



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διερεύνηση επιρροής της υπηρεσίας αυτόνομων μικρών λεωφορείων στην ασφάλεια, με προσομοίωση της κυκλοφορίας δικτύου



Μαρία Τάκκα

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

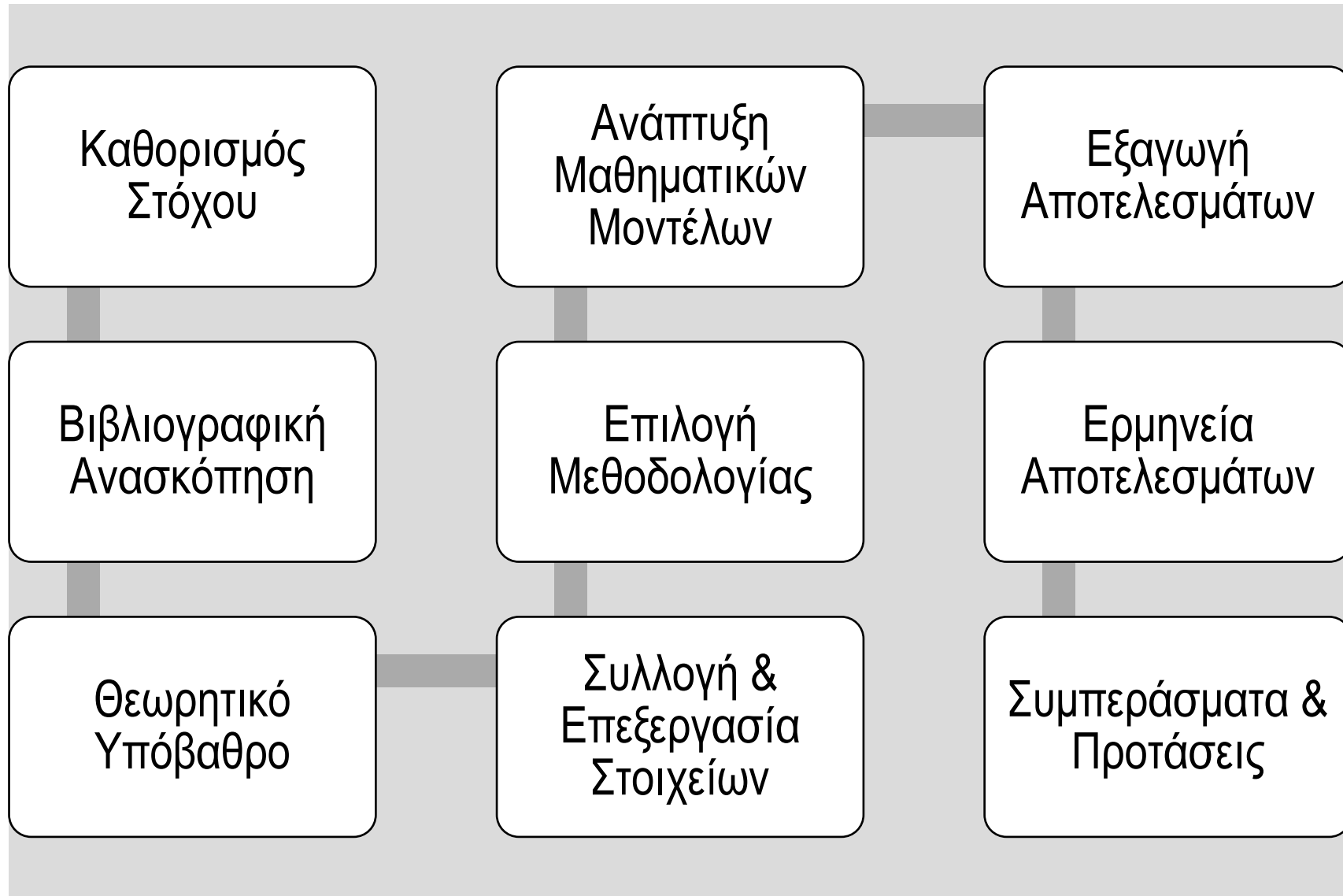
Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

- Διερεύνηση επιρροής της υπηρεσίας **αυτόνομων μικρών λεωφορείων στην ασφάλεια**, με **προσομοίωση κυκλοφορίας δικτύου**.



Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

- Η μέθοδος της **προσομοίωσης** είναι ένα σημαντικό εργαλείο στην ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων.
- Τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να βελτιώσουν την οδική **ασφάλεια** σημαντικά, μειώνοντας τα ανθρώπινα λάθη.
- Υψηλότερα όρια ταχύτητας οδηγούν σε περισσότερες συγκρούσεις, συγκεκριμένα νωτομετωπικές.
- Η πλήρης επίδραση των αυτόνομων οχημάτων εξαρτάται από το **ποσοστό διείσδυσης** τους.
- Η μετάβαση στη πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση θα πρέπει να είναι **σταδιακή**.



Θεωρητικό Υπόβαθρο

**Μέθοδος
Ανάλυσης:**

Πολυωνυμική Λογιστική Παλινδρόμηση

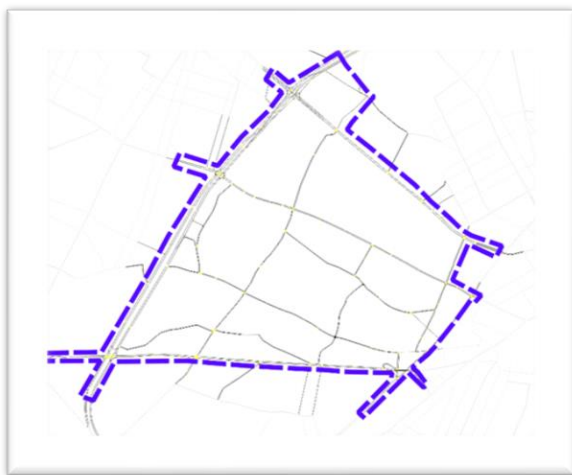
**Στατιστική
Αξιολόγηση
Μοντέλου:**

- Λογική εξήγηση συντελεστών
- Στατιστική σημαντικότητα
- Ποιότητα Μοντέλου

Μεταβλητές:

- Εξαρτημένη μεταβλητή: Κατηγορική Επικινδυνότητα (Crash Cat)
- Ανεξάρτητες μεταβλητές: Χαρακτηριστικά δικτύου και οχημάτων

Μικροσκοπική Προσομοίωση Κυκλοφορίας



- Μέθοδος **μικροσκοπικής προσομοίωσης** με χρήση λογισμικού Aimsun Next.
- Δίκτυο:
 - ❖ 728 κόμβους και 1.636 οδικά τμήματα.
 - ❖ Συνολικό μήκος οδικών τμημάτων 70 χλμ.
 - ❖ Μέγεθος περίπου 3 χλμ².
- Χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο SSAM για την αξιολόγηση της ασφάλειας με βάση εναλλακτικών δεικτών ασφάλειας, τα οποία χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα των ατυχημάτων.
- Καταγράφηκαν συνολικά 1.292.979 **συμβάντα εμπλοκών**, για τα οποία ο χρόνος έως τη εμπλοκή των δύο οχημάτων (Time-To-Collision), ήταν μικρότερος από 1,5 δευτερόλεπτα.

Σενάρια Προσομοίωσης Κυκλοφορίας

Α-Σενάριο

- Συμβατικά οχήματα σε ποσοστό 100%

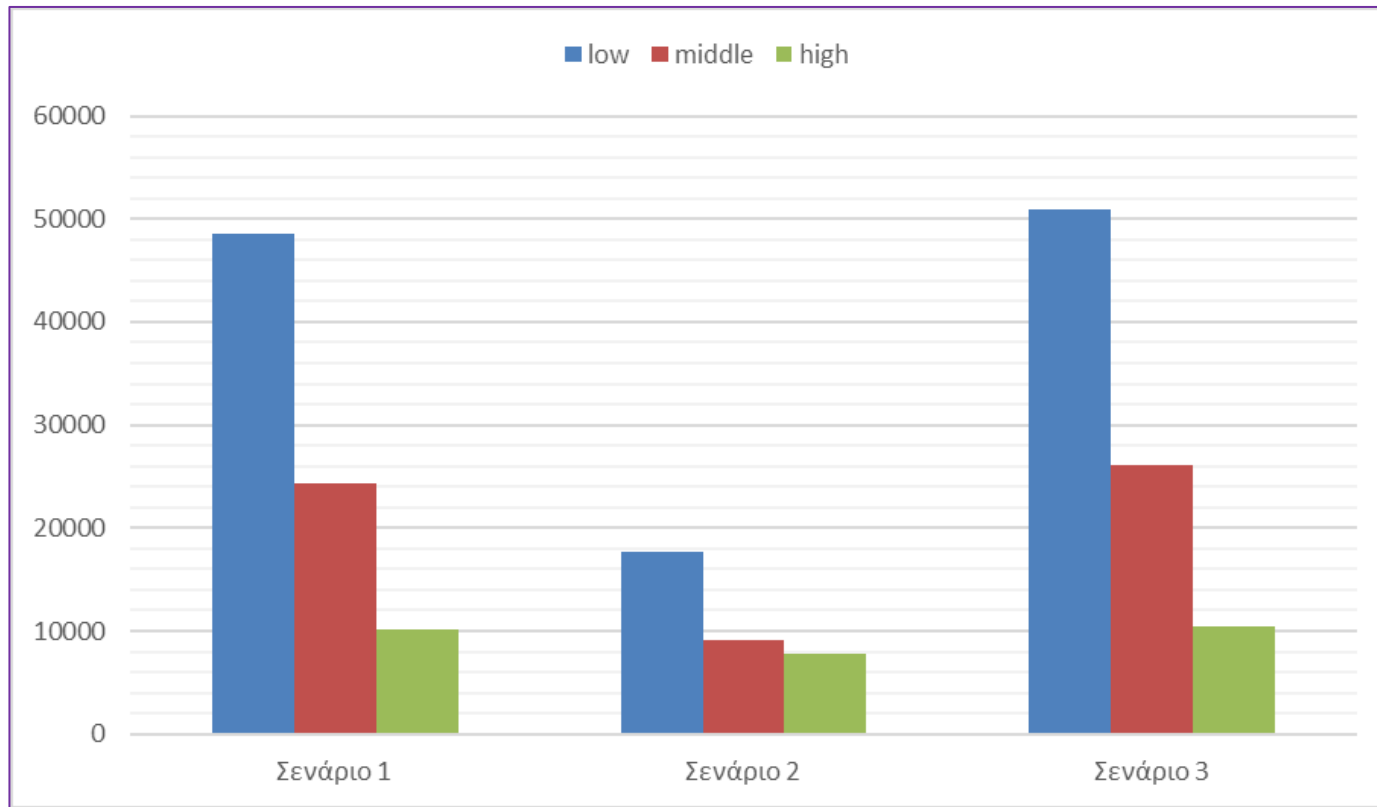
Β-Σενάριο

- 40% Συμβατικά
- 40% 1ης γενιάς Αυτόνομα οχήματα
- 20% 2ης γενιάς Αυτόνομα οχήματα

Γ-Σενάριο

- Αυτόνομα οχήματα μόνο 2ης γενιάς σε ποσοστό 100%

Προκαταρκτική Ανάλυση



Για τα τρία διαφορετικά σενάρια, απεικονίζεται ο **αριθμός παρατηρήσεων σε κάθε κατηγορία επικινδυνότητας**

Βήματα Διαδικασίας Στατιστικής Ανάλυσης

Χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού R
και το περιβάλλον ανάπτυξης RStudio

Χαρακτηρισμός μεταβλητών

Καθορισμός εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών

Στατιστικοί έλεγχοι μαθηματικών μοντέλων

Αποτελέσματα μαθηματικών μοντέλων



Αποτελέσματα Μαθηματικών Μοντέλων (1/3)

A-Σενάριο (100% Συμβατικά οχήματα, ήτοι MPR 0%)

Middle vs Low:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.205	0.745	1.618	0.106	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")20	-2.465	0.902	-2.733	0.010	**
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")40	-2.854	0.866	-3.296	0.001	***
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")50	-1.322	0.867	-1.524	0.127	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")60	-2.127	0.861	-2.469	0.014	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")80	-2.097	0.863	-2.431	0.015	*
MaxD	-0.003	0.001	-3.503	<0.001	***
DR	-0.001	0.002	-0.409	0.683	
DeltaS	0.063	0.001	62.107	< 0.001	***
ConflictTypelane change	0.881	0.031	28.880	< 0.001	***
ConflictTyperear end	0.658	0.030	21.769	< 0.001	***
Capacity	-<0.001	0.000	-48.891	< 0.001	***

High vs Low:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	0.311	1.292	0.241	0.810	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")20	-2.555	1.523	-1.677	0.093	.
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")40	-3.262	1.503	-2.170	0.030	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")50	0.294	1.496	0.196	0.844	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")60	-1.535	1.494	-1.027	0.304	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")80	-3.247	1.501	-2.164	0.030	*
MaxD	0.064	0.007	9.411	< 0.001	***
DR	-0.042	0.008	-5.019	<0.001	***
DeltaS	0.054	0.001	38.168	< 0.001	***
ConflictTypelane change	0.545	0.046	11.842	< 0.001	***
ConflictTyperear end	1.385	0.039	35.268	< 0.001	***
Capacity	-<0.001	0.000	-34.151	< 0.001	***



Αποτελέσματα Μαθηματικών Μοντέλων (2/3)

B-Σενάριο (40% Συμβατικά οχήματα, 40% Συντηρητικά αυτόνομα οχήματα, 20% Επιθετικά αυτόνομα οχήματα)

Middle vs Low:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.296	0.545	2.379	0.017	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")20	-2.109	0.754	-2.796	0.005	**
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")40	-2.576	0.656	-3.928	<0.001	***
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")50	0.986	0.659	1.495	0.135	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")60	-1.623	0.634	-2.559	0.010	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")80	-1.692	0.641	-2.639	0.008	**
MaxD	0.005	0.003	1.711	0.087	.
DR	-0.013	0.005	-2.683	0.007	**
DeltaS	0.054	0.002	29.686	<0.001	***
ConflictTypelane change	0.465	0.045	10.388	< 0.001	***
ConflictTyperear end	0.642	0.041	15.759	< 0.001	***
Capacity	-<0.001	0.000	-26.723	< 0.001	***

High vs Low:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	0.456	0.421	1.082	0.279	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")20	-0.818	0.612	-1.337	0.181	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")40	-2.107	0.510	-4.130	<0.001	***
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")50	0.802	0.521	1.539	0.124	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")60	-0.986	0.488	-2.019	0.043	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")80	-2.068	0.491	-4.208	<0.001	***
MaxD	0.161	0.017	9.729	< 0.001	***
DR	-0.140	0.018	-7.833	<0.001	***
DeltaS	-0.017	0.002	-7.234	<0.001	***
ConflictTypelane change	-0.444	0.069	-6.433	<0.001	***
ConflictTyperear end	1.914	0.042	45.625	< 0.001	***
Capacity	-<0.001	0.000	-14.940	< 0.001	***



Αποτελέσματα Μαθηματικών Μοντέλων (3/3)

Γ-Σενάριο (100% Αυτόνομα οχήματα, ήτοι MPR=100%)

Middle vs Low:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.532	0.625	2.452	0.014	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")20	-1.810	0.773	-2.343	0.019	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")40	-1.991	0.731	-2.723	0.006	**
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")50	-1.710	0.736	-2.323	0.020	*
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")60	-1.876	0.726	-2.584	0.010	**
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")80	-1.381	0.728	-1.898	0.058	.
MaxD	-0.005	0.001	-5.899	< 0.001	***
DR	0.016	0.003	5.093	< 0.001	***
DeltaS	0.062	0.001	64.430	< 0.001	***
ConflictTypelane change	0.783	0.029	26.841	< 0.001	***
ConflictTyperear end	0.583	0.029	20.304	< 0.001	***
Capacity	<-0.001	0.000	-52.224	< 0.001	***

High vs Low:

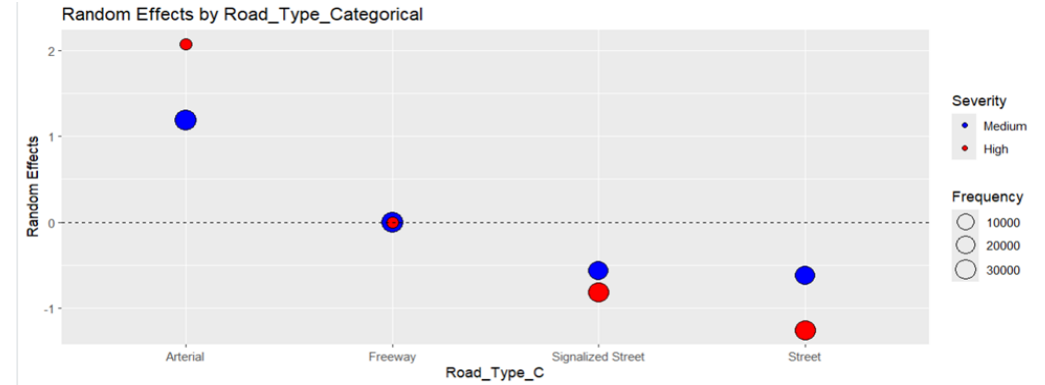
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	0.183	2.069	0.089	0.929	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")20	-3.840	2.492	-1.541	0.123	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")40	-4.086	2.480	-1.648	0.099	.
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")50	1.486	2.414	0.616	0.538	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")60	-0.083	2.412	-0.034	0.973	
relevel(Speed_Limit_C, ref = "110")80	-4.291	2.478	-1.732	0.083	.
MaxD	0.129	0.012	10.349	< 0.001	***
DR	-0.111	0.013	-8.583	< 0.001	***
DeltaS	0.046	0.001	34.953	< 0.001	***
ConflictTypelane change	0.181	0.046	3.931	< 0.001	***
ConflictTyperear end	1.068	0.038	28.365	< 0.001	***
Capacity	<-0.001	0.000	-30.577	< 0.001	***



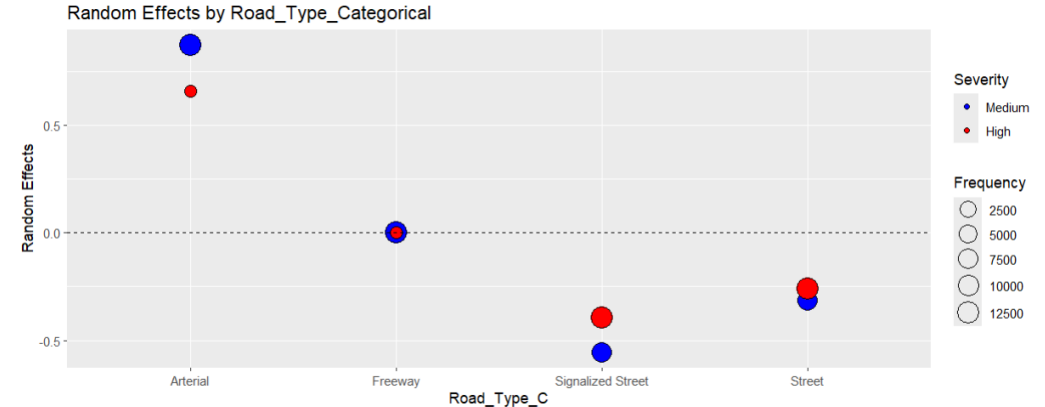
Τυχηματικές Επιδράσεις

- Εξετάζονται:
 - ❖ "Freeway", ο αυτοκινητόδρομος
 - ❖ "Street", οι αστικές οδοί
 - ❖ "Arterial", οι κεντρικές οδοί
 - ❖ "Signalized Street", οι οδοί με φωτεινή σηματοδότηση
- Ο κάθε τύπος οδού συνδέεται με ένα τυχαίο αποτέλεσμα, υποδεικνύοντας εάν η επιρροή είναι θετική ή αρνητική.
- **Χρώμα** των σημείων:
 - ❖ **Κόκκινο**, εάν η σοβαρότητα επικινδυνότητας είναι "High".
 - ❖ **Μπλε**, εάν η σοβαρότητα επικινδυνότητας είναι "Medium".
- **Μέγεθος** των σημείων: σχετίζεται με τη συχνότητα παρατηρήσεων του δείγματος.

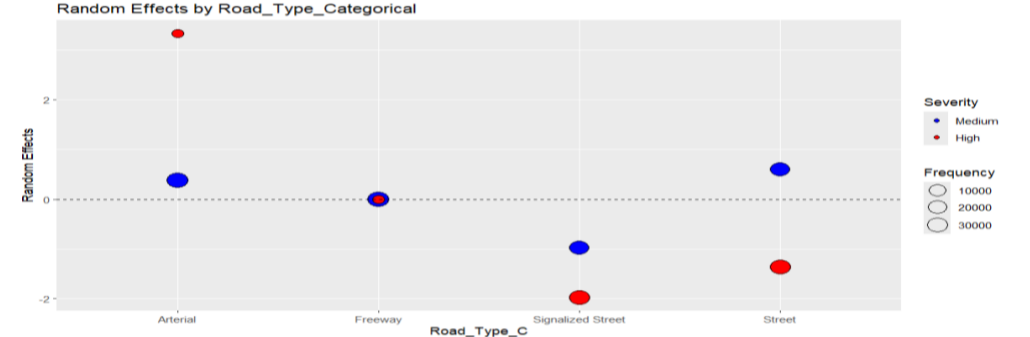
Α-Σενάριο



Β-Σενάριο



Γ-Σενάριο



Συμπεράσματα

Συνάφεια των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών ως προς την εμφάνιση μέσης ή υψηλής επικινδυνότητας σε σχέση με τη χαμηλή επικινδυνότητα. Η μόνη έντονη διαφοροποίηση παρατηρείται στη μεταβλητή ορίου ταχύτητας.

Σημαντική επιρροή στην προσομοιασμένη επικινδυνότητα

- Μέγιστη επιβράδυνση του δεύτερου οχήματος (MaxD)
- Διαφορά στις ταχύτητες του οχήματος όπως παρατηρείται τη χρονική στιγμή ελάχιστου χρόνου σύγκρουσης (DeltaS)
- Τύπος της εμπλοκής (Conflict Type)
- Κυκλοφοριακή ικανότητα (Capacity)

Συμπεράσματα

Όσο το **όριο ταχύτητας (Speed Limit)** μειώνεται σε σχέση με το όριο αναφοράς, η πιθανότητα σύγκρουσης μειώνεται.

Όσον αφορά τον **τύπο εμπλοκής (Conflict type)**, όταν είναι είτε εμπλοκή αλλαγής λωρίδας (lane change) είτε νωτομετωπική εμπλοκή (rear end), η επικινδυνότητα αυξάνεται σε σχέση με την εμπλοκή τύπου διάβασης (crossing conflict).

Οι **κεντρικές οδοί (Arterials)** εμφανίζουν τη μεγαλύτερη προσομοιωμένη επικινδυνότητα ατυχημάτων.

Η **πολυωνυμική λογιστική παλινδρόμηση** είναι κατάλληλη για την ανάλυση στοιχείων όταν η εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνει πολλές κατηγορίες.

Προτάσεις αξιοποίησης αποτελεσμάτων

1. Βελτίωση κανονισμών κυκλοφορίας στην Αθήνα.
2. Πιλοτικά προγράμματα αυτόνομων μικρών λεωφορείων.
3. Ενημέρωση των χρηστών του δικτύου σχετικά με τους κινδύνους.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

1. Πραγματικά αυτόνομα δίκτυα.
2. Πόλεις με διαφορετική δομή και κυκλοφοριακές συνθήκες.
3. Δίκτυα με πολλαπλές λωρίδες κυκλοφορίας.
4. Περισσότερα σενάρια με διαφορετικά ποσοστά αυτόνομων και συμβατικών οχημάτων.
5. Σενάρια με ευάλωτους χρήστες.
6. Εξέταση παραμέτρων όπως η ολισθηρότητα οδού, η φωτεινότητα και η ποιότητα οδοστρώματος σε μικτά κυκλοφοριακά σενάρια.



Διερεύνηση επιρροής της υπηρεσίας αυτόνομων μικρών λεωφορείων στην ασφάλεια, με προσομοίωση της κυκλοφορίας δικτύου



**Σας ευχαριστώ για τη προσοχή σας!
Μαρία Τάκκα**

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.