την διάρκεια της εβδομάδας. Δεν είναι τυχαίο πως σύμφωνα με τον δείκτη Urban Mobility Readiness Index 2024, η Νέα Υόρκη κατατάσσεται στην 8η θέση παγκοσμίως (και 1η στις ΗΠΑ), λόγω του τεράστιου δικτύου μετρό που λειτουργεί 24/7 και της πυκνότητας των σταθμών της. Σε αντίθεση κιάλας με το Τόκιο που είναι πεντακάθαρο και ακριβές, το μετρό της Νέας Υόρκης αντιμετωπίζει συχνά προβλήματα καθυστέρησης, βρωμιάς και ασφάλειας, παρόλο που καλύπτει τεράστια έκταση. Η Νέα Υόρκη δεν θεωρείται ότι έχει κακή αστική κινητικότητα με την έννοια της έλλειψης επιλογών, αλλά υποφέρει από ακραία συμφόρηση και παλαιωμένες, βρώμικες υποδομές. Στην οδική κυκλοφορία, η κατάσταση είναι δραματική. Σύμφωνα με τον δείκτη TomTom Traffic Index 2024, η Νέα Υόρκη είναι η πιο αργή πόλη στις ΗΠΑ (και σε ολόκληρη τη Βόρεια Αμερική). Ένα τυπικό ταξίδι 10 χιλιομέτρων στο κέντρο απαιτεί κατά μέσο όρο 31 λεπτά, ενώ οι οδηγοί χάνουν σχεδόν 100 ώρες το χρόνο στην κίνηση.

Παρατηρώντας τα παραδείγματα αυτών των δύο πόλεων μπορεί να προταθεί μια γενική ιδέα για το τι ενέργειες και μέτρα οφείλει να λάβει κάθε πόλη που εντάσσεται σε αυτή τη κατηγορία. Αρχικά ο εκσυγχρονισμός και η επέκταση του δικτύου μεταφορών κρίνεται απαραίτητη. Ο σχεδιασμός του δικτύου θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όλα τα μέσα μεταφοράς να συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους και να είναι προσβάσιμα μέσω ποδηλατοδρόμων και πεζόδρομων[2,3]. Η δημιουργία χώρων στάθμευσης σε κατάλληλα σημεία, δηλαδή κοντά σε σταθμούς και στάσεις μετρό, σε όλη την έκταση των πόλεων είναι εξίσου σημαντική. Αυτά τα μέτρα που αναφέρθηκαν εδώ είναι η βάση της εδραίωσης της Αστικής Κινητικότητας, είναι μόνο η αρχή δηλαδή. Για να λυθεί το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης και για να αναδειχθεί η Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα στις πόλεις της κατηγορίας χρειάζονται δραστικά και πρωτοποριακά τεχνολογικά μέτρα τα οποία θα είναι και αποτελεσματικά. Τα μέτρα και οι στρατηγικές που προτείνουμε σε αυτή την πτυχιακή είναι τα εξής:

- Η δημιουργία κατάλληλων «έξυπνων» φωτεινών σηματοδοτών, η πολιτική αυτή λέγεται «traffic light control» και στα πλαίσια τέτοιων πόλεων είναι άκρως απαραίτητη καθώς παρότι τα ποσοστά χρήσης των αυτοκινήτων από τους κατοίκους είναι σχετικά χαμηλά η πυκνότητα των αυτοκινήτων παραμένει υψηλή και ο διαθέσιμος πολεοδομικός χώρος είναι ελάχιστος όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.4. Οι περισσότεροι φωτεινοί σηματοδότες που υπάρχουν παγκοσμίως είναι προγραμματισμένοι να εναλλάσσονται από κόκκινο σε πράσινο και αντίστροφα με βάση ορισμένα χρονικά διαστήματα. Κάτι τέτοιο να μεν είναι αρκετά απλό στην εκτέλεση αλλά προκαλεί αρκετή καθυστέρηση στους δρόμους. Οι ανάγκες της κίνησης εναλλάσσονται καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και πρέπει οι φωτεινοί σηματοδότες να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Λύση αυτού του προβλήματος αποτελεί το traffic light control σύστημα. Το Traffic Light Control είναι ένα νέο σύστημα το οποίο διαχειρίζεται την λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών(φανάρια) με σκοπό την βελτίωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Σε σύγκριση με του παλαιού τύπου φανάρια λαμβάνει υπόψιν του εξωτερικούς παράγοντες προκειμένου να αποφασίσει πως θα λειτουργεί[18]. Στην Πτυχιακή αυτή αναλύεται το σύστημα που χρησιμοποιεί τα PIC, το οποίο ελέγχει τις διάφορες λειτουργίες των φωτεινών σηματοδοτών, παρακολουθεί την κυκλοφορία των οχημάτων στους δρόμους μέσω υπέρυθρων αισθητήρων (IR) και ρυθμίζει τα χρονικά διαστήματα που θα ανάβουν και σβήνουν τα φανάρια σε συνδυασμό με την τεχνολογία του edge computing. Η χρήση μικροελεγκτών PIC[18] και αισθητήρων υπέρυθρων ακτινών συνιστά μια τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά αποδοτική λύση, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα σε ήδη υπάρχουσες υποδομές-φανάρια χωρίς ιδιαίτερα αυξημένο κόστος συντήρησης. Η επιλογή εφαρμογής της σύγχρονης τεχνολογίας του edge computing είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς

μέσω αυτής αποφεύγονται προβλήματα που σχετίζονται με καθυστερήσεις και υψηλό φόρτο που αντιμετωπίζουν τα διαθέσιμα δίκτυα το οποίο οφείλεται εν μέρει στα κεντρικοποιημένα συστήματα cloud. Στην τεχνολογία edge computing τα φανάρια λειτουργούν ως edge nodes τα οποία δεν ρυθμίζουν μόνο την κυκλοφορία αλλά επαληθεύουν ταυτόχρονα επιτόπου-οn real time την εγκυρότητα των δεδομένων που λαμβάνουν από τα διερχόμενα οχήματα επικοινωνώντας με V2E(Vehicle to Edge) τεχνολογία[40]. Για την πιο αποδοτική και ασφαλή διαχείριση του συνόλου των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο προτείνεται η χρήση του Quotient Filter(QF) το οποίο είναι μια χωροαποδοτική πιθανοκρατική δομή δεδομένων που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αν ένα στοιχείο ανήκει σε ένα σύνολο. Σε αντίθεση με τα πιο συνηθισμένα Bloom Filters, το QF προσφέρει υψηλότερη ταχύτητα αναζήτησης και καλύτερη διαχείριση της μνήμης στον κόμβο-edge, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση κατακερματισμού mhm3 (MurmurHash3). Με αυτόν τον τρόπο, το προτεινόμενο αυτό σύστημα εξασφαλίζει τόσο την ακεραιότητα των δεδομένων καθώς και την δυνατότητα της δυναμικής ρύθμισης της σηματοδότησης με ελάχιστη καθυστέρηση, ακόμη και σε πιο απαιτητικά σενάρια πολλαπλών διασταυρώσεων[40].

Προκειμένου να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα καθώς και η βιωσιμότητα του προτεινόμενου συστήματος traffic light control στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής αναπτύχθηκε ένα περιβάλλον προσομοίωσης, μιας διασταύρωσης σε μια πόλη της κατηγορίας Global Giants. Σκοπός της προσομοίωσης αυτής αποτελεί η ανάδειξη της θετικής επίδρασης στην κυκλοφορία που πραγματοποιεί το προτεινόμενο σύστημα σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα εναλλαγής των φωτεινών σηματοδοτών. Ουσιαστικά το περιβάλλον αποτελεί μια μοντελοποίηση της λειτουργίας ενός κόμβου edge computing. Η ανάπτυξη του προσομοιωτή έγινε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού python και με τη βοήθεια της «βιβλιοθήκης» pygame η οποία βοήθησε στην οπτικοποίηση του περιβάλλοντος αυτού. Η δομή του περιβάλλοντος αυτού είναι η εξής: αποτελείται από μια διασταύρωση δύο δρόμων, την οποία διασχίζουν αυτοκίνητα και από τους 2 δρόμους. Οι 2 δρόμοι έχουν αντίστοιχα και από ένα φωτεινό σηματοδότη. Για τον ορισμό των αυτοκινήτων στο πρόγραμμα έχει δημιουργηθεί η κλάση Car η οποία έχει ιδιότητες όπως κατεύθυνση(direction), ταχύτητα(speed), επομένως κάθε αμάξι που διασχίζει την διασταύρωση αποτελεί ένα αντικείμενο ή object της κλάσης αυτής. Να σημειωθεί πως τα αυτοκίνητα συμβολίζονται στην προσομοίωση ως ορθογώνια τα οποία έχουν το ίδιο ύψος και μήκος. Η δημιουργία των αντικειμένων της κλάσης Car δηλαδή η εμφάνιση νέων αυτοκινήτων στην διασταύρωση γίνεται τυχαία βάσει της παραμέτρου ARRIVAL_RATE στην οποία έχει δοθεί η τιμή 0.15. Αυτό που γίνεται είναι καλώντας την συνάρτηση random η οποία έχει ρυθμιστεί να παράγει ένα δεκαδικό αριθμό από το 0 έως το 1, αν βγάλει αριθμό που είναι μικρότερο του ARRIVAL_RATE τότε δημιουργείται ένα αυτοκίνητο(if random.random() < ARRIVAL_RATE:). Αυτό γίνεται για να αποδοθεί η απρόβλεπτη φύση της κυκλοφορίας. Όλα τα αυτοκίνητα κινούνται με μια σταθερή ταχύτητα(SPEED) και ελέγχουν συνέχεια στο μπροστινό μέρος τους για αν θα εντοπίσουν κάποιο προπορευόμενο όχημα ή ερυθρό σηματοδότη. Αν γίνει κάτι τέτοιο ακινητοποιείται το όχημα. Παρακάτω παρουσιάζεται το κομμάτι του κώδικα που δείχνει το πως σταματάει ένα αυτοκίνητο όταν βρει μπροστά του ένα άλλο όχημα. Υπολογίζεται συνοπτικά η απόσταση(distance) μεταξύ του δεξιού μέρους(μπροστινό μέρος self.rect.right) του οχήματος με την αριστερή άκρη του μπροστινού οχήματος(πίσω μέρος car_ahead.rect.left), στον οριζόντιο δρόμο. Αν η απόσταση είναι μικρότερη από 15 frames το αυτοκίνητο ακινητοποιείται. Το ίδιο γίνεται και στον κάθετο δρόμο.

```
if car_ahead:
    distance = 0
    if self.direction == 'vertical':
        distance = car_ahead.rect.top - self.rect.bottom
```

```

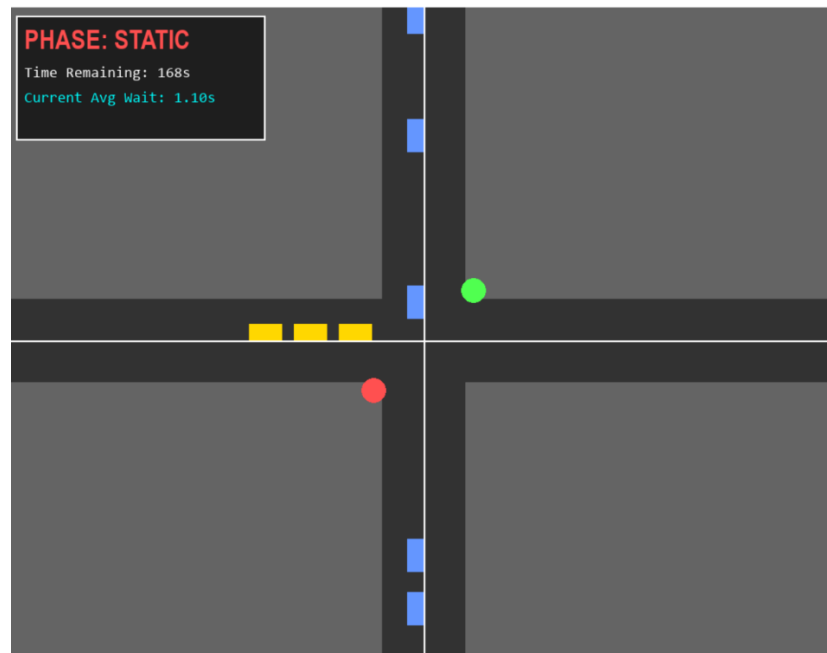
else:
    distance = car_ahead.rect.left - self.rect.right

# Αν είναι πολύ κοντά, σταμάτα
if distance < 15:
    should_move = False

```

Μέρος Α Κώδικα

Παρακάτω παρουσιάζεται το περιβάλλον που αναπτύχθηκε. Τα κίτρινα ορθογώνια-αυτοκίνητα κινούνται από αριστερά προς τα δεξιά στον οριζόντιο δρόμο ενώ τα μπλε αυτοκίνητα κινούνται από πάνω προς τα κάτω στον κάθετο δρόμο. Τα 2 σήματα που είναι είτε πράσινο είτε κόκκινο είναι οι φωτεινοί σηματοδότες ενώ πάνω δεξιά στο πλαίσιο ο υπολειπόμενος της εκτέλεσης και από κάτω φαίνεται ο μέσος χρόνος που χρειάζεται να περιμένει ένα αμάξι στο φανάρι.



Εικόνα 3: Περιβάλλον Προσομοίωσης

Το επόμενο στάδιο της προσομοίωσης μετά τον ορισμό της συμπεριφοράς των αυτοκινήτων αφορά τον αλγόριθμο ελέγχου που εφαρμόζεται στους φωτεινούς σηματοδότες. Το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργεί υπό 2 συνθήκες:

A. Στατική Μέθοδος (Static Phase):

Οι φωτεινοί σηματοδότες στην συγκεκριμένη περίπτωση εναλλάσσονται στατικά με προκαθορισμένο τρόπο και συχνότητα. Έχει οριστεί η αλλαγή των σηματοδοτών από πράσινο σε κόκκινο να γίνεται ανά 30 δευτερόλεπτα (STATIC_CYCLE = 1800, Η τιμή 1800 αντιστοιχεί σε 30 πραγματικά δευτερόλεπτα διάρκειας, καθώς η προσομοίωση τρέχει με ρυθμό 60 καρέ το δευτερόλεπτο (30 sec * 60 FPS = 1800 frames)). Αυτή λοιπόν η περίπτωση αποτελεί τον παραδοσιακό τρόπο λειτουργίας των φωτεινών σηματοδοτών.

B. «Έξυπνη» Μέθοδος (Smart Phase):

Σε αυτή τη 2^η μέθοδο είναι που εντάσσεται η λογική του edge computing. Οι φωτεινοί σηματοδότες σε αυτή τη περίπτωση λαμβάνουν δεδομένα

ανατροφοδότησης από το περιβάλλον. Στον κώδικα, αυτό υλοποιείται μέσω της συνεχούς παρακολούθησης των ουρών αναμονής (queue monitoring) που δημιουργούνται στους δύο δρόμους, προσομοιώνοντας τα δεδομένα που θα λάμβανε ένας πραγματικός Edge Node φωτεινός σηματοδότης από αισθητήρες και κάμερες. Για την κατάλληλη εναλλαγή των φωτεινών σηματοδοτών αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος λήψης αποφάσεων ο οποίος στηρίζεται σε τρία βασικά κριτήρια, προϋποθέσεις που τον βοηθούν να αποφασίσει αν πρέπει να αλλάξει. Αυτά είναι:

- i. Για λόγους ασφαλείας και διασφάλισης της ομαλής ροής στην κυκλοφορία των οχημάτων ορίστηκε ένας ελάχιστος χρόνος ο οποίος συμβολίζει τον ελάχιστο χρόνο (MIN_GREEN_TIME=600) που πρέπει να μείνει αναμμένο το φανάρι πρώτου αλλάξει. Αυτό σημαίνει ότι πριν περάσουν 10 δευτερόλεπτα ο φωτεινός σηματοδότης δεν μπορεί να αλλάξει από πράσινο σε κόκκινο καθώς κάτι τέτοιο θα προκαλούσε φαινόμενα συχνών εναλλαγών των φαναριών και θα προκαλούσε σύγχυση τόσο στους οδηγούς όσο και τους πεζούς που διασχίζουν τους δρόμους.
- ii. Εφόσον έχουν περάσει 10 δευτερόλεπτα από τη στιγμή που έγινε πράσινο ο σηματοδότης ελέγχεται αν η ουρά αναμονής του δρόμου του είναι άδεια λόγω χάρη για τον οριζόντιο δρόμο αν $queue_h = 0$ και η ουρά αναμονής του κάθετου δρόμου αποτελείται από ένα και περισσότερα αμάξια ($queue_v > 0$) τότε γίνεται αμέσως εναλλαγή των φωτεινών σηματοδοτών.
- iii. Σε περιπτώσεις τώρα που έχουν περάσει τα 10 ελάχιστα δευτερόλεπτα και η ουρά αναμονής του πράσινου σηματοδότη έχει τουλάχιστον ένα αμάξι και πάνω τότε μετριοούνται ξεχωριστά το μήκος των 2 σειρών αναμονής, δηλαδή το πλήθος των αμαξιών σε κάθε δρόμο. Αν τώρα το η ουρά αναμονής του κόκκινου σηματοδότη είναι μεγαλύτερη κατά τουλάχιστον 4 από την άλλη ουρά αναμονής δηλαδή έχει παραπάνω 4 αυτοκίνητα τότε αλλάζει ο φωτεινός σηματοδότης αλλιώς παραμένει ίδιος.

Παρακάτω παρατίθεται ο αλγόριθμος αυτός λήψης αποφάσεων όπως είναι ενσωματωμένος στην προσομοίωση.

Μέρος Β του Κώδικα

```
elif phase == "SMART":
    # ΚΡΙΤΗΡΙΟ 1: Ασφάλεια (Min Green)
    if light_timer > MIN_GREEN_TIME:

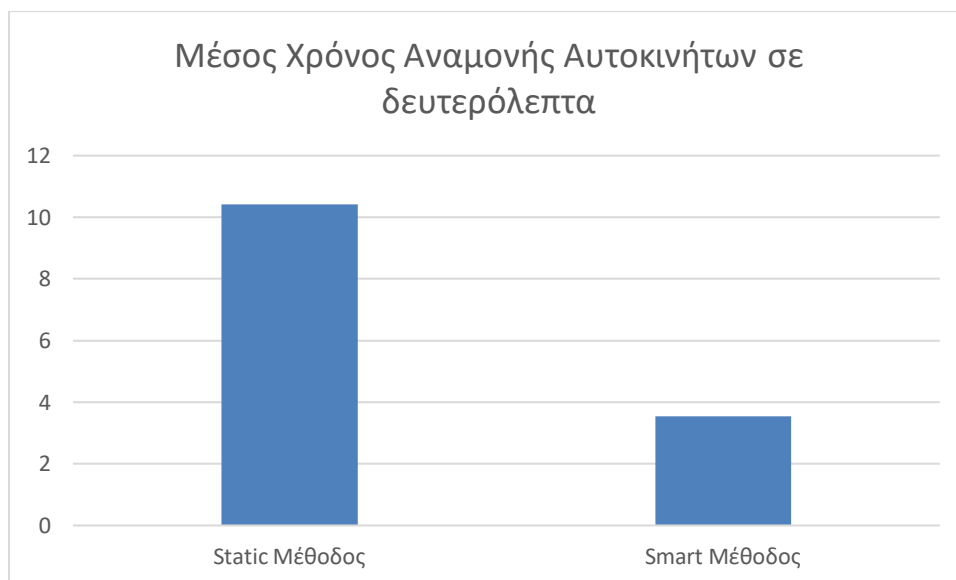
        # ΚΡΙΤΗΡΙΟ 2:
        # Αν άδειασε το πράσινο αλλά έχει ουρά το κόκκινο -> Αλλαγή
        if vertical_green and queue_v == 0 and queue_h > 0:
            switch_needed = True
        elif not vertical_green and queue_h == 0 and queue_v > 0:
            switch_needed = True

        # ΚΡΙΤΗΡΙΟ 3: Εξισορρόπηση (Queue Balancing)
        # Αν η ουρά στο κόκκινο είναι πολύ μεγαλύτερη -> Αλλαγή
        if vertical_green and queue_h > queue_v + 3:
            switch_needed = True
        elif not vertical_green and queue_v > queue_h + 3:
            switch_needed = True

    # Εκτέλεση Αλλαγής
    if switch_needed:
        vertical_green = not vertical_green
        light_timer = 0
    else:
        light_timer += 1
```

Η μεταβλητή `light_timer` συμβολίζει το χρονόμετρο που αυξάνεται κατά 1 κάθε δευτερόλεπτο. Αν αυτό γίνει μεγαλύτερο του `MIN_GREEN_TIME` που όπως προ-αναφέρθηκε είναι 10 δευτερόλεπτα τότε ελέγχει τις 2 επόμενες περιπτώσεις. Το πρώτο `if` τώρα ελέγχει αν το φανάρι του κάθετου δρόμου είναι αναμμένο (`vertical_green=true`), αν η ουρά αναμονής του είναι 0 (`queue_v=0`) και αν η ουρά αναμονής του οριζοντίου φαναριού είναι μεγαλύτερη του 0 (`queue_h > 0`) τότε αλλάζει ο φωτεινός σηματοδότης (`switch_needed = true`). Το ίδιο γίνεται και για τον οριζόντιο δρόμο. Τώρα στην τρίτη περίπτωση ελέγχεται αν η ουρά αναμονής του κόκκινου φαναριού είναι μεγαλύτερη κατά 4 αυτοκίνητα από την ουρά του πράσινου φαναριού (`queue_v > queue_h + 3`).

Καθ' όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης, το λογισμικό καταγράφει σε κάθε χρονικό βήμα (`frame`) τον αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής (`waiting state`). Κατάσταση αναμονής σημαίνει ότι το όχημα παραμένει ακίνητο συνεπώς μετρείται πόσο ώρα μένει ακίνητο το κάθε αυτοκίνητο. Με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, υπολογίζεται και εμφανίζεται ο Μέσος Χρόνος Αναμονής ή αγγλιστί `Average Waiting Time` ανά όχημα. Η τιμή αυτή αποτελεί τον βασικό δείκτη απόδοσης της αρχιτεκτονικής με `edge computing` που προτείνεται έναντι της συμβατικής μεθόδου εναλλαγής φαναριών. Η προσομοίωση τώρα θα γίνει για 5 λεπτά και στις 2 μεθόδους και στο τέλος θα αναλυθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα.



Εικόνα 4: Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα δείχνουν πως ο μέσος χρόνος αναμονής των αυτοκινήτων στην περίπτωση με τους συμβατικούς φωτεινούς σηματοδότες είναι 10.42 δευτερόλεπτα ενώ στην περίπτωση με το έξυπνο σύστημα πρόβλεψης (`smart traffic light control`) ο μέσος χρόνος αναμονής είναι 3.54 δευτερόλεπτα. Παρατηρείται λοιπόν μείωση του χρόνου αναμονής κατά 66%. Το αποτέλεσμα αυτό αποδεικνύει ότι η δυναμική διαχείριση της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο δεν αποτελεί απλώς μια θεωρητική βελτίωση, αλλά μια αναγκαία μετάβαση για την επίλυση του προβλήματος της συμφόρησης στα σύγχρονα αστικά κέντρα. Ωστόσο, διευκρινίζεται ότι τα μεγέθη αυτά είναι ενδεικτικά και σχετικά του περιβάλλοντος προσομοίωσης και παρόλο που οι απόλυτες τιμές ενδέχεται να παρουσιάζουν αποκλίσεις σε πραγματικές συνθήκες, η σημαντική τάση βελτίωσης παραμένει αδιαμφισβήτητη.

Συνοψίζοντας η εν λόγω προσομοίωση λειτούργησε ως το λογισμικό υπόβαθρο της τεχνολογίας `smart traffic light control` με `edge computing`. Σε επίπεδο φυσικής υλοποίησης ή αγγλιστί `hardware` η λογική του αλγόριθμου που αναπτύχθηκε στον κώδικα θα μπορούσε να ενσωματωθεί στους μικροελεγκτές PIC των φωτεινών σηματοδοτών. Σε πραγματικές συνθήκες οι μεταβλητές εισόδου της προσομοίωσης αντικαθίστανται από

ψηφιακά σήματα προερχόμενα από το επίπεδο αισθητήρων και καμερών, ολοκληρώνοντας έτσι την αρχιτεκτονική ενός Edge Computing κόμβου που λειτουργεί αυτόνομα και αποδοτικά.

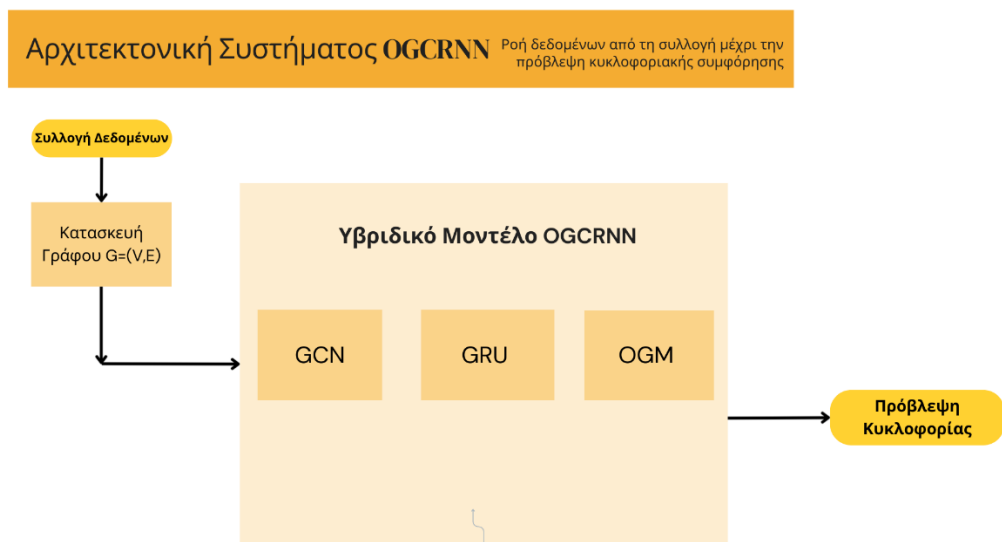
Το σύνολο του κώδικα της προσομοίωσης είναι διαθέσιμο στο github με ονομασία traffic_light_control:

<https://github.com/spachito/Thesis.git>

- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση στα πλαίσια αυτών των πόλεων είναι ιδιαίτερα αυξημένη καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Σημειώνεται πως οι ώρες αιχμής της κυκλοφοριακής συμφόρησης σημειώνονται συνήθως τις πρώτες πρωινές ώρες και νωρίς το απόγευμα[98]. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την ετήσια ανάλυση δεδομένων της INRIX (INRIX Global Traffic Scorecard 2025)(<https://inrix.com/scorecard/>) οι ώρες αιχμής κυμαίνονται τις πρωινές ώρες από τις 07:00 έως 09:00 και τις απογευματινές ώρες από τις 16:00 - 19:00. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση σε τέτοιου μεγέθους πόλεων είναι αναπόφευκτη και οφείλεται εν μέρει στην υψηλή πυκνότητα των οχημάτων στις πόλεις της κατηγορίας όπως αναδείχθηκε και στην 4.4. ενότητα, μπορεί όμως να ομαλοποιηθεί και μειωθεί αισθητά μέσω της χρήσης και ανάπτυξης σύγχρονων μοντέλων πρόβλεψης της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τα συστήματα πρόβλεψης κυκλοφοριακής συμφόρησης αποτελούν τεχνολογικές λύσεις που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της κυκλοφορίας μέσω της πρόβλεψης της μελλοντικής ροής οχημάτων στους δρόμους. Βασίζονται σε δεδομένα από αισθητήρες, κάμερες, GPS, ιστορικά στοιχεία και μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης, όπως μηχανική μάθηση ή νευρωνικά δίκτυα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται πλέον στα Graph Convolutional Networks (GCNs)[26,27], τα οποία αποτελούν μια επέκταση των Convolutional Neural Networks (CNNs) τα οποία λειτουργούν παραδοσιακά με δομή πλέγματος, με διαφορά ότι τα GCNs χειρίζονται δεδομένα σε μορφή γραφημάτων. Στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόζονται για την ανάλυση της τοπολογίας του οδικού δικτύου[27]. Με την ανάλυση αυτών των δεδομένων, μπορούν να προβλέπουν φαινόμενα όπως κυκλοφοριακή συμφόρηση, καθυστερήσεις ή αυξημένη ζήτηση σε συγκεκριμένες ώρες και τοποθεσίες. Έτσι, επιτρέπουν την καθοδήγηση των οδηγών σε εναλλακτικές διαδρομές και τη γενικότερη μείωση της κυκλοφοριακής επιβάρυνσης, ενισχύοντας την αστική κινητικότητα και μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων.

Η πρόβλεψη της κυκλοφοριακής συμφόρησης περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια, το στάδιο της συλλογής δεδομένων και το στάδιο της ανάπτυξης του μοντέλου πρόβλεψης. Αρχικά η συλλογή των κατάλληλων δεδομένων είναι πολύ σημαντική. Τα δεδομένα αυτά και η συλλογή τους χωρίζονται σε δύο κλάσεις. Η πρώτη κλάση εμπεριέχει τα «στατικά» δεδομένα τα οποία τα λαμβάνουμε από αισθητήρες και κάμερες που βρίσκονται στους δρόμους. Η δεύτερη κλάση εμπεριέχει τα δυναμικά δεδομένα που αντλούνται από τα GPS διάφορων οχημάτων. Έπειτα, ορισμένα συστήματα εφαρμόζουν ομαδοποίηση ή αγγλιστί clustering στα δεδομένα πριν την εφαρμογή των κύριων μοντέλων πρόβλεψης συμφόρησης. Η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία για την πρόβλεψη της κυκλοφοριακής συμφόρησης αποτελεί μια ολοκληρωμένη, βασισμένη σε δεδομένα προσέγγιση που ενσωματώνει διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης(AI), στάδια προ-επεξεργασίας δεδομένων και στρατηγικές επιλογής μοντέλων προσαρμοσμένες στα χαρακτηριστικά των κυκλοφοριακών δεδομένων. Οι σύγχρονες τάσεις ενισχύουν την ενσωμάτωση εξωτερικών παραμέτρων (καιρός, εκδηλώσεις, συμπεριφορά οδηγών) και την ανάπτυξη υβριδικών μοντέλων που συνδυάζουν τεχνικές πιθανολογικής λογικής με Μηχανική Μάθηση ή Shallow Deep μοντέλα, ώστε να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα κάθε μεθόδου[26,27].

Για την πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής, η παρούσα πτυχιακή εστιάζει στη χρήση προηγμένων αρχιτεκτονικών Deep Learning και συγκεκριμένα στα Graph Convolutional Networks (GCNs). Όπως προ-αναφέρθηκε τα GCNs σε αντίθεση με τα παραδοσιακά Convolutional Neural Networks (CNNs) τα οποία δεν κρίνονται κατάλληλα για την αξιοποίηση τους στη συγκεκριμένη μελέτη λόγω της αλλοίωσης που προκαλούν στην φυσική τοπολογία του οδικού δικτύου, επεξεργάζονται όλο το σύνολο των δεδομένων σε μορφή γράφων. Στο μοντέλο αυτό, οι δρόμοι αναπαρίστανται ως κόμβοι (nodes) και οι διάφορες συνδέσεις μεταξύ τους ως ακμές (edges). Για τη βέλτιστη απόδοση, προτείνεται η αξιοποίηση της υβριδικής αρχιτεκτονικής OGCRNN (Optimized Graph Convolution Recurrent Neural Network). Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική αξιοποιεί παράλληλα τα GCNs για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τα χωρικά χαρακτηριστικά ή αγγλιστί spatial features μίας περιοχής, με τα Gated Recurrent Units (GRUs) τα οποία ασχολούνται με την μοντελοποίηση των χρονικών εξαρτήσεων με τον αγγλικό όρο temporal dependencies που παρουσιάζονται [41]. Μια ιδιαίτερη καινοτομία του OGCRNN είναι η χρήση ενός Βελτιστοποιημένου Πίνακα Γράφου (Optimized Graph Matrix-OGM), ο οποίος δεν είναι στατικός, αλλά τροφοδοτείται και αλληλοεπιδρά δυναμικά είναι δηλαδή data driven, προκειμένου να εντοπίσει συσχετίσεις μεταξύ διαφόρων δρόμων που μπορεί να μην συνδέονται άμεσα γεωγραφικά, αλλά να αλληλοεπιδρούν σχετικά στο πλαίσιο της οδικής κυκλοφορίας. Η συγκεκριμένη λοιπόν διαδικασία πρόβλεψης ξεπερνά την απλή και τετριμμένη συλλογή στατικών και δυναμικών δεδομένων. Μέσω της φασματικής θεωρίας γράφων (spectral graph theory) και της προσέγγισης με πολυώνυμα Chebyshev [41], το σύστημα αναλύει και μελετά πώς η κυκλοφοριακή συμμόρφωση διαχέεται στο οδικό δίκτυο σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, επιτυγχάνεται μια πιο ακριβής πρόβλεψη των διαφόρων φαινομένων συμμόρφωσης επιτρέποντας έτσι την έγκαιρη ενημέρωση των οδηγών για τα εν λόγω κυκλοφορικά φαινόμενα.



Εικόνα 5: Μοντέλο Πρόβλεψης Κυκλοφορίας

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου υβριδικού μοντέλου OGCRNN. Διακρίνεται η ροή των δεδομένων από τη συλλογή και τη μετατροπή σε γράφο $G=(V,E)$ του οδικού δικτύου, έως την επεξεργασία τους από τα επιμέρους υποσυστήματα (GCN, GRU, OGM) για την τελική πρόβλεψη κυκλοφοριακής συμμόρφωσης.

Συνοψίζοντας τα μοντέλα πρόβλεψης της κυκλοφοριακής συμμόρφωσης είναι κρίσιμα για τη βιώσιμη αστική κινητικότητα, καθώς επιτρέπουν την έγκαιρη διαχείριση της κυκλοφορίας, μειώνοντας την συμφόρηση, την κατανάλωση της

ενέργειας και τις εκπομπές των ρύπων. Μέσω τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης δεδομένων, τα μοντέλα αυτά συμβάλλουν στη δημιουργία πιο έξυπνων και λειτουργικών πόλεων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως για την περαιτέρω αξιοποίηση των μοντέλων πρόβλεψης είναι σημαντικό αυτές οι πληροφορίες που αυτά τα μοντέλα παρέχουν να διατίθενται και στους πολίτες μέσω διαφόρων εφαρμογών, για την διευκόλυνση στις μετακινήσεις τους.

- Με την συνεχή και ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των οχημάτων στα αστικά κέντρα και τον υπερκορεσμό του διαθέσιμου πολεοδομικού χώρου, γεγονότα που παρατηρούνται και στην ενότητα 4.4 και ειδικότερα σε αυτές τις μεγαλουπόλεις η διαδικασία εύρεσης διαθέσιμου χώρου στάθμευσης γίνεται όλο και πιο χρονοβόρα και αποτελεί επίσης ένα σημαντικό λόγο για την αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στους δρόμους[99]. Πολλοί πολίτες αναλώνουν αρκετά λεπτά καθημερινά για την εύρεση μιας θέσης παρκινγκ σπαταλώντας έτσι πολύτιμο χρόνο και καταναλώνοντας περισσότερα καύσιμα, μολύνοντας σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό το περιβάλλον από τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων τους. Συγκεκριμένα στην Νέα Υόρκη σύμφωνα με την επίσημη μελέτη της INRIX(<https://www2.inrix.com/parking/SmarterParking-3/article>), ο μέσος οδηγός ξοδεύει ετησίως 107 ώρες κατά μέσο όρο τον χρόνο για την εύρεση χώρου στάθμευσης, ενώ κάθε μεμονωμένη διαδρομή απαιτούνται περίπου 20 λεπτά για την εύρεση θέσης. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτελεί η δημιουργία περισσότερων χώρων οργανωμένης στάθμευσης-παρκινγκ είτε ιδιωτικά είτε δημόσια. Κάτι τέτοιο όμως είναι κάτι αρκετά απαιτητικό λόγω της έλλειψης χώρου κυρίως στα κέντρα των πόλεων όπως διαπιστώθηκε και από την ανάλυση της ενότητας 4.4. Στα προάστια είναι πιο εφικτή η δημιουργία τέτοιων πάρκινγκ αλλά η ζήτηση σε αυτές τις περιοχές είναι αρκετά μικρότερη. Μία άλλη λύση σε αυτό το ζήτημα είναι η δημιουργία εφαρμογών οι οποίες εντοπίζουν που υπάρχουν διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης και ενημερώνουν τους χρήστες της εφαρμογής. Στα πλαίσια αυτής της προσέγγισης ορίζεται μία μέθοδος λειτουργίας τέτοιων εφαρμογών.

Η μέθοδος που μελετάται στην εν λόγω πτυχιακή χρησιμοποιεί ένα σύστημα Επεξεργασίας Εικόνων με τη χρήση CNN(Convolutional Neural Networks ή Convolutional Νευρωνικά Δίκτυα) προκειμένου να εντοπίσει ελεύθερες θέσεις στάθμευσης[29]. Η επιλογή ενός συστήματος εντοπισμού διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης με χρήση συστημάτων CNN κρίνεται ιδανική για πόλεις της κατηγορίας Global Giants, λόγω των ιδιαίτερων και πολλαπλών περιορισμών που χαρακτηρίζουν τα σύγχρονα αστικά τους κέντρα. Σε αντίθεση με διάφορες εναλλακτικές λύσεις που βασίζονται στην τοποθέτηση φυσικών αισθητήρων ανά θέση στάθμευσης, η προτεινόμενη προσέγγιση αξιοποιεί ήδη υπάρχουσες υποδομές οπτικής επιτήρησης-κάμερες επί την ουσία, μειώνοντας σημαντικά το κόστος εγκατάστασης και ενδεχόμενες παρεμβάσεις[30].

Επιπλέον, τα συστήματα βασισμένα σε επεξεργασία εικόνας χαρακτηρίζονται από ευελιξία και πολύ χώρο για ανάπτυξη, καθώς μία μόνο κάμερα μπορεί να καλύψει πολλαπλές θέσεις στάθμευσης, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικά σε τέτοιου είδους πόλεων. Η χρήση CNN επιτρέπει με ιδιαίτερη αξιοπιστία την κατάλληλη αναγνώριση της κατάστασης των θέσεων στάθμευσης ακόμη και σε πιο δύσκολες-απαιτητικές συνθήκες όπως χαμηλός φωτισμός, βελτιώνοντας την ακρίβεια των παρεχόμενων πληροφοριών προς τους χρήστες[29].

Ένας πιθανός χρήστης συνδέεται στην εφαρμογή και συμπληρώνει την τοποθεσία στην οποία θα επιθυμούσε να σταθμεύσει το όχημα του. Ο server της εφαρμογής δέχεται το HTTP αίτημα του χρήστη και αναθέτει στις κάμερες που εξυπηρετούν την επιθυμητή περιοχή να τραβήξουν μία φωτογραφία η κάθε μια.

Έπειτα οι φωτογραφίες συλλέγονται και κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες: φωτογραφίες με διαθέσιμη θέση στάθμευσης, φωτογραφίες χωρίς διαθέσιμο χώρο στάθμευσης. Αυτό διευκολύνει πολύ τους αλγόριθμους deep learning που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή[29,30]. Εν συνεχεία, για να αναπαρασταθούν οι εικόνες στο σύστημα χρησιμοποιούνται 3D RGB πίνακες(Arrays). Για την εξαγωγή χαρακτηριστικών από τις εικόνες, ένας πυρήνας, γνωστός και ως ανιχνευτής χαρακτηριστικών, διασχίζει την εικόνα και δημιουργεί νέες εικόνες.

Το πρόβλημα που προκύπτει από την συλλογή και την παραγωγή όλων αυτών των εικόνων είναι ότι όλες αυτές αποτελούνται από πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Οπότε, κρίνεται απαραίτητη η χρήση επιπέδων pooling, όπως λόγω χάρη του επιπέδου MaxPooling2D, τα οποία βοηθούν στον εντοπισμό αυτών των χαρακτηριστικών και στην ανάδειξη τους. Το MaxPooling2D ουσιαστικά μειώνει την ανάλυση του Χάρτη Χαρακτηριστικών(Feature Map) που δημιουργείται στο Convolutional Layer, βρίσκει τον μέγιστο αριθμό σε κάθε περιοχή του "pool" και δημιουργεί έναν νέο, μειωμένης διάστασης Χάρτη Χαρακτηριστικών(Pooled Feature Map). Στη συνέχεια, γίνεται επιπέδωση (flattening) του Pooled Feature Map. Η επιπέδωση είναι μια απλή διαδικασία μετατροπής πινάκων 2D ή 3D σε μονοδιάστατο πίνακα (1D), καθώς το πλήρως συνδεδεμένο επίπεδο (Fully Connected Layer) του τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANN) μπορεί να δεχθεί μόνο 1D είσοδο[29,30].

Στο τελευταίο στάδιο ενός CNN, η εικόνα μετατρέπεται σε μια σειρά αριθμών και περνά σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN). Εκεί, η πληροφορία μεταφέρεται από νευρώνα σε νευρώνα, γίνονται υπολογισμοί και στο τέλος το σύστημα βγάζει το αποτέλεσμα. Εν τέλει, η εφαρμογή ανάλογα το αποτέλεσμα απαντάει στον χρήστη είτε θετικά είτε αρνητικά για το αν υπάρχει διαθέσιμη θέση στάθμευσης. Πιο αναλυτικές πληροφορίες βρίσκονται στα άρθρα της βιβλιογραφίας[29,30].

- Για το επόμενο μέτρο γίνεται λόγος για την Εναέρια Αστική Κινητικότητα - Urban Air Mobility(UAM) η οποία αντιπροσωπεύει την επόμενη γενιά αστικών μεταφορών, στοχεύοντας στην αξιοποίηση του εναέριου χώρου για την αποσυμφόρηση των δρόμων και την ελάττωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η ένταξη της Εναέριας Αστικής Κινητικότητας στο όλο πλαίσιο των προτεινόμενων μέτρων και στρατηγικών στην συγκεκριμένη πτυχιακή για πόλεις της κατηγορίας Global Giants δεν αποσκοπεί στην ολική αντικατάσταση των συμβατικών μέσων μαζικής μεταφοράς, αλλά σκοπός της είναι να λειτουργήσει ως συμπληρωματικό μέτρο για την αποσυμφόρηση του υπερκορεσμένου αστικού συστήματος μεταφορών. Συνεπώς το UAM πρόκειται να εφαρμοστεί κυρίως σε περιπτώσεις όπως επείγουσες διαδρομές, επαγγελματικές μετακινήσεις και συνδέσεις και διασυνδέσεις μεταξύ βασικών αστικών κόμβων, περιορίζοντας έτσι την πίεση στα επίγεια δίκτυα μετακίνησης και μεταφοράς[25].

Βασίζεται στην ανάπτυξη και χρήση αεροσκαφών κάθετης απογείωσης και προσγείωσης (VTOL), τα οποία αναμένεται να εξελίξουν πλήρως τις μετακινήσεις στα πλαίσια των σύγχρονων μεγαλουπόλεων προσφέροντας ταχύτητα, ευελιξία και, υπό προϋποθέσεις, περιβαλλοντικά οφέλη. Τα ηλεκτρικά αυτά αεροσκάφη αξιοποιούν την κατανομημένη ηλεκτρική πρόωση (DEP) για να επιτύχουν χαμηλά επίπεδα θορύβου και υψηλή ασφάλεια.

Η εδραίωση της λειτουργίας ενός συστήματος UAM απαιτεί εξειδικευμένες υποδομές, τα λεγόμενα vertiports, τα οποία πρέπει να τοποθετηθούν κατάλληλα-στρατηγικά σε όλη την έκταση της πόλης κοντά σε κόμβους μέσων μαζικής μεταφοράς ή σε ταράτσες κτιρίων για να εξασφαλιστεί η προσβασιμότητα. Λόγω του υψηλού ρίσκου των πτήσεων σε χαμηλό υψόμετρο εντός πόλεων, αναπτύσσεται ένα νέο σύστημα διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας, το UAM Traffic Management (UTM). Το UTM θα λειτουργεί συμπληρωματικά προς και σε

συνεργασία με το παραδοσιακό Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας , και θα χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα αυτοματοποίησης, ψηφιακές επικοινωνίες (μέσω δικτύων 5G) και αλγορίθμους για την αποφυγή συγκρούσεων και τη διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας[25].

Είναι αρκετά σημαντικό να σημειωθεί πως το UAM δεν προορίζεται, τουλάχιστον για το άμεσο μέλλον, να αντικαταστήσει τα συμβατικά μέσα μαζικής μεταφοράς, αλλά σκοπός του είναι να λειτουργήσει ως ένα συμπληρωματικό τρόπο μετακίνησης. Από περιβαλλοντικής άποψης, μελέτες δείχνουν ότι ένα πλήρως ηλεκτρικό VTOL αεροσκάφος, όταν μεταφέρει 3 ή περισσότερους επιβάτες σε διαδρομή 100 χιλιομέτρων, μπορεί να παράγει 52% χαμηλότερες εκπομπές αερίων σε σύγκριση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο και 6% χαμηλότερες από ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Ως εκ τούτου, το UAM συνιστά μια πρόκληση κυρίως στον τομέα της Πληροφορικής και της έξυπνης διαχείρισης συστημάτων, γεγονός που δικαιολογεί την ένταξή του στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας. [25].

- Στα τεράστια αστικά κέντρα ένα μεγάλο μέρος της κυκλοφοριακής συμφόρησης οφείλεται στα διάφορα οχήματα-βαν που πραγματοποιούν διανομή εμπορευμάτων στα διάφορα καταστήματα. Τα οχήματα αυτά συμβάλλουν αισθητά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση καθώς πραγματοποιούν πολύ συχνές στάσεις και σταθμεύουν προσωρινά σε ακατάλληλα σημεία στους δρόμους. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος προτείνεται και κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η δημιουργία ειδικών χώρων προσωρινής στάθμευσης δηλαδή Ζωνών Αστικής Διανομής Εμπορευμάτων. Ο στόχος των χώρων που ρυθμίζονται ως Ζώνες Αστικής Διανομής Εμπορευμάτων (DUM) είναι να παρέχουν εξυπηρέτηση, κατά τις εργάσιμες ημέρες από τις 8:00 έως τις 20:00, σε όλα τα οχήματα που χρειάζονται να διανείμουν εμπορεύματα πολύ κοντά στο σημείο προορισμού, για περιορισμένο χρόνο 30 λεπτών. Η καθιέρωση αυτής της χρονικής διάρκειας έχει ως σκοπό τη μέγιστη εναλλαγή σε αυτούς τους χώρους ώστε να εξυπηρετηθεί ο μέγιστος δυνατός αριθμός φορτηγών και βαν που πραγματοποιούν αυτές τις δραστηριότητες καθημερινά. Οι χώροι αυτοί βρίσκονται σε διάφορα σημεία του αστικού κέντρου. Για την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών αυτών των χώρων δηλαδή των οδηγών των οχημάτων που πραγματοποιούν παραδόσεις θα πρέπει να διατίθεται και μια εφαρμογή η οποία θα ενημερώνει τον χρήστη για την διαθεσιμότητα θέσης σε κάθε ένα σημείο διανομής. Για να ξεχωρίσουμε τους χώρους DUM στις πόλεις, σε καθένα από αυτούς υπάρχει μία συγκεκριμένη πινακίδα που υποδεικνύει την ύπαρξη αυτού[28].
- Όπως προαναφέρθηκε η δημιουργία και η συντήρηση ενός πλήρως εξοπλισμένου και άρτια λειτουργικό δικτύου μεταφοράς κρίνεται άκρως απαραίτητη. Η αλήθεια είναι πως ένα τέτοιο σύστημα ενώ είναι αρκετά βοηθητικό για τις μετακινήσεις των πολιτών είναι και συγχρόνως αρκετά περίπλοκο. Η παρατήρηση αυτή είναι αρκετά απλή αναλύοντας μόνο ως παράδειγμα το μετρό του Τόκιο. Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα για το μετρό του Τόκιο (<https://www.tokyometro.jp/en/index.html>) , το μετρό αποτελείται από εννέα συνολικά γραμμές και 179 στάσεις σε όλη την έκταση του. Παράλληλα το συνολικό δίκτυο μεταφορών του Τόκιο αποτελείται ταυτόχρονα από διάφορες γραμμές προαστιακού σιδηρόδρομου, τρένων υψηλής ταχύτητας, ιδιωτικούς σιδηρόδρομους και λεωφορεία, σύμφωνα με τους επίσημους φορείς μεταφορών του Τόκιο όπως το Tokyo Metro(<https://www.tokyometro.jp/en/index.html>) , το TOEI Transportation(<https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/eng/>) και JR East (<https://www.jreast.co.jp/multi/>) . Συνεπώς η χρήση του συνολικού δικτύου μεταφορών αποτελεί μια πρόκληση για το μεγαλύτερο σύνολο των πολιτών και πόσο μάλλον για τους τουρίστες οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτό. Η πολυπλοκότητα αυτή επίσης ενδέχεται να αποτελέσει αποτρεπτικό παράγοντα για ορισμένους ανθρώπους με αποτέλεσμα να στραφούν σε πιο συμβατικούς

τρόπους μετακίνησης όπως η χρήση ιδιωτικού οχήματος ή ταξί που προφανώς είναι κάτι που δεν συνάδει με τους στόχους της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.

Συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία εφαρμογών οι οποίες θα λειτουργούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να βοηθούν τον χρήστη και να δει οπτικά την διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει αλλά και τις διάφορες επιλογές μετακίνησης. Σε αυτό ακριβώς το σημείο εισάγεται η καινοτόμος προσέγγιση της «Κινητικότητας ως Υπηρεσία» (Mobility as a Service , MaaS). Το MaaS δεν περιορίζεται απλώς στην πλοήγηση και σε μια απλή, μη διαδραστική παρουσίαση των διαθέσιμων επιλογών , αλλά αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μοντέλο διανομής υπηρεσιών μεταφοράς που ενοποιεί διαφορετικές μορφές μετακίνησης σε μία ενιαία ψηφιακή πλατφόρμα. Μέσω αυτής της εφαρμογής, ο κάθε χρήστης αποκτά πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα επιλογών ξεκινώντας από τα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς (μετρό, λεωφορεία) και τα ταξί, μέχρι και τις υπηρεσίες ενοικίασης οχημάτων και μικροκινητικότητας(micromobility) έχοντας τη δυνατότητα να σχεδιάσει, να οπτικοποιήσει, να επιλέξει την διαδρομή και τρόπο μετακίνησης το οποίο τον εξυπηρετεί περισσότερο και να πληρώσει για όλο το ταξίδι του μέσω μίας και μόνο εφαρμογής[23]. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι το MaaS αποτελεί κατεξοχήν ένα σύγχρονο πληροφοριακό σύστημα, το οποίο βασίζεται στη συλλογή, συγκέντρωση, συνδυασμό και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σε συνδυασμό με κατάλληλους μηχανισμούς ψηφιακών πληρωμών και εξατομικευμένων υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, συνιστά μια τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά αποδοτική λύση, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα και να προσαρμοστεί στις ιδιαιτερότητες κάθε πόλης. [23,24].

Μέχρι στιγμής τα μέτρα τα οποία αναφέρονται είναι καινοτόμα και εστιάζουν στην τεχνολογία και απευθύνονται σε πόλεις που εντάσσονται στην κατηγορία global giants. Σαφώς υπάρχουν και άλλα μέτρα όπως ο περιορισμός των αυτοκινήτων στο κέντρο της πόλης, η δημιουργία ειδικών λωρίδων για λεωφορεία, συστήματα car-pooling, car-sharing αλλά αυτά τα μέτρα είναι το λιγότερο που οφείλει κάθε τέτοιου είδους πόλη να έχει εφαρμόσει εκ των προτέρων. Η στρατηγική και τα μέτρα που προτείνονται είναι κατανοητό ότι δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν έτσι αυτούσια χωρίς καμία προσαρμογή στις ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά μια πόλης. Έχει ζωτική σημασία η κατάλληλη μελέτη της κάθε πολιτείας να ελέγξει ενδελεχώς το κάθε μέτρο και τις προεκτάσεις αυτού σχεδιάζοντας ένα κατάλληλο σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας(SUMP) πρώτου λάβει την απόφαση να το εφαρμόσει. Λόγου χάρη το να εστιάσει μια πόλη η οποία έχει συνεχώς δύσκολες καιρικές συνθήκες όπως συχνή ζέστη ή υπερβολικό κρύο ή συχνές χιονοπτώσεις στην δημιουργία πολλών ποδηλατοδρόμων και πεζόδρομων αποτελεί μια όχι τόσο ιδανική προσέγγιση. Εννοείται πως σε ένα βαθμό κάθε πόλη οφείλει να έχει ένα δίκτυο ποδηλατοδρόμων όμως σε τέτοιες πόλεις που δεν το ευνοούν οι συνθήκες μπορεί να κριθεί και αρκετά κοστοβόρο και μη ασφαλές σε ορισμένες περιπτώσεις. Στο ίδιο πλαίσιο η πολιτεία θα πρέπει να λάβει υπόψιν και τα διαθέσιμα οικονομικά ποσά καθώς τα μέτρα που προτείνουμε απαιτούν ένα αρκετά υπολογίσιμο κεφάλαιο, ειδικότερα το DUM σύστημα. Εν κατακλείδι, κύριος στόχος των συγκεκριμένων πόλεων είναι η σταδιακή απεξάρτηση από το αυτοκίνητο και η ενίσχυση της δημόσιας συγκοινωνίας για την δημιουργία ενός βιώσιμου αστικού περιβάλλον. Παρακάτω παραθέτουμε ένα πίνακα ο οποίος παραθέτει εν συντομία την συσχέτιση των κύριων προβλημάτων στην αστική κινητικότητα με τα κύρια μέτρα και τεχνολογίες που έχουν αναφερθεί.

Πίνακας 10

Κύριο πρόβλημα	Προτεινόμενο Μέτρο	Τεχνολογίες
Έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση	Έξυπνα Συστήματα Traffic Light Control	Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δυναμική

		λήψη αποφάσεων
Αδυναμία πρόβλεψης της κυκλοφορίας	Μοντέλα Πρόβλεψης Κυκλοφοριακής Συμφόρησης	Ανάλυση δεδομένων, Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση
Έλλειψη διαθέσιμων χώρων στάθμευσης	Έξυπνα Συστήματα Parking με CNN	Επεξεργασία εικόνων, Computer Vision
Πολυπλοκότητα δικτύου μεταφορών	Mobility as a Service (MaaS)	Ψηφιακές πλατφόρμες
Περιορισμένος χώρος	Urban Air Mobility (UAM)	αυτοματοποιημένη διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας
Επιβάρυνση από αστική διανομή εμπορευμάτων	Ζώνες Αστικής Διανομής Εμπορευμάτων (DUM)	Βελτιστοποίηση εφαρμογών διαχείρισης διαθεσιμότητας

5.1.2 Στρατηγικές για Asian Anchors

Οι πόλεις που εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία της συγκεκριμένης μοντελοποίησης, με τον όρο Asian Anchors, αποτελούν μεγάλα και ταχέως αναπτυσσόμενα αστικά κέντρα της Ασιατικής Ηπείρου, τα οποία λειτουργούν ως ιδιαίτερα σημαντικοί οικονομικοί, εμπορικοί και τεχνολογικοί κόμβοι τόσο σε διεθνές όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε αντίθεση με τις πόλεις της προηγούμενης κατηγορίας Global Giants, οι Asian Anchor πόλεις συνήθως δεν υπερβαίνουν το όριο των 10 εκατομμυρίων συνολικών κατοίκων, ωστόσο χαρακτηρίζονται από έντονους ρυθμούς αστικοποίησης, αυξημένη πληθυσμιακή κινητικότητα και διαρκή επέκταση του αστικού τους ιστού και περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την World Bank, οι πόλεις της Ανατολικής Ασίας επεκτείνουν τον αστικό τους ιστό ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη περιοχή παγκοσμίως, συχνά εις βάρος αγροτικών εκτάσεων, δημιουργώντας έτσι τεράστιες ενιαίες ζώνες λειτουργικής αστικοποίησης[94]. Το βασικό χαρακτηριστικό των πόλεων αυτής της κατηγορίας δεν είναι τόσο ο πολύ αυξημένος πληθυσμός τους, όσο η ταχύτητα μεταβολής των διαφόρων αναγκών τους κυρίως στο πλαίσιο της αστικής κινητικότητας. Η ραγδαία ανάπτυξη δημιουργεί αρκετές πιέσεις και απαιτήσεις στο σύστημα μεταφορών γεγονός που καθιστά αναγκαία την έγκαιρη υιοθέτηση ευέλικτων, ψηφιακών και καινοτόμων μέτρων βιώσιμης αστικής κινητικότητας[95]. Ο κύριος τρόπος μετακίνησης στις πόλεις της κατηγορίας όπως παρατηρήθηκε και από την ανάλυση της ενότητας 4.4 αποτελεί η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, τα ποσοστά χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς αγγίζουν το 64% στις πόλεις της Σιγκαπούρης και της Σεούλ.

Δύο παραδείγματα πόλεων τα οποία εντάσσονται στην συγκεκριμένη κατηγορία αποτελούν η Σιγκαπούρη και η Σεούλ. Αρχικά αναφερόμαστε στη Σιγκαπούρη η οποία είναι πόλη-κράτος και νησιωτικό έθνος που βρίσκεται στη Νοτιοανατολική Ασία με συνολικό πληθυσμό που ανέρχεται περίπου στους 5.8 εκατομμύρια κατοίκους. Παρότι δεν ανήκει στις τεράστιες μητροπολιτικές περιοχές (Global Giants), λειτουργεί ως διεθνής οικονομικός και τεχνολογικός κόμβος, γεγονός που την καθιστά χαρακτηριστικό παράδειγμα Asian Anchor πόλης. Η πόλη της Σιγκαπούρης αποτελεί στις μέρες μας ένα διεθνές πρότυπο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας έχοντας λάβει τα τελευταία χρόνια πολλές πρωτοβουλίες και μέτρα τα οποία αποσκοπούν στην ελάττωση της εξάρτησης από τα ιδιωτικά οχήματα, στην προώθηση της δημόσιας συγκοινωνίας και στην υιοθέτηση «καθαρότερων» μορφών μετακίνησης[96]. Συγκεκριμένα η Σιγκαπούρη έχει καταφέρει να έχει ένα από τα πιο εκσυγχρονισμένα και αποδοτικά δίκτυα δημόσιας μεταφοράς παγκοσμίως. Το δίκτυο της αποτελείται από ένα εκτεταμένο Rail και Bus Network. Συγκεκριμένα, το σιδηροδρομικό της δίκτυο έχει έκταση 240 χιλιομέτρων και διαθέτει 200 περίπου σταθμούς εξυπηρετώντας ημερησίως πάνω από 3 εκατομμύρια κατοίκους[36]. Μία

άλλη ιδιαίτερα πρωτοπόρα πολιτική την οποία έχει εφαρμόσει για την μείωση των αυτοκινήτων στους δρόμους, σύμφωνα με την οποία για την αγορά και χρήση ενός ιδιωτικού οχήματος στη πόλη ο ιδιοκτήτης θα πρέπει πρώτα να κατέχει το Certificate of Entitlement(COE), ένα Πιστοποιητικό Ιδιοκτησίας οχήματος. Αυτό, εξασφαλίζει το δικαίωμα ιδιοκτησίας και χρήσης ενός οχήματος για 10 χρόνια. Μετά το πέρας της περιόδου, ο κάτοχος είτε το ανανεώνει είτε αποσύρει το όχημα. Παράλληλα στο ίδιο πλαίσιο η πολιτεία της Σιγκαπούρης έχει εφαρμόσει και ένα είδος Ηλεκτρονικού Συστήματος Χρέωσης οδικής χρήσης, το ERP (Electronic Road Pricing). Αυτό είναι ένα δυναμικό σύστημα διοδίων που επιβάλλεται στους οδηγούς των ιδιωτικών οχημάτων όταν περνάνε με το όχημα τους από συγκεκριμένους δρόμους και ζώνες που παραδοσιακά έχουν πάντα υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Οι τιμές των χρεώσεων δεν είναι προκαθορισμένες αλλά εξαρτώνται ανάλογα με την ώρα και το επίπεδο της συμφόρησης, δηλαδή σε ώρες αιχμής το κόστος είναι σαφώς υψηλότερο. Επιπροσθέτως για την διαχείριση της κινητικότητας στην πόλη της Σιγκαπούρης εδραιώθηκε ένα δίκτυο-σύστημα, το Intelligent Transport System(ITS)[36], το οποίο αποτελείται από εκατοντάδες συσκευές συλλογής δεδομένων(κάμερες, αισθητήρες...) και συστήματα κυκλοφορίας και ελέγχου. Το ITS ουσιαστικά σχηματίζει μια δυναμική, σε πραγματικό χρόνο, εικόνα της καθημερινής κινητικότητας του πληθυσμού της πόλης. Τα μέτρα τα οποία αναφέρθηκαν αποτελούν ένα μέρος όλου του συνόλου των στρατηγικών τις οποίες έχει εφαρμόσει η Σιγκαπούρη για την εδραίωση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Συνολικά, η περίπτωση της Σιγκαπούρης αποδεικνύει πώς οι Asian Anchor πόλεις και γενικότερα όλες οι πόλεις ανά την υφήλιο μπορούν, μέσω έγκαιρου σχεδιασμού, ισχυρής κρατικής παρέμβασης και αξιοποίησης ψηφιακών τεχνολογιών, να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τις προκλήσεις της βιώσιμης αστικής κινητικότητας[36,96]. Οι πληροφορίες αυτές για την Σιγκαπούρη αντλήθηκαν από την αναφερόμενη βιβλιογραφία και από τις επίσημες σελίδες και στατιστικά: από την Land Transport Authority (<https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en.html>) και το Department of Statistics (SingStat) (<https://www.singstat.gov.sg/>).

Η περίπτωση τώρα της πόλης Σεούλ η οποία αποτελεί την πρωτεύουσα της Νότιας Κορέας με συνολικό πληθυσμό που ανέρχεται περίπου στους 9 εκατομμύρια κατοίκους αποτελεί ένα παράδειγμα μιας πόλης η οποία θα μπορούσε να ενταχθεί και στις δύο κατηγορίες πόλεων που έχουν αναφερθεί. Ωστόσο, στο πλαίσιο της παρούσας μοντελοποίησης, η Σεούλ εντάσσεται στην κατηγορία των Asian Anchors, καθώς το βασικό της χαρακτηριστικό δεν είναι ο απόλυτος πληθυσμιακός όγκος της, αλλά ο υψηλός βαθμός τεχνολογικής ωρίμανσης και η ταχύτητα προσαρμογής του αστικού συστήματος μεταφορών σε νέες απαιτήσεις την οποία παρουσιάζει η πόλη της Σεούλ[37]. Η Σεούλ όπως και η Σιγκαπούρη στα πλαίσια της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας έχει λάβει διάφορα καινοτόμα μέτρα. Ένα από αυτά αποτελεί σαφώς η δημιουργία και η συνεχή επέκταση ενός αρκετά εκσυγχρονισμένου δικτύου μεταφορών το οποίο αποτελείται ένα μεγάλο στόλο λεωφορείων και ένα υπερσύγχρονο μετρό. Για την διευκόλυνση της μετακίνησης των λεωφορείων στην ευρύτερη αστική περιοχή της Σεούλ έχουν δημιουργηθεί ειδικά ένα σύστημα που ονομάζεται BRT(Bus Rapid Transit). Είναι συγκεκριμένα ένα σύστημα λεωφορείων υψηλής ποιότητας που προσφέρει γρήγορες, αξιόπιστες και αποδοτικές δημόσιες μεταφορές, αξιοποιώντας ορισμένες αποκλειστικές λωρίδες λεωφορείων, με προτεραιότητα σε διασταυρώσεις και διάφορους φωτεινούς σηματοδότες, προπληρωμή κομιστρου εκτός οχήματος και σύγχρονους σταθμούς-στάσεις. Παράλληλα, κάνουν την εμφάνιση τους στη Σεούλ τα αυτόνομα λεωφορεία και ταξί. Συγκεκριμένα πάνω από 27 συνολικά αυτόνομα οχήματα λειτουργούν στην Αστική περιοχή της Σεούλ εξυπηρετώντας ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού σε καθημερινή βάση[37]. Στόχος της Σεούλ αποτελεί η περαιτέρω επέκταση του αυτόνομου στόλου της με σκοπό την 24ωρη λειτουργία του. Παράλληλα με την ενίσχυση των δημόσιων συγκοινωνιών, η Σεούλ έχει επενδύσει ουσιαστικά στη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών και big data για τη διαχείριση της αστικής κινητικότητας. Μέσω ενός εκτεταμένου Intelligent Transport System (ITS),

το οποίο περιλαμβάνει αισθητήρες, κάμερες και πλατφόρμες ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η πόλη επιτυγχάνει συνεχή παρακολούθηση της κυκλοφορίας και δυναμική ρύθμιση της λειτουργίας του μεταφορικού δικτύου[37]. Σε αντίθεση με την Σιγκαπούρη στοχεύει στην σταδιακή αποθάρρυνση της χρήσης ιδιωτικών οχημάτων χωρίς όμως την επιβολή αυστηρών απαγορεύσεων. Μέσω της ανακατανομής του οδικού χώρου και περιβάλλοντος προς όφελος των δημόσιων συγκοινωνιών, της βελτίωσης των πεζοδρομίων και της ανάπτυξης υποδομών για ποδήλατο και μικροκινητικότητα, η πόλη ενισχύει εναλλακτικούς και βιώσιμους τρόπους μετακίνησης. Συνεπώς συνολικά, η περίπτωση της Σεούλ αναδεικνύει ένα μοντέλο βιώσιμης αστικής κινητικότητας που βασίζεται κυρίως στην τεχνολογική και οργανωτική βελτιστοποίηση του υφιστάμενου συστήματος μεταφορών. Τα στοιχεία και οι πληροφορίες αυτές για την Σεούλ αντλήθηκαν από την αναφερόμενη βιβλιογραφία και από τις επίσημες σελίδες από τη Seoul Metropolitan Government(<https://english.seoul.go.kr/>), την επίσημη βάση δεδομένων Seoul Open Data Plaza(<https://data.seoul.go.kr/> και <https://www.seoulsolution.kr/en>).

Η ανάλυση των περιπτώσεων της Σιγκαπούρης και της Σεούλ αποδεικνύει ότι οι πόλεις της 2^{ης} κατηγορίας των Asian Anchors έχουν την δυνατότητα να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της αστικής κινητικότητας σε ένα στάδιο όπου η έγκαιρη παρέμβαση μπορεί να αποτρέψει φαινόμενα μόνιμου κορεσμού. Κοινό χαρακτηριστικό των πόλεων αυτών είναι η υψηλή τεχνολογική κατάρτιση, η ισχυρή διοικητική ικανότητα και συνεργασία μεταξύ διαφόρων φορέων και η δυνατότητα ταχείας υλοποίησης λύσεων και στρατηγικών Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Σε αντίθεση με τις πόλεις της κατηγορίας Global Giants, όπου τα μέτρα επικεντρώνονται κυρίως στη διαχείριση ήδη αρκετά υπερκορεσμένων και ήδη επιβαρυσμένων συστημάτων, οι Asian Anchor πόλεις δίνουν έμφαση σε διάφορες ευέλικτες στρατηγικές, οι οποίες στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του υφιστάμενου δικτύου μεταφορών και στη διαμόρφωση βιώσιμων προτύπων μετακίνησης. Με βάση τα παραπάνω, στην επόμενη υπό-ενότητα παρουσιάζονται τα βασικά μέτρα βιώσιμης αστικής κινητικότητας που κρίνεται ότι ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις ανάγκες των πόλεων της κατηγορίας Asian Anchors.

- Το σύνολο των πόλεων που εντάσσονται στην συγκεκριμένη κατηγορία χαρακτηρίζονται κυρίως, όπως προ-αναφέρθηκε από ιδιαίτερα ταχείς ρυθμούς αστικοποίησης με αποτέλεσμα την συνεχή επέκταση του αστικού χώρου-περιβάλλοντος της πόλης[94]. Οι συνεχείς απαιτήσεις στο θέμα των μετακινήσεων που προκύπτουν είναι αρκετές και προϋποθέτουν την περαιτέρω βελτίωση των μέσων μεταφοράς όπως λόγω χάρη η επέκταση του μετρό. Μέσω παρατήρησης της όλης κατάστασης σε συνδυασμό με το γεγονός της εμφάνισης περισσότερων αυτόνομων οχημάτων στους στόλους μεταφοράς η πρόταση αυτή απευθύνεται και ταιριάζει πλήρως με το σύνολο των πόλεων της κατηγορίας Asian Anchors. Το μέτρο που προτείνεται είναι το σύστημα Aeromovel. Το σύστημα Aeromovel είναι ένα πλήρως αυτοματοποιημένο μέσο μεταφοράς, το οποίο λειτουργεί σε υπερυψωμένες τροχιές. Αποτελείται από ελαφριά, μη μηχανοκίνητα οχήματα, τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογία πνευματικής πρόωσης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί σταθερούς ανεμιστήρες υψηλής απόδοσης, οι οποίοι ωθούν αέρα μέσα από αγωγούς που βρίσκονται εντός της υπερυψωμένης διαδρομής, προωθώντας έτσι τα οχήματα πάνω σε τροχιά με χαλύβδινους τροχούς. Το σύστημα αυτό έχει χαμηλό κόστος παραγωγής και συντήρησης και ταξινομείται ως Αυτόματοποιημένο Σύστημα Μεταφορών (Automated Transit System - ATS), δηλαδή ένα σύστημα που λειτουργεί αποκλειστικά με οδηγούμενη και αυτοματοποιημένη επιβατική μεταφορά. Είναι κατάλληλο τόσο για μαζική αστική μεταφορά, όσο και για μικρότερης κλίμακας δίκτυα.

Το εν λόγω σύστημα ενδείκνυται για τις Asian Anchors πόλεις καθώς η ενσωμάτωση του στο αστικό περιβάλλον κρίνεται σχετικά απλή διότι είναι υπερυψωμένο όπως προ-αναφέρθηκε και έτσι δεν καταλαμβάνει ιδιαίτερο χώρο. Σύμφωνα επίσης με έρευνες και μελέτες αποδεικνύεται πως μπορεί να μεταφέρει

μέχρι και 40.000 επιβάτες ανά ώρα και αποτελεί παράλληλα ένα μέσο με υψηλά επίπεδα ασφάλειας και άνεσης, με μηδενική πιθανότητα σύγκρουσης οχημάτων. Το πρώτο έργο Aeromovel υλοποιήθηκε το 1989 στην Τζακάρτα της Ινδονησίας, ενώ στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε περιοχές όπως το Πόρτο Αλέγκρε στη Βραζιλία. Το σύστημα είναι φιλικό προς το περιβάλλον και αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις προκλήσεις των μεταφορών[38].

Εν συνεχεία, αναφέρθηκαν τα ιδιαίτερα θετικά στοιχεία που παρουσιάζει το σύστημα Aeromovel. Σε αυτό το κομμάτι θα γίνει λόγος για την σύγκριση της αποτελεσματικότητας αυτού του συστήματος σε σύγκριση με τα πιο συμβατικά μέσα μαζικής μεταφοράς. Συγκεκριμένα θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή ενός αλγορίθμου στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με το σύστημα Aeromovel, του αλγορίθμου Hamming. Η Fuzzing Hamming απόσταση μετρά το πόσο διαφέρουν δύο ακολουθίες ίδιου μήκους, υπολογίζοντας τον αριθμό των θέσεων στις οποίες διαφέρουν τα αντίστοιχα στοιχεία. Στο πλαίσιο της πτυχιακής μας , χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την «απόσταση» μεταξύ τριών προτάσεων μεταφορών(aeromovel,metro,train) ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Τα κριτήρια αξιολόγησης επιλέχθηκαν βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας στον τομέα των αστικών μεταφορών και της βιώσιμης κινητικότητας και περιλαμβάνουν τεχνικά, περιβαλλοντικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Η κανονικοποιημένη απόσταση Hamming μεταξύ δύο ασαφών υποσυνόλων A και B, που αναπαριστώνται ως $[a_1, a_2]$ και $[b_1, b_2]$, ορίζεται ως εξής:

$$D([a_1, a_2], [b_1, b_2]) = \frac{1}{2} \times (|a_1 - b_1| + |a_2 - b_2|)(1)$$

Αν η απόσταση D είναι 0, τότε τα υποσύνολα είναι πανομοιότυπα. Όσο πλησιάζει το 1, τόσο πιο διαφορετικά είναι τα σύνολα. Για δύο υποσύνολα F και G, με μέγεθος $|E|=N$, η κανονικοποιημένη απόσταση Hamming γενικεύεται ως:

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D(\mu_a(x_i), \mu_b(x_i)) (2)$$

Όπου μ είναι το διάλυσμα βαρών που προσδίδει διαφορετική βαρύτητα στα χαρακτηριστικά, επιτρέποντας έτσι να δίνεται προτεραιότητα σε ορισμένα κριτήρια σε σχέση με άλλα. Τα βάρη των κριτηρίων ορίστηκαν ώστε να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στη βιωσιμότητα και στη χωρητικότητα, δεδομένων των χαρακτηριστικών των πόλεων της κατηγορίας Asian Anchors[38,39]. Η απόσταση Hamming χρησιμοποιείται ως εργαλείο ταξινόμησης, για να διαταχθούν οι προτάσεις ως προς την εγγύτητά τους στα ιδανικά χαρακτηριστικά. Προτιμάται η πρόταση με τη μικρότερη απόσταση από το ιδανικό. Εφαρμόζουμε λοιπόν τον αλγόριθμο αυτόν για τρεις διαφορετικές προτάσεις: το μετρό(P1), το aeromovel(P2) και τραμ(P3) και έχουμε τα εξής αποτελέσματα: $P1=0.0187$, $P2=0.0065$, $P3=0.0086$. Εδώ, το P2(Aeromovel) παρουσιάζει τη μικρότερη απόσταση Hamming = 0.0065, γεγονός που υποδηλώνει ότι είναι η πλησιέστερη πρόταση προς το ιδανικό[38]. Συνοψίζοντας, η απόσταση Hamming χρησιμοποιείται ως ακριβής και αντικειμενικός αλγόριθμος σύγκρισης προτάσεων μεταφορών, βασισμένος σε κριτήρια βιωσιμότητας. Μέσω της μαθηματικής της διατύπωσης, επιτρέπει ποσοτική αξιολόγηση και προσφέρει σαφή εικόνα για το ποια επιλογή ευθυγραμμίζεται περισσότερο με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η εφαρμογή της απόστασης Hamming χρησιμοποιείται ως εργαλείο συγκριτικής αξιολόγησης και όχι ως απόλυτη μέτρηση καταλληλότητας, επιτρέποντας την διαδικασία λήψης αποφάσεων με μια πιο αντικειμενική σκοπιά.

Συμπερασματικά, η συγκεκριμένη ανάλυση της εν λόγω πτυχιακής ανέδειξε πλήρως το σύγχρονο σύστημα Aeromovel ως μία ιδιαίτερα ανταγωνιστική και πρόταση και λύση στον τομέα των αστικών μεταφορών για τις πόλεις της κατηγορίας Asian Anchors. Μέσω της εφαρμογής της κανονικοποιημένης

απόστασης Hamming που εφαρμόστηκε, κατέστη δυνατή η αντικειμενική σύγκριση εναλλακτικών προτάσεων βάσει κριτηρίων βιωσιμότητας, χωρητικότητας και αποδοτικότητας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το Aeromovel πλησιάζει περισσότερο στα ιδανικά χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου συστήματος μεταφορών. Ως εκ τούτου, το Aeromovel μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη επιλογή για μελλοντικό σχεδιασμό αστικών μεταφορών.

- Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι Asian Anchor πόλεις χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα ταχείς ρυθμούς αστικοποίησης συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση των απαιτήσεων και της πολυπλοκότητας των αστικών μετακινήσεων. Ενδεικτικά στην χώρα της Κίνας σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα Δεδομένων(World Bank Open Data)(<https://data.worldbank.org/>) το ποσοστό αστικοποίησης κυμαίνεται περίπου στο 65 με 66% την χρονιά του 2023 και αναμένεται μέχρι το 2030 να ξεπεράσει το 70%. Είναι μια τεράστια αλλαγή, καθώς το 1980 το ποσοστό αστικοποίησης κυμαινόταν κάτω από 20%. Για τον λόγο αυτό στην εν λόγω πτυχιακή προτείνεται η μετάβαση από τα απλά-παραδοσιακά συστήματα παρακολούθησης(monitoring) στην υιοθέτηση της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων ή αγγλιστί Digital Twin(DT). Σύμφωνα με την σύγχρονη βιβλιογραφία η τεχνολογία αυτή δεν είναι απλά μια τρισδιάστατη στατική αναπαράσταση αλλά αποτελεί μια καθαρά δυναμική αναπαράσταση διαφόρων φυσικών συστημάτων με δυνατότητες αμφίδρομης επικοινωνίας και συγχρονισμού σε πραγματικό χρόνο. Τα DT συστήματα έχουν σύνθετες εφαρμογές σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, στην περίπτωση των έξυπνων πόλεων όμως τα DT συστήματα χαρακτηρίζονται ως Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα ή αγγλιστί Cyber-Physical System(CPS) τα οποία λειτουργούν σαν γέφυρα ανάμεσα στον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο[43]. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για την εφαρμογή ενός DT μοντέλου με βάση την διαχείριση της κυκλοφορίας στα πλαίσια των πόλεων της κατηγορίας των Asian Anchors μπορεί να δομηθεί σε 4 επίπεδα[42]:

1. Φυσικό και Απόκτησης Δεδομένων Επίπεδο(Physical and Data Acquisition Layer): Η βάση του συστήματος είναι το φυσικό οδικό δίκτυο σε συνδυασμό με το δίκτυο του Διαδικτύου των Πραγμάτων ή αγγλιστί Internet of Things. Σε πόλεις της κατηγορίας αυτή, η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται μέσω μιας πληθώρας αισθητήρων και συσκευών IoT. Κρίσιμη τεχνολογία η οποία προτείνεται και προ-αναφέρθηκε στην πτυχιακή είναι η χρήση Edge Computing στους αισθητήρες, ώστε να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων που μεταδίδονται και να ελαχιστοποιηθεί η καθυστέρηση (latency).
2. Επίπεδο Διαχείρισης Δεδομένων(Data Management Layer): Το επίπεδο αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο διότι χειρίζεται τον τεράστιο όγκο δεδομένων(big data) τα οποία μεταβάλλονται συνεχώς και χαρακτηρίζονται από θόρυβο. Για την κατάλληλη διαχείριση αυτών απαιτείται η εφαρμογή προηγμένων αλγορίθμων σύντηξης δεδομένων(Data Fusion Algorithms) για την ενοποίηση των δεδομένων από τις διάφορες πηγές. Εν συνεχεία απαιτείται η εφαρμογή τεχνικών «καθαρισμού» και «φιλτραρίσματος» των δεδομένων(Data Cleaning) για την διασφάλιση της εγκυρότητας και της ποιότητας των δεδομένων.
3. Επίπεδο Εικονικής Μοντελοποίησης(Virtual Modeling Layer): Σε αυτό το επίπεδο δημιουργείται το ψηφιακό αντίγραφο της κάθε πόλης. Πέρα από τη γεωμετρική απεικόνιση, το μοντέλο πρέπει να ενσωματώνει τη συμπεριφορική λογική του συστήματος και του συνόλου του οδικού δικτύου. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η μαθηματική μοντελοποίηση του οδικού δικτύου με βάση τουε Γράφους(Graph-based modeling) επιτρέποντας έτσι την αποτελεσματική προσομοίωση της κυκλοφοριακής ροής και των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των διάφορων κόμβων, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενες ενότητες.
4. Επίπεδο Υπηρεσιών και Πρόβλεψης(Service and Prediction Layer): Στο

τελευταίο επίπεδο ενσωματώνεται η Τεχνητή Νοημοσύνη(AI) και η Μηχανική Μάθηση(ML). Το Digital Twin σύστημα χρησιμοποιεί τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και πραγματοποιεί αρχικά Προγνωστική Προσομοίωση(Predictive Simulation) η οποία προβλέπει την εξέλιξη της κυκλοφορίας μέσω νευρωνικών δικτύων. Επίσης το DT σύστημα αξιολογεί υποθετικά σενάρια ή αγγλιστί σενάρια “What-If” πριν την εφαρμογή τους στον φυσικό κόσμο, μειώνοντας έτσι το ρίσκο λανθασμένων αποφάσεων[42,43].

Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της βιωσιμότητας και της ενεργειακής αποδοτικότητας των Asian Anchor πόλεων, προσφέροντας εργαλεία ακριβείας για τη διαχείριση της αστικής κινητικότητας.

Συμπερασματικά τα μέτρα που αναφέρθηκαν είναι μερικά από τα πολλά που μπορούν να εφαρμοστούν. Πολλά μέτρα που αναφέρθηκαν και στην προηγούμενη ενότητα, traffic light control, μοντέλα πρόβλεψης κυκλοφοριακής συμφόρησης, έξυπνα συστήματα στάθμευσης μπορούν να εφαρμοστούν και στην συγκεκριμένη κατηγορία. Κλείνοντας λοιπόν την ενότητα των Asian Anchors είναι ιδιαίτερα σημαντικό το να συνυπολογιστεί στο πλαίσιο της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας ο ρόλος που διαδραματίζει η μορφολογία του εδάφους και τα καιρικά φαινόμενα αυτών. Η πλειονότητα αυτών των πόλεων επηρεάζεται έντονα από τους Μουσώνες, χαρακτηριζόμενες από περιόδους έντονων βροχοπτώσεων και υψηλής υγρασίας, ενώ πόλεις όπως η Μόσχα, το Πεκίνο και η Σεούλ αντιμετωπίζουν κρύους χειμώνες με συχνές χιονοπτώσεις. Επίσης η μορφολογία ορισμένων πόλεων όπως το Χονγκ Κονγκ και η Σεούλ χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα ορεινό ανάγλυφο. Συνεπώς σε αυτή την κατηγορία πρέπει να ενσωματωθούν υποδομές που ανταποκρίνονται στις καιρικές και μορφολογικές συνθήκες όπως εκτεταμένα υπόγεια δίκτυα πεζών, κυλιόμενες σκάλες σε ανηφορικούς δρόμους, κλιματιζόμενες στάσεις για να διασφαλιστεί ότι η μετακίνηση παραμένει βιώσιμη και προσιτή.

5.1.3 Στρατηγικές για Emerging Gateways

Η 3^η κατηγορία της μοντελοποίησης των πόλεων αναφέρεται σε πόλεις οι οποίες βρίσκονται σε αναπτυσσόμενες χώρες και χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο ρυθμό αστικοποίησης και έντονη πληθυσμιακή πυκνότητα όπως αποδεικνύεται και από την ανάλυση των δεικτών της ενότητας 4.4 όπου ενδεικτικά η Τζακάρτα 15.537 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Οι πόλεις αυτές αποτελούν αναπτυσσόμενους οικονομικούς κόμβους οι οποίοι λειτουργούν ως μια «γεφύρωση» μεταξύ της τοπικής και διεθνούς οικονομίας. Το κύριο πρόβλημα των πόλεων αυτών είναι ότι ο ρυθμός της οικονομικής, πληθυσμιακής και αστικής ανάπτυξης τους δεν συγχρονίζεται και με τον κατάλληλο αστικό σχεδιασμό στο πλαίσιο της αστικής κινητικότητας ο οποίος είναι ιδιαίτερα ελλιπής και συμβατικός. Η κυκλοφοριακή κατάσταση συνεπώς στις πόλεις αυτής της κατηγορίας είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένη, πόλεις όπως το Σάο Πάολο της Βραζιλίας, η Τζακάρτα της Ινδονησίας χαρακτηρίζονται από καθημερινή και συνεχή κυκλοφοριακή συμφόρηση(στο Σάο Πάολο ο δείκτης κυκλοφοριακής συμφόρησης αγγίζει το 42% όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 4.4 κατατάσσοντας τες έτσι στο σύνολο με τις πόλεις με την περισσότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση παγκοσμίως[44]. Παράλληλα στις πόλεις της κατηγορίας Emerging Gateways έχει προκύψει ένα ιδιαίτερο μοντέλο αστικών μετακινήσεων ,λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων αυτών, το μοντέλων των Άτυπων Μεταφορών ή αγγλιστί Informal Transport / Paratransit. Πρόκειται για διάφορους ιδιωτικούς στόλους λεωφορείων και βαν τα οποία πραγματοποιούν διάφορες διαδρομές στα πλαίσια των πόλεων χωρίς όμως να έχουν κάποιο προκαθορισμένο πρόγραμμα διαδρομής ή στάσεων. Παρόλο που καλύπτουν ζωτικά κενά στη μετακίνηση των πολιτών, στην τωρινή τους μορφή λειτουργούν άναρχα και δεν μπορούν να αποτελέσουν μακροπρόθεσμα μια βιώσιμη λύση. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η παραπάνω

κατάσταση και να επιτευχθεί ο στόχος της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στις πόλεις της κατηγορίας Emerging Gateways, προτείνεται ένα υβριδικό πλάνο που συνδυάζει έξυπνες υποδομές χαμηλού κόστους με προηγμένες ψηφιακές υπηρεσίες. Τα μέτρα και οι στρατηγικές του πλάνου παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το πρώτο σκέλος της πρότασης αφορά την υιοθέτηση συστημάτων Bus Rapid Transit(BRT). Δεδομένου ότι η κατασκευή καθώς και η επέκταση εκτεταμένων δικτύων μετρό απαιτεί τεράστιους οικονομικούς πόρους τους οποίους δεν διαθέτουν οι πόλεις αυτές σε μεγάλο βαθμό, ενδεικτικά σύμφωνα με το Βραζιλιάνικο Ινστιτούτο Γεωγραφίας και Στατιστικής (IBGE)(<https://www.ibge.gov.br/en/>), το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της μητροπολιτικής περιοχής του Σάο Πάολο κυμαίνεται περίπου \$15.000 αμερικανικά δολάρια , ποσό που απέχει πολύ από τα εισοδήματα πόλεων όπως η Νέα Υόρκη ή το Λονδίνο της κατηγορίας των Global Giants, συνεπώς το BRT αποτελεί την βέλτιστη και πιο άμεση λύση για τα Emerging Gateways. Το σύστημα Aeromovel που αναφέρθηκε στην προηγούμενη κατηγορία επίσης αποτελεί μια εφικτή λύση για τις πόλεις αυτής της κατηγορίας. Πρόκειται για συστήματα λεωφορείων υψηλής χωρητικότητας που κινούνται σε αποκλειστικές λωρίδες κυκλοφορίας(dedicated lanes), απομονωμένα από την υπόλοιπη κίνηση, προσφέροντας ταχύτητα και αξιοπιστία παρόμοια με αυτή των μέσων σταθερής τροχιάς αλλά με σημαντικά χαμηλότερο κόστος υλοποίησης. Η σύγχρονη βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι το συνολικό οικονομικό κόστος ενός συστήματος BRT είναι τυπικά 4 έως 20 φορές χαμηλότερο από αυτό ενός συστήματος «Ελαφρού» Σιδηροδρόμου(LRT) και 10 έως 100 φορές χαμηλότερο από ένα σύστημα μετρό , ενώ ο χρόνος υλοποίησής του είναι δραστικά μικρότερος [44,45]. Παρά το χαμηλότερο κόστος, προσφέρει ταχύτητα και αξιοπιστία παρόμοια με αυτή των μέσων σταθερής τροχιάς καθώς επίσης και μεταφορική ικανότητα έχοντας την δυνατότητα να μεταφέρει περίπου 45.000 επιβάτες ανά μία ώρα[44]. Η αποδοτικότητα αυτή ενισχύεται από τη χρήση τεχνολογιών Ευφυών Συστημάτων Μεταφοράς(ITS) και την υιοθέτηση της είσπραξης κομίστρου εκτός οχήματος ή αγγλιστί off board fare collection, στοιχεία που ελαχιστοποιούν τις καθυστερήσεις λόγω της επιβίβασης.
- Το δεύτερο προτεινόμενο σκέλος της στρατηγικής εστιάζει στην ψηφιοποίηση των Άτυπων Μεταφορών ή αγγλιστί Digitalization of Paratransit[46]. Όπως αναφέρθηκε στο σύνολο των πόλεων της εν λόγω κατηγορίας ένα μεγάλο μέρος των αστικών μετακινήσεων των κατοίκων τους πραγματοποιείται από διάφορα ιδιωτικά βαν και μικρά λεωφορεία χωρίς κάποιο σταθερό πρόγραμμα. Η μη ύπαρξη σταθερού προγράμματος ή real time ενημέρωσης για την διαδρομή και την θέση των ιδιωτικών λεωφορείων πολλές φορές και για πολλούς ανθρώπους τα καταστεί όχι κατάλληλα. Για τον λόγο αυτό η προτεινόμενη τεχνολογική λύση βασίζεται στην υιοθέτηση του προτύπου στα αγγλικά GTFS-Realtime(General Transit Feed Specification) για τη χαρτογράφηση αυτού του χαοτικού δικτύου[46]. Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος αποτελείται από τρία επίπεδα:
 1. Επίπεδο Συλλογής Δεδομένων(Sensing Layer): Λόγω του περιορισμένου οικονομικού προϋπολογισμού[46], αντί για ακριβό εξοπλισμό τηλεματικής, προτείνεται η χρήση συσκευών GPS χαμηλού κόστους τα οποία θα είναι τοποθετημένα στα οχήματα μεταφοράς ή η αξιοποίηση των φορητών συσκευών ή αγγλιστί smartphones των οδηγών μέσω ειδικής εφαρμογής. Οι συσκευές αυτές θα μεταδίδουν γεωχωρικά δεδομένα σχετικά με την εν λόγω θέση τους και δεδομένα σχετικά με την ταχύτητα κίνησης τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ενδεικτικά ανά 5 με 10 δευτερόλεπτα[46].
 2. Επίπεδο Επεξεργασίας(Processing Layer): Στο επίπεδο αυτό όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από το προηγούμενο επίπεδο μεταφορτώνονται σε πραγματικό χρόνο- real time σε ένα κεντρικό Cloud διακοσμητή ή αγγλιστί Cloud Server. Στον διακοσμητή, εφαρμόζονται αλγόριθμοι καθαρισμού δεδομένων ή αγγλιστί data cleaning algorithms οι οποίοι φιλτράρουν το

«θόρυβο» των σημάτων GPS[46,47]. Συγκεκριμένα, η όλη επεξεργασία περιλαμβάνει τη λήψη των ακατέργαστων δεδομένων(raw data) γεωεντοπισμού, την αντιστοίχισή τους στο οδικό δίκτυο μέσω αλγορίθμων Map Matching και την αποθήκευσή τους σε ειδικές βάσεις δεδομένων Χρονοσειρών ή αγγλιστί Time-series Databases για την εξαγωγή στατιστικών. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης ή αγγλιστί Machine Learning Algorithms για την πρόβλεψη του Εκτιμώμενου Χρόνου Άφιξης(ETA)[46,47].

3. Επίπεδο Εφαρμογής(Application Layer): Η παραγόμενη πληροφορία αλλά διατίθεται μέσω ανοιχτών API(RESTful APIs). Αυτό επιτρέπει την ενσωμάτωση των δρομολογίων σε δημοφιλείς εφαρμογές πλοήγησης ή σε τοπικές εφαρμογές[47].

Με αυτή την προσέγγιση, μετατρέπεται ένα άναρχο δίκτυο μεταφορών σε ένα έξυπνο, ψηφιακό οικοσύστημα χωρίς το τεράστιο κόστος της διάθεσης νέου στόλου οχημάτων.

- Μια ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος για την επιτυχία της βιώσιμης κινητικότητας στα Emerging Gateways είναι η διασφάλιση της σωματικής ακεραιότητας των επιβατών στα μέσα μεταφοράς αλλά και στις διάφορες στάσεις. Σύμφωνα με μελέτες οι πόλεις αυτές χαρακτηρίζονται συχνά από υψηλούς δείκτες εγκληματικότητας με φαινόμενα κλοπών και παρενοχλήσεων τα οποία αποτελούν φαινόμενα που εντείνονται σε συνθήκες συνωστισμού στα μέσα μεταφοράς σύμφωνα με την βιβλιογραφία[48]. Στο Σάο Πάολο σύμφωνα με τα ετήσια στατιστικά της Γραμματεία Δημόσιας Ασφάλειας του Σάο Πάολο Secretaria da Segurança Pública de São Paulo (SSP-SP)(<https://www.ssp.sp.gov.br/>), καταγράφονται σταθερά πάνω από 13.000 με 15.000 ληστείες ετησίως εντός των λεωφορείων και των μέσων μαζικής μεταφοράς στα πλαίσια της πόλης. Παράλληλα, σύμφωνα πάλι με την SSP-SP το 2022-2023, το Fórum Brasileiro de Segurança Pública(<https://forumseguranca.org.br/>) κατέγραψε ρεκόρ καταγγελιών για σεξουαλική παρενόχληση στα μέσα μεταφοράς, με αύξηση που άγγιξε το 40-50% σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Συνεπώς ως λύση προτείνεται η ενίσχυση της αστυνόμευσης των μέσων μεταφοράς με την παράλληλη ανάπτυξη ενός Συστήματος Διαχείρισης Δεδομένων Δημόσιας Ασφάλειας Βασισμένο στην Τεχνητή Νοημοσύνη ή αγγλιστί AI based Public Safety Data Resource Management System. Η προτεινόμενη λύση εστιάζει στη χρήση Νευρωνικών Δικτύων Οπισθοδιάδοσης(Back Propagation Neural Networks - BPNN) για την πρόβλεψη και την έγκαιρη προειδοποίηση πιθανών κινδύνων σε πραγματικό χρόνο στα μέσα μαζικής μεταφοράς. Η επιλογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου δεν είναι τυχαία καθώς η σύγχρονη βιβλιογραφία αποδεικνύει ότι το μοντέλο BPNN υπερέχει σημαντικά έναντι των παραδοσιακών νευρωνικών δικτύων[49]. Συγκεκριμένα, πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι το BPNN επιτυγχάνει μέση ακρίβεια πρόβλεψης δεικτών περίπου 89% έναντι 72.9% των παραδοσιακών μοντέλων και ακρίβεια προειδοποίησης κινδύνου που αγγίζει το 90.3%[49].

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από τρία επίπεδα τα οποία αλληλοεπιδρούν συντονισμένα μεταξύ τους. Το πρώτο επίπεδο είναι το επίπεδο πολύ-τροπικής Συλλογής, το οποίο απαρτίζεται από ένα εκτεταμένο δίκτυο αισθητήρων του Διαδικτύου των Πραγμάτων ή αγγλιστί Internet of Things μαζί με κάμερες παρακολούθησης οι οποίες είναι στρατηγικά τοποθετημένες στα μέσα μαζικής μεταφοράς και στις υποδομές αυτών. Αυτές οι ακατέργαστες ροές δεδομένων μεταδίδονται στη συνέχεια στο κεντρικό υπολογιστικό επίπεδο, όπου τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται εκ των προτέρων πριν εισαχθούν στο προτεινόμενο μοντέλο Νευρωνικών Δικτύων Οπισθοδιάδοσης(BPNN)[49]. Με τη χρήση αυτού του εξελιγμένου αλγορίθμου, τα πιθανά πρότυπα κινδύνου εξετάζονται δυναμικά και οι επικείμενες αποκλίσεις που παρουσιάζονται, εντοπίζονται πριν φτάσουν σε ανησυχητικά επίπεδα. Σε περίπτωση εντοπισμού κάποιου κινδύνου, ξεκινά

αυτόματα το Επίπεδο Εφαρμογής, το οποίο ανακοινώνει μια προειδοποίηση προς τις αρχές και οργανώνεται έτσι μια άμεση αντίδραση στο περιστατικό.

Το μοντέλο BPNN μπορεί να είναι αποτελεσματικό και αξιόπιστο για τα Emerging Gateways εάν υιοθετείται και αναβαθμίζεται συνεχώς. Το BPNN θα βοηθήσει στην έγκαιρη ανίχνευση απειλών ή κινδύνων συμβάλλοντας έτσι στην δημιουργία ασφαλέστερων και πιο βιώσιμων μέσων μεταφοράς.

Εν κατακλείδι η εφαρμογή των παραπάνω αναφερόμενων προτάσεων οφείλει να προσαρμοστεί παράλληλα και στην ιδιαίτερη φυσική μορφολογία και καιρικές συνθήκες των πόλεων αυτών. Το σύνολο των πόλεων της κατηγορίας βρίσκονται γεωγραφικά στο νότιο ημισφαίριο συνεπώς αντιμετωπίζουν συχνά ισχυρά κλιματικά φαινόμενα όπως συχνές βροχοπτώσεις, υψηλές θερμοκρασίες και χαρακτηρίζονται από μια σύνθετη γεωμορφολογία[79]. Ως εκ τούτου, η αρχιτεκτονική των «Έξυπνων Συστημάτων» ή αγγλιστί Smart Systems δεν μπορεί να αγνοήσει-παραμερίσει τον περιβαλλοντικό παράγοντα. Απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός με βάση τις αρχές της Κλιματικής Ανθεκτικότητας(Climate Resilience), σε δύο τεχνικά επίπεδα. Αρχικά στο hardware κρίνεται απαραίτητη η χρήση εξοπλισμού IoT, αισθητήρων και κάμερες ασφαλείας με τις κατάλληλες προδιαγραφές για την αντοχή σε ακραία καιρικά φαινόμενα σύμφωνα με την βιβλιογραφία[80]. Τέλος στο software επίπεδο στους αλγόριθμους πρόβλεψης κυκλοφορίας που εφαρμόζονται για τον εντοπισμό των οχημάτων Paratransit το σύστημα πρέπει να μπορεί να αναπροσαρμόζει δυναμικά τους χρόνους διαδρομής και τα δρομολόγια όταν εντοπίζονται δυσμενείς καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν το οδικό δίκτυο.

5.1.4 Στρατηγικές για Factory China/Industrial Engines

Η συγκεκριμένη κατηγορία της μοντελοποίησης περιλαμβάνει το σύνολο των πόλεων των οποίων τα ευρύτερα αστικά κέντρα αποτελούν κύρια «γρανάζια» της παγκόσμιας οικονομίας. Χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη ανάπτυξη και έμφαση στον δευτερογενή τομέα παραγωγής και πλαισιώνονται από μεγάλες βιομηχανικές-εργοστασιακές μονάδες και εμπορικά λιμάνια[50]. Ενδεικτικά στην πόλη Ντογκουάν της Κίνας σύμφωνα με την στατιστικό γραφείο της πόλης Statistics Bureau of Dongguan (<https://research.hktdc.com/en/data-and-profiles/mcpc/provinces/guangdong/dongguan>) ο δευτερογενή τομέας- η βιομηχανία συνεισφέρει πάνω από το 53% στο συνολικό Α.Ε.Π(Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν-GDP) της πόλης. Συνεπώς οι εν λόγω πόλεις αποτελούν ένα σύνθετο περιβάλλον όσο αφορά το πλαίσιο των αστικών μετακινήσεων, καθώς η κινητικότητα επηρεάζεται ταυτόχρονα από την μετακίνηση των ανθρώπων αλλά και από την μεταφορά εμπορευμάτων από και προς σημαντικούς κόμβους[50]. Χαρακτηριστικά παραδείγματα πόλεων της κατηγορίας αποτελούν η Σεντζέν(Shenzhen) και η Τιαντζίν(Tianjin), δύο πόλεις της Κίνας. Η μεν Σεντζέν, ως ένα παγκόσμιο επίκεντρο τεχνολογικής παραγωγής και καινοτομίας, αντιμετωπίζει την πρόκληση της μετακίνησης εκατομμυρίων εργαζομένων στα τεχνολογικά πάρκα και εργοστάσια της ευρύτερης περιοχής, ενώ η Τιαντζίν ως ένα από τα μεγαλύτερα εμπορικά λιμάνια της Κίνας, καλείται να διαχειριστεί τον τεράστιο όγκο βαρέων οχημάτων-φορτηγών που διασχίζουν τον αστικό ιστό για να μεταφέρουν πρώτες ύλες και προϊόντα[50]. Συνεπώς το κύριο πρόβλημα στις πόλεις αυτές είναι ο παράλληλος και ταυτόχρονος κορεσμός των δρόμων και της κυκλοφορίας από μια πληθώρα εμπορικών φορτηγών-οχημάτων και από την μετακίνηση των κατοίκων από και προς τους χώρους εργασίας τους[50]. Επιπρόσθετα, η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα έχει οδηγήσει σε σοβαρά ζητήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη μετάβασης σε μοντέλα κινητικότητας που βασίζονται στην ηλεκτροκίνηση. Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες χαρτογράφησης των παραγόμενων ρύπων, η

βιομηχανική δραστηριότητα και η καύση άνθρακα αποτελούν τις κυριότερες πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα περίπου το 38% του πληθυσμού της Κίνας να εκτίθεται συστηματικά σε συγκεντρώσεις αέρα που υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας και κρίνονται «ανθυγιεινές» σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα[97]. Στη συνέχεια παρατίθενται αναλυτικά τα προτεινόμενα μέτρα και στρατηγικές:

1. Δεδομένου του τεράστιου όγκου εμπορευματικών μεταφορών στις πόλεις της εν λόγω κατηγορίας, συγκεκριμένα σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Μεταφορών της Κίνας (Ministry of Transport of the People's Republic of China) (<https://www.iala.int/organisation/ministry-of-transport/>), ο συνολικός όγκος οδικών εμπορευματικών μεταφορών στη χώρα έφτασε τα 40.34 δισεκατομμύρια τόνους το 2023, σημειώνοντας αύξηση 8.7% σε σχέση με το προηγούμενο έτος, η πρώτη πρόταση αφορά την εφαρμογή της τεχνολογίας Truck Platooning. Το Truck Platooning είναι η τεχνολογία όπου δύο ή περισσότερα φορτηγά ταξιδεύουν σε στενό σχηματισμό, συνδεδεμένα μεταξύ τους και τα οποία διαθέτουν προηγμένα συστήματα επικοινωνίας και αυτοματοποιημένη οδήγηση. Η επιλογή της τεχνολογίας αυτής προσφέρει λύσεις σε 2 κρίσιμα πεδία. Αρχικά σε περιβαλλοντικό επίπεδο συμβάλει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών CO₂ κατά 4% έως 10% για τα οχήματα μεταφοράς[50]. Παράλληλα σε κυκλοφοριακό επίπεδο η αυτοματοποιημένη κίνηση που προάγει το σύστημα Truck Platooning επιτρέπει την πυκνότερη χρήση του οδικού δικτύου, αυξάνοντας τη χωρητικότητα των λωρίδων και συνεπώς ελαττώνοντας την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η αρχιτεκτονική του συστήματος Truck Platooning βασίζεται στον αλγόριθμο Συνεργατικού Προσαρμοστικού Ελέγχου Πορείας ή αγγλιστί Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)[51]. Η βελτιστοποίηση του συγκεκριμένου αλγορίθμου ελέγχου πραγματοποιείται αρχικά μέσω εξειδικευμένων εργαλείων προσομοίωσης κυκλοφορίας, όπως το VISSIM, το SUMO και το MATLAB/Simulink, τα οποία επιτρέπουν τη διεξοδική δοκιμή υποθετικών σεναρίων πριν την εφαρμογή και δοκιμή σε πραγματικό δρόμο και πραγματικές καταστάσεις. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό αλγόριθμο ACC ο οποίος λειτουργεί μόνο με την χρήση απλών αισθητήρων ο CACC απαιτεί συνεχή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των διασυνδεδεμένων οχημάτων μέσω επικοινωνίας όχημα προς όχημα ή αγγλιστί Vehicle to Vehicle Communication (V2V). Για την υλοποίηση της V2V επικοινωνίας χρησιμοποιούνται σύγχρονα ασύρματα πρωτόκολλα όπως το DSRC (Dedicated Short-Range Communications) και το πρότυπο ITS-G5, τα οποία διασφαλίζουν την αξιόπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση. Αναλυτικά η λειτουργία του συστήματος στηρίζεται στον κατάλληλο συντονισμό του προπορευόμενου οχήματος (Leader) με τα ακολουθούντα οχήματα (Followers). Ο Leader μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο δεδομένα σχετικά με την επιτάχυνση, την θέση του οχήματος, την πέδηση στα ακολουθούντα οχήματα με πρωτόκολλα χαμηλής καθυστέρησης. Κάθε όχημα συνεπώς συνδυάζει τα ληφθέντα δεδομένα με τις μετρήσεις των αισθητήρων του προκειμένου να διατηρήσει μια εξαιρετικά μικρή χρονική-απόσταση (time gap) από το προπορευόμενο, μειώνοντας την αεροδυναμική αντίσταση και αυξάνοντας τη χωρητικότητα του δρόμου[51].

Όσο με το σύστημα αυτό προκύπτει και ένα ιδιαίτερο πρόβλημα το οποίο έχει να κάνει με σενάρια κατά τα οποία πραγματοποιείται κάποια είσοδος ενός άλλου οχήματος ανάμεσα στα διασυνδεδεμένα οχήματα. Τα σενάρια αυτά ονομάζονται Cut In σενάρια. Για την αντιμετώπιση αυτών των σεναρίων, προτείνεται η ενσωμάτωση προηγμένων διεπαφών αλληλεπίδρασης ανθρώπου μηχανής ή αγγλιστί Human Machine Interface (HMI) που ειδοποιούν τον οδηγό για ανάληψη ελέγχου (Take Over Request). Τα σύγχρονα συστήματα HMI αξιοποιούν πολυτροπικές ενδείξεις είτε δηλαδή οπτικές ενδείξεις μέσω οθονών είτε μέσω ηχητικών προειδοποιήσεων για να ενισχύσουν την επίγνωση για την κατάσταση στον οδηγό, μειώνοντας τον χρόνο αντίδρασης όταν απαιτείται η μετάβαση από την αυτοματοποιημένη στη χειροκίνητη οδήγηση. Τέλος, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι που αυξάνουν αυτόματα την απόσταση ασφαλείας όταν ανιχνευτεί

παρεμβολή τρίτου οχήματος, διασφαλίζοντας την ομαλή ροή της κυκλοφορίας χωρίς κίνδυνο ατυχήματος.

- Στις πόλεις της εν λόγω κατηγορίας όπως προαναφέρθηκε η μαζική μετακίνηση πολλών εργαζομένων από και προς τους χώρους εργασίας τους σε προκαθορισμένες ώρες(αλλαγές βάρδιας) προκαλεί εκτεταμένη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Συγκεκριμένα για παράδειγμα στην πόλη της κατηγορίας, την Ντογκουάν, σύμφωνα με δεδομένα του Κέντρου Γεωγραφικών Πληροφοριών και Σχεδιασμού του Dongguan(Dongguan Geographic Information and Planning Research Center)(<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=4076200>) η κυκλοφοριακή συμφόρηση κορυφώνεται κατά τις ώρες που πραγματοποιούνται οι αλλαγές βάρδιας(07:15 με 08:15 το πρωί και 17:30 με 18:30 το απόγευμα). Είναι ενδεικτικό ότι κατά την πρωινή αιχμή, το 69.1% του συνόλου των μετακινήσεων αφορά αποκλειστικά τη μετάβαση στην εργασία, ποσοστό που αποδεικνύει ότι η συμφόρηση είναι άμεσο παράγωγο της μαζικής, ταυτόχρονης ροής του εργατικού δυναμικού προς τις βιομηχανικές ζώνες. Η συμβατική και ξεπερασμένη προσέγγιση η οποία είναι η εφαρμογή εταιρικών δρομολογίων με σταθερά δρομολόγια και στάσεις κρίνεται ανεπαρκής διότι δεν ανταποκρίνεται στην δυναμική προσαρμογή σε δυναμικές συνθήκες. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, προτείνεται η ανάπτυξη ενός Ευφυούς Συστήματος Δρομολόγησης που επιλύει το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Παράθυρα ή αγγλιστί Vehicle Routing Problem with Time Windows(VRPTW)[52]. Κύριος στόχος του εν λόγω συστήματος αποτελεί η εξυπηρέτηση του συνόλου των εργαζομένων εντός συγκεκριμένων χρονικών ορίων ή αγγλιστί time windows χρησιμοποιώντας παράλληλα όσο δυνατόν λιγότερα λεωφορεία και διανύοντας όσο δυνατόν γίνεται μικρότερες αποστάσεις. Η προτεινόμενη μεθοδολογία λοιπόν βασίζεται σε ένα Υβριδικό Γενετικό Αλγόριθμο ή αγγλιστί Hybrid Genetic Algorithm(HGA). Η λειτουργία του συστήματος με την αξιοποίηση του αλγορίθμου παρουσιάζεται στα παρακάτω στάδια:
 1. Μοντελοποίηση Προβλήματος: Ως στάση ορίζεται το κάθε σημείο παραλαβής των εργαζομένων. Κάθε στάση λοιπόν ορίζεται ως ένας κόμβος ο οποίος έχει και συγκεκριμένη «ζήτηση», ως «ζήτηση» ορίζεται ο αριθμός των εργαζομένων που βρίσκονται στην στάση αυτή καθώς και το αυστηρό χρονικό περιθώριο $[e_i, l_i]$ που οφείλει να φτάσει εκεί το λεωφορείο. Αν το λεωφορείο φτάσει νωρίτερα στην στάση($<e_i$) τότε θα πρέπει να περιμένει ενώ αν φτάσει αργότερα($>l_i$) κάτι τέτοιο είναι απαγορευτικό καθώς συμβάλει σε καθυστέρηση προσέλευσης στον χώρο εργασίας[52].
 2. Αρχικοποίηση Πληθυσμού: Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς-απλούς γενετικούς αλγόριθμους που ξεκινούν την λειτουργία με ένα σύνολο τυχαία επιλεγμένων πιθανών λύσεων το προτεινόμενο σύστημα εδώ χρησιμοποιεί την ευριστική μέθοδο Push Forward Insertion Heuristic(PFIH). Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη τόσο την απόσταση που ενδέχεται να διανυθεί καθώς και το πόσο επείγει σε χρονικό πλαίσιο η εξυπηρέτηση της κάθε στάσης, δημιουργώντας έναν αρχικό πληθυσμό δρομολογίων και μειώνοντας δραστικά τον χρόνο σύγκλισης του αλγορίθμου[52,53].
 3. Βελτιστοποίηση: Το σύστημα που υλοποιείται δεν εστιάζει μόνο στην ελαχιστοποίηση της απόστασης αλλά χρησιμοποιείται η τεχνική Pareto Ranking για να ιεραρχήσουμε τις λύσεις με βάση 2 πράγματα, την ελαχιστοποίηση των οχημάτων και ελαχιστοποίηση της απόστασης που διανύεται[52].
 4. Εφαρμογή γενετικών «τελεστών», Crossover, mutation για την εύρεση νέων βέλτιστων διαδρομών. Επιπλέον, ενσωματώνεται μια διαδικασία Local Search, η οποία βελτιώνει περαιτέρω κάθε λύση.

Ακολουθεί ένας ενδεικτικός ψευδοκώδικας που περιγράφει τη ροή και τρόπο εκτέλεσης του προτεινόμενου αλγορίθμου:

Ψευδοκώδικας Υβριδικού Γενετικού Αλγορίθμου

```

ALGORITHM Hybrid_Genetic_VRPTW
INPUT:
  Nodes (Σημεία εργαζομένων),
  Depot (Εργοστάσιο),
  Vehicles (Διαθέσιμα Λεωφορεία & Χωρητικότητα),
  Time_Windows [Earliest, Latest] για κάθε κόμβο

OUTPUT:
  Best_Routing_Plan (Βέλτιστο Σχέδιο Δρομολογίων)

BEGIN
  // Βήμα 1: Αρχικοποίηση Πληθυσμού
  // Αντί για τυχαία δημιουργία, χρησιμοποιείται PFIH για εφικτές λύσεις
  Population = Empty_List
  FOR i = 1 TO Population_Size DO
    Individual = Apply_Push_Forward_Insertion_Heuristic(Nodes,
  Time_Windows)
    Add Individual TO Population
  END FOR

  // Βήμα 2: Κύριος Βρόχος Εξέλιξης
  Generation = 0
  WHILE Generation < Max_Generations DO

    // Αξιολόγηση (Fitness) με Ποινές (Penalties)
    FOR EACH Schedule IN Population DO
      Calculate_Fitness(Schedule)
      IF (Capacity_Exceeded OR Time_Window_Violated) THEN
        Apply_Heavy_Penalty(Schedule)
      END IF
    END FOR

    // Ταξινόμηση Pareto (Πρώτα ελαχιστοποίηση οχημάτων, μετά
    απόστασης)
    Rank_Population_By_Pareto_Dominance(Population)

    // Επιλογή Γονέων & Διασταύρωση (Crossover)
    New_Population = Empty_List
    WHILE Size(New_Population) < Population_Size DO
      Parent_A, Parent_B = Select_Best_Parents(Population)
      Offspring = Crossover_Operator(Parent_A, Parent_B)

      // Μετάλλαξη (Mutation)
      IF Random_Chance < Mutation_Rate THEN
        Offspring = Mutation_Operator(Offspring)
      END IF

      // Βήμα 3: Τοπική Βελτιστοποίηση (Local Search - Hybrid Part)
      // Εφαρμογή μικρο-αλλαγών για βελτίωση της διαδρομής
      Offspring = Apply_Local_Search_Improvement(Offspring)

      Add Offspring TO New_Population
    END WHILE

    Population = New_Population
    Generation = Generation + 1
  END WHILE

  // Επιστροφή της καλύτερης λύσης που βρέθηκε
  RETURN Best_Solution_From(Population)
END

```

Στο κομμάτι Input του ψευδοκώδικα ορίζονται τα απαραίτητα δεδομένα για την ανάπτυξη του αλγορίθμου. Σαν πρώτο βήμα δημιουργείτε ο αρχικός πληθυσμός του γενετικού αλγορίθμου και γίνεται η εφαρμογή του ευριστικού αλγορίθμου PFH που προαναφέρθηκε προκειμένου ο αρχικός πληθυσμός να μην είναι απολύτως τυχαίος. Εν συνεχεία, στο Βήμα 2^ο ξεκινάει η κύρια λειτουργία του αλγορίθμου. Με βάση την Fitness Function αξιολογείται ο αρχικός πληθυσμός λαμβάνοντας υπόψη αν παραβιάστηκαν οι 2 προϋποθέσεις όταν λόγω χάρη γεμίσει ένα λεωφορείο και δεν μπορεί να εξυπηρετήσει, ή άργησε ένα λεωφορείο). Έπειτα με βάση την ταξινόμηση Pareto, ταξινομούνται οι λύσεις με βάση 2 παράγοντες την μείωση του αριθμού του στόλου οχημάτων και την μείωση της απόστασης που διανύεται. Μετά την ταξινόμηση γίνεται η επιλογή των 2 καλύτερων λύσεων «γονείς» και γίνεται χρήση της τεχνικής crossover για δημιουργία νέου πληθυσμού από τους 2 «γονείς». Εφαρμόζεται στο νέο πληθυσμό mutation στο τέλος πριν εφαρμοστεί ο τοπικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης των λύσεων και συνεχιστεί εκ νέου το πρόγραμμα.

Η θετική επίδραση της εν λόγω μεθόδου στην αστική κινητικότητα των πόλεων στην συγκεκριμένη κατηγορία τεκμηριώνεται από την εφαρμογή πειραματικών ελέγχων με βάση το πρότυπο Solomon σε διάφορα περιβάλλοντα αστικών ζωνών όπου το αποτελέσματα δείχνουν πως ο αλγόριθμος κατάφερε να πετύχει 0% απόκλιση από τη βέλτιστη λύση. Ακόμα και σε πιο σύνθετα σενάρια περιβάλλοντα η απόκλιση διατηρείται εξαιρετικά χαμηλά(1.15%-4.65%)[52] εξασφαλίζοντας έτσι με αυτό τον τρόπο ότι δεν διανύονται περιττά χιλιόμετρα από τα λεωφορεία και το πλήθος αυτών είναι μικρότερο συμβάλλοντας έτσι στην αποσυμφόρηση του οδικού δικτύου στις ώρες αιχμής.

Για την πρακτική επαλήθευση του παραπάνω συστήματος και την αξιολόγηση της απόδοσης του Υβριδικού Γενετικού Αλγορίθμου στο πλαίσιο της πτυχιακής υλοποιείται μια ένα περιβάλλον προσομοίωσης με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού python. Συνεπώς σκοπός της προσομοίωσης αποτελεί η ανάδειξη της ανωτερότητας του προτεινόμενου συστήματος σε σύγκριση με τη τυπική και συμβατική μέθοδο δρομολόγησης η οποία λειτουργεί με τον απλό τρόπο εξυπηρέτησης πρώτα του κοντινότερου εργαζομένου. Το σενάριο του περιβάλλοντος αφορά την μεταφορά των εργαζομένων ενός εργοστασίου από τα σπίτια τους σε εκείνο κατά τις πρωινές ώρες(από τις 6 το πρωί έως 10 το πρωί). Για την προσομοίωση του αστικού περιβάλλοντος υιοθετήθηκε ένα δισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων ορισμένο σε ένα πλέγμα διαστάσεων 100*100 μονάδων. Πάνω στον χάρτη ορίζονται 15 σημεία παραλαβής όπου από το κάθε ένα παραλαμβάνεται και από ένας επιβάτης. Για την υλοποίηση των επιβατών γίνεται η δημιουργία της κλάσης Customer η οποία δέχεται ως ορίσματα τις συντεταγμένες (x,y) του εργαζόμενου πάνω στο χάρτη, οι οποίες είναι τυχαίες, καθώς και το id του. Για κάθε εργαζόμενο επίσης έχει τεθεί ένα αυστηρό χρονικό πλαίσιο για το οποίο μπορεί να περιμένει το πολύ 15 λεπτά για την προσέλευση του βαν και την συνέχιση της διαδρομής του. Ορίζεται επίσης πως έχει τεθεί ένα ανώτατο χρονικό όριο το οποίο είναι 45 λεπτά(max_ride_time = 45) το οποίο δεν πρέπει να ξεπεραστεί, και σχετίζεται με τα λεπτά που είναι ο κάθε επιβάτης στο όχημα, δηλαδή η διαδρομή ενός επιβάτη από το σημείο παραλαβής μέχρι το εργοστάσιο δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 45 λεπτά. Η χωρητικότητα επίσης των βαν ανέρχεται στα 5 άτομα(capacity = 5). Έχει οριστεί επίσης μια σταθερή μέση ταχύτητα των βαν που είναι 1.5 μονάδες το λεπτό(speed_factor = 1.5) για την κατάλληλη προσομοίωση συνθηκών αστικής ροής. Παρακάτω ακολουθεί ένα κομμάτι του κώδικα δημιουργίας της κλάσης Customer.

Μέρος Α Κώδικα

```
class Customer:
```

```

def __init__(self, id, x, y, demand=1):
    self.id = id
    self.x = x
    self.y = y
    self.demand = demand #η θέση που πιανει στο λεωφορειο
    # Παράθυρο παραλαβής 15 λεπτών
    window_start = random.randint(MIN_TIME_MINUTES, MAX_TIME_MINUTES -
60) #με γνωμονα ότι τα βαν πρέπει να είναι στο εργοστάσιο μεχρι τις 10
    self.early = window_start #προσωρινες μεταβλητες
    self.late = window_start + 15

```

Η παράμετρος `demand` ορίζεται εξ ορισμού σε 1, υποδηλώνοντας ότι κάθε εργαζόμενος καταλαμβάνει μία θέση στο όχημα, το `x,y` είναι οι αντίστοιχες συντεταγμένες πάνω στο χάρτη ενώ `id` είναι ο μοναδικός αριθμός για την αναγνώριση του κάθε εργαζομένου. Η μεταβλητή `window_start` επιλέγεται τυχαία εντός του επιτρεπτού ωραρίου της βάρδιας (αφαιρώντας 60 λεπτά από το τέλος της βάρδιας για να διασφαλιστεί ότι υπάρχει επαρκής χρόνος για την ολοκλήρωση του δρομολογίου). Η μεταβλητή `self.early` ορίζει το νωρίτερο χρονικό σημείο που ο εργαζόμενος μπορεί να βρίσκεται στη στάση, ενώ η μεταβλητή `self.late` ορίζεται ως `window_start+15`, υλοποιώντας τον περιορισμό που αναφέρθηκε παραπάνω, ότι δηλαδή το όχημα έχει περιθώριο μόλις 15 λεπτών από την άφιξη του εργαζομένου στη στάση για να τον παραλάβει, αλλιώς θεωρείται καθυστέρηση. Αφού ορίστηκαν τα χαρακτηριστικά των εργαζομένων, το επόμενο κρίσιμο στάδιο της υλοποίησης αφορά τον μηχανισμό αξιολόγησης των δρομολογίων. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε η συνάρτηση `evaluate_solution`, η οποία αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος, καθώς ελέγχει την εγκυρότητα κάθε λύσης και υπολογίζει το συνολικό της κόστος-fitness. Η αξιολόγηση βασίζεται σε 3 κύριους άξονες οι οποίοι είναι: ότι δεν μπορεί το τρέχον βαν να δεχτεί πάνω από 5 επιβάτες, δεν πρέπει να καθυστερήσει πάνω από 15 λεπτά για την άφιξη στο σημείο παραλαβής και ο χρόνος παραμονής του κάθε επιβάτη στο όχημα, από την επιβίβαση έως την άφιξη στο εργοστάσιο, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 45 λεπτά. Στην περίπτωση που οποιοσδήποτε από τους παραπάνω περιορισμούς παραβιαστεί κατά την προσθήκη ενός νέου επιβάτη, το σύστημα κλείνει το τρέχον δρομολόγιο, επιστρέφει το όχημα στο εργοστάσιο και δρομολογεί νέο όχημα. Πριν την οριστική προσθήκη ενός επιβάτη, ο αλγόριθμος εκτελεί έναν προληπτικό έλεγχο επίσης, υπολογίζοντας αν η προσθήκη αυτή θα προκαλέσει καθυστέρηση πέραν των 45 λεπτών, είτε στον νέο επιβάτη είτε στους ήδη υπάρχοντες. Τέλος η συνολική βαθμολογία(Fitness) της λύσης υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\text{Fitness} = (\text{Vehicles} \times 5000) + \text{Total_Distance}$$

Το 5000 λειτουργεί ως συντελεστής βαρύτητας, διασφαλίζοντας ότι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων αποτελεί την πρωταρχική προτεραιότητα του αλγορίθμου, ενώ η ελαχιστοποίηση της απόστασης ακολουθεί ως δευτερεύων στόχος. Προτιμήθηκε η επιλογή των βαρών για τον υπολογισμό του fitness αντί του Pareto Ranking για να μην αυξηθεί η πολυπλοκότητα του κώδικα.

Μετά τον καθορισμό της συνάρτησης αξιολόγησης, υλοποιήθηκε η κυρίως διαδικασία του Υβριδικού Γενετικού Αλγορίθμου μέσω της συνάρτησης `solve_hga`. Η διαδικασία ξεκινά με τη δημιουργία ενός αρχικού πληθυσμού λύσεων. Αν και στη βιβλιογραφία προτείνεται η χρήση ευριστικών μεθόδων όπως η PFH, στην παρούσα υλοποίηση επιλέχθηκε η τυχαία αρχικοποίηση ή αγγλιστί Random Initialization) για λόγους υπολογιστικής απλότητας και διασφάλισης ποικιλομορφίας στο γενετικό υλικό. Ο αλγόριθμος εκτελείται για προκαθορισμένο αριθμό γενεών (GENERATIONS = 300). Σε κάθε γενιά, οι λύσεις αξιολογούνται και ταξινομούνται. Οι βέλτιστες λύσεις επιλέγονται ως «γονείς» και παράγουν

απογόνους μέσω των διαδικασιών της διασταύρωσης(Crossover) και της μετάλλαξης(Mutation). Το χαρακτηριστικό που καθιστά τον αλγόριθμο «Υβριδικό» είναι η ενσωμάτωση μιας διαδικασίας Τοπικής Αναζήτησης(Local Search). Συγκεκριμένα, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, κάθε 20 γενιές, εφαρμόζεται στους απογόνους μια διαδικασία ανταλλαγής γειτονικών κόμβων, η οποία στοχεύει στη βελτιστοποίηση της διαδρομής. Παρακάτω παρατίθεται το κομμάτι του κώδικα που υλοποιεί ένα μέρος του γενετικού αλγορίθμου.

Μέρος Β Κώδικα

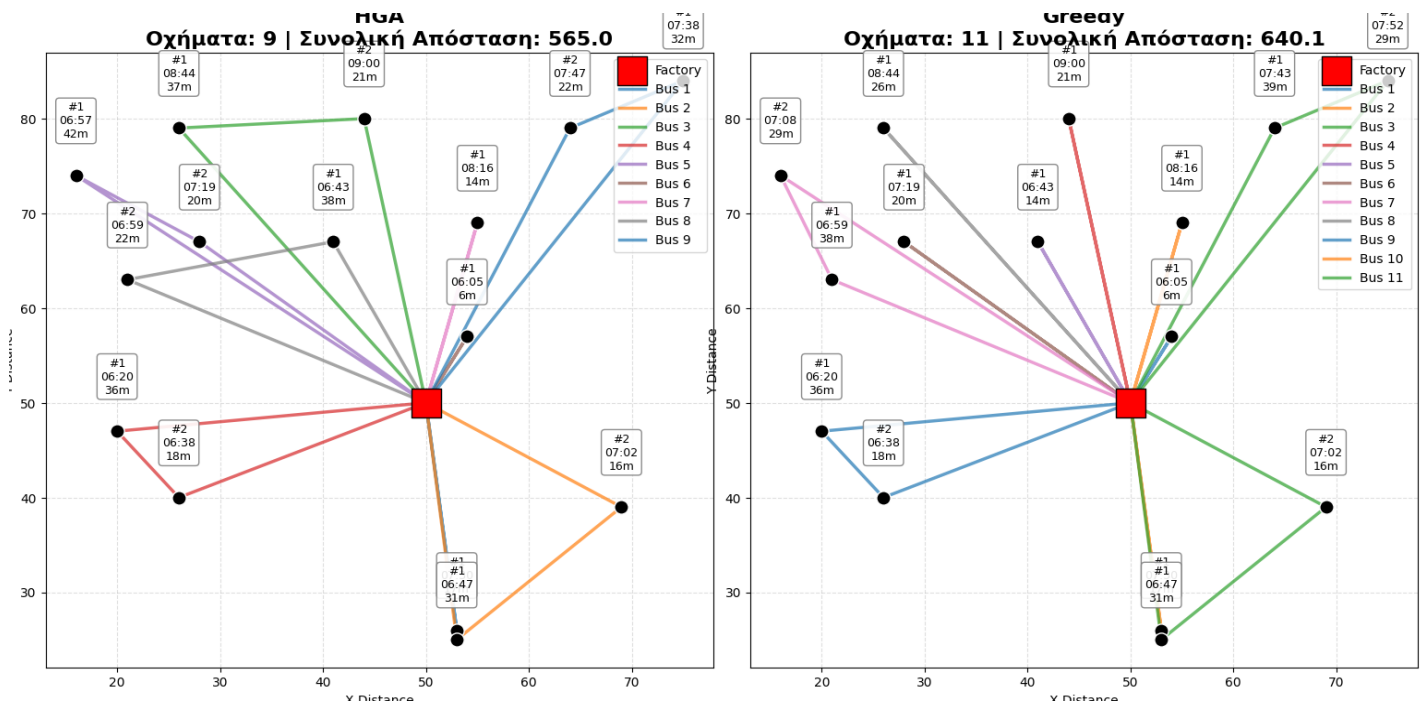
```
# Επιλογή & Εξέλιξη
scored_pop.sort(key=lambda x: x[1]) #ταξινόμηση κοιτοντας τον βαθμο,
λυσεις με μικροτερο κοστος πανε στη κορυφη
top_solutions = [x[0] for x in scored_pop[:int(POPULATION_SIZE/2)]]
#κραταμε το καλυτερο μισο του πληθυσμου
new_pop = top_solutions[:] #επομενη γενια

while len(new_pop) < POPULATION_SIZE:
    p1 = random.choice(top_solutions) #2 λυσεις γονεις
    p2 = random.choice(top_solutions)
    # Crossover
    cut = random.randint(0, len(p1)-1)
    child = p1[:cut] + [x for x in p2 if x not in p1[:cut]]
    # Mutation
    if random.random() < MUTATION_RATE:
        i1, i2 = random.sample(range(len(child)), 2)
        child[i1], child[i2] = child[i2], child[i1]

    # Hybrid Step (κάθε 20 γενιές για ταχύτητα)
    if gen % 20 == 0:
        child = local_search(child, depot)
        new_pop.append(child)
    population = new_pop
```

Στο συγκεκριμένο τμήμα του αλγορίθμου, αρχικά πραγματοποιείται η ταξινόμηση των λύσεων βάσει του κόστους-fitness τους και κρατάμε το «καλύτερο» 50% αυτού. Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η διαδικασία αναπαραγωγής έως ότου συμπληρωθεί το μέγεθος του πληθυσμού. Επιλέγονται τυχαία δύο γονείς από τις βέλτιστες λύσεις και εφαρμόζεται η διαδικασία της διασταύρωσης ή αγγλιστί crossover ενός σημείου, με μέριμνα ώστε να μην υπάρχουν διπλότυποι κόμβοι στη διαδρομή. Έπειτα γίνεται η διαδικασία της μετάλλαξης ή αγγλιστί mutation, όπου με πιθανότητα 0.25, όπως έχει οριστεί προηγουμένως, αλλάζουν τυχαία δύο σημεία της διαδρομής. Τέλος, κάθε 20 γενιές ενεργοποιείται η συνάρτηση local_search στον παραγόμενο απόγονο, βελτιστοποιώντας τοπικά τη λύση πριν αυτή ενταχθεί στον νέο πληθυσμό.

Τέλος υλοποιείται και η συνάρτηση solve_greedy. Η συνάρτηση αυτή λειτουργεί με απλοϊκό τρόπο καθώς επιλέγει πάντα τον πλησιέστερο γεωγραφικά πελάτη. Το περιβάλλον λοιπόν συγκρίνει την λειτουργία και την αποτελεσματικότητα των 2 αυτών συναρτήσεων. Παρατίθενται οι εικόνες που δείχνουν την λειτουργία των 2 συναρτήσεων με ακριβώς ίδια δεδομένα:



Εικόνα 6: Προσομοίωση Διαδρομών

Παρατηρώντας την εικόνα 6 διακρίνεται η υπεροχή της μεθόδου που χρησιμοποιεί τον γενετικό αλγόριθμο. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος HGA κατάφερε να εξυπηρετήσει το σύνολο των 15 εργαζομένων χρησιμοποιώντας μόλις 9 οχήματα, σε αντίθεση με τον αλγόριθμο Greedy που απαίτησε τη δρομολόγηση 11 οχημάτων. Η μείωση αυτή του στόλου κατά 2 οχήματα μεταφράζεται σε άμεση και σημαντική εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους για την επιχείρηση καθώς και στην πιθανή ελάττωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης λόγω της χρήσης λιγότερων οχημάτων τα οποία καταλαμβάνουν χώρο στους δρόμους. Η συνολική απόσταση επίσης που διένυσαν τα οχήματα με τη μέθοδο HGA περιορίστηκε στις 565.0 μονάδες, έναντι 640.1 μονάδων της μεθόδου Greedy, κάτι το οποίο αποτελεί ένα θετικό δείκτη για την πιθανή μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης καθώς και την ελάττωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στο περιβάλλον με την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Τέλος, κρίσιμης σημασίας είναι η τήρηση των ποιοτικών περιορισμών που έχουν τεθεί. Όπως φαίνεται στο δεξί τμήμα της Εικόνας 6, η μέθοδος Greedy, στην προσπάθειά της να ελαχιστοποιήσει τοπικά την απόσταση, οδήγησε σε παραβίαση του χρονικού ορίου για τουλάχιστον έναν επιβάτη (ένδειξη με κόκκινο χρώμα), υπερβαίνοντας το ανώτατο όριο των 45 λεπτών παραμονής στο όχημα. Αντιθέτως, ο αλγόριθμος HGA πέτυχε μια λύση απόλυτα συμβατή με τους αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς, διασφαλίζοντας την ικανοποίηση των εργαζομένων και την έγκαιρη προσέλευσή τους στην εργασία.

Κλείνοντας, είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι η παρούσα μελέτη και τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν προέκυψαν σε περιβάλλον προσομοίωσης. Τα αριθμητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν όπως το πλήθος των 15 εργαζομένων, το καρτεσιανό επίπεδο ως χάρτης και οι συντεταγμένες είναι ενδεικτικά και επιλέχθηκαν με σκοπό την πειραματική επαλήθευση της λογικής και της απόδοσης του αλγορίθμου σε ελεγχόμενες συνθήκες. Παρόλα αυτά, η δομή και η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος παραμένουν γενικεύσιμες, γεγονός που σημαίνει ότι η μεθοδολογία μπορεί να κλιμακωθεί και να εφαρμοστεί

αποτελεσματικά και σε σενάρια πραγματικής κλίμακας με σημαντικά μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και πιο σύνθετες κυκλοφοριακές απαιτήσεις.

Το σύνολο της κώδικα είναι διαθέσιμο στο παρακάτω σύνδεσμο μέσω του github με όνομα genetic_algorithm.py:

<https://github.com/spachito/Thesis.git>

Κλείνοντας την ανάλυση της κατηγορίας αυτής είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι προηγμένες τεχνολογικές προτάσεις που προτάθηκαν λειτουργούν συμπληρωματικά των θεμελιωδών υποδομών των μέσων μαζικής μεταφοράς της κάθε πόλης. Δεδομένης της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας των πόλεων αυτών, οι οποίες συχνά εκτείνονται σε τεράστιες εκτάσεις γύρω από θαλάσσιες ζώνες με λιμάνια και βιομηχανικά πάρκα, η ύπαρξη ενός ισχυρού και εκτεταμένου δικτύου μέσων μαζικής μεταφοράς αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή των αναφερόμενων μέτρων για την επίτευξη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.

5.1.5 Στρατηγικές για Knowledge Capitals

Στην συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσονται πόλεις οι οποίες λειτουργούν ως παγκόσμιοι κόμβοι καινοτομίας οι οποίες «φιλοξενούν» μία πληθώρα κορυφαίων πανεπιστημιακών ιδρυμάτων, σύγχρονων ερευνητικών κέντρων και νέων καινοτόμων επιχειρήσεων. Παραδείγματα πόλων αποτελούν η Ζυρίχη και η Στοκχόλμη οι οποίες διακρίνονται για το υψηλότερο μορφωτικό επίπεδο του ενεργού ανθρώπινου δυναμικού τους και την έντονη παρουσία κέντρων καινοτομίας και έρευνας. Ένα εξίσου ενδιαφέρον χαρακτηριστικό των πόλεων αυτό αποτελεί το γεγονός πως το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού τους, σύμφωνα με την Eurostat, είναι τεχνολογικά ενημερωμένο και ανταποκρίνεται άρτια στην χρήση και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών σε διάφορα κομμάτια της καθημερινότητας τους, όπως και στην κινητικότητα. Αυτό συμβάλλει στην συνεχή υιοθέτηση των κατοίκων των εν λόγω πόλεων, νέων τεχνολογιών κινητικότητας. Σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των πόλεων όσο αφορά την κινητικότητα αποτελεί τα αυξημένα ποσοστά χρήσης λύσεων μικρο-κινητικότητας και ενεργής κινητικότητας για τις καθημερινές τους μετακινήσεις. Αυτό διαπιστώθηκε και από την ανάλυση της ενότητας 4.4 όπου στο Ελσίνκι το 46% των μετακινήσεων στα πλαίσια της πόλης γίνεται με τα πόδια ενώ και στην Κοπεγχάγη το 24% των μετακινήσεων γίνεται με το ποδήλατο .

Συνεπώς μία από τις κύριες προκλήσεις των πόλεων αυτών προκύπτει στην μετακίνηση των κατοίκων από το αστικό κέντρο των πόλεων στα πανεπιστήμια, χώρους εργασίας-έρευνας τα οποία βρίσκονται στα προάστια λόγω του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνουν και δεν εξυπηρετούνται επαρκώς από τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Ενδεικτικά στην πόλη της Βοστώνης σύμφωνα με την έκθεση του Boston Region Metropolitan Planning Organization(MPO)(<https://www.ctps.org/>), περίπου το 15.4% όλων των μετακινήσεων στην περιοχή γίνονται από το κέντρο προς τα προάστια και τα ερευνητικά και πανεπιστημιακά κέντρα που βρίσκονται εκεί . Παράλληλα, αναφέρεται ρητά στην έκθεση ότι ελάχιστες από αυτές τις μετακινήσεις εξυπηρετούνται από τη δημόσια συγκοινωνία, καθώς το δίκτυο είναι σχεδιασμένο για να φέρνει κόσμο στο κέντρο και όχι το αντίστροφο . Συνεπώς οι κάτοικοι οι οποίοι επιθυμούν να μετακινηθούν στα προάστια και στους χώρους εργασίας τους στρέφονται όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στην χρήση της μικρο-κινητικότητας και ενεργής κινητικότητας για την μετάβαση από την οικεία τους στον κοντινότερο σταθμό μέσω μαζικής μεταφοράς. Ενδεικτικά στην πόλη του Όστιν στο Τέξας της Αμερικής σύμφωνα με την επίσημη έρευνα του Austin Transportation Department (<https://www.austintexas.gov/department/transportation-public-works>), το 43% των χρηστών διαμοιραζόμενων ηλεκτρονικών πατινιών δήλωσαν ότι χρησιμοποίησαν το μέσο για να συνδεθούν με τη δημόσια συγκοινωνία. Παρακάτω παρατίθενται λοιπόν τα προτεινόμενα μέτρα και στρατηγικές για την ενίσχυση της Βιώσιμης Αστικής

Κινητικότητα στις πόλεις αυτές:

- Η κύρια μετακίνηση των κατοίκων των πόλεων της κατηγορίας πραγματοποιείται από και προς τους χώρους των πανεπιστημίων, τα ερευνητικά κέντρα και σύγχρονα επιστημονικά κέντρα. Αναλογίζοντας το γεγονός πως οι χώροι αυτοί έχουν ιδιαίτερα μεγάλη έκταση καθώς και είναι τοποθετημένοι στα προάστια της κάθε πόλης προκύπτουν προβλήματα κινητικότητας. Ενδεικτικά στην πόλη της Στοκχόλμης παραδείγματος χάριν υπάρχει το Kista Science City, ένα από τα μεγαλύτερα πανεπιστημιακά, ερευνητικά και τεχνολογικά κέντρα της χώρας το οποίο φιλοξενεί πάνω από χίλιες εταιρίες τεχνολογίας και εφτά χιλιάδες φοιτητές. Το Kista Science City βρίσκεται 12 χιλιόμετρα βορειοδυτικά του κέντρου της Στοκχόλμης και διαθέτει έκταση δύο χιλιάδων στρεμμάτων[92]. Τα προβλήματα συνεπώς στο πλαίσιο αυτό αφορούν την μετακίνηση των πολιτών στο πανεπιστημιακό-εργασιακό χώρο, λόγω χάρη η μετάβαση από τον χώρο των εργαστηρίων στην βιβλιοθήκη καθώς και επίσης η μετακίνηση προς τους διαθέσιμους σταθμούς των μέσων μαζικής μεταφοράς. Για τον λόγο αυτό στην συγκεκριμένη πτυχιακή προτείνεται στο πλαίσιο αυτό η εφαρμογή προτύπων αυτόνομης οδήγησης για την μετακίνηση. Μια τέτοια καινοτομία παρουσιάζει ορισμένες όμως μοναδικές προκλήσεις σε σύγκριση με τους τυπικούς δρόμους στα αστικά κέντρα. Αυτό οφείλεται όπως επισημαίνεται στην βιβλιογραφία[54] στην ιδιαίτερη χωροταξική «φύση» των campus, τα οποία διαθέτουν αρκετά στενούς δρόμους, με ασαφείς και ακανόνιστες λωρίδες κυκλοφορίας και πλήθος πιθανών εμποδίων. Επιπλέον η συμπεριφορά των πεζών και των ποδηλάτων είναι ιδιαίτερα απρόβλεπτη και δεν ακολουθεί αυστηρά τους κανόνες της οδικής κυκλοφορίας καθιστώντας έτσι πιο απαιτητική την εφαρμογή του προτεινόμενου μέτρου. Επομένως για την ασφαλή πλοήγηση και λειτουργία των αυτόνομων shuttles που θα συνδέουν τα κτίρια του campus με τους σταθμούς των μέσων μαζικής μεταφοράς, προτείνεται η χρήση του αλγορίθμου HD Map guided Rapidly exploring Random Tree(HDM-RRT)[54]. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος σχεδιάστηκε ειδικά για τις απαιτήσεις τέτοιων οικοσυστημάτων και λειτουργεί συνδυάζοντας χάρτες υψηλής ευκρίνειας με μεθόδους δειγματοληψίας. Η καινοτομία της πρότασης αυτής βασίζεται σε 3 κεντρικούς πυλώνες που περιγράφονται παρακάτω:

1. Η αρχική προσέγγιση της προτεινόμενης καινοτομίας στοχεύει στην δημιουργία ενός Χάρτη Κινδύνου Σύγκρουσης ή αγγλιστί Collision Risk Map(CR Map), ο οποίος λειτουργεί ως ένα δυναμικό πλέγμα στο οδικό δίκτυο[54]. Σε αντίθεση με τις πιο συμβατικές μεθόδους αντιμετωπίζουν τα εμπόδια ως τελείως απροσπέλαστες-απαγορευμένες «ζώνες» το CR-Map ποσοτικοποιεί τον ενδεχόμενο κίνδυνο σε σε μία κλίμακα από 0 έως 10, όπου 0 υποδηλώνει ασφαλή διέλευση και 10 υποδηλώνει μη διαθέσιμη-απροσπέλαστη διαδρομή.

Η κατασκευή του CR-Map βασίζεται παράλληλα στην θεωρία των Artificial Potential Fields, σύμφωνα με την οποία κάθε εμπόδιο που ανιχνεύεται μέσω των αισθητήρων, κάμερών του οχήματος παράγει ένα απωθητικό πεδίο δυναμικού (repulsive potential field). Η ένταση αυτού του πεδίου δεν είναι σταθερή, αλλά υπολογίζεται δυναμικά με βάση τον εξής τύπο[54]:

$$U_{rep} = \begin{cases} \frac{\rho}{2} \left(\frac{1}{d(q, q_{obs})} - \frac{1}{Q^*} \right)^2, & \text{αν } d(q, q_{obs}) \leq Q^* \\ 0, & \text{αν } d(q, q_{obs}) > Q^* \end{cases}$$

Στον τύπο αυτό το $d(q, q_{obs})$ είναι η Ευκλείδεια απόσταση του οχήματος από το εμπόδιο. Το Q^* αποτελεί την ακτίνα επιρροής (influence distance) του εμποδίου, πέραν αυτής της απόστασης θεωρείται ότι το εμπόδιο δεν αποτελεί άμεση απειλή και ο κίνδυνος μηδενίζεται. Το ρ είναι ο τελεστής κλιμάκωσης ο οποίος καθορίζει την ένταση της αποφυγής, έχει να κάνει με την φύση του εμποδίου δηλαδή αν το εμπόδιο είναι ένας άνθρωπος το ρ θα είναι υψηλότερο σε σχέση με ένα θάμνο[54].

2. Δεδομένου ότι ο χώρος κίνησης του αυτόνομου οχήματος είναι συνεχής και μεγάλων διαστάσεων, ο αλγόριθμος πλοήγησης χρειάζεται να επιλέξει συγκεκριμένα σημεία ως δείγματα-samples στον χάρτη για να σχεδιάσει τη διαδρομή βήμα-βήμα. Η διαδικασία επιλογής αυτών των σημείων γίνεται μέσω δειγματοληψίας η οποία είναι καθοριστική για την ταχύτητα του συστήματος. Σε αντίθεση με τους κλασικούς αλγορίθμους δειγματοληψίας που εξερευνούν άσκοπα ολόκληρο τον χώρο διαμόρφωσης ή αγγλιστί Configuration Space, η παρούσα πρόταση υιοθετεί τη μέθοδο CR_GaussianSampling. Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιεί απλώς μια Γκαουσιανή κατανομή, αλλά συνδυάζει δυναμικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου με τον Χάρτη Κινδύνου για να κατευθύνει την αναζήτηση αποκλειστικά στις Περιοχές Ενδιαφέροντος (AOI)[54]. Η διαδικασία αυτή ακολουθεί τα εξής βήματα. Αρχικά ως μέση τιμή(μ) της κατανομής ορίζεται ένα τυχαίο σημείο πάνω στο πάνω στην κεντρική γραμμή της λωρίδας κυκλοφορίας του οχήματος, η οποία ορίζεται από το HD-Map. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Box-Muller για την παραγωγή τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την κανονική κατανομή καθορίζοντας έτσι την ακτίνα(Radius) και τη γωνία(θ) του υποψήφιου σημείου δειγματοληψίας γύρω από το σημείο αναφοράς. Το κρισιμότερο βήμα αποτελεί η αξιολόγηση του παραγόμενου σημείου μέσω του CR-Map. Το σημείο προβάλλεται στον χάρτη κινδύνου και γίνεται αποδεκτό μόνο εάν η τιμή κινδύνου(CR-coefficient) του είναι μικρότερη από μια τυχαία τιμή αναφοράς. Αυτό διασφαλίζει ότι η πυκνότητα των δειγμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη του κινδύνου[54].
3. Για την ταχύτερη σύγκλιση και την εξομάλυνση της τροχιάς, δηλαδή για τον κατάλληλο σχεδιασμό μιας τροχιάς κίνησης του αυτόνομου οχήματος που να είναι ομαλή τόσο για τους επιβάτες όσο και για το όχημα, ο προτεινόμενος αλγόριθμος για αυτή τη διαδικασία εφαρμόζει μια διαδικασία βελτιστοποίησης δύο σταδίων. Ως πρώτο στάδιο ορίζεται η Επιλογή Βέλτιστου «Γονέα». Κατά την προσθήκη ενός νέου κόμβου δεν επιλέγεται ο πλησιέστερος ευκλείδειος «γείτονας» του, αλλά εκείνος που ελαχιστοποιεί το συνδυαστικό κόστος απόστασης και ρίσκου. Για την επιλογή του βέλτιστου γονικού κόμβου, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη σταθμισμένη συνάρτηση κόστους[54]:

$$newcost_n(x1, x2) = \delta_{cr} * CR_cost(x1, x2) + \delta_l * length(x1, x2)$$

Εδώ το $CR_cost(x1, x2)$ αντιπροσωπεύει τον συντελεστή κινδύνου της διαδρομής από το σημείο $x1$ στο $x2$ με βάση το CR Map. Το $length(x1, x2)$ είναι η απόσταση της διαδρομής και τα δ_{cr} δ_l είναι τα βάρη(weights)που αποδίδονται στον κίνδυνο σύγκρουσης και στο μήκος της διαδρομής αντίστοιχα. Στη συνέχεια ελέγχεται αναδρομικά αν ο νέος κόμβος μπορεί να συνδεθεί απευθείας με προγενέστερους κόμβους(«προγόνους»), παρακάμπτοντας τον άμεσο «γονέα». Εφόσον η απευθείας σύνδεση είναι ασφαλής και έχει μικρότερο κόστος, οι ενδιάμεσοι κόμβοι αφαιρούνται από την διαδρομή.

Πειραματικά δεδομένα από αυτόνομα οχήματα στην πανεπιστημιούπολη του Wuhan University στην Κίνα έδειξαν ότι ο αλγόριθμος HDM-RRT μπορεί να υπολογίσει μια ασφαλή διαδρομή σε μόλις 15.98 χιλιοστά του δευτερολέπτου(ms)[54], καθιστώντας τον πολύ πιο γρήγορο από συμβατικές μεθόδους. Συνοψίζοντας, η υιοθέτηση του αλγορίθμου HDM-RRT μετασχηματίζει την αυτόνομη κινητικότητα από μια θεωρητική δυνατότητα σε μια βιώσιμη, ασφαλή και λειτουργική λύση για τα πολύπλοκα περιβάλλοντα των Knowledge Capitals.

- Στις πόλεις της κατηγορίας αυτής η χρήση λύσεων μικρο-κινητικότητας για την μετακίνηση στα πλαίσια των πόλεων αποτελεί μία πλέον ιδιαίτερα βιώσιμη και δημοφιλής λύση αστικής κινητικότητας. Σύμφωνα με άρθρο της NACTO(National

Association of City Transportation Officials)(<https://nacto.org/>) οι διαδρομές που πραγματοποιήθηκαν με επιλογές μικρο-κινητικότητας αυξήθηκαν σε πόλεις της Αμερικής και του Καναδά κατά 20% σε σχέση με το 2022. Παράλληλα μια σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός της άρρηκτης σύνδεσης των λύσεων μικρο-κινητικότητας με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Οι λύσεις αυτές λειτουργούν ως συμπληρωματικές μέθοδοι μετακίνησης, πράγμα που σημαίνει πως οι φοιτητές, ερευνητές και επαγγελματίες όταν αποβιβάζονται από μετρό/λεωφορεία αναζητούν άμεσα πατίνια/ποδήλατα για να φτάσουν στο Campus, χώρο εργασίας[93]. Τα συμβατικά μοντέλα πρόβλεψης αποτυγχάνουν να προβλέψουν αυτές τις απότομες αιχμές ζήτησης διότι αγνοούν την επιρροή των αφίξεων των μέσων μαζικής μεταφοράς, οδηγώντας σε έλλειψη οχημάτων μικρο-κινητικότητας στους προκαθορισμένους σταθμούς[93]. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, προτείνεται η ανάπτυξη ενός μοντέλου με την ονομασία Multi-Channel Spatio-Temporal Graph Convolutional Network(MC-STGCN)[55]. Η καινοτομία της πρότασης αυτή έγκειται στην χρήση 2 διαφορετικών καναλιών όπου το 1^ο κανάλι είναι το Micromobility Chanel το οποίο περιέχει ιστορικά δεδομένα-στατιστικά σχετικά με την χρήση των μέσων μικρο-κινητικότητας και το 2^ο κανάλι είναι το Public Transport Channel το οποίο εμπεριέχει δεδομένα ρών επιβατών από τα μέσα μαζικής μεταφοράς και προσέλευση των μέσων αυτών σε πραγματικό χρόνο[55]. Η μέθοδος αυτή συνδυάζει τα 2 αυτά κανάλια για την εξαγωγή πιο αποτελεσματικών συμπερασμάτων. Ακολουθεί μια πιο αναλυτική παρουσίαση της εν λόγω τεχνολογίας:

1. Σε αντίθεση με τα απλά grid maps εδώ η εκάστοτε πόλη μοντελοποιείται ως ένας γράφος όπου $G = (V, E)$, όπου V είναι οι σταθμοί στάθμευσης. Οι σχέσεις μεταξύ των σταθμών(Ακμές E) ορίζονται από τρεις διαφορετικούς Πίνακες Γειννίαςης ή αγγλιστί Adjacency Matrices που λειτουργούν παράλληλα. Οι πίνακες αυτοί είναι:
 - i. A_{prox} , βασίζεται στην γεωγραφική απόσταση μεταξύ των σταθμών στάθμευσης.
 - ii. A_{corr} , συνδέει σταθμούς που εμφανίζουν παρόμοια μοτίβα ζήτησης, ακόμα κι αν είναι μακριά σε θέμα απόστασης.
 - iii. A_{feeder} , αυτός ο πίνακας ποσοτικοποιεί τη σχέση εξάρτησης μεταξύ μιας στάσης μέσων μαζικής μεταφοράς και ενός σταθμού πατινιών. Αν μια στάση λόγου χάρη, λεωφορείου «τροφοδοτεί» συστηματικά έναν σταθμό πατινιών, η ακμή μεταξύ τους ενισχύεται[55].
2. Εν συνεχεία γίνεται η διαμόρφωση της δομής του νευρωνικού δικτύου. Το Το μοντέλο αποτελείται από διαδοχικά ST Blocks, τα οποία εκτελούν διπλή επεξεργασία:
 - i. Υλοποίηση Graph Convolutional Network για την διάδοση της πληροφορίας ζήτησης στο δίκτυο με βάση τον τύπο:

$$H_0 = \sigma(L \times X_e \times W_0 + b_0), (1)$$

$$L = D - A, (2)$$

Το A συμβολίζει τους πίνακες γειννίαςης που προαναφέρθηκαν και το D συμβολίζει τη συνολική «συνδεσιμότητα» ή τη βαρύτητα του κάθε σταθμού εντός του δικτύου[55]. Το L αποτελεί τον πίνακα Laplacian του γράφου, το X_e συμβολίζει τα δεδομένα εισόδου, το W_0 είναι τα «βάρη» του δικτύου, το σ είναι η συνάρτηση ενεργοποίησης και το b_0 είναι το bias factor.

- ii. Υλοποίηση χρονικής μοντελοποίησης μέσω της χρήσης Gated TCNs με ενεργοποίηση GLU. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ταχεία εκμάθηση μακροχρόνιων εξαρτήσεων, προσφέροντας ανώτερη υπολογιστική απόδοση.

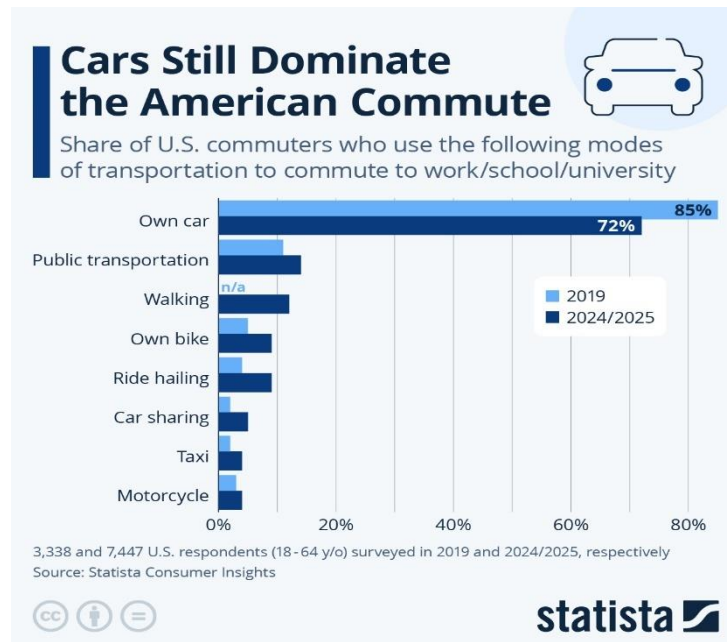
3. Για τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας του συστήματος, ενσωματώνεται ένας μηχανισμός Χρονικής Προσοχής ή αγγλιστί *temporal attention*, ο οποίος σταθμίζει δυναμικά τη σημασία κρίσιμων χρονικών στιγμών, όπως οι αφίξεις συρμών, φιλτράροντας τον θόρυβο των περιόδων χαμηλής ζήτησης[55].

Η εφαρμογή αυτού του συστήματος επιτρέπει την προληπτική ανακατανομή στόλου, ενώ ερευνητικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σημαντική μείωση των σφάλματων πρόβλεψης έναντι των συμβατικών μοντέλων. Περαιτέρω τεχνικές λεπτομέρειες σχετικά με την υλοποίηση του αλγορίθμου και τα πειραματικά αποτελέσματα είναι διαθέσιμα στη σχετική βιβλιογραφία[55], καθώς η εκτενής ανάλυσή τους υπερβαίνει των ορίων της παρούσας ενότητας

Συμπερασματικά λόγω του ιστορικού και άκαμπτου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πολεοδομικού ιστού των αστικών κέντρων των πόλεων της κατηγορίας οι λύσεις που προτείνονται δεν εστιάζουν στην επέκταση και αναδιαμόρφωση των υποδομών και των δρόμων τέτοιων ειδών πόλεων. Η λύση που προτείνεται είναι η βελτιστοποίηση των λύσεων αστικής μετακίνησης με την εισαγωγή των λύσεων που αναφέρθηκαν. Σαν τελικό μέτρο επίσης προτείνεται η δημιουργία ενός MaaS, το οποίο αναλύθηκε σε προηγούμενες κατηγορίες, συστήματος το οποίο θα λειτουργεί ως συνδεδετικός κρίκος των λύσεων που αναπτύχθηκαν προηγουμένως .

5.1.6 Στρατηγικές για American Middleweights

Οι πόλεις της κατηγορίας αυτής συνδέονται με το φαινόμενο της εκτεταμένης οικιστικής εξάπλωσης ή αγγλιστί *Urban Sprawl*, δηλαδή την εξάπλωση των ορίων της πόλης σε μεγάλες εκτάσεις δημιουργώντας έτσι περισσότερα προάστια που περιτριγυρίζουν το αστικό κέντρο. Αυτό το φαινόμενο διαπιστώθηκε και από την ανάλυση της ενότητας 4.4 η οποία φανέρωσε την ιδιαίτερα χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα των πόλεων Σακραμέντο και Σαρλότ της εν λόγω κατηγορίας(λαμβάνεται επίσης υπόψιν η μεγάλη έκταση των πόλεων αυτών, ενδεικτικά η ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή του Σαρλότ έχει έκταση που υπερβαίνει τα 7.800 τετραγωνικά χιλιόμετρα σύμφωνα με τη επίσημη σελίδα του κράτους https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/charlottecitynorthcarolina/PS_T045224)). Η κατάσταση αυτή οδηγεί στην δημιουργία περισσότερων αυτοκινητόδρομων και συμβάλει στην δημιουργία αρκετά μεγάλων αποστάσεων για τις μετακινήσεις των πολιτών από και προς τον χώρο εργασίας τους[57]. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον τα πιο συμβατικά δημόσια μέσα μεταφοράς όπως μετρό, λεωφορεία κρίνονται μη κατάλληλα για τις πόλεις αυτές καθώς καλύπτουν το αστικό κέντρο της πόλης και πιθανά δρομολόγια μεγάλης διάρκειας δεν είναι καθόλου αποδοτικά[57]. Αυτό αποδεικνύεται και από τα ποσοστά χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς των πόλεων Σακραμέντο και Σαρλότ όπου τα ποσοστά μετακίνησης με τέτοια μέσα δεν ξεπερνούν το 10% των συνολικών μετακινήσεων. Ως αποτέλεσμα λοιπόν, το αυτοκίνητο σε αυτές τις πόλεις αποτελεί την πιο βιώσιμη επιλογή για τις μετακινήσεις, συμβάλλοντας έτσι στην ενίσχυση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα πόλεων αυτής της κατηγορίας αποτελούν όπως προαναφέρθηκε το Ντένβερ, το Σαρλοτ, το Σακραμέντο. Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα κίολας αποδεικνύεται, όπως και στην ενότητα 4.4 με την ανάλυση των δεικτών, η μεγάλη εξάρτηση από το αυτοκίνητο στις μετακινήσεις στα πλαίσια των αμερικανικών πόλεων. Το διάγραμμα φανερώνει πως το έτος 2024/2025 το 72% των μετακινήσεων στις Αμερικανικές πόλεις από και προς την δουλεία, σχολείο, πανεπιστήμιο έγινε με αυτοκίνητο.



Εικόνα 7: Μέσα Μετακίνησης στις Αμερικανικές πόλεις

Συνεπώς, οι προτεινόμενες λύσεις για αυτή την κατηγορία δεν εστιάζουν στην κατασκευή νέων υποδομών μεταφοράς αλλά στα παρακάτω μέτρα που παρουσιάζονται:

- Η μεγαλύτερη πρόκληση σε αυτήν την κατηγορία πόλεων αποτελεί η μετακίνηση των κατοίκων από τα προάστια στους χώρους εργασίας τους. Για την σταδιακή απεξάρτηση από τα ιδιωτικά αυτοκίνητα προτείνεται η υλοποίηση ενός συστήματος, μοντέλου DRT (Demand Responsive Transport). Αυτό λειτουργεί ως μια ευέλικτη υπηρεσία κινητικότητας, στην οποία τα δρομολόγια των λεωφορείων προσαρμόζονται δυναμικά στην ζήτηση των πολιτών σε πραγματικό χρόνο [58]. Αυτό το σύστημα επιτρέπει την εξυπηρέτηση των περιοχών με χαμηλή ζήτηση που δεν διαθέτουν σταθμούς μετρό, την σταδιακή απεξάρτηση από το αυτοκίνητο και την αύξηση της αποδοτικότητας του στόλου των λεωφορείων. Η επιτυχία ενός συστήματος DRT εξαρτάται αποκλειστικά από την ικανότητά του να λαμβάνει άμεσες και βέλτιστες αποφάσεις δρομολόγησης [58]. Προκειμένου να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των χρόνων αναμονής και η βέλτιστη διαχείριση του στόλου, η υλοποίηση του συστήματος θα βασιστεί στην αλγοριθμική προσέγγιση, για την μετακίνηση των εργαζομένων κατά την αλλαγή της βάρδιας, που αναλύθηκε στην 4^η κατηγορία, Industrial Engines/Factory China. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα μοντελοποιείται ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Παράθυρα (VRPTW) και η επίλυσή του θα πραγματοποιηθεί μέσω του Υβριδικού Γενετικού Αλγορίθμου ή αγγλιστί Hybrid Genetic Algorithm [52]. Η μέθοδος αυτή, όπως περιεγράφηκε, εγγυάται την τήρηση των αυστηρών χρονικών περιορισμών ή αλλιώς time windows των επιβατών, βελτιστοποιώντας ταυτόχρονα τον αριθμό των οχημάτων που αξιοποιούνται και την απόσταση που διανύεται.
- Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η εφαρμογή του συστήματος DRT θα συμβάλλει στην ελάττωση της χρήσης των αυτοκινήτων αλλά όχι στον επιθυμητό βαθμό λόγω του ιδιαίτερου οικοσυστήματος των πόλεων αυτών. Για αυτό τον λόγο κύριος στόχος την δεδομένη χρονική στιγμή αποτελεί η μετάβαση από τα συμβατικά οχήματα στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα για την μείωση των παραγόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ένα κύριο πρόβλημα που προκύπτει σε αυτό το εγχείρημα αποτελεί η βέλτιστη χωροθέτηση-τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης. Στόχος αποτελεί η τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης σε στρατηγικά σημεία που θα εξυπηρετούν όσο το δυνατόν περισσότερους κατοίκους. Για τον σκοπό αυτό στην συγκεκριμένη πτυχιακή

προτείνεται η εφαρμογή ενός αλγορίθμου, τον Προσαρμοσμένο Αλγόριθμο K-Means ή αγγλιστί Custom K-Means Clustering Algorithm[59]. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή μέθοδο K-Means, η οποία βασίζεται αποκλειστικά στη γεωμετρική απόσταση, ο προτεινόμενος αλγόριθμος ενσωματώνει ποιοτικά χαρακτηριστικά της ζήτησης και εισάγει έναν καινοτόμο όρο με το όνομα «Όρο Ποινής» ή αγγλιστί Penalty Term[59]. Κύριος στόχος λοιπόν του αλγορίθμου είναι αφενός να ελαχιστοποιήσει την απόσταση μεταξύ των σταθμών στην έκταση της εκάστοτε πόλης και των περιοχών που παρουσιάζουν υψηλή ζήτηση για φόρτιση οχημάτων, και αφετέρου να αποτρέψει την τοποθέτηση σταθμών σε περιοχές με χαμηλή ζήτηση. Συνεπώς στον αλγόριθμο αυτό υπάρχουν δύο μηχανισμοί που κάνουν την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης πιο αποδοτική, ο πρώτος μηχανισμός στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε υποψήφιο σημείο στο χάρτη της εκάστοτε πόλης δεν αντιμετωπίζεται ισότιμα σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία. Σε κάθε σημείο στο χάρτη αποδίδεται ένα βάρος(weight) το οποίο είναι ανάλογο με την πυκνότητα των ηλεκτρικών οχημάτων της γύρω περιοχής. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως ο αλγόριθμος δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην δημιουργία σταθμών στις περιοχές που σημειώνουν και μεγαλύτερη ζήτηση. Παράλληλα ο 2^{ος} μηχανισμός έχει ως στόχο να αποτρέψει την δημιουργία σταθμών σε περιοχές όπου δεν υπάρχει επαρκής ζήτηση ή υπάρχει ήδη επαρκής αριθμός σταθμών εκεί[59]. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα αποτρέπει τη δημιουργία σταθμών οι οποίοι δεν χρειάζονται και εγγυάται ότι το τελικό δίκτυο θα είναι οικονομικά βιώσιμο και λειτουργικά αποδοτικό. Περαιτέρω πληροφορίες για την υλοποίηση του αλγορίθμου αυτού διατίθενται στην εν λόγω βιβλιογραφία[59].

- Τέλος, για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας του συστήματος DRT και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, είναι απαραίτητη η αντιμετώπιση του προβλήματος του «Πρώτου και Τελευταίου Μιλίου». Λόγω της χαμηλής πληθυσμιακής πυκνότητας και μεγάλων αποστάσεων ειδικά στα προάστια των πόλεων αυτών, η απόσταση από την οικία του χρήστη μέχρι τον πλησιέστερο κόμβο συγκοινωνίας είναι συχνά απαγορευτική για περπάτημα. Ως λύση προτείνεται η ενσωμάτωση υπηρεσιών Διαμοιραζόμενης Μικροκινητικότητας ή αγγλιστί Shared Micromobility με ηλεκτρικά πατίνια και ποδήλατα, τα οποία θα λειτουργούν ως μέσα μετακίνησης από και προς τους διάφορους σταθμούς των μέσω μεταφοράς. Η πρόταση αυτή αναλύθηκε στην κατηγορία των Knowledge Capital.

Συνοψίζοντας για την ανάπτυξη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στις πόλεις της κατηγορίας δεν αποτελεί λύση η πλήρη αναδιοργάνωση του πολεοδομικού ιστού της πόλης, κάτι τέτοιο είναι ασύμφορο και ουτοπικό. Για τον λόγο αυτόν προτείνονται οι 3 παραπάνω στρατηγικές οι οποίες οδηγούν στον ψηφιακό μετασχηματισμό των μεταφορών, μειώνοντας δραστικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα ζωής στα προάστια.

5.1.7 Στρατηγικές για International Middleweights

Η εν λόγω κατηγορία περιλαμβάνει αστικά κέντρα τα οποία έχουν παγκόσμια επιρροή στην διεθνή και εθνική οικονομία, χαρακτηρίζονται από υψηλό σχετικά βιοτικό επίπεδο, ανεπτυγμένες και σύγχρονες υποδομές και λειτουργούν ως διεθνής κόμβοι καινοτομίας και ανάπτυξης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το Βερολίνο, το Σίδνεϊ, το Τορόντο και η Μελβούρνη. Όπως αναδείχθηκε από τη συγκριτική ανάλυση των δεικτών στο Κεφάλαιο 4 (Πίνακας 8), οι πόλεις αυτές καλούνται να διαχειριστούν μια σύνθετη εξίσωση. Παρότι η πλειοψηφία τους διαθέτει εκτενή και σύγχρονα δίκτυα δημόσιων μεταφορών(το Βερολίνο λόγω χάρη έχει 175 σταθμούς μετρό, η Βιέννη 98 σταθμούς και το Τορόντο 70) παρατηρούνται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης, ενδεικτικά και στις τέσσερις πόλεις που αναφέρθηκαν ο δείκτης κυκλοφοριακής συμφόρησης σύμφωνα με το tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) κυμαίνεται από 29% έως 31%. Αυτό οφείλεται κυρίως σε δύο βασικούς παράγοντες. Πρώτος παράγοντας είναι η αστική εξάπλωση, ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό σε πόλεις

όπως το Τορόντο και το Σίδνεϊ, γεγονός που καθιστά την μετακίνηση από τα προάστια στο κέντρο της πόλης πιο απαιτητική. Ο δεύτερος παράγοντας αποτελεί τον κορεσμό των ευρύτερων «κέντρων» των πόλεων αυτό, συγκεκριμένα τα κέντρα των πόλεων της κατηγορίας αποτελούν τον πυρήνα της οικονομικής τους δραστηριότητας και καινοτομίας και το πολυπληθέστερο κομμάτι των πόλεων αυτών. Συγκεκριμένα ενώ η μητροπολιτική περιοχή του Σίδνεϊ έχει σχετικά χαμηλή προς μέτρια πληθυσμιακή πυκνότητα όπως διαπιστώθηκε από την ενότητα 4.4 το κέντρο της πόλης είναι αρκετά πολυπληθές με τον αριθμό των κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο να ανέρχεται στα 8.892 άτομα σύμφωνα με την επίσημη σελίδα του Σίδνεϊ City of Sydney-Community Profile (<https://profile.id.com.au/sydney/>). Παρόμοια και στην Βιέννη ενώ η πληθυσμιακή πυκνότητα στην ευρύτερη περιοχή ανέρχεται στους 4.900 ανθρώπους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο στο κεντρικό τομέα(sector) 5 της πόλης η πληθυσμιακή πυκνότητα φτάνει τους 26.900 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, ένας πολύ υψηλό αριθμός, σύμφωνα με την επίσημη σελίδα της Βιέννης Stadt Wien(<https://www.wien.gv.at/kontakt/ma23>). Συνεπώς η κύρια πρόκληση των πόλεων της κατηγορίας αποτελεί η βελτιστοποίηση και η ψηφιακή ενοποίηση των ήδη υπάρχοντων δικτύων μεταφοράς, η αποσυμφόρηση του κέντρου και η σταδιακή ένταξη της Ενεργής Κινητικότητας και των λύσεων μικρο-κινητικότητας στην καθημερινή ζωή των πολιτών. Παρακάτω λοιπόν, παρατίθενται ορισμένα μέτρα και στρατηγικές για την ανάδειξη της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στις πόλεις της εν λόγω κατηγορίας:

- Στις πόλεις της κατηγορίας η κύρια πρόκληση για την μετάβαση των πολιτών από τα προάστια στο κέντρο της πόλης αποτελεί η έλλειψη διασυνδεσιμότητας μεταξύ της οικίας ή χώρου εργασίας του κάθε πολίτη με τους διαθέσιμους σταθμούς των δημόσιων μέσων μεταφοράς. Για την επίλυση του εν λόγω φαινομένου προτείνεται η ανάπτυξη δικτύου Κόμβων Διαμοιραζόμενης Πολυτροπικής Κινητικότητας ή αγγλιστί Shared Multimodal Mobility Hubs(SMHs). οι κόμβοι αυτοί λειτουργούν ως σημεία διασύνδεσης όπου συγκεντρώνονται διάφορα μέσα διαμοιρασμού(shared modes) όπως ηλεκτρικά ποδήλατα, μοτοποδήλατα, ηλεκτρικά πατίνια και αυτοκίνητα για car-pooling, car-sharing. Στόχος είναι η παροχή ευέλικτων επιλογών μετακίνησης που τροφοδοτούν το βασικό δίκτυο μεταφορών της κάθε πόλης, μειώνοντας την εξάρτηση από τα Ι.Χ. Σύμφωνα με τη σύγχρονη βιβλιογραφία[70] ένα κύριο πλεονέκτημα της υλοποίησης αυτού του μοντέλου αποτελεί η αποτελεσματικότητα του στις προαστιακές περιοχές της κάθε πόλης της κατηγορίας. Με την τοποθέτηση κόμβων-hubs στις διάφορες «πηγές» δημόσιας μετακίνησης στα προάστια οι πολίτες αποκτούν πρόσβαση σε εναλλακτικές μεθόδους μετακίνησης για την προσέλευση τους στον πλησιέστερο σταθμό που τους εξυπηρετεί. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς, και μείωση της χρήσης Ι.Χ., καθώς καλύπτεται το κενό συνδεσιμότητας.

Η υλοποίηση ωστόσο, του παραπάνω εγχειρήματος απαιτεί επιστημονικό σχεδιασμό και όχι τυχαία χωροθέτηση και τοποθέτηση των hubs. Για αυτό τον λόγο προτείνεται η υιοθέτηση ενός μοντέλου βελτιστοποίησης δύο επιπέδων ή σύμφωνα με την αγγλική ορολογία bi-level optimization framework. Στο πρώτο επίπεδο(Upper Level) το οποίο ονομάζεται ως Στρατηγικό επίπεδο, η δημοτική αρχή και φορείς της εκάστοτε πόλης, καλείται να αποφασίσει τις βέλτιστες τοποθεσίες και τον αριθμό των οχημάτων όπως ποδήλατα, ηλεκτρικά πατίνια, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς σχετικά με το προϋπολογισμό και το διαθέσιμο δημόσιο χώρο. Στο δεύτερο επίπεδο ή αλλιώς επίπεδο Χρήστη(Lower Level)[70], το μοντέλο προβλέπει τον τρόπο συμπεριφοράς των πολιτών ως προς την κινητικότητα, εξετάζοντας αν η χρήση του κόμβου τους συμφέρει χρονικά και οικονομικά σε σχέση με το ιδιωτικό αυτοκίνητο. Μαθηματικά το πρόβλημα αυτό διατυπώνεται ως εξής:

$$\max_y F(y, x(y)) , \text{ Upper Level}$$

$$s. t. G(y) \leq B ,$$

$$x(y) \in \arg \min_x C(x, y), \text{ Lower Level}$$

Όπου:

- Το y είναι το διάνυσμα των αποφάσεων της δημοτικής αρχής και των φορέων, δηλαδή που θα τοποθετηθούν τα hubs, πόσα διαθέσιμα οχήματα θα υπάρχουν εκεί.
- Το x είναι η επιλογή του πολίτη για τον τρόπο προσέλευσης στον κόμβο.
- Το $x(y)$ δηλώνει την συνάρτηση αντίδρασης των χρηστών στην επιλογή τοποθέτησης ενός κόμβου σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Με απλά λόγια λέει ότι η επιλογή του πολίτη(x) είναι συνάρτηση της τοποθεσίας του κόμβου(y).
- Το F συμβολίζει την αντικειμενική συνάρτηση του Upper Level. Είναι συνεπώς το άθροισμα του οφέλους που αποκομίζουν οι πολίτες από τους νέους κόμβους-hubs. Περιλαμβάνει διάφορους παράγοντες όπως η εξοικονόμηση χρόνου, η μείωση του κόστους μετακίνησης, η ευκολία πρόσβασης και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Το B είναι ο οικονομικός περιορισμός που υπάρχει στον προϋπολογισμό για την δημιουργία των hubs.
- Η συνάρτηση $G(y)$ υπολογίζει το συνολικό οικονομικό κόστος υλοποίησης.
- Το C είναι η συνάρτηση του γενικευμένου κόστους για τον κάθε πολίτη. Το κόστος αναλύεται σε οικονομικό κόστος και χρονικό κόστος.

Συνεπώς συνοπτικά στο πρώτο επίπεδο η δημοτική αρχή και οι φορείς της εκάστοτε πόλης καλούνται να αποφασίσουν τις βέλτιστες τιμές της μεταβλητής y (δηλαδή τοποθεσίες και αριθμός οχημάτων όπως ποδήλατα, ηλεκτρικά πατίνια) λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό $G(y) \leq B$ που αφορά τον προϋπολογισμό και τον διαθέσιμο δημόσιο χώρο[70].

Παράλληλα στο δεύτερο επίπεδο το μοντέλο προβλέπει τη συμπεριφορά των πολιτών (x), οι οποίοι λειτουργούν ορθολογικά προσπαθώντας να ελαχιστοποιήσουν το προσωπικό τους κόστος μετακίνησης (C). Εξετάζεται, δηλαδή, αν η χρήση του κόμβου τούς συμφέρει χρονικά και οικονομικά σε σχέση με το ιδιωτικό αυτοκίνητο.

Για την επίλυση αυτής της σύνθετης εξίσωσης και την εύρεση των ιδανικών τοποθεσιών για τα hubs, αξιοποιούνται Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms), οι οποίοι εντοπίζουν τη λύση που εξυπηρετεί τον μέγιστο δυνατό αριθμό πολιτών με το χαμηλότερο δυνατό κόστος[70].

Συμπερασματικά το μοντέλο αυτό για την δημιουργία hubs αναμένεται σύμφωνα με την σύγχρονη βιβλιογραφία[70] να μειώσει το μέσο χρόνο μετακίνησης των κατοίκων των πόλεων αυτών, να συμβάλλει στην αύξηση των διαθέσιμων επιλογών για την μετακίνηση(ποδήλατα, μετρό, ηλεκτρικά πατίνια, συστήματα car-pooling) και να ελαχιστοποιήσει τις μικρές διαδρομές που γίνονται με Ι.Χ με την αντικατάστασή τους με άλλα μέσα μεταφοράς ενεργής κινητικότητας και μικρο-κινητικότητας.

- Όπως έχει προαναφερθεί στη πτυχιακή, η οδήγηση και η μετακίνηση με μηχανοκίνητα μέσα αποτελεί μια καθημερινή συνήθεια των ανθρώπων, ακόμα και αν για κάποιες μετακινήσεις τους εξυπηρετούνται από το μετρό επιλέγουν το αυτοκίνητο γεγονός που οδηγεί στη αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Για την αντιμετώπιση της συμπεριφοράς αυτής και την περαιτέρω ώθηση των πολιτών στην συχνότερη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς αλλά και στην ενεργή κινητικότητα προτείνεται η ενσωμάτωση στα πλαίσια των πόλεων της κατηγορίας στρατηγικές Παιχνιδοποίησης ή αγγλιστί Gamification στις ψηφιακές υπηρεσίες μεταφορών. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία[71] με τον όρο αυτό(Gamification) ορίζεται η χρήση στοιχείων που χρησιμεύουν στο σχεδιασμό παιχνιδιών σε μη ψυχαγωγικά πλαίσια, στην εν λόγω περίπτωση η μετακίνηση, με στόχο την αύξηση της αλληλεπίδρασης και την παρακίνηση των χρηστών προς επιθυμητές συμπεριφορές. Η τεχνολογική αυτή προσέγγιση κρίνεται απαραίτητη για την ενίσχυση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς και της μικρο-κινητικότητας.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η προτεινόμενη λύση αφορά την ανάπτυξη εφαρμογών οι οποίες θα είναι διαθέσιμες μέσω «έξυπνων» κινητών(smartphones) και οι οποίες αξιοποιούν τις λειτουργίες του κινητού για την αυτόματη καταγραφή των μετακινήσεων των χρηστών. Συγκεκριμένα μέσω του GPS του κινητού επιτυγχάνεται η καταγραφή της διαδρομής που κάνει ο χρήστης, την ταχύτητα με την οποία κινείται επιτρέποντας έτσι στην εφαρμογή να καταλάβει το μέσο μετακίνησης του, αν μετακινείται με ποδήλατο δηλαδή ή με μέσα μαζικής μεταφοράς ή με τα πόδια ή με το αυτοκίνητο. Μετά την συλλογή των δεδομένων αυτών η εφαρμογή αλληλοεπιδρά με τον χρήστη με τον κατάλληλο τρόπο. Σύμφωνα με τη σύγχρονη βιβλιογραφία[71] τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να περιλαμβάνει η πλατφόρμα-εφαρμογή είναι:

- I. Σύστημα Επιβράβευσης:
Οι χρήστες επιβραβεύονται με την συλλογή πόντων κάθε φορά που επιλέγουν κάποιο βιώσιμο μέσο για την μετακίνησης τους, όπως μετρό, ποδήλατο. Οι πόντοι αυτοί έπειτα μπορούν να εξαργυρωθούν από τους χρήστες με διάφορα εκπαιδευτικά κουπόνια, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο ένα επιπλέον κίνητρο για την μετακίνηση με πιο βιώσιμους τρόπους[71].
- II. Πίνακες Κατάταξης(Leaderboards):
Οι χρήστες της εφαρμογής κατατάσσονται σε πίνακες κατάταξης με βάση τις επιδόσεις τους, τους πόντους δηλαδή που έχουν συλλέξει καθ' όλη την διάρκεια που χρησιμοποιούν την εφαρμογή. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένας υγιείς ανταγωνισμός μεταξύ των χρηστών της εφαρμογής με αποτέλεσμα να ωθεί τους χρήστες στην περισσότερη αξιοποίηση των βιώσιμων επιλογών για μετακίνηση.
- III. Ανατροφοδότηση(Feedback):
Η παροχή άμεσης πληροφόρησης σχετικά για στόχους που επιτεύχθηκαν όπως λόγω χάρη «για αυτή την εβδομάδα παράξατε λιγότερο CO₂ κατά τις μετακινήσεις σας, σε σχέση με την προηγούμενη εβδομάδα» ενισχύει την οικολογική συνείδηση.
- IV. Προκλήσεις και Στόχοι(Challenges):
Ο ορισμός ημερήσιων ή εβδομαδιαίων στόχων στους χρήστες κρίνεται απαραίτητος για τη διατήρηση του ενδιαφέροντος[71].

Συμπερασματικά, η παιχνιδοποίηση αποτελεί ένα καινοτόμο εργαλείο Πληροφορικής που μπορεί να μετατρέψει την καθημερινή μετακίνηση σε μια πιο ελκυστική εμπειρία, ωθώντας τον κόσμο στην συχνότερη χρήση βιώσιμων τρόπων μετακίνησης και στην σταδιακή απεξάρτηση από το αυτοκίνητο συμβάλλοντας έτσι καθοριστικά στην αποσυμφόρηση των κορεσμένων κέντρων των πόλεων της κατηγορίας[71].

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως πολλά μέτρα που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν σε προηγούμενες κατηγορίες μπορούν και κρίνεται απαραίτητο να εφαρμοστούν στην εν λόγω κατηγορία των International Middleweights. Συγκεκριμένα για την αποσυμφόρηση στους δρόμους προτείνεται όπως και στην κατηγορία Global Giants η εφαρμογή συστημάτων για smart traffic light control, η αξιοποίηση μοντέλων πρόβλεψης κυκλοφορίας αλλά και μοντέλων εύρεσης διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης. Παράλληλα προτείνεται η δημιουργία ενός σύγχρονου πληροφοριακού συστήματος MaaS καθώς και η δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης ζήτησης λύσεων μικρο-κινητικότητας όπως αναλύθηκε και στην κατηγορία Knowledge Capitals.

Συνοψίζοντας, η κατηγορία των International Middleweights αποτελεί ένα ιδιαίτερο πεδίο μελέτης, καθώς περιλαμβάνει πόλεις που, παρά την οικονομική ευρωστία και ευημερία τους και τις σύγχρονες και εκτενείς υποδομές των δικτύων μεταφοράς τους, βρίσκονται αντιμέτωπες με το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή ανέδειξε ότι η λύση δεν έγκειται πλέον στην συνεχή επέκταση του οδικού δικτύου αλλά στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Καθοριστικό ρόλο στην επιλογή των προτεινόμενων μέτρων διαδραματίζει το γεωμορφολογικό, χωρικό και πολεοδομικό υπόβαθρο των πόλεων αυτών. Από τη μια, πόλεις όπως το Σίδνεϊ και το Τορόντο χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα μεγάλη εδαφική έκταση και χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα στα προάστια τους, φαινόμενο αστικής εξάπλωσης (urban sprawl), γεγονός που καθιστά την αποκλειστική χρήση συμβατικών μέσων μαζικής μεταφοράς μια ιδιαίτερη πρόκληση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η προτεινόμενη λύση των Κόμβων Κινητικότητας (Smart Hubs) με χρήση αλγοριθμικής βελτιστοποίησης, λειτουργεί ως ο απαραίτητος συνδετικός κρίκος που γεφυρώνει τις μεγάλες γεωγραφικές αποστάσεις με τους διαθέσιμους κοντινούς σταθμούς των δημόσιων μέσων μεταφοράς. Από την άλλη ευρωπαϊκά κέντρα όπως το Βερολίνο και η Βιέννη που αναπτύσσονται σε πιο πεδινά και συμπαγή εδάφη με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, ευνοούν τη μικρο-κινητικότητα και το περπάτημα ως τρόπους για την καθημερινή μετακίνηση των πολιτών. Εδώ το γεωγραφικό αυτό πλεονέκτημα αξιοποιείται μέσω του Gamification το οποίο έχει ως απώτερο στόχο την αλλαγή της κουλτούρας των πολιτών συμβάλλοντας στην συνεχή απεξάρτηση από την χρήση Ι.Χ και στην ώθηση σε πιο βιώσιμους τρόπους μετακίνησης.

5.1.8 Στρατηγικές για Πολιτιστικά και Τουριστικά Κέντρα

Στην συγκεκριμένη ενότητα ανήκουν πόλεις με ιδιαίτερη ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά όπου ο τουρισμός αποτελεί ένα πολύ βασικό πυλώνα της οικονομίας τους. Πόλεις όπως η Βαρκελώνη, η Αθήνα, το Κιότο αποτελούν πόλεις έλξης του διεθνούς τουρισμού λόγω της πολιτιστικής, καλλιτεχνικής τους κληρονομιάς. Οι πόλεις αυτές καλούνται να αντιμετωπίσουν ένα ιδιαίτερο πρόβλημα όσο αφορά την κινητικότητα, το οποίο είναι η εξυπηρέτηση των μόνιμων κατοίκων ταυτόχρονα με την διαχείριση εκατομμυρίων τουριστών των οποίων η συχνότητα και το πλήθος προσέλευσης μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή.

Όπως προκύπτει από την ανάλυση της Ενότητας 4.4 η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί ένα ζήτημα στις πόλεις της κατηγορίας (ενδεικτικά το Κιότο έχει δείκτη κυκλοφοριακής συμφόρησης που ανέρχεται στο 39% και η Αθήνα 34%) καθώς και η πίεση που ασκείται στο αστικό και ιστορικό κέντρο των πόλεων αυτών. Τα ιστορικά κέντρα των πόλεων αυτών όντας κατοικήσιμα από παλαιότερες εποχές χαρακτηρίζονται συχνά από στενά οδικά δίκτυα (μεσαιωνικής ή νεοκλασικής ρυμοτομίας) που δεν σχεδιάστηκαν για τον σύγχρονο όγκο και μέγεθος των οχημάτων. Επιπλέον, η αυξημένη κίνηση τουριστικών λεωφορείων και οχημάτων τροφοδοσίας επιβαρύνει την κυκλοφορία στους δρόμους και αυξάνει ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία επηρεάζει αρνητικά τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς που υπάρχουν στις πόλεις αυτές. Συνεπώς πόλεις της κατηγορίας έχουν στραφεί στη υλοποίηση παρεμβάσεων που δίνουν προτεραιότητα στην ενεργή κινητικότητα και την διατήρηση της ιδιαιτερότητας και του «χαρακτήρα» του ιστορικού-πολιτιστικού κέντρου. Ειδικότερα η Ρώμη συγκεκριμένα έχει υλοποιήσει την δημιουργία εκτεταμένων

αποκλειστικών λωρίδων στους δρόμους για τα λεωφορεία(dedicated bus lanes)[72] προκειμένου να διαχειριστεί την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να δώσει έμφαση στην μαζική μετακίνηση.

Συνεπώς, ο στόχος της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας για την κατηγορία αυτή είναι η απομάκρυνση του Ι.Χ. από τα ιστορικά κέντρα, η ανάδειξη του δημόσιου χώρου προς όφελος των πεζών και η δημιουργία «έξυπνων» λύσεων για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών και τουριστών. Παρακάτω ακολουθούν τα προτεινόμενα μέτρα και στρατηγικές:

- Μια κρίσιμη πρόκληση για τα ιστορικά κέντρα των πόλεων της κατηγορίας (όπως η Ρώμη και το Κιότο) είναι η αδυναμία του οδικού δικτύου να εξυπηρετήσει μεγάλα οχήματα, λόγω της στενότητας των δρόμων και της πυκνής παρουσίας πεζών και τουριστών. Ενδεικτικά στο Κιότο, σύμφωνα με την Έκθεση Διαχείρισης Τουρισμού του Δήμου του Κιότο(Kyoto City Tourism Office)(<https://www.city.kyoto.lg.jp/sogo/page/0000305425.html>), πολλοί δρόμοι σε περιοχές όπως η Gion και η Higashiyama έχουν πλάτος μικρότερο των 4 μέτρων ενώ στην Ρώμη σύμφωνα με το σχέδιο-κανονισμό «Piano Bus Turistici» του Δήμου της Ρώμης(<https://romamobilita.it/servizi-al-pubblico/bus-turistici/>), απαγορεύτηκε η είσοδος τουριστικών λεωφορείων στο ιστορικό κέντρο, καθώς το οδικό δίκτυο δεν επαρκεί για οχήματα μήκους άνω των 7-8 μέτρων. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η ενσωμάτωση στον στόλο δημόσιων μαζικών μεταφορών των πόλεων της κατηγορίας ένας νέος στόλος Ηλεκτρικών Αυτόνομων Μικρών Λεωφορείων ή αγγλιστί Electric Autonomous Mini-Buses(EAMBs). Τα ηλεκτρικά αυτά λεωφορεία είναι ιδανικά για τις πόλεις της κατηγορίας καθώς λόγω των μικρών διαστάσεων και της ηλεκτροκίνησης, κινούνται αθόρυβα και χωρίς ρύπους, προστατεύοντας τα μνημεία.

Προκειμένου τα οχήματα αυτά να πλοηγούνται και να κινούνται με ασφάλεια στα κέντρα των πόλεων απαιτείται προηγμένη τεχνολογική υποδομή. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία[73] προτείνεται η ενσωμάτωση ειδικών καμερών και η εφαρμογή αλγορίθμων «Ελαφριάς Πανοραμικής Αντίληψης» ή αγγλιστί Lightweight Panoramic Perception. Σε αντίθεση τώρα με τις παραδοσιακές κάμερες οι οποίες έχουν ένα περιορισμένο οπτικό πεδίο με αρκετά «τυφλά» σημεία τα προτεινόμενα λεωφορεία προτείνεται να εξοπλίζονται με πανοραμικά οπτικά συστήματα(panoramic annular lenses) που παρέχουν συνεχώς μια εικόνα 360 μοιρών. Η επεξεργασία της εικόνας δεν γίνεται με συμβατικούς τρόπους, αλλά μέσω ενός βελτιωμένου αλγορίθμου που ονομάζεται YOLOv5s, ο οποίος ενσωματώνει δύο καινοτόμες τεχνικές Πληροφορικής[73]:

1. Μηχανισμός Προσοχής (Convolutional Block Attention Module(CBAM)):

Ο μηχανισμός αυτός ουσιαστικά επιτρέπει στο όχημα να εστιάζει στα κρίσιμα χαρακτηριστικά της κάθε εικόνας όπως παραδείγματος χάρη ένα πεζό και να αγνοεί τους διάφορους «θορύβους» όπως λόγου χάρη μια σκιά ενός δέντρου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δύο σταδίων: του Καναλιού Προσοχής(Channel Attention) και της Χωρικής Προσοχής(Spatial Attention). Μαθηματικά, η διαδικασία υπολογισμού της Χωρικής Προσοχής, η οποία καθορίζει το που ακριβώς και σε ποιο σημείο πρέπει να εστιαστεί το όχημα, περιγράφεται από τον εξής τύπο[73]:

$$M_s(F) = \sigma \left(f^{7 \times 7} ([AvgPool(F); MaxPool(F)]) \right), (i)$$

Όπου,

- F : Είναι τα χαρακτηριστικά εισόδου(input features) τα οποία προέρχονται από την εικόνα.
- $AvgPool(F)$ και $MaxPool(F)$: Λειτουργίες μέσης και μέγιστης

συγκέντρωσης (pooling) κατά μήκος των καναλιών, που συμπιέζουν την πληροφορία

- $f^{7 \times 7}$: Λειτουργία συνέλιξης (convolution) με φίλτρο μεγέθους 7×7
- σ : Η σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης (sigmoid function)

Συνεπώς η λειτουργία του μηχανισμού ξεκινάει με την συνεχή συλλογή ακατέργαστων δεδομένων από την κάμερα 360 μοιρών, αυτές τα δεδομένα αποτελούν τα χαρακτηριστικά εισόδου. Έπειτα, ο αλγόριθμος O αλγόριθμος παίρνει αυτά τα δεδομένα και εφαρμόζει δύο διαφορετικά φίλτρα ταυτόχρονα κατά μήκος των καναλιών:

- ❖ Average Pooling: Υπολογίζει τον μέσο όρο, κρατώντας τις «γενικές» πληροφορίες του περιβάλλοντος.
- ❖ Max Pooling: Κρατάει μόνο τις μέγιστες τιμές δηλαδή τα πιο έντονα χαρακτηριστικά της εικόνα όπως παραδείγματος χάρη τις γωνίες ενός σταθμευμένου οχήματος[73].

Συνδυάζοντας αυτά τα δύο, ο αλγόριθμος αποκτά μια ολοκληρωμένη εικόνα-αντίληψη λαμβάνοντας υπόψιν τόσο το ευρύτερο γενικό πλαίσιο της εικόνας όσο και τις σημαντικές λεπτομέρειες-χαρακτηριστικά απορρίπτοντας ταυτόχρονα τις περιττές πληροφορίες και πιθανούς «θορύβους». Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένα επίπεδο συνέλιξης με φίλτρο μεγέθους 7×7 , αντί για ένα φίλτρο μεγέθους 3×3 το οποίο είναι και το πιο συνηθισμένο και τυπικό για την επεξεργασία της εικόνας. Η επιλογή αυτή μεγαλύτερου φίλτρου οφείλεται στην επικείμενη επίτευξη δημιουργίας ενός ευρύτερου πεδίου αντίληψης. Εν τέλει, το τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου περνά από τη σιγμοειδή συνάρτηση η οποία μετατρέπει όλες τις τιμές που δέχεται σε ένα αριθμό μεταξύ του 0 και 1. Επεξηγηματικά οι τιμές που πλησιάζουν κοντά στο 1 φανερώνουν πως υπάρχει κάποιο εμπόδιο στη διαδρομή το οποίο θα πρέπει να αποφύγει το mini bus ενώ οι τιμές που είναι κοντά στο μηδέν συμβολίζουν ένα «θόρυβο» το οποίο το mini bus αγνοεί[73]. Συνεπώς παράγεται ένας δισδιάστατος χάρτης, ο οποίος εφαρμόζεται πάνω στην αρχική εικόνα και τονίζει μόνο τα σημεία ενδιαφέροντος, καθοδηγώντας το τιμόνι και τα φρένα του λεωφορείου.

2. Αρχιτεκτονική Δικτύου (Lightweight Network Architecture):

Ο αλγόριθμος που αναλύθηκε προηγουμένως είναι σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε είναι «ελαφρύς» υπολογιστικά. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της υιοθέτησης Ghost Modules, τα οποία αντικαθιστούν τις περιττές υπολογιστικές πράξεις με απλές γραμμικές μετατροπές, και της δομής BiFPN, η οποία βελτιστοποιεί τη συγχώνευση δεδομένων[73]. Με τις προσθήκες αυτές επιτυγχάνεται η ταχεία λειτουργία με την τεχνολογία edge computing των ενσωματωμένων υπολογιστών του οχήματος χωρίς καθυστερήσεις.

Συνεπώς τα οχήματα αυτά κρίνονται ιδιαίτερα χρηστικά για τις πόλεις της κατηγορίας λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας των αστικών τους κέντρων τα οποία χαρακτηρίζονται από πολλές πεζοδρομήσεις, πλήθος τουριστών και στενών δρόμων. Η ενσωμάτωση λοιπόν αυτόνομου στόλου mini busses με πανοραμική αντίληψη εξασφαλίζουν ότι τα οχήματα μπορούν να ελιχθούν με ασφάλεια ανάμεσα σε πλήθη τουριστών, αναγνωρίζοντας εμπόδια περιμετρικά του οχήματος σε πραγματικό χρόνο[73].

- Όπως προ-αναφέρθηκε οι πόλεις της εν λόγω κατηγορίας καλούνται να διαχειριστούν ένα μεγάλο πλήθος τουριστών σε καθημερινή βάση. Οι τουρίστες όντας μη μόνιμοι κάτοικοι της εκάστοτε πόλης δεν είναι εξοικειωμένοι με τους τρόπους κινητικότητας στα πλαίσια της πόλης, δεν γνωρίζουν δηλαδή τον τρόπο λειτουργίας του μετρό και

τις διαθέσιμες στάσεις, σταθμούς, τα διαθέσιμα λεωφορεία και τις διαθέσιμες επιλογές μικρο-κινητικότητας γεγονός που προκαλεί μια σύγχυση τόσο στους τουρίστες όσο και στις μετακινήσεις. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία ενός ενιαίου συστήματος MaaS το οποίο θα είναι διαθέσιμο για τους τουρίστες αλλά και για τους μόνιμους κατοίκους[75]. Το MaaS δεν θα περιορίζεται, όπως προ-αναφέρθηκε στην κατηγορία των Global Giants απλώς στην πλοήγηση και σε μια απλή, μη διαδραστική παρουσίαση των διαθέσιμων επιλογών, αλλά θα αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μοντέλο διανομής υπηρεσιών μεταφοράς που ενοποιεί διαφορετικές μορφές μετακίνησης σε μία ενιαία ψηφιακή πλατφόρμα. Μέσω αυτής της εφαρμογής, ο κάθε χρήστης αποκτά πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα επιλογών ξεκινώντας από τα δημόσια μέσα μαζικής μεταφοράς (μετρό, λεωφορεία) και τα ταξί, μέχρι και τις υπηρεσίες ενοικίασης οχημάτων και μικροκινητικότητας(micromobility) έχοντας τη δυνατότητα να σχεδιάσει, να οπτικοποιήσει, να επιλέξει την διαδρομή και τρόπο μετακίνησης το οποίο τον εξυπηρετεί περισσότερο και να πληρώσει για όλο το ταξίδι του μέσω μίας και μόνο εφαρμογής[75].

Η υλοποίηση μια τέτοιας εφαρμογής, η οποία θα είναι και αποτελεσματική και εύχρηστη για τον κόσμο αποτελεί όπως αποδείχθηκε από το άρθρο[74] ιδιαίτερη πρόκληση. Συγκεκριμένα το άρθρο αυτό[74] αναφέρεται στη επιλογή της Αθήνας για την εφαρμογή ενός πιλοτικού προγράμματος MaaS με σκοπό να αναλυθούν οι ιδιαίτερες προκλήσεις που διαπιστώθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Το σύστημα αυτό, εμπεριείχε διάφορους παρόχους κινητικότητας όπως οι δημόσιες συγκοινωνίες της Αθήνας(Ο.Α.Σ.Α), η δημοτική συγκοινωνία του δήμου Ηρακλείου, Αττικής, συστήματα ενοικίασης ποδηλάτων(bike-sharing) συστήματα για χρήση ταξί. Με την λειτουργία του ενιαίου αυτού συστήματος παρατηρήθηκαν ορισμένα προβλήματα τα οποία επηρέασαν αρνητικά την εμπειρία των χρηστών. Τα προβλήματα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Πρόβλημα με την έκδοση ηλεκτρονικών εισιτηρίων:
Η εφαρμογή δεν μπορούσε να εκδώσει απευθείας ψηφιακό εισιτήριο που να λειτουργεί στις μπάρες του Μετρό ή στα λεωφορεία λόγω τεχνικών και νομικών ζητημάτων με την Ο.Α.Σ.Α. Συνεπώς για την επίλυση της πρόκλησης αυτής δινόταν στο χρήστη ένα κωδικός QR το οποίο έπρεπε να το δείξει στα εκδοτήρια για να παραλάβει το εισιτήριο. Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα ιδιαίτερο μειονέκτημα του εφαρμοσμένου συστήματος καθώς επιβαρύνει τον χρήστη με επιπλέον αναμονή και γραφειοκρατικά βήματα, αντί να απλοποιεί τη μετακίνησή του.
2. Πρόβλημα με την Ενοικίαση Ποδηλάτων:
Δεν ήταν δυνατόν να νοικιάσει και να ξεκλειδώσει ένας χρήστης το ποδήλατο απευθείας μέσα από την εφαρμογή MaaS. Ο βασικός λόγος ήταν νομικός, σε περίπτωση απώλειας του ποδηλάτου ή αν πάθαινε κάποια ζημιά. Επομένως η εφαρμογή έδινε στον χρήστη έναν σύνδεσμο που τον έστελνε στην ξεχωριστή εφαρμογή της εταιρείας ποδηλάτων, ώστε να ολοκληρώσει εκεί την ενοικίαση και την πληρωμή[74].
3. Πρόβλημα με την χρήση ταξί:
Η εφαρμογή δεν μπορούσε να συνδεθεί με το ταξίμετρο του εκάστοτε ταξιού για να γίνει η πληρωμή, οπότε δεν υπήρχε τρόπος να υπολογιστεί το ακριβές κόστος της διαδρομής σε πραγματικό χρόνο. Για την λύση αυτού του προβλήματος προκειμένου να ξέρει ο πελάτης τι θα πληρώσει χώρισαν την Αθήνα σε περιοχές (ζώνες) και έβαλαν σταθερές τιμές (flat fares). Έτσι, ο χρήστης ήξερε την τιμή από πριν και δεν περίμενε να δει τι θα γράψει το ταξίμετρο[74].

Συνοψίζοντας βάση τα ευρήματα από την εν λόγω πιλοτική εφαρμογή στην Αθήνα, καθίσταται σαφές ότι η μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο «Κινητικότητας ως Υπηρεσία»(MaaS) αποτελεί ένα εγχείρημα υψηλής πολυπλοκότητας το οποίο δεν αναδεικνύει δυσκολίες μόνο στην σχεδίαση του όλου συστήματος από μεριάς πληροφορικής αλλά εμφανίζει και προβλήματα σχετικά τη λειτουργία και συνύπαρξη όλων αυτών των παρόχων και υπηρεσιών αλλά και νομικά και γραφειοκρατικά θέματα. Τα τρία

βασικά προβλήματα που αναδείχθηκαν στην πόλη της Αθήνας τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως υποβάθμισαν αρκετά το σύνολο του MaaS συστήματος. Αντί δηλαδή η εφαρμογή αυτή να αποτελεί ένα ηλεκτρονικό «κόμβο» για την μετακίνηση από τον οποίο ο χρήστης θα μπορεί να αγοράζει ηλεκτρονικό εισιτήριο, να βλέπει τα διάφορα δρομολόγια, να νοικιάζει ποδήλατα στην περίπτωση της Αθήνας αποτέλεσε σε πολλές περιπτώσεις ένα απλό ενδιάμεσο διαβιβαστή, όπου στην μια περίπτωση κατευθύνει τον χρήστη στο να πάει σε ένα εκδοτήριο για να παραλάβει το εισιτήριο που ήδη έχει πληρώσει και στην άλλη περίπτωση τον ανακατευθύνει σε άλλη σελίδα και εφαρμογή για την ενοικίαση του ποδηλάτου.

Συνεπώς το κύριο δίδαγμα της περίπτωσης της Αθήνας είναι ότι για την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου και αποδοτικού συστήματος MaaS δεν αρκεί μόνο η ύπαρξη τεχνολογικής καινοτομίας αλλά χρειάζεται μια θεσμική και οργανωτική ωριμότητα. Χωρίς την αναθεώρηση των συμβάσεων με τους δημόσιους φορείς, την επίλυση θεμάτων νομικής ευθύνης και την τεχνική ενοποίηση των συστημάτων πληρωμής, η εμπειρία του χρήστη θα παραμένει ελλιπής, υπονομεύοντας τη βιωσιμότητα και την αποδοχή τέτοιων συστημάτων από το ευρύ κοινό. Παρόλα αυτά με την κατάλληλο σχεδιασμό και οργάνωση ενός σχεδίου Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (SUMP) η υλοποίηση ενός συστήματος MaaS για τις πόλεις της κατηγορίας θα αποτελέσει μια σημαντική προσθήκη στο τοπίο της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας και θα συμβάλλει αισθητά στην διευκόλυνση του συνόλου των κατοίκων και τουριστών στις ανερχόμενες μετακινήσεις τους.

- Ο σχεδιασμός υποδομών κινητικότητας στις πόλεις της κατηγορίας, όπως υποδομές για ενεργή κινητικότητα, ποδηλατοδρόμοι, πεζοδρομήσεις αποτελεί ένα απαραίτητο βήμα για την βελτίωση της αστικής κινητικότητας στις πόλεις. Παρόλα αυτά προκύπτει ένα ζήτημα, ότι πολλές φορές οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τις εκάστοτε δημοτικές αρχές για την υλοποίηση κάποιου έργου δεν είναι οι καταλληλότερες για τους κατοίκους και τουρίστες. Στόχος είναι να λαμβάνονται υπόψη οι πραγματικές ανάγκες των ανθρώπων, μόνιμοι κάτοικοι και τουρίστες, οι οποίοι μετακινούνται καθημερινά σε αυτούς τους δρόμους. Για την λόγο αυτό προτείνεται η υιοθέτηση μιας «συμμετοχικής προσέγγισης» ή με τον αγγλικό όρο Participatory Planning Platform, η οποία θα υλοποιείται μέσω μιας ψηφιακής πλατφόρμας[76].

Επεξηγηματικά η ιδέα αυτή αφορά την δημιουργία ενός ψηφιακού περιβάλλοντος στο οποίο οι πολίτες, οι επισκέπτες και οι τοπικοί φορείς κάθε πόλης συμμετέχουν ενεργά για την λήψη αποφάσεων σχετικά με τις προτεραιότητες που πρέπει να θέσει η εκάστοτε πόλη όσο αφορά όλο το πλαίσιο της αστικής κινητικότητας. Ο τρόπος λειτουργίας της εν λόγω πλατφόρμας παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Καθορισμός κριτηρίων από τους χρήστες:
Μέσω της πλατφόρμας οι εγγεγραμμένοι χρήστες καλούνται να συμπληρώσουν ποια «χαρακτηριστικά» θεωρούν ως πιο σημαντικά για την μετακίνηση τους στα πλαίσια της πόλης. Ως «χαρακτηριστικά» μπορούν να ειπωθούν η αύξηση της ασφάλειας σε κάποιους δρόμους, η μείωση του θορύβου, η προσβασιμότητα σε λύσεις μικρο-κινητικότητας.
2. Ψηφιακές Έρευνες και Ανατροφοδότηση:
Η πλατφόρμα συλλέγει τα δεδομένα τα οποία αντλούνται από τους χρήστες μέσω ειδικών ηλεκτρονικών ερευνών που διεξάγει η πλατφόρμα. Συνεπώς οι χρήστες έχουν ένα ενεργό ρόλο στην λήψη αποφάσεων για ενδεχόμενες αλλαγές και βελτιώσεις στα συστήματα κινητικότητας και τις διάφορες υποδομές κινητικότητας[76].
3. Ενσωμάτωση σε Συστήματα GIS:
Σε αυτό το στάδιο όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τις απαντήσεις και αποκρίσεις των χρηστών στις έρευνες εισάγονται σε ένα λογισμικό ανοιχτού τύπου Γεωγραφικών

Συστημάτων Πληροφοριών ή αγγλιστί Open-source GIS framework. Αυτό που επιτυγχάνεται μέσω αυτού είναι ότι επιτρέπει στους αρμόδιους φορείς και δημοτικές αρχές να βλέπουν στον χάρτη ποιες περιοχές έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη για πιθανές παρεμβάσεις, προσθήκες και βελτιστοποιήσεις βάσει της γνώμης του κοινού[76].

Η καινοτόμα αυτή προσέγγιση συμβάλει στη δημιουργία ενός δημοκρατικού μοντέλου λήψης αποφάσεων. Συνεπώς οι πολίτες της εκάστοτε πόλης αποφασίζουν βάσει της πλειοψηφίας ποιες είναι οι καταλληλότερες αλλαγές που οφείλουν να γίνουν στο αστικό περιβάλλον για την βελτιστοποίηση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας. Δηλαδή οι αλλαγές αυτές θα ανταποκρίνονται στις πραγματικές επιθυμίες των χρηστών της πλατφόρμας, καθιστώντας την κάθε πόλη της κατηγορίας πιο φιλική και λειτουργική τόσο για τους κατοίκους όσο και για τους επισκέπτες.

Συνοψίζοντας οι πόλεις της κατηγορίας Τουριστικά και Πολιτιστικά κέντρα παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη πρόκληση η οποία αφορά την ανάγκη εξισορρόπησης μεταξύ της μαζικής τουριστικής ροής και της διατήρησης της ποιότητας ζωής για τους μόνιμους κατοίκους. Σύμφωνα και με την ανάλυση της 4^{ης} ενότητας αναδείχθηκε πως η εξάρτηση από τα αυτοκίνητα για τις μετακινήσεις στις πόλεις αυτές αποτελεί ένα μη βιώσιμο τρόπο μετακίνησης. Μέσω των μέτρων και στρατηγικών που προτάθηκαν προηγουμένως οι κύριες αλλαγές που πρέπει να γίνουν στις πόλεις αυτές όσο αφορά τη αστική κινητικότητα θα πρέπει να εστιάζουν στην ενίσχυση της ενεργής κινητικότητας και μικρο-κινητικότητας με την δημιουργία ενός δικτύου που ενθαρρύνει τη φυσική κίνηση και αποθαρρύνει τη χρήση αυτοκινήτου, στην τεχνολογική αναβάθμιση και εκσυγχρονισμό των μέσων μαζικής μεταφοράς και στην ψηφιακή ενοποίηση των διαθέσιμων επιλογών κινητικότητας μέσω του συστήματος MaaS.

5.2 Μέτρα για Αστικές Συστάδες

Η κατηγορία των Αστικών Συστάδων περιλαμβάνει πόλεις «μεσαίου» μεγέθους με μέση πληθυσμιακή πυκνότητα που ξεπερνά τους 300 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και δεν υπερβαίνει τους 1500 ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο με βάση την μοντελοποίηση της 3^{ης} Ενότητας. Σε αντίθεση με τα μητροπολιτικά κέντρα της 1^{ης} κατηγορίας, εδώ τα προβλήματα δεν εστιάζονται τόσο στον υπερκορεσμό και την έλλειψη χώρου, όσο στην ανάγκη για αποδοτική διασύνδεση των πόλεων της κατηγορίας με μεγάλα αστικά κέντρα και στην αντιμετώπιση της εξάρτησης από το ιδιωτικό αυτοκίνητο. Δύο χαρακτηριστικές πόλεις της κατηγορίας αποτελούν η Μπριζ και το Τάμπερε της Φινλανδίας. Προκειμένου να αναλυθεί περαιτέρω η «φύση» της αστικής κινητικότητας στις πόλεις αυτές και να προταθούν στην συνέχεια στρατηγικές και μέτρα για τη βιώσιμη κινητικότητα παρακάτω παρουσιάζεται ένας ακόμα πίνακας δεικτών, όπως ακριβώς και στην ενότητα 4.4, για τις δύο πόλεις που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 10: Δείκτες Αστικών Συστάδων

Δείκτες	Μονάδες Μέτρησης	Μπριζ	Τάμπερε
1.Κυκλοφοριακή Συμφόρηση	Ποσοστό(%) του επιπλέον χρόνου που χρειάζεται για μετακίνηση τις ώρες αιχμής σε σύγκριση με συνθήκες ελεύθερης ροής	34.6%(υψηλό)	34,1%(υψηλό)
2.Ιδιοκτησία Ι.Χ	Σύνολο οχημάτων ανά 1000 κατοίκους	453 περίπου(μέτριο-η περιφέρεια της Φλάνδρας που ανήκει η Μπριζ εμφανίζει υψηλότερο δείκτη ιδιοκτησίας οχημάτων)	383 περίπου(μέτριο)
3.Μέσος Χρόνος Μετακίνησης	Λεπτά(για διαδρομή από οικία σε εργασία)	25 με 30 λεπτά(χαμηλό-Για την ευρύτερη περιοχή της	21 με 23 λεπτά(χαμηλό)

		Δυτικής Φλάνδρας (όπου ανήκει η Μπριζ), ο μέσος εργαζόμενος καλύπτει απόσταση 20,8 χιλιομέτρων για να πάει στη δουλειά του)	
4. Ποσοστό Χρήσης Μέσων Μαζικής Μεταφοράς	Ποσοστό(%) μετακινήσεων με μέσα μαζικής μεταφοράς	3.7%(πολύ χαμηλό-το 17.6% των μετακινήσεων για δουλειά γίνεται με το ποδήλατο)	17%(αναφέρεται στη χρήση λεωφορείου και τραμ-ενώ το 34% των μετακινήσεων γίνεται με περπάτημα)
5.Οδική Ασφάλεια	Θάνατοι ανά 100.000 κατοίκους/έτος	4.8(αφορά την περιφέρεια της Δυτικής Φλάνδρας)	0.77(Το 2024 καταγράφηκαν μόλις 2 θάνατοι σε τροχαία δυστυχήματα εντός των ορίων του Δήμου Τάμπερε)
6.Πυκνότητα Οχημάτων	Σύνολο οχημάτων ανά 1 km ²	387.9(αφορά μόνο επιβατικά οχήματα)	Με βάση την βιβλιογραφία υπολογίζεται να είναι κάτω από 200 οχήματα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο
7.Σταθμοί Σταθερής Τροχιάς	Αριθμός Στάσεων-Σταθμών	Το ιστορικό και εμπορικό κέντρο της πόλης εξυπηρετείται αποκλειστικά από έναν κεντρικό σιδηροδρομικό σταθμό (Brugge Station)	33 στάσεις τραμ
8.Ποσοστό χρήσης Ι.Χ	Ποσοστό (%) μετακινήσεων με Ι.Χ.	49.3%(αφορά την αποκλειστική χρήση αυτοκινήτου για μετακίνηση/αν συνδυάζεται η μετακίνηση με άλλα μέσα(ποδήλατο/μμμ) το ποσοστό αυξάνεται)	38%(μέτριο)
9.Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Κάτοικοι ανά km ²	853.1(χαμηλό)	485.8(χαμηλό)

Η συλλογή των δεδομένων που παρατίθενται στον Πίνακα 10 πραγματοποιήθηκε κατόπιν ενδελεχούς έρευνας σε επίσημες βάσεις δεδομένων και εκθέσεις αρμόδιων φορέων. Συγκεκριμένα για την Μπριζ, αντλήθηκαν στοιχεία από τη Στατιστική Υπηρεσία του Βελγίου Statbel(<https://statbel.fgov.be/en>), τη Στατιστική Αρχή της Φλάνδρας, η οποία είναι η περιφέρεια που βρίσκεται το Μπριζ, (Statistiek Vlaanderen) (<https://www.vlaanderen.be/en/statistics-flanders>) και την επίσημη σελίδα του Δήμου της Μπριζ(Stad Brugge) (<https://www.brugge.be/>). Επιπλέον, δεδομένα για τις δημόσιες συγκοινωνίες αναζητήθηκαν στις ετήσιες αναφορές της εταιρείας μεταφορών της Φλάνδρας(De Lijn) (<https://www.delijn.be/en/>) και την Ομοσπονδιακή Δημόσια Υπηρεσία Κινητικότητας και Μεταφορών (FOD Mobiliteit en Vervoer) (<https://mobiliteit.belgium.be/en>). Για το Τάμπερε, τα δεδομένα προήλθαν από τη Στατιστική Υπηρεσία της Φινλανδίας την Statistics Finland, Tilastokeskus (https://www.stat.fi/index_en.html), την επίσημη ιστοσελίδα του Δήμου Τάμπερε(City of Tampere)(<https://www.tampere.fi/en>). Στοιχεία για τις μετακινήσεις και το δίκτυο μεταφορών αντλήθηκαν από τον Περιφερειακό Φορέα Μεταφορών του Τάμπερε(Nysse) (<https://www.nysse.fi/en/>), την εταιρεία διαχείρισης του Τραμ (Tampereen Ratikka) (<https://www.tampereenratikka.fi/en/>) και την Φινλανδική Υπηρεσία Μεταφορών και Επικοινωνιών Traficom(<https://www.traficom.fi/en/>).Και για τις 2 πόλεις αντλήθηκαν δεδομένα από τα δεδομένα του tom tom traffic index(<https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>) και την statista(<https://www.statista.com/>).Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε τα στοιχεία να αφορούν την πλέον πρόσφατη διαθέσιμη χρονική περίοδο για την οποία

υπάρχουν δημοσιευμένα και ελεγμένα αποτελέσματα.

Με βάση τη συγκριτική ανάλυση των δύο αυτών πόλεων προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα για την κατηγορία των Αστικών Συστάδων. Αρχικά παρατηρείται όπως προ-αναφέρθηκε μια εξάρτηση από το ιδιωτικό αυτοκίνητο για το πλήθος των μετακινήσεων. Συγκεκριμένα στο Μπριζ τα ποσοστά χρήσης Ι.Χ αγγίζουν το 49.3%. Παρότι η μετακίνηση στα ιστορικά κέντρα των πόλεων αυτών πραγματοποιείται και εξυπηρετείται εν μέρει μέσω της ενεργής κινητικότητας(περπάτημα- ποδήλατο)(17.6% των μετακινήσεων στο Μπριζ και 34% στο Ταμπερέ) λόγω των μικρών αποστάσεων η μετακίνηση προς τα προάστια των πόλεων αυτών αποτελεί μια πρόκληση λόγω της έλλειψης υποδομών και της μεγάλης απόστασης. Ενδεικτικά στην πόλη της Μπριζ ο μέσος κάτοικος διανύει καθημερινά μια μέση απόσταση των 20.8 χιλιομέτρων για να μεταβεί στη δουλεία του. Παράλληλα το γεγονός ότι η Μπριζ δεν διαθέτει κάποιο μέσο μεταφοράς σταθερής τροχιάς όπως τραμ ωθεί αναγκαστικά στον κόσμο στην χρήση του αυτοκινήτου. Αντιθέτως το Ταμπερέ ενώ και σε αυτό ο κύριος τρόπος μετακίνησης είναι το αυτοκίνητο(38% των μετακινήσεων) η ύπαρξη τραμ στο πλαίσιο της πόλης έχει συμβάλει στην αύξηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς με ποσοστά που φτάνουν το 17% σε σχέση με το 3.7% της Μπριζ.

Παράλληλα και στις δύο πόλεις παρόλο που παρατηρείται μια σχετικά υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση με βάση τον δείκτη κυκλοφοριακής συμφόρησης, ο μέσος χρόνος μετακίνησης είναι σε ιδανικά επίπεδα και κυρίως στο Ταμπερέ όπου ο μέσος χρόνος μετακίνησης κυμαίνεται στα 21 με 23 λεπτά. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την χαμηλότερη πυκνότητα οχημάτων στο Ταμπερέ καταδεικνύει ότι η ύπαρξη μέσων σταθερής τροχιάς, τα οποία κινούνται σε αποκλειστικές λωρίδες ανεξάρτητα από την κυκλοφοριακή ροή, συμβάλλει καθοριστικά στην αποσυμφόρηση και στην αξιοπιστία των μετακινήσεων. Εν κατακλείδι παρατηρείται μια σημαντική διαφοροποίηση στον αριθμό των θανάτων ανά 100.000 κατοίκους στις 2 πόλεις. Το Ταμπερέ έχει πολύ χαμηλό δείκτη θνησιμότητας λόγω της συνύπαρξης του αυτοκινήτου με την ενεργή κινητικότητα και τα μέσα μεταφοράς σε σύγκριση με το Μπριζ το οποίο σημειώνει υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας λόγω της μεγαλύτερης εξάρτησης από το αυτοκίνητο.

Συμπερασματικά, για την κατηγορία των Αστικών Συστάδων, προκύπτει ότι η απλή προώθηση της μικροκινητικότητας και ενεργής κινητικότητας όπως στην Μπριζ δεν επαρκεί για την πλήρη απεξάρτηση από το Ι.Χ., ειδικά για τις μετακινήσεις από και προς τα προάστια. Απαιτείται η δημιουργία ενός ισχυρού «κορμού» μαζικής μεταφοράς (όπως το τραμ) που θα συνδέεται με τις περιφερειακές ζώνες και τα προάστια της πόλης. Παρακάτω λοιπόν παρατίθενται τα προτεινόμενα μέτρα για την κατηγορία:

- Προκειμένου η μετακίνηση των πολιτών των πόλεων αυτών και ειδικότερα των πολιτών που μένουν στα προάστια της πόλης, από και προς τους διάφορους σταθμούς και στάσεις μέσων μεταφοράς λεωφορείων αλλά και η μετάβαση στα κοντινά μεγάλα αστικά κέντρα να μην στηρίζεται αποκλειστικά στην χρήση Ι.Χ. προτείνεται η ενσωμάτωση ενός συστήματος DRT(Demand Responsive Transport). Ο τρόπος λειτουργίας αυτού του συστήματος έχει αναλυθεί διεξοδικά στην κατηγορία των Factory China/Industrial Engines. Ουσιαστικά αυτό το οποίο θα καταφέρει να επιλύσει το σύστημα αυτό στις πόλεις της εν λόγω κατηγορίας είναι αρχικά η μετάβαση σε αυστηρά χρονικά παράθυρα σε στάσεις μέσων μαζικής μεταφοράς αλλά και η απευθείας σύνδεση των πόλεων αυτών με κοντινά μεγάλα αστικά κέντρα στα οποία απασχολούνται και εργάζονται πολλοί κάτοικοι των αστικών συστάδων.
- Δεδομένου πως η κυκλοφοριακή συμφόρηση στις πόλεις της κατηγορίας είναι σχετικά σε υψηλά επίπεδα παρότι η πυκνότητα των οχημάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι χαμηλή αυτή η κατάσταση επιδεινώνει την αποδοτικότητα των δημόσιων λεωφορείων τα οποία «εγκλωβίζονται» στην αργή κυκλοφορία καθιστώντας τα έτσι αργά και μη αξιόπιστα μέσα για μεταφορά ωθώντας περισσότερο κόσμο στην χρήση Ι.Χ. Δεδομένου ότι σε πόλεις όπως η Μπριζ όπου το λεωφορείο αποτελεί το μοναδικό

δημόσιο μέσο μεταφοράς της πόλης η μη αξιοποίηση στο μέγιστο των δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει συμβάλλει στην «στροφή» προς τη χρήση Ι.Χ. Για αυτό το λόγο προτείνεται η υιοθέτηση συστημάτων Bus Rapid Transit(BRT). Πρόκειται για συστήματα λεωφορείων υψηλής χωρητικότητας που κινούνται σε αποκλειστικές λωρίδες κυκλοφορίας(dedicated lanes), απομονωμένα από την υπόλοιπη κίνηση, προσφέροντας ταχύτητα και αξιοπιστία παρόμοια με αυτή των μέσων σταθερής τροχιάς αλλά με σημαντικά χαμηλότερο κόστος υλοποίησης όπως αναφέρθηκε και στην κατηγορία emerging gateways. Αυτή η αλλαγή αναμένεται να καταστήσει την μετακίνηση με τα λεωφορεία πιο γρήγορη, αποδοτική και αξιόπιστη σε αντίθεση με την χρήση Ι.Χ.

- Η ενεργή κινητικότητα καθώς και η μικρο-κινητικότητα στις πόλεις αυτές όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση προηγουμένως διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στις μετακινήσεις των πολιτών σε όλο το πλαίσιο της πόλης και ειδικά στο κέντρο. Επομένως στόχος θα πρέπει να αποτελεί η περαιτέρω ώθηση του κόσμου στην χρήση λύσεων μικρο-κινητικότητας για τις καθημερινές τους μετακινήσεις. Για να γίνει αυτό εφικτό προτείνεται η επέκταση των ήδη υπάρχοντων πεζοδρομήσεων και λωρίδων κυκλοφορίας για ποδήλατα καθώς και η ενίσχυση των στάσεων των μέσων μαζικής μεταφοράς με υπηρεσίες μικροκινητικότητας. Για την αποφυγή ανισομερούς κατανομής των οχημάτων μικροκινητικότητας και την δυναμική πρόβλεψη ζήτησης των επιβατών προτείνεται η εφαρμογή του μοντέλου που αναλύθηκε στην κατηγορία Knowledge Capitals.

Συνοψίζοντας, η ανάλυση της κατηγορίας Αστικές Συστάδες καταδεικνύει ότι η λύση για την ενίσχυση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας δεν βρίσκεται σε ένα μεμονωμένο μέσο, αλλά στη λειτουργική διασύνδεση των προαστίων με το κέντρο. Η προτεινόμενη στρατηγική βασίζεται σε τρία επίπεδα: την ευελιξία που προσφέρει το DRT , την ταχύτητα του BRT ως κεντρικό κορμό δημόσιας μετακίνησης και την ένταξη λύσεων μικροκινητικότητας και ενεργής κινητικότητας στο αστικό περιβάλλον. Αυτή η πολυτροπική προσέγγιση αποτελεί τη μοναδική βιώσιμη εναλλακτική απέναντι στο Ι.Χ., εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα μείωση της συμφόρησης και αυξημένη οδική ασφάλεια.

5.3 Μέτρα για Αγροτικές Περιοχές

Οι προκλήσεις σχετικά με την αστική κινητικότητα, που προκύπτουν στις αγροτικές περιοχές διαφέρουν κατά πολύ σε σύγκριση με τις προκλήσεις που εμφανίζονται στα μεγάλα αστικά κέντρα. Στα αστικά κέντρα οι κύριες προκλήσεις αφορούν την διαχείριση της συμφόρησης στους δρόμους και τον υπερκορεσμό των δικτύων μεταφοράς. Αντιθέτως στην εν λόγω κατηγορία η κύρια πρόκληση-πρόβλημα εντοπίζεται στο γεγονός ότι λόγω της χαμηλής πληθυσμιακής πυκνότητας των περιοχών αυτών(λιγότεροι από 300 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο) και του δυσπρόσιτου ανάγλυφου με παλιούς δρόμους και ελάχιστες υποδομές, η χρήση μαζικών μέσων μεταφοράς(λεωφορεία) σε καθημερινή βάση κρίνεται οικονομικά και λειτουργικά ασύμφορη. Η κατάσταση αυτή ωθεί στην πλήρη εξάρτηση από τα ιδιωτικά αυτοκίνητα και στον σταδιακό κοινωνικό αποκλεισμό ορισμένων πολιτών οι οποίοι δεν έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν ένα ιδιωτικό μέσο μεταφοράς, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι. Η εξάρτηση αυτή αποτυπώνεται πλήρως στα δεδομένα του International Transport Forum (ITF - OECD)(<https://www.itf-oecd.org/>), σύμφωνα με το οποίο στις αγροτικές περιοχές το ιδιωτικό αυτοκίνητο καλύπτει πάνω από το 85-90% των συνολικών μετακινήσεων. Παράλληλα σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Eurostat Sustainable development in the EU(<https://ec.europa.eu/eurostat/web/sdi>), οι κάτοικοι σε αγροτικές περιοχές οι οποίοι δεν έχουν τη δυνατότητα χρήσης ιδιωτικού οχήματος χρειάζονται κατά μέσο όρο 2 έως 3

φορές περισσότερο χρόνο για να πάνε σε βασικές υπηρεσίες όπως νοσοκομεία και σχολεία σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κατοίκους που μπορούν να χρησιμοποιήσουν Ι.Χ. Περιοχές αυτής της κατηγορίας αποτελούν το Μέτσοβο και το Πήλιο. Συνεπώς για την βελτίωση και την αναβάθμιση της αστικής κινητικότητας στις περιοχές αυτές προτείνονται παρακάτω οι καινοτόμες και ευέλικτες λύσεις-μέτρα:

- Ως πρώτο μέτρο ανάδειξης της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας προτείνεται η εισαγωγή και ένταξη στις περιοχές αυτές ενός συστήματος DRT του οποίου ο τρόπος λειτουργίας και οι τεχνολογίες που έχουν αξιοποιηθεί έχουν αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος έλαβε χώρα στο νησί της Αστυπάλαιας. Τις μετακινήσεις στο νησί της Αστυπάλαιας μέχρι πρότινος εξυπηρετούσε μια συμβατική γραμμή λεωφορείου με αραιά δρομολόγια μέσα στην ημέρα για την μετακίνηση των πολιτών στους διάφορους οικισμούς του νησιού, κάτι τέτοιο όμως αδυνατούσε να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων. Συνεπώς στο πλαίσιο του προγράμματος «Αστυπάλαια 4.0», η παραδοσιακή συγκοινωνία αντικαταστάθηκε πλήρως από την υπηρεσία «ASTYBUS»[77]. Πρόκειται για ένα αμιγώς ηλεκτρικό σύστημα DRT(Demand Resposnsive Transport). Οι κάτοικοι και οι επισκέπτες του νησιού καλούν το ηλεκτρικό λεωφορείο-βαν μέσω μίας διαθέσιμης εφαρμογής στο κινητό, η οποία χρησιμοποιεί αλγοριθμική δρομολόγηση για να συνδυάζει πολλαπλά αιτήματα σε μία διαδρομή. Τα στοιχεία δείχνουν πως η εφαρμογή αυτού του συστήματος αύξησε κατά πολύ την χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας καθώς το σύστημα αυτό προσφέρει περισσότερη ευελιξία σε σύγκριση με τις συμβατικές συγκοινωνίες και την δυνατότητα μετάβασης σε πιο απομακρυσμένες περιοχές και οικισμούς[77].
- Ως βιώσιμη λύση στην αστική κινητικότητα προτείνεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συστήματος MaaS για τις αγροτικές περιοχές ή με την επίσημη βιβλιογραφική ονομασία ένα Rural Mobility as a Service(RMaaS). Πρόκειται για ένα ψηφιακό περιβάλλον το οποίο ενσωματώνει δημόσιες, ιδιωτικές και κοινοτικές υπηρεσίες μεταφοράς και κινητικότητας σε μία ενιαία εφαρμογή με κύριο στόχο την εξυπηρέτηση των διαφόρων αναγκών των πολιτών που έχουν σχέση με την κινητικότητα[78]. Προτείνεται συνεπώς η ανάπτυξη συστημάτων RMaaS τα οποία βασίζονται στις αρχές της έννοιας του «Διαμοιρασμού Κοινοτικών Πόρων» ή με τον αγγλικό όρο Community Asset Sharing, ενσωματώνοντας δύο καινοτόμες λειτουργίες οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:
 1. Πολύ-Λειτουργικά Οχήματα Κοινού Σκοπού("Us Bus" Concept):
Η ιδέα του "Us Bus" αφορά τη μετάβαση από το λεωφορείο μιας χρήσης, του οποίου η λειτουργικότητα είναι περιορισμένη σε τέτοιες περιοχές, σε ένα ενιαίο όχημα το οποίο θα εξυπηρετεί τις ανάγκες των πολιτών. Πρόκειται για μικρά λεωφορεία που δεν εξυπηρετούν μόνο επιβάτες για την μετάβαση από ένα μέρος σε ένα άλλο, αλλά λειτουργούν υβριδικά βάσει αλγορίθμου βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων(Multi-Objective Optimization)[78]. Το ίδιο όχημα, συνεπώς, μπορεί να μεταφέρει μαθητές το πρωί, ασθενείς σε ραντεβού σε κοντινά αστικά κέντρα το μεσημέρι, και να εκτελεί υπηρεσίες logistics(μεταφορά δεμάτων ή φαρμάκων) τις υπόλοιπες ώρες. Αυτή η καινοτομία αποτελεί μια οικονομικά βιώσιμη λύση η οποία εξυπηρετεί ταυτόχρονα το σύνολο των διαφόρων αναγκών των κοινοτήτων της κατηγορίας.
 2. EZ Tickets:
Δεδομένου ότι το αυτοκίνητο αποτελεί το κυρίαρχο μέσο μεταφοράς στις αγροτικές και υπαίθριες περιοχές το σύστημα RMaaS δεν το αποκλείει από αλλά αντιθέτως το ενσωματώνει αποτελεσματικά στις λειτουργίες του. Μέσω της εδραίωσης μίας λειτουργίας η οποία ονομάζεται EZ Ticket η οποία ουσιαστικά αναφέρεται σαν μια μορφή ψηφιακού εισιτηρίου, δημιουργείται μια αγορά-εφαρμογή όπου οι κάτοικοι μπορούν να διαθέσουν, να «νοικιάσουν» ή και να μοιραστούν τα δικά τους μέσα μεταφοράς. Για παράδειγμα, ένας κάτοικος μπορεί

να προσφέρει μια κενή θέση στο αυτοκίνητό του ή να δανείσει το ποδήλατό του σε έναν τουρίστα, λαμβάνοντας πιστώσεις για μελλοντικές μετακινήσεις[78].

Συμπερασματικά, το προτεινόμενο μέτρο RMaas δεν είναι απλώς μια εφαρμογή δρομολόγησης, αλλά ένα εργαλείο που αξιοποιεί τους ήδη υπάρχοντες πόρους κινητικότητας προκειμένου να καλύψει κενά της δημόσιας συγκοινωνίας[78].

Ανακεφαλαιώνοντας, η ανάλυση της κατηγορίας των Αγροτικών Περιοχών καταδεικνύει ότι η βιώσιμη κινητικότητα δεν απαιτεί απαραίτητα πυκνές υποδομές, αλλά ευφυή διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Σε τέτοιου είδους περιβάλλοντα όπου οι συνθήκες, όπως χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, χαμηλή ζήτηση, δυσπρόσιτο περιβάλλον, δεν ευνοούν τα συμβατικά μέσα δημόσιας μεταφοράς όπως λεωφορεία παραδείγματος χάριν, η τεχνολογία λειτουργεί ως καταλύτης για την βελτίωση της κινητικότητας στις περιοχές αυτές και την άρση του κοινωνικού αποκλεισμού. Συνεπώς η προτεινόμενη στρατηγική η οποία βασίζεται στα μέτρα που προτάθηκαν έχει ως στόχο την μετατροπή την κινητικότητας στα αγροτικά περιβάλλοντα από ατομική υπόθεση σε συλλογική υπηρεσία που διασφαλίζει προσβασιμότητα για όλους.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

6.1 Κύρια Ευρήματα

Η παρούσα πτυχιακή διερεύνησε σε βάθος το πολυδιάστατο θέμα-τοπίο της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας εστιάζοντας ιδιαίτερα στην ανάγκη μετάβασης από τους συμβατικούς τρόπους μετακίνησης, που στηρίζονται στην χρήση ιδιωτικών οχημάτων, σε νέα μοντέλα μετακίνησης τα οποία έχουν ως επίκεντρο τον άνθρωπο, δηλαδή την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των ανθρώπων σε θέματα κινητικότητας και μετακίνησης στα πλαίσια των αστικών περιβαλλόντων. Με βάση λοιπόν, την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, την μοντελοποίηση των πόλεων, την στατιστική ανάλυση δεικτών κινητικότητας, την παράθεση προτάσεων και τεχνολογικών προσεγγίσεων και την ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η Αναγκαιότητα της Εξατομικευμένης Προσέγγισης:

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα της εν λόγω πτυχιακής είναι ότι δεν υπάρχει μια ενιαία λύση για την αστική κινητικότητα. Όπως αναδείχθηκε από την μοντελοποίηση των πόλεων και την στατιστική ανάλυση δεικτών κινητικότητας στην 4^η Ενότητα διαπιστώθηκε το γεγονός πως τα προβλήματα και οι προκλήσεις σχετικά με την αστική κινητικότητα διαφέρουν από ένα αστικό περιβάλλον σε ένα άλλο. Συνεπώς μια μεγάλη μητρόπολη η οποία εντάσσεται στην κατηγορία Global Giants αντιμετωπίζει προβλήματα κινητικότητας που έχουν να κάνουν με τον κορεσμό του δικτύου μεταφορών, την κυκλοφοριακή συμφόρηση και έλλειψη χώρου σε αντίθεση με μία πόλη που ανήκει στην κατηγορία American Middleweights η οποία χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της αστικής εξάπλωσης και τα μεγάλα ποσοστά χρήσης Ι.Χ και την ελάχιστη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς. Η κατηγοριοποίηση που εφαρμόστηκε ανέδειξε ότι η επιτυχία των Σχεδίων Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας(SUMP) εξαρτάται από την προσαρμογή των μέτρων και στρατηγικών στα ειδικά χαρακτηριστικά όπως πληθυσμός, γεωμορφολογία και τους δείκτες της 4^{ης} Ενότητας, της κάθε περιοχής.

- Η Πληροφορική ως Θεμέλιος Λίθος της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας:

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανέδειξε την σημασία της Πληροφορικής για το τοπίο

της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας και τον αναντικατάστατο ρόλο της Πληροφορικής ως τον κεντρικό πυλώνα για την επίτευξη της βιώσιμης κινητικότητας. Για την μετάβαση σε «έξυπνες» πόλεις οι οποίες θα χαρακτηρίζονται από βιώσιμους και αποδοτικούς τρόπους μετακίνησης δεν αρκεί η απλή λήψη διοικητικών αποφάσεων και η απλή επέκταση των υποδομών κινητικότητας τους αλλά κρίνεται απαραίτητη η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογικών λύσεων. Η δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων(Big Data), η χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης για την αποδοτική διαχείριση των πόρων, η εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης για τον έλεγχο της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο, η χρήση της τεχνολογίας edge computing για τον δυναμικό έλεγχο των φωτεινών σηματοδοτών, η δημιουργία ψηφιακών περιβαλλόντων προσομοίωσης(Digital Twins), η δημιουργία εφαρμογών κινητικότητας(MaaS), η δυναμική πρόβλεψη ζήτησης μέσων μικρο-κινητικότητας, η χρήση αυτόνομων οχημάτων με αλγορίθμους για εντοπισμό εμποδίων με αλγοριθμικές διαδικασίες και τεχνητή νοημοσύνη και μια πληθώρα ακόμα και άλλων τεχνολογιών αποτελούν πλέον απαραίτητα εργαλεία για την βελτίωση της αστικής κινητικότητας. Συνεπώς το μέλλον της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας στηρίζεται πλήρως στις τεχνολογίες και τις καινοτόμες λύσεις της επιστήμης της Πληροφορικής.

- Σύνδεση με τους στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης(SDGs) των Ηνωμένων Εθνών:

Επιβεβαιώθηκε μέσω της πτυχιακής η άμεση συσχέτιση της Βιώσιμης Κινητικότητας με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης που έχει ορίσει ο Ο.Η.Ε. Διαπιστώθηκε, πως η ανάδειξη της βιώσιμης αστικής κινητικότητας και η μετάβαση σε πιο βιώσιμους και οικολογικούς τρόπους μετακίνησης εναρμονίζεται πλήρως και αναδεικνύει διάφορους από τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης που έχουν τεθεί από τα Ηνωμένα Έθνη. Συνεπώς η μείωση της εξάρτησης από το Ι.Χ. και η στροφή σε ήπιες μορφές μετακίνησης όπως περπάτημα, ποδήλατο αναδείχθηκαν ως κρίσιμοι παράγοντες για την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής.

Συνοψίζοντας, η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η βιώσιμη αστική κινητικότητα είναι εφικτή, αρκεί να βασίζεται σε τεκμηριωμένα δεδομένα, στατιστικά, αναλύσεις και μελέτες κινητικότητας, να αξιοποιεί στο έπακρο τις σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής και να λαμβάνει υπόψη την ιδιαίτερη ταυτότητα(οικονομική, κοινωνική πολεοδομική) και τις τρέχουσες μορφές κινητικότητας της κάθε πόλης.

6.2 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η παρούσα πτυχιακή ανέδειξε πως η Αστική Κινητικότητα του «σήμερα» προκειμένου να εξελιχθεί και να σημειώσει βελτίωση χρειάζεται την απόλυτη συνεισφορά των τεχνολογιών της επιστήμης της Πληροφορικής. Στο σύντομο μέλλον σύμφωνα με την βιβλιογραφία[81,82] οι τεχνολογίες πληροφορικής και ειδικότερα η τεχνητή νοημοσύνη(AI) και η μηχανική μάθηση(Machine Learning) θα αποτελούν το κεντρικό «πυλώνα» των αστικών μεταφορών. Ωστόσο, αυτή η ραγδαία ψηφιοποίηση, η διασύνδεση των υποδομών και η τεχνολογική εξάρτηση των διαφόρων υποδομών κινητικότητας αναδεικνύουν τον τομέα Κυβερνοασφάλειας ή με τον αγγλικό όρο Cybersecurity ως μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της επόμενης δεκαετίας[83]. Καθώς οι πόλεις εξοπλίζονται με αισθητήρες και τα οχήματα επικοινωνούν μεταξύ τους, η προστασία των ψηφιακών συστημάτων από κακόβουλες επιθέσεις και η διασφάλιση των προσωπικών δεδομένων των πολιτών καθίστανται ζητήματα ζωτικής σημασίας. Συνεπώς, η μελλοντική έρευνα οφείλει να εστιάσει στη δημιουργία ασφαλών και ανθεκτικών ψηφιακών οικοσυστημάτων, τα οποία θα ενσωματώνουν την ευφυΐα του AI με αυστηρά πρωτόκολλα ασφαλείας, εξασφαλίζοντας ότι οι έξυπνες πόλεις του μέλλοντος θα είναι όχι μόνο αποδοτικές, αλλά και ασφαλείς για όλους.

Βιβλιογραφία

1. Foltýnová, H. B., Vejchodská, E., Rybová, K., & Květoň, V. (2020). Sustainable urban mobility: One definition, different stakeholders' opinions. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 87, 102465. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102465>
2. Borchers, T., Wittowsky, D., & Souza Fernandes, R. A. (2024). A comprehensive survey and future directions on optimizing sustainable urban mobility. *IEEE Access*, 12, 63023-63048. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3393470>
3. Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban Transportation Concept and Sustainable Urban Mobility in Smart Cities: A Review. *Energies*, 16(8), 3585. <https://doi.org/10.3390/en16083585>
4. Schipper, F., Emanuel, M., & Oldenziel, R. (2020). Sustainable Urban Mobility in the Present, Past, and Future. *Technology and Culture* 61(1), 307-317. <https://dx.doi.org/10.1353/tech.2020.0004>.
5. Kiba-Janiak, M., & Witkowski, J. (2019). Sustainable Urban Mobility Plans: How Do They Work? *Sustainability*, 11(17), 4605. <https://doi.org/10.3390/su11174605>
6. Papadakis, D. M., Savvides, A., Michael, A., & Michopoulos, A. (2024). Advancing sustainable urban mobility: insights from best practices and case studies. *Fuel Communications*, 20, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.fueco.2024.100125>
7. Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban Transportation Concept and Sustainable Urban Mobility in Smart Cities: A Review. *Energies*, 16(8), 3585. <https://doi.org/10.3390/en16083585>
8. Tran, T. D., Ovtracht, N., & D'Arcier, B. F. (2015). Modeling Bike Sharing System using Built Environment Factors. *Procedia CIRP*, 30, 293-298. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.156>
9. Parekh, D., Poddar, N., Rajpurkar, A., Chahal, M., Kumar, N., Joshi, G. P., & Cho, W. (2022). A Review on Autonomous Vehicles: Progress, Methods and Challenges. *Electronics*, 11(14), 2162. <https://doi.org/10.3390/electronics11142162>
10. Brunner, H., Hirz, M., Hirschberg, W., & Fallast, K. (2018). Evaluation of various means of transport for urban areas. *Energy Sustainability and Society*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13705-018-0149-0>
11. Oman, H. (2002). Electric car progress. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 17(6), 30-35. <https://doi.org/10.1109/MAES.2002.1010119>
12. Ortar, N., & Ryghaug, M. (2019). Should All Cars Be Electric by 2025? The Electric Car Debate in Europe. *Sustainability*, 11(7), 1868. <https://doi.org/10.3390/su11071868>
13. Perondi, E. A., De O Kunz, G., Wildner, F. D., Dorneles, E. G., & Abs, D. (2024). Automatic feedback cruising control of the Aeromovel automated people mover. *International Conference on Transportation and Development 2022*, 30, 473-486. <https://doi.org/10.1061/9780784485521.043>
14. Britto, J. F. F. H., Perondi, E. A., & Sobczyk S., M. R. (2014). Dynamic Model of a Pneumatic Automatic People Mover (Aeromovel System). *International Journal of Fluid Power*, 15(2), 101-111. <https://doi.org/10.1080/14399776.2014.931133>

15. Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404. <https://doi.org/10.3390/smartsities4010022>
16. Sun, X., Li, Z., Wang, X., & Li, C. (2020). Technology Development of Electric Vehicles: A Review. *Energies*, 13(1), 90. <https://doi.org/10.3390/en13010090>
17. Ghazal, B., ElKhatib, K., Chahine, K., & Kherfan, M. (2016). Smart traffic light control system. In *2016 Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications (EECEA)* (pp. 140-145). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EECEA.2016.7470780>
18. De Schutter, B., & De Moor, B. (1998). Optimal traffic light control for a single intersection. *European Journal of Control*, 4(3), 260-276. [https://doi.org/10.1016/s0947-3580\(98\)70119-0](https://doi.org/10.1016/s0947-3580(98)70119-0)
19. Barros, J., Araujo, M., & Rossetti, R. J. F. (2015). Short-term real-time traffic prediction methods: A survey. In *2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)* (pp. 132-139). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2015.7223248>
20. Yin, X., Wu, G., Wei, J., Shen, Y., Qi, H., & Yin, B. (2022). Deep learning on traffic prediction: Methods, analysis, and future directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(6), 4927-4943. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.305484>
21. Derdouri, A., & Osaragi, T. (2025). A complex network analysis of urban human mobility in Tokyo. *Travel Behaviour and Society*, 40, 101020. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2025.101020>
22. Wolniak, R., & Grebski, W. (2023). Smart mobility in smart city - Singapore and Tokyo comparison. *Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series*, 176, 755-772. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.176.44>
23. Wong, Y. Z., Hensher, D. A., & Mulley, C. (2020). Mobility as a service (MaaS): Charting a future context. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 131, 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.030>
24. Narayanan, S., & Antoniou, C. (2023). Shared mobility services towards Mobility as a Service (MaaS): What, who and when? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 168, 103581. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103581>
25. Straubinger, A., Rothfeld, R., Shamiyeh, M., Büchter, K., Kaiser, J., & Plötner, K. O. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility - Setting the scene for UAM introduction. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101852. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101852>
26. Boukerche, A., & Wang, J. (2020). Machine learning-based traffic prediction models for intelligent transportation systems. *Computer Networks*, 181, 107530. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107530>
27. Kashyap, A. A., Raviraj, S., Devarakonda, A., K, S. R. N., K, S. V., & Bhat, S. J. (2022). Traffic flow prediction models - A review of deep learning techniques. *Cogent Engineering*, 9(1), 2010510. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.2010510>
28. Dell'Olio, L., Moura, J. L., Ibeas, A., Cordera, R., & Holguín-Veras, J. (2017). Receivers' willingness-to-adopt novel urban goods distribution practices. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 102, 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.026>

29. Xu, Z., Tang, X., Ma, C., & Zhang, R. (2024). Research on parking space detection and prediction model based on CNN-LSTM. *IEEE Access*, 12, 30085-30100. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3368521>
30. Xiao, X., et al. (2023). Parking prediction in smart cities: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(10), 10302-10326. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3279024>
31. Kiba-Janiak, M., & Witkowski, J. (2019). Sustainable Urban Mobility Plans: How Do They Work? *Sustainability*, 11(17), 4605. <https://doi.org/10.3390/su11174605>
32. Spadaro, I., & Pirlone, F. (2021). Sustainable Urban Mobility Plan and Health Security. *Sustainability*, 13(8), 4403. <https://doi.org/10.3390/su13084403>
33. Ceder, A. (Avi). (2021). Urban mobility and public transport: future perspectives and review. *International Journal of Urban Sciences*, 25(4), 455-479. <https://doi.org/10.1080/12265934.2020.1799846>
34. Gabrielli, S., Forbes, P., Jylhä, A., Wells, S., Sirén, M., Hemminki, S., Nurmi, P., Maimone, R., Masthoff, J., & Jacucci, G. (2014). Design challenges in motivating change for sustainable urban mobility. *Computers in Human Behavior*, 41, 416-423. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.05.026>
35. Canitez, F., Alpkokin, P., & Kiremitci, S. T. (2020). Sustainable urban mobility in Istanbul: Challenges and prospects. *Case Studies on Transport Policy*, 8(4), 1148-1157. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.07.005>
36. Diao, M. (2019). Towards sustainable urban transport in Singapore: Policy instruments and mobility trends. *Transport Policy*, 81, 320-330. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.005>
37. Kim, J., Moon, Y.-J., & Suh, I.-S. (2015). Smart mobility strategy in Korea on sustainability, safety and efficiency toward 2025. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 7(4), 58-67. <https://doi.org/10.1109/MITS.2015.2474995>
38. Perondi, E. A., Kunz, G. de O., Wildner, F. D., Domeles, E. G., & Abs, D. (2024). Automatic feedback cruising control of the Aeromovel automated people mover. In *International Conference on Transportation and Development 2024* (pp. 473-486). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784485521.043>
39. Britto, J. F. F. H., Perondi, E. A., & Sobczyk S., M. R. (2014). Dynamic Model of a Pneumatic Automatic People Mover (Aeromovel System). *International Journal of Fluid Power*, 15(2), 101-111. <https://doi.org/10.1080/14399776.2014.931133>
40. Wu, L., Zhang, R., Zhou, R., & Wu, D. (2021). An edge computing based data detection scheme for traffic light at intersections. *Computer Communications*, 176, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.05.014>
41. Guo, K., Hu, Y., Qian, Z., Liu, H., Zhang, K., Sun, Y., Gao, J., & Yin, B. (2021). Optimized graph convolution recurrent neural network for traffic prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(2), 1138-1149. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2963722>
42. Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A.-S., Peimbert-García, R. E., Ramírez-Moreno, M. A., Ramírez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. d. J. (2022). Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 14(6), 1335. <https://doi.org/10.3390/rs14061335>

43. Guo, K., *et al.* (2021). Optimized graph convolution recurrent neural network for traffic prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(2), 1138-1149. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2963722>
44. Deng, T., & Nelson, J. D. (2011). Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature. *Transport Reviews*, 31(1), 69-96. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.492455>
45. Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., & Rutherford, G. (2002). *Bus rapid transit: An overview*. Journal of Public Transportation, 5(2), 1-30. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.5.2.1>
46. Prommaharaj, P., Phithakkitnukoon, S., Demissie, M. G., Kattan, L., & Ratti, C. (2020). *Visualizing public transit system operation with GTFS data: A case study of Calgary, Canada*. Heliyon, 6(4), e03729. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03729>
47. Liu, D., Guo, J., Gu, Y., King, M., Han, L. D., & Brakewood, C. (2025). *Analyzing transit systems using General Transit Feed Specification (GTFS) by generating spatiotemporal transit networks*. Information, 16(1), 24. <https://doi.org/10.3390/info16010024>
48. Smith, M. J., & Clarke, R. V. (2000). *Crime and public transport*. Crime and Justice, 27, 169-233. <https://doi.org/10.1086/652200>
49. Zhao, H. (2023). Artificial intelligence-based public safety data resource management in smart cities. *Open Computer Science*, 13(1), 20220271. <https://doi.org/10.1515/comp-2022-0271>
50. Shi, T., Zhang, W., Zhou, Q., & Wang, K. (2020). *Industrial structure, urban governance and haze pollution: Spatiotemporal evidence from China*. The Science of the Total Environment, 742, 139228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139228>
51. Botelho, T. C., Duarte, S. P., Ferreira, M. C., Ferreira, S., & Lobo, A. (2025). *Simulator and on-road testing of truck platooning: a systematic review*. European Transport Research Review, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00705-6>
52. Maroof, A., Ayvaz, B., & Naeem, K. (2024). Logistics Optimization Using Hybrid Genetic Algorithm (HGA): A Solution to the Vehicle Routing Problem With Time Windows (VRPTW). *IEEE Access*, 12, 36974-36989. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3373699>
53. Alhijawi, B., & Awajan, A. (2023). Genetic algorithms: theory, genetic operators, solutions, and applications. *Evolutionary Intelligence*, 17(3), 1245-1256. <https://doi.org/10.1007/s12065-023-00822-6>
54. Guo, X., Cao, Y., Zhou, J., Huang, Y., & Li, B. (2023). HDM-RRT: A fast HD-Map-Guided motion planning algorithm for autonomous driving in the campus environment. *Remote Sensing*, 15(2), 487. <https://doi.org/10.3390/rs15020487>
55. Belkessa, L., Ameli, M., Ramezani, M., & Zargayouna, M. (2024). Multi-Channel Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks for Accurate Micromobility Demand Prediction Integrating Public Transport Data. *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL Workshop on Sustainable Urban Mobility*, 5-13. <https://doi.org/10.1145/3681779.3696841>
56. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. J. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Final report
57. Imbrenda, V., Coluzzi, R., Bianchini, L., Di Stefano, V., & Salvati, L. (2022). *Urban*

- sprawl: Theory and practice*. Elsevier eBooks, 23-46.
<https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2022.10.017>
58. Kim, J. (2020). Assessment of the DRT System Based on an Optimal Routing Strategy. *Sustainability*, 12(2), 714. <https://doi.org/10.3390/su12020714>
59. Abdullahi, M. R., Lu, Q.-C., Hussain, A., Tripura, S., Xu, P.-C., & Wang, S. (2024). *Location optimization of EV charging stations: A custom K-means cluster algorithm approach*. *Energy Reports*, 12, 5367-5382. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.09.075>
60. Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban transportation concept and sustainable urban mobility in smart cities: A review. *Energies*, 16(8), 3585. <https://doi.org/10.3390/en16083585>
61. World Business Council for Sustainable Development. (2015). *Sustainable mobility project 2.0: Sustainable mobility indicators* (2nd ed.). WBCSD.
https://docs.wbcsd.org/2015/12/SMP2.0_Sustainable-Mobility-Indicators_ENG.pdf
62. Dargay, J., Gatley, D., & Sommer, M. (2007). Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030. *The Energy Journal*, 28(4), 143-170.
63. Rodrigue, J., Comtois, C., & Slack, B. (2016). The geography of transport systems.
<https://doi.org/10.4324/9781315618159>
64. OECD. (2012). *Compact city policies: A comparative assessment*. OECD Green Growth Studies. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264167865-en>
65. Wolniak, R., & Grebski, W. (2023). Smart mobility in smart city-Singapore and Tokyo comparison. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, (176), 751-770.
66. Sunitiyoso, Y., Wicaksono, A., Pambudi, N. F., Rahayu, W. A., Nurdayat, I. F., Hadiansyah, F., Nuraeni, S., & Muhammad, A. A. (2023). Future of mobility in Jakarta Metropolitan Area: A Multi-Stakeholder scenario planning. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 19, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100810>
67. Mu, X., Fang, C., Yang, Z., & Guo, X. (2022). Impact of the COVID-19 Epidemic on Population Mobility Networks in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration from a Resilience Perspective. *Land*, 11(5), 675. <https://doi.org/10.3390/land11050675>
68. Wolniak, R. (2023). Smart mobility in smart city - Copenhagen and Barcelona comparison. *Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series*, 2023(172). <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.172.41>
69. Zhao, S. X., Guo, N. S., Li, C. L. K., & Smith, C. (2017). Megacities, the World's Largest Cities Unleashed: Major trends and dynamics in contemporary global urban development. *World Development*, 98, 257-289.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.04.038>
70. Xanthopoulos, S., Van Der Tuin, M., Azadeh, S. S., De Almeida Correia, G. H., Van Oort, N., & Snelder, M. (2023). Optimization of the location and capacity of shared multimodal mobility hubs to maximize travel utility in urban areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 179, 103934. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103934>
71. Avril, E., Picco, A., Lescarret, C., Lemercier, C., Arguel, A., & Caroux, L. (2024). Gamification in the transport and Mobility sector: A Systematic review. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, 104, 286-302.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.06.004>

72. Appolloni, L., Corazza, M. V., & D'Alessandro, D. (2025). Improving walkability for sustainable mobility and urban regeneration in Rome. *Transportation Research Procedia*, 90, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.06.028>
73. Liu, Y., Li, G., Hao, L., Yang, Q., & Zhang, D. (2023). Research on a Lightweight Panoramic Perception Algorithm for Electric Autonomous Mini-Buses. *World Electric Vehicle Journal*, 14(7), 179. <https://doi.org/10.3390/wevj14070179>
74. Mitropoulos, L., Kortsari, A., Mizaras, V., & Ayfantopoulou, G. (2023). Mobility as a Service (MaaS) Planning and Implementation: Challenges and Lessons Learned. *Future Transportation*, 3(2), 498-518. <https://doi.org/10.3390/futuretransp3020029>
75. Alyavina, E., Nikitas, A., & Njoya, E. T. (2022). Mobility as a service (MaaS): A thematic map of challenges and opportunities. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100783>
76. Papageorgiou, G., Tsappi, E., & Wang, T. (2024). Smart Urban Systems Planning for active mobility and sustainability. *IFAC-PapersOnLine*, 58(10), 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.350>
77. Glaroudis, D., Sampsonidou, A., & Papaioannou, E. (2024). Smart Cities, IoT, and e-Government: Applications in Greek Municipalities. *Proceedings*, 111(1), 26. <https://doi.org/10.3390/proceedings2024111026>
78. Milne, J., Nelson, J., Beecroft, M., Cottrill, C. D., & Wright, S. (2026). A collaborative and user-centered approach to exploring the challenges and opportunities in rural transport and mobility: Towards Rural Mobility as a Service (RMaaS). *International Journal of Sustainable Transportation*, 20(1), 46-62. <https://doi.org/10.1080/15568318.2025.2560579>
79. Chen, Y., Lin, Y., & Wright, J. S. (2025). On the dynamics and impacts of the summertime Southern Hemisphere dominant wave mode. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 151(773). <https://doi.org/10.1002/qj.5069>
80. Wang, M., Zhang, C., Zhang, W., Cheng, C., Hu, Y., Li, X., Liang, Q., Zhang, Q., & Hou, Y. (2025). Recent progress of sensor devices and materials: Especially in the intelligent applications. *Review of Materials Research*, 1(3), 100062. <https://doi.org/10.1016/j.revmat.2025.100062>
81. Khaleel, M. M., Abuali, M. M., & Ahmed, A. (2025, January 2). Transforming Urban Mobility with AI: The Future of Smart Cities. <https://easdjournals.com/index.php/oejesr/article/view/19>
82. Chaudhary, A., Meenakshi, M., Sharma, S., Rahman, M., & Srinivasan, S. (2025). Enhancing urban mobility: machine learning-powered fusion approach for intelligent traffic congestion control in smart cities. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02672-6>
83. Pambudi, D., & Hwang, J. (2025). Cybersecurity challenges and adaptive strategies in smart mobility: a systematic literature review. *Iran Journal of Computer Science*, 8(4), 1573-1595. <https://doi.org/10.1007/s42044-025-00278-0>
84. Saleem, A., Anwar, S., Nawaz, T., Fahad, S., Saud, S., Rahman, T. U., Khan, M. N. R., & Nawaz, T. (2024). Securing a sustainable future: the climate change threat to agriculture, food security, and sustainable development goals. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 11(3), 595-611. <https://doi.org/10.1007/s43994-024-00177-3>

85. Hook, H., Durán-Rodas, D., Jamal, S., & Schwanen, T. (2025). Evaluating initiatives to improve transport justice. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 142, 104719. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104719>
86. Garus, A., Mourtzouchou, A., Suarez, J., Fontaras, G., & Ciuffo, B. (2024). Exploring Sustainable Urban Transportation: Insights from Shared Mobility Services and Their Environmental Impact. *Smart Cities*, 7(3), 1199-1220. <https://doi.org/10.3390/smartcities7030051>
87. Papageorgiou, G., Tsappi, E., & Wang, T. (2024b). Smart Urban Systems Planning for active mobility and sustainability. *IFAC-PapersOnLine*, 58(10), 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.350>
88. Ince, E. C. (2025). Mapping the Path to Sustainable Urban Mobility: A Bibliometric Analysis of Global Trends and Innovations in Transportation Research. *Sustainability*, 17(4), 1480. <https://doi.org/10.3390/su17041480>
89. Andrinopoulou, E., & Tzouras, P. G. (2025). Applying Spectral Clustering to Decode Mobility Patterns in Athens, Greece. *Applied Sciences*, 15(7), 3419. <https://doi.org/10.3390/app15073419>
90. Di Ludovico, D., Eugeni, F., Serag, Y., Salem, T., & Jawad, D. (2025). Comparative analysis of sustainable mobility planning tools: case studies from Italy, Egypt, and Lebanon. *HBRC Journal*, 21(1), 62-80. <https://doi.org/10.1080/16874048.2024.2445333>
91. May, A. D. (2024). Urban Transport and Sustainability: the Key challenges. *International Journal of Sustainable Transportation*, 7(3), 170-185. <https://doi.org/10.1080/15568318.2013.710136>
92. Anttiroiko, A. V. (2005). The Saga of Kista Science City: the development of the leading Swedish IT hub from a high-tech industrial park to a science city. *International Journal of Technology Policy and Management*, 5(3), 258. <https://doi.org/10.1504/ijtpm.2005.008407>
93. Avetisyan, L., Zhang, C., Bai, S., Moradi Pari, E., Feng, F., Bao, S., & Zhou, F. (2022). Design a sustainable micro-mobility future: trends and challenges in the US and EU. *Journal of Engineering Design*, 33(8-9), 587-606. <https://doi.org/10.1080/09544828.2022.2142904>
94. World Bank. (2015). East Asia's changing urban landscape: Measuring a decade of spatial growth. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0363-5>
95. Lin, F. C. H. (2025). The ephemerality and micro-historicity of the postcolonial-urban: a critical case study of Asia's urban mobility. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2526199>
96. Sa, M. L. L., & Choon-Yin, S. (2023). *Sustainable Urban Development in Singapore*.
97. Chen, Y., Xu, Y., Wang, F., & Shi, F. (2022). Mapping the emission of air pollution sources based on land-use classification: A case study of Shengzhou, China. *Land Use Policy*, 117, 106083. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106083>
98. Del Serrone, G., Cantisani, G., Grilli, R., & Peluso, P. (2023). Effectiveness of Climbing lanes for Slow-Moving Vehicles when Riding Uphill: A Microsimulation study. *Vehicles*, 5(3), 744-760. <https://doi.org/10.3390/vehicles5030041>
99. Shen, T., Hong, Y., Thompson, M. M., Liu, J., Huo, X., & Wu, L. (2020). How does parking availability interplay with the land use and affect traffic congestion in urban

areas? The case study of Xi'an, China. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102126.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102126>

