

Η επίδραση των καιρικών συνθηκών και του τρόπου οδήγησης στην οδηγική συμπεριφορά

Παναγιώτα Σπανού¹, Δημοσθένης Παύλου², Εύα Μιχαλαράκη³, Φωτεινή Κεχαγιά⁴,
Γιώργος Γιαννής⁵

^{1,2,3,5}National Technical University of Athens, Department of Transportation Planning and
Engineering, 5 Heron Polytechniou str., GR-15773, Athens, Greece

⁴School of Civil Engineering; Division of Transportation and Construction Management, Highway
Laboratory, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece

E-mail¹: giota_sp101@hotmail.com

E-mail² *corresponding author: dpavlou@central.ntua.gr

E-mail³: evamich@mail.ntua.gr

E-mail⁴: fkehagia@civil.auth.gr

E-mail⁵: geyannis@central.ntua.gr

Περίληψη

Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών και της πίεσης χρόνου στην οδική ασφάλεια σε αστική οδό. Για την επίτευξη του ανωτέρου στόχου, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης και συλλογή ερωτηματολογίων σε δείγμα 42 νέων οδηγών. Η οδήγηση πραγματοποιήθηκε με και χωρίς πίεση χρόνου σε διάφορες καιρικές συνθήκες (π.χ. ηλιοφάνεια, βροχή, ομίχλη, χιόνι). Αναπτύχθηκαν μοντέλα γραμμικής και διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης που αφορούν στη μέση ταχύτητα οδήγησης, τη μέση απόσταση από τη δεξιά άκρη της οδού, τη διακύμανση της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού, το μέσο χρόνο αντίδρασης σε απρόσμενο συμβάν, τη μέση απόσταση από το προπορευόμενο όχημα και την πιθανότητα ατυχήματος εξαιτίας επικίνδυνου συμβάντος ή άλλων παραγόντων. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι το χιόνι και η βροχή οδήγησαν σε σημαντική αύξηση στην πιθανότητα ατυχήματος, ενώ η ομίχλη προκάλεσε αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος μόνο σε περίπτωση επικίνδυνου συμβάντος.

Λέξεις κλειδιά: οδηγική συμπεριφορά, δυσμενείς καιρικές συνθήκες, επιθετική οδήγηση, προσομοιωτής οδήγησης.

Abstract

The aim of the current research is to investigate the impact of weather conditions and time pressure on road safety on urban roads. To achieve this objective, a simulator experiment was conducted and a questionnaire was filled in a sample of 42 young drivers. The driving experiment took place with and without any time pressure in good weather conditions, rain, fog and snow. Linear and binomial logistic regression accounting models were developed for the mean driving speed, the mean distance from the right side of the road, the variation of the mean steering angle, the mean reaction time to an unexpected event, the mean headway distance and the accident probability due to a dangerous event or other factors. The results demonstrated that snow and rain led to a significant increase in the probability of an accident, while fog increased the accident probability only in case of a dangerous event.

Keywords: driving behaviour, adverse weather conditions, aggressive driving, driving simulator.

1. Εισαγωγή

Ο καιρός αποτελεί έναν περιβαλλοντικό παράγοντα κινδύνου που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα ποσοστά συγκρούσεων και οδικών ατυχημάτων (Zou et al., 2021). Οι καιρικές συνθήκες καθορίζουν τόσο τις συνθήκες της οδού όσο και την οδηγική συμπεριφορά (Koetse & Rietveld, 2009). Ένας από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλει στην οδική ασφάλεια είναι οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως η ομίχλη, η βροχόπτωση, το χιόνι, ο ισχυρός άνεμος καθώς και οι υψηλές θερμοκρασίες. Στην Ευρώπη, το 8.6% του συνολικού αριθμού των νεκρών οφείλεται σε βροχή, το 1.4% προέρχεται από ομίχλη, το 0.8% από χιόνι, ενώ το 0.6% από ισχυρό άνεμο (European Commission, 2021).

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί διεθνώς, η έντονη βροχόπτωση συνδέεται με αυξημένη πιθανότητα πρόκλησης οδικών ατυχημάτων (Theofilatos & Yannis, 2014; Drosu et al., 2020). Συγκεκριμένα, η βροχόπτωση αποδείχθηκε ο σημαντικότερος παράγοντας καιρού που συμβάλλει στα οδικά ατυχήματα (Brodsky & Hakkert, 1988). Στη μελέτη των Andrey et al. (2003), παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των οδικών ατυχημάτων και των ατυχημάτων με τραυματίες αυξήθηκε κατά 75% και 45%, αντίστοιχα, λόγω βροχής. Η υψηλή βροχόπτωση και η χαμηλή ορατότητα φάνηκε να αυξάνουν την πρόκληση συντριβής, ιδίως στους αυτοκινητόδρομους (Zhao et al., 2019). Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης των ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα ήταν μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο δείκτη σε στεγνό οδόστρωμα (Ali et al., 2021). Ωστόσο, ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ευρήματα της μελέτης των Kauffman et al. (2012), οι οποίοι απέδειξαν ότι η καθημερινή βροχόπτωση ήταν συνδεδεμένη με χαμηλότερες συνολικές συγκρούσεις και θανάτους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επίδραση της ομίχλης στην οδική ασφάλεια αυξάνει τόσο τον δείκτη των ατυχημάτων όσο και τη σοβαρότητα τους. Πιο αναλυτικά, διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των ατυχημάτων ήταν ιδιαίτερα αυξημένος σε συνθήκες ομίχλης, παρόλο που ο όγκος κυκλοφορίας ήταν μειωμένος κατά 20% (Moore και Cooper, 1972). Τα ατυχήματα κατά τη διάρκεια ομίχλης οφείλονται κυρίως στην τάση των οδηγών να διατηρούν την ταχύτητα του οχήματος χωρίς να αντιλαμβάνονται τον κίνδυνο σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας (Adomah et al., 2021). Η μελέτη των He & Liu (2021) είχε ως στόχο τη διερεύνηση της επιρροής της ομίχλης στην οδηγική συμπεριφορά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι οδηγοί είχαν την τάση να απομονώνονται από το οδικό περιβάλλον κατά την οδήγηση σε ομίχλη και δεν μπορούσαν να αντιληφθούν την ταχύτητα και την πραγματική απόσταση από το προπορευόμενο όχημα.

Το χιόνι, όπως αποδεικνύουν και πολλές έρευνες, αποτελεί ένα επικίνδυνο καιρικό φαινόμενο που συμβάλλει στην αύξηση του αριθμού και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων (El-Basyouny & Kwon, 2012). Σε αυτό το πλαίσιο, η μελέτη των Salli et al. (2008) απέδειξε ότι ο κίνδυνος ατυχήματος ήταν τέσσερις φορές υψηλότερος για χιονισμένη ή παγωμένη οδική επιφάνεια σε σύγκριση με την γυμνή επιφάνεια του οδοστρώματος. Από πολλούς μελετητές, η ύπαρξη χιονόπτωσης είχε ως αποτέλεσμα περισσότερες συγκρούσεις με υλικές ζημιές στο οδικό δίκτυο (Hyodo & Hasegawa, 2021; Eisenberg & Warner, 2005). Στη μελέτη των Fridstrom et al. (1995), αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα περισσότερα ατυχήματα παρατηρήθηκαν την πρώτη μέρα της χιονόπτωσης, όπου οι οδηγοί δεν ήταν κατάλληλα προετοιμασμένοι και συνηθισμένοι στις νέες συνθήκες κυκλοφορίας.

Σχετικά με την επίδραση της πίεσης χρόνου – επιθετικής οδήγησης στην οδική ασφάλεια, τα πρώτα ευρήματα απέδειξαν ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της βιασύνης των οδηγών

και των οδικών ατυχημάτων. Παρατηρήθηκε ότι η πίεση χρόνου ήταν συνδεδεμένη με ανοχή στον κίνδυνο, επικίνδυνη συμπεριφορά, θυμό και περισσότερες συντριβές στο οδικό δίκτυο (Beck et al., 2013). Παρόμοια αποτελέσματα έδειξαν και οι Dahlen et al. (2012), που διαπίστωσαν ότι η πίεση χρόνου ήταν συσχετισμένη με την επιθετική οδήγηση και κατ' επέκταση με αυξημένη πρόκληση ατυχημάτων. Τέλος, μια άλλη μελέτη εντόπισε ότι υπάρχει μεγάλη συνάφεια μεταξύ της ψυχικής κατάστασης του οδηγού και των οδικών ατυχημάτων (Hotta & Tanida, 2005).

Οι προσομοιωτές οδήγησης επιτρέπουν την εξέταση μιας σειράς μέτρων απόδοσης οδήγησης σε ελεγχόμενο, σχετικά ρεαλιστικό και ασφαλές περιβάλλον οδήγησης. Επιπλέον, παρέχουν ένα ασφαλές περιβάλλον για την εξέταση διαφόρων παραμέτρων (π.χ. καιρικές συνθήκες, τύπος οδού, συνθήκες φωτισμού), χρησιμοποιώντας διαφορετικά σενάρια, στα οποία ο οδηγός μπορεί να διαπραγματευτεί πολύ απαιτητικές καταστάσεις στο οδικό δίκτυο (Pavlou et al., 2017; Papantoniou et al., 2015).

Με βάση τα παραπάνω, αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών και της πίεσης χρόνου στην οδική ασφάλεια σε αστική οδό, αξιοποιώντας λεπτομερή δεδομένα που συλλέχθηκαν από προσομοιωτή οδήγησης και ερωτηματολόγια. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο η οδήγηση σε αστική οδό υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια, βροχή, ομίχλη, χιόνι) με και χωρίς πίεση χρόνου συμβάλλει στη μεταβολή βασικών δεικτών που σχετίζονται με την οδήγηση, όπως η ταχύτητα διαδρομής, η μέση απόσταση από το προπορευόμενο όχημα και από τα δεξιά, η διακύμανση της σταθερότητας του τιμονιού, ο μέσος χρόνος αντίδρασης, καθώς και η πιθανότητα εμπλοκής σε ατύχημα. Ακόμα, θα ερευνηθούν λοιπές μεταβλητές που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του οδηγού όπως είναι η οδηγική εμπειρία, η ηλικία και το φύλο.

2. Συλλογή Δεδομένων

2.1 Προσομοιωτής οδήγησης

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία στον προσομοιωτή οδήγησης που διαθέτει το Εργαστήριο Κυκλοφοριακής Τεχνικής του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ο εν λόγω προσομοιωτής οδήγησης είναι πιστοποιημένος από την εταιρία Foerst Driving Simulator FPF και έχει τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- 3 οθόνες LCD 40''
- Οπτικό πεδίο 170°
- Θέση οδήγησης και κινούμενη βάση

Ο προσομοιωτής διαθέτει ρυθμιζόμενο κάθισμα οδήγησης, τιμόνι διαμέτρου 27cm, ποδόπληκτρα χειρισμού (γκάζι, φρένο, συμπλέκτης), πίνακα οργάνων οχήματος (ταχογράφος, στροφόμετρο) καθώς και δύο εξωτερικούς και έναν κεντρικό καθρέπτη που εμφανίζονται στις πλάγιες και την κεντρική οθόνη αντίστοιχα και απεικονίζουν σε πραγματικό χρόνο αντικείμενα και συμβάντα που συμβαίνουν πίσω από το «όχημα». Τα χειριστήρια που έχει στη διάθεσή του ο οδηγός είναι μοχλός πέντε ταχυτήτων και όπισθεν, φλας, υαλοκαθαριστήρες, φώτα, κόρνα, χειρόφρενο και μίζα.

Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται ο προσομοιωτής οδήγησης Foerst Driving Simulator FPF που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας.



Εικόνα 1: Φωτογραφία του προσομοιωτή οδήγησης

Δεδομένου ότι οι νέοι ηλικιακά οδηγοί κατέχουν μικρότερη εμπειρία στην οδήγηση και έχουν την τάση να υπερεκτιμούν την προσωπική τους οδηγική ικανότητα, η επιλογή των συμμετεχόντων περιορίστηκε σε οδηγούς, ηλικίας 20-30 ετών. Στο πείραμα έλαβαν μέρος 42 εθελοντές, 25 άνδρες (60%) και 17 γυναίκες (40%). Όλοι οι συμμετέχοντες είχαν δίπλωμα οδήγησης σε ισχύ, ενώ υπήρξε πληθώρα διαφορετικών ατόμων από άποψη προσωπικότητας και εκπαιδευτικού υποβάθρου, ώστε το δείγμα να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό.

Ο σχεδιασμός των σεναρίων οδήγησης αποτέλεσε κύριο τμήμα της πειραματικής διαδικασίας. Οι συμμετέχοντες οδήγησαν υπό διαφορετικές συνθήκες και τελικά επιλέχθηκαν τέσσερα σεναρία οδήγησης (οδήγηση με ηλιοφάνεια, βροχή, ομίχλη και χιόνι). Τα τέσσερα αυτά σεναρία αποτελούνταν από την ίδια διαδρομή, η οποία περιελάμβανε οδήγηση σε αστική οδό μεγάλης πόλης μήκους περίπου 1.5 χλμ. με όριο ταχύτητας 60χλμ/ώρα. Η διαδρομή περιείχε έναν κυκλικό κόμβο και τρεις διασταυρώσεις, ενώ δεν υπήρχε πουθενά κατά μήκος κλίση. Επίσης, οι συνθήκες κυκλοφορίας ήταν οι ίδιες με χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Ο διαχωρισμός στα σεναρία οδήγησης αφορούσε τις καιρικές συνθήκες και κάθε σενάριο ξεκινούσε χωρίς πίεση χρόνου και, εν συνεχεία, στο δεύτερο συμβάν υπήρχε πίεση χρόνου.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα διαφορετικά σεναρία οδήγησης σε αστική οδό που σχεδιάστηκαν για τον σκοπό της παρούσας μελέτης.



(α)



(β)



(γ)



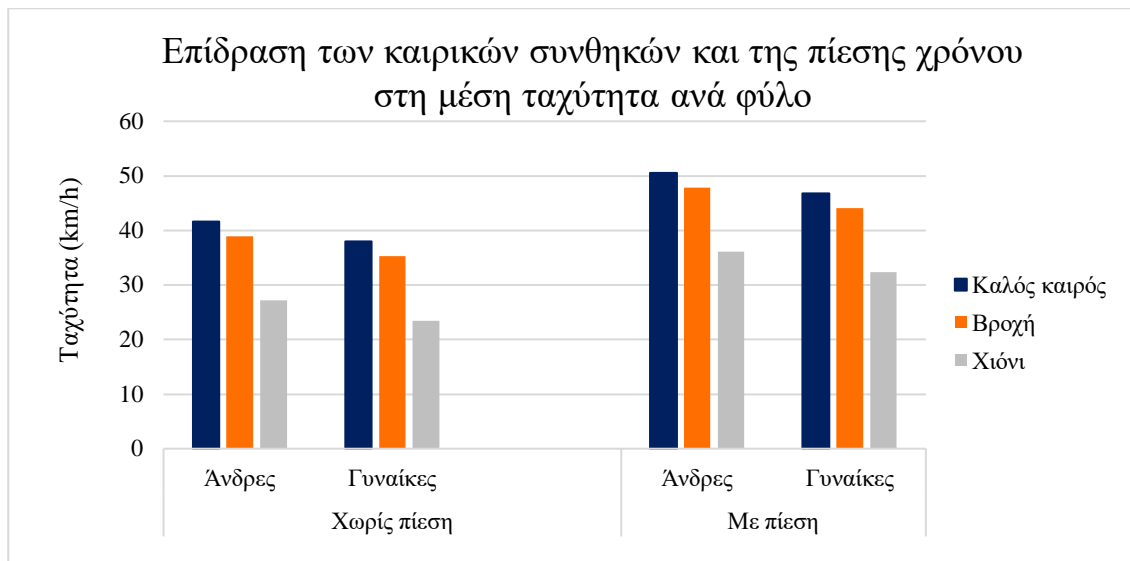
(δ)

Εικόνα 2: Οδήγηση σε αστική χωρίς πίεση χρόνου αρχικά και στη συνέχεια με πίεση χρόνου (α) ηλιοφάνεια, (β) βροχή, (γ) ομίχλη, (δ) χιόνι

2.2 Ερωτηματολόγιο

Πριν την έναρξη του πειράματος στον προσομοιωτή οδήγησης, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο το οποίο περιελάμβανε τέσσερις διαφορετικές ενότητες: α) οδηγική εμπειρία – μετακινήσεις, β) ιστορικό συμβάντων γ) αυτοαξιολόγηση οδηγού και δ) οδηγική συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, οι οδηγοί παρείχαν πληροφορίες σχετικά με τη στάση και τις συνήθειες τους απέναντι στην οδική ασφάλεια και την οδήγηση υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, διέθεσαν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τα δημογραφικά τους χαρακτηριστικά, όπως η ηλικία, το φύλο και το μορφωτικό τους επίπεδο.

Στο Διάγραμμα 1 αποτυπώνεται η επίδραση των καιρικών συνθηκών και της πίεσης χρόνου στη μέση ταχύτητα ανά φύλο. Παρατηρείται ότι η βροχή και το χιόνι οδηγούν σε σημαντική μείωση της μέσης ταχύτητας οδήγησης. Αντίθετα η πίεση χρόνου αυξάνει τη μέση ταχύτητα για όλες τις καιρικές συνθήκες. Επίσης, διαπιστώνεται ότι οι άνδρες οδηγοί αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τις γυναίκες.



Διάγραμμα 1: Επίδραση των καιρικών συνθηκών και της πίεσης χρόνου στη μέση ταχύτητα ανά φύλο

3. Μεθοδολογία

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε μια σύνθετη μεθοδολογική προσέγγιση που αποτελείται από δύο επιμέρους αναλύσεις. Χρησιμοποιήθηκε η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για τις συνεχείς μεταβλητές και η διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση για τις διακριτές μεταβλητές. Έπειτα, η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση του ειδικού στατιστικού λογισμικού SPSS.

3.1 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (multiple linear regression) είναι μία από τις πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες στατιστικές μεθόδους για τις συνεχείς μεταβλητές (Washington et al., 2003). Οδηγεί στην ανάπτυξη γραμμικού μαθηματικού προτύπου, που υπολογίζει τη συνάρτηση χρησιμότητας κάποιου συγκεκριμένου γεγονότος, συναρτήσει παραγόντων που το επηρεάζουν.

Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η εξής:

$$y_i = b_0 + b_1 * x_{1i} + b_2 * x_{2i} + \dots + b_v * x_{vi} + \varepsilon_i \quad (1)$$

όπου:

- y_i : η εξαρτημένη μεταβλητή
- $b_0, b_1, b_2, \dots, b_v$: οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης
- $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iv}$: οι ανεξάρτητες μεταβλητές
- ε_i : το σφάλμα παλινδρόμησης

3.2 Διωνυμική Λογιστική Παλινδρόμηση

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν διακριτή (όπως το ενδεχόμενο να συμβεί κάποιο ατύχημα) χρησιμοποιήθηκε η διωνυμική λογιστική παλινδρόμηση (binary logistic regression) για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης και ταξινόμησης. Μέσω του μοντέλου αυτού αναπτύσσεται ένα μαθηματικό πρότυπο που δίνει μια γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας του εν λόγω γεγονότος σε σχέση με τα χαρακτηριστικά που το επηρεάζουν. Η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η πιθανότητα η έκβαση του αποτελέσματος να ισούται με 1. Χρησιμοποιείται ο νεπέριος λογάριθμος για την πιθανότητα ή τον λόγο πιθανοφάνειας (likelihood ratio), σύμφωνα με τον τύπο:

$$\frac{P_i}{1-P_i} = e^{a_0} * e^{a_1 x_1} * e^{a_2 x_2} * \dots * e^{a_n x_n} \quad (2)$$

όπου:

- P_i : η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί το γεγονός i
- x_1, x_2, \dots, x_n : οι μεταβλητές του προβλήματος
- a_1, a_2, \dots, a_n : οι συντελεστές των μεταβλητών
- a_0 : η σταθερά που αντιπροσωπεύει την επιρροή των παραγόντων που δεν έχουν συμπεριληφθεί ως μεταβλητές στο μαθηματικό μοντέλο

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη στατιστική επεξεργασία εξήχθησαν μαθηματικά μοντέλα με τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν ύστερα από πλήθος δοκιμών, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μοντέλο 1: Πρόβλεψη της μέσης ταχύτητας οδήγησης
- Μοντέλο 2: Πρόβλεψη της μέσης απόστασης από τη δεξιά άκρη της οδού
- Μοντέλο 3: Πρόβλεψη της διακύμανσης της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού
- Μοντέλο 4: Πρόβλεψη του μέσου χρόνου αντίδρασης σε απρόσμενο συμβάν
- Μοντέλο 5: Πρόβλεψη της μέσης απόστασης από το προπορευόμενο όχημα
- Μοντέλο 6: Πρόβλεψη πιθανότητας ατυχήματος εξαιτίας επικίνδυνου συμβάντος
- Μοντέλο 7: Πρόβλεψη πιθανότητας ατυχήματος εξαιτίας άλλων παραγόντων εκτός των επικίνδυνων συμβάντων

Κάθε αναπτυσσόμενο μοντέλο, ούτως ώστε να θεωρηθεί αποδεκτό, έπρεπε να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Πιο αναλυτικά, τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του μοντέλου μετά την διαμόρφωση του, αφορούσαν τις τιμές των συντελεστών β_i της εξίσωσης, τη λογική ερμηνεία των πρόσημων τους, τη στατιστική σημαντικότητα, την ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης. Βασική προϋπόθεση ήταν η μέγιστη δυνατή συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών και μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές έως ότου η τιμή του να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη. Στα μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης επιδιώχθηκε μεγάλη πιθανοφάνεια, δηλαδή η τιμή του λογαρίθμου των συναρτήσεων πιθανοφάνειας $L = \log(\text{likelihood})$ έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Η στατιστική αξιολόγηση των παραμέτρων των μεταβλητών προέκυψε μέσω του ελέγχου t-test και επιλέχθηκαν οι μεταβλητές που εμφάνισαν ικανοποιητικές τιμές για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Ακόμα, υπολογίστηκε η ελαστικότητα (e_i) που αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μίας εξαρτημένης μεταβλητής στη μεταβολή μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η τιμή της ελαστικότητας ερμηνεύεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλείται από μια μεταβολή της ανεξάρτητης μεταβλητής κατά 1% και δίνεται από τη σχέση:

$$e_i = \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} * \frac{X_i}{Y_i} = \beta_i * \frac{X_i}{Y_i} \quad (3)$$

όπου:

- β_i : είναι ο συντελεστής της εξεταζόμενης ανεξάρτητης μεταβλητής
- X_i : η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής
- Y_i : η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής

Τέλος, ο προσδιορισμός της σχετικής επιρροής (e_i^*) κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής, αποδείχθηκε η πιο απλή και κατάλληλη τεχνική, ικανή να αναδείξει την επιρροή της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, αλλά και να καταστήσει εφικτή τη σύγκριση μεταξύ της επιρροής των διαφορετικών μεταβλητών του ίδιου μοντέλου.

4. Αποτελέσματα

Για να επιτευχθεί ο στόχος της παρούσας μελέτης, η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για τα μοντέλα της μέσης ταχύτητας οδήγησης, της μέσης απόστασης από τη δεξιά άκρη της οδού, της διακύμανσης της γωνίας στροφής του τιμονιού, του μέσου χρόνου αντίδρασης και της μέσης απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, καθώς και με τη μέθοδο της λογιστικής ανάλυσης παλινδρόμησης για τα μοντέλα της πιθανότητας ατυχήματος εξαιτίας εμφάνισης επικίνδυνων γεγονότων και της πιθανότητας ατυχήματος λόγω άλλων παραγόντων. Σε κάθε μοντέλο εξετάστηκε η επιρροή των καιρικών συνθηκών και στην πλειοψηφία των μοντέλων η επιρροή της πίεσης χρόνου.

Στον Πίνακα 1 περιγράφονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές με τη μεγαλύτερη στατιστικά σημαντική επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα.

Πίνακας 1: Ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Περιγραφή	Τύπος Μεταβλητής
Age	Ηλικία (έτη)	συνεχής
AgeGroup	Ηλικιακή ομάδα [(18-23 ετών) =1, (24-30 ετών) =2]	διακριτή
Exp	Εμπειρία στην οδήγηση [(1-3 έτη) =1, (4-6 έτη) =2, (> 7 έτη) =3]	διακριτή
Gender	Φύλο (Αντρας =0, Γυναίκα =1)	διακριτή
Rush	Πίεση χρόνου (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
Fog	Ομίχλη (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
Rain	Βροχή (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
Snow	Χιόνι (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
TimesDrWRainPerYear	Πόσες φορές ο συμμετέχων οδηγεί υπό βροχή στη διάρκεια ενός έτους [καμία =0, (1 έως 4 φορές) =1, (5 έως 10 φορές) =2, (>10 φορές) =3]	διακριτή
FogDriveToTheEdgeOfTheRoad	Πόσο κοντά στη δεξιά άκρη της οδού θεωρεί ο συμμετέχων ότι οδηγεί γενικά υπό ομίχλη [καθόλου =0, λίγο =1, αρκετά =2, πολύ =3]	διακριτή
RainDriveToTheEdgeOfTheRoad	Πόσο κοντά στη δεξιά άκρη της οδού θεωρεί ο συμμετέχων ότι οδηγεί γενικά υπό βροχή [καθόλου =0, λίγο =1, αρκετά =2, πολύ =3]	διακριτή
SnowReduceSpeedAndDriveMoreCarefully	Πόσο θεωρεί ο συμμετέχων ότι μειώνει ταχύτητα και οδηγεί πιο προσεχτικά γενικά υπό χιόνι [καθόλου =0, λίγο =1, αρκετά =2, πολύ =3]	διακριτή
SnowDriveToTheEdgeOfTheRoad	Πόσο θεωρεί ο συμμετέχων ότι οδηγεί κοντά στη δεξιά άκρη της οδού γενικά υπό χιόνι [καθόλου =0, λίγο =1, αρκετά =2, πολύ =3]	διακριτή
DangerousSnowReducedReactionTime	Αν ο συμμετέχων θεωρεί επικίνδυνο τυχόν μειωμένο χρόνο αντίδρασης υπό χιόνι (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
AccidentsWDamage	Αν ο συμμετέχων έχει εμπλακεί σε ατύχημα με υλικές ζημιές (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
DriveUnderPressure	Αν ο συμμετέχων θεωρεί ότι οδηγεί γενικά υπό πίεση χρόνου (Ναι=1, Όχι=0)	διακριτή
DriveUpTheLimits	Αν ο συμμετέχων θεωρεί ότι γενικά οδηγεί πάνω από το όριο ταχύτητας (Ναι =1, Όχι =0)	διακριτή
DriveCarefully	Αν ο συμμετέχων θεωρεί ότι γενικά οδηγεί προσεχτικά (Ναι =1, Όχι =0)	διακριτή

Στην προσπάθεια εξαγωγής μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές με σκοπό την αύξηση του R^2 και την ικανοποίηση των συνθηκών σημαντικότητας των μεταβλητών. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε φορά που εξετάζοταν κάποιο στατιστικό μοντέλο, χρησιμοποιούνταν, αρχικά, όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές και στη συνέχεια απορρίπτονταν όσες είχαν t (t -test/Wald) μικρότερο από 1.7 και χαμηλό R^2 (<0.3). Τελικά, προέκυψαν πέντε μαθηματικά μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που ικανοποιούσαν τους παραπάνω ελέγχους τα οποία συνοψίζονται στον Πίνακα 2 που ακολουθεί.

Πίνακας 2: Γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης οδηγικών χαρακτηριστικών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Μέση ταχύτητα οδήγησης				Μέση απόσταση από τη δεξιά άκρη της οδού				Διακύμανση μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού				Μέσος χρόνος αντίδρασης σε απρόσμενο συμβάν				Μέση απόσταση από το προπορευόμενο όχημα			
	b _i	t	e	e*	b _i	t	e	e*	b _i	t	e	e*	b _i	t	e	e*	b _i	t	e	e*
Ηλικία					-0.153	-4.404	0.006	-					30.36	2.198	0.0001	-				
Εμπειρία	1.09	2.011	0.03	1.00	-0.153	3.887	-0.04	1.00	-7.822	-2.712	-0.29	1.00								
Φύλο	-3.71	-4.845	-0.09	-3.40									126.73	2.016	0.06	1.11	19.43	2.420	0.21	1.00
Ομίχλη					-0.273	-1.777	-0.07	1.78					534.13	6.221	0.25	4.67				
Βροχή	-2.716	-3.215	-0.07	-2.49	-0.301	-1.969	-0.08	1.97	15.871	3.674	0.60	-2.03	398.61	4.673	0.19	3.48				
Χιόνι	-14.456	-16.973	-0.36	-13.26	-1.00	-7.693	-0.32	7.73	43.995	10.105	1.66	-5.62	349.00	4.049	0.16	3.05	27.94	3.234	0.30	1.44
Πίεση χρόνου	8.896	12.820	0.22	8.16	1.401	12.982	0.38	-9.16	25.603	7.218	0.96	-3.27					-56.086	-7.444	0.60	-2.89
Οδήγηση πάνω από όριο ταχύτητας	2.472	3.336	0.06	2.27																
Οδήγηση υπό πίεση χρόνου													151.521	1.770	0.07	1.32				
Συμμετοχή σε ατύχημα με υλικές ζημιές									-7.822	2.557	-0.29	1.00	114.457	1.788	0.05	1.00				
Οδήγηση υπό βροχή ετησίως	-1.648	-3.047	-0.04	-1.51																
Οδήγηση υπό βροχή κοντά στο δεξιά οδόστ.					-0.816	-3.847	-0.22	5.33												
Οδήγηση υπό ομίχλη κοντά στο δεξιά οδόστ.					-0.425	-3.053	-0.12	2.78												
Οδήγηση υπό χιόνι κοντά στο δεξιά οδόστ.																	25.029	2.624	0.27	2.29
Οδήγηση υπό χιόνι με μειωμένη ταχύτητα και πιο προσεκτικά													-442.89	-2.162	-0.21	-3.87	22.97	2.852	0.24	2.18
R²	0.616				0.463				0.337				0.368				0.310			

Από τους συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών μοντέλων προέκυψε μια σειρά από ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Πιο αναλυτικά, για το μοντέλο πρόβλεψης της μέσης ταχύτητας οδήγησης παρατηρήθηκε ότι οι παράγοντες της βροχής «Rain» και του χιονιού «Snow» είχαν αρνητικό πρόσημο. Αυτό συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής της μεταβλητής της βροχής ή του χιονιού έχει ως αποτέλεσμα μείωση της μέσης ταχύτητας του οδηγού, διότι πιθανώς ο οδηγός να αναγνωρίζει την επικινδυνότητα της οδήγησης υπό τα καιρικά αυτά φαινόμενα και να διατηρεί μικρότερες ταχύτητες προκειμένου να μειώσει τον κίνδυνο. Αντίθετα το θετικό πρόσημο της εμπειρίας «Exp», συνεπάγεται ότι αύξηση της τιμής αυτής έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της μέσης ταχύτητας. Αυτό πιθανόν να συμβαίνει επειδή η μεγαλύτερη οδηγική εμπειρία δίνει μεγαλύτερη σιγουριά και ο οδηγός είναι πιο εξοικειωμένος στο να αναπτύσσει μεγαλύτερες ταχύτητες.

Όσον αφορά το φύλο «Gender», το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι οι γυναίκες διατηρούν μικρότερες ταχύτητες οδήγησης συγκριτικά με τους άνδρες οδηγούς. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας, που διαχωρίζουν τα δύο φύλα ως προς την οδηγική τους συμπεριφορά, με τους άνδρες στην πλειοψηφία τους να αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες και να εμφανίζουν πιο επιθετική συμπεριφορά σε σύγκριση με τις γυναίκες. Επιπρόσθετα, η μεταβλητή «DriveUpTheLimits» από το ερωτηματολόγιο σχετικά με το αν ο συμμετέχων υπερβαίνει το όριο ταχύτητας είχε θετικό πρόσημο που σημαίνει ότι όσοι απάντησαν θετικά οδηγούσαν με μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ από την παράμετρο του ερωτηματολογίου για τις φορές που ο συμμετέχων οδηγεί υπό βροχή στη διάρκεια ενός έτους «TimesDrWRainPerYear» διαπιστώθηκε ότι όσο αυξάνεται η τιμή της, μειώνεται η ταχύτητα του οδηγού.

Το χιόνι είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στην ταχύτητα με 13.27 φορές μεγαλύτερη επιρροή (σε απόλυτη τιμή) από την αντίστοιχη μεταβλητή της εμπειρίας του οδηγού, η οποία είχε την πιο μικρή επιρροή. Η μεταβλητή της πίεσης χρόνου ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία έχει 8.16 φορές μεγαλύτερη επιρροή. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, αφού σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η πίεση χρόνου σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα.

Για το μοντέλο πρόβλεψης της μέσης απόστασης από τη δεξιά άκρη της οδού, η μεταβλητή της ομίχλης «Fog» εμφανίστηκε με αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ομίχλη, τόσο μειώνεται η πλευρική απόσταση από δεξιά. Το αποτέλεσμα αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο αίσθημα του φόβου της οδήγησης υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τις μεταβλητές της βροχής «Rain» και του χιονιού «Snow». Αντίθετα, η διακριτή μεταβλητή της πίεσης χρόνου «Rush» είχε θετικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πίεση χρόνου, τόσο αυξάνεται και η απόσταση από τη δεξιά άκρη της οδού. Αυτό πιθανόν να αποδίδεται στο γεγονός ότι η πίεση χρόνου συνδέεται με την έλλειψη προσοχής και την επιθετική οδήγηση. Η μεταβλητή της εμπειρίας «Exp» εμφανίστηκε με θετικό πρόσημο, γεγονός που ίσως οφείλεται στην αντίληψη σε υψηλότερο βαθμό της ασφάλειας κοντά στη δεξιά άκρη της οδού. Ωστόσο, η μεταβλητή «Age» είχε αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ηλικία των οδηγών, τόσο μειώνεται η απόσταση από τα δεξιά. Αναφορικά με τις μεταβλητές του ερωτηματολογίου, οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα, όπως «RainDriveToTheEdgeOfTheRoad» και «FogDriveToTheEdgeOfTheRoad», εμφανίστηκαν με αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο περισσότερο δηλώνει ο οδηγός ότι οδηγεί κοντά στο δεξιά οδόστρωμα υπό βροχή και ομίχλη, τόσο μειώνεται η μέση απόσταση από τη δεξιά άκρη της οδού.

Η πίεση χρόνου είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στη μέση απόσταση από τη δεξιά άκρη της οδού με 9.16 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την αντίστοιχη μεταβλητή της εμπειρίας του οδηγού, η οποία είχε την μικρότερη επιρροή. Επιπλέον, η μεταβλητή του χιονιού ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία είχε 7.73 φορές μεγαλύτερη επιρροή.

Με βάση το μοντέλο πρόβλεψης της διακύμανσης της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού προέκυψαν αξιόλογα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Πιο αναλυτικά, η μεταβλητή της βροχής «Rain» εμφανίστηκε με αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι αύξηση της τιμής αυτής, προκαλεί αύξηση της διακύμανσης της στροφής του τιμονιού. Αυτό πιθανόν συμβαίνει διότι όταν το οδόστρωμα είναι υγρό, η πέδηση γίνεται δυσκολότερη οπότε ο οδηγός δεν μπορεί να ελέγξει πλήρως το όχημα του. Αντίστοιχα, το ίδιο παρατηρήθηκε και για τη μεταβλητή του χιονιού «Snow», κατά την οποία το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι όσο πιο έντονα ολισθαίνει ένα όχημα, τόσο πιο δύσκολη γίνεται η πέδηση με αποτέλεσμα ο οδηγός να μην μπορεί να κρατήσει το τιμόνι σταθερό. Επίσης, η μεταβλητή της πίεσης χρόνου «Rush» εμφανίστηκε με θετικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πίεση χρόνου, τόσο αυξάνεται η διακύμανση της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού. Το αποτέλεσμα αυτό είναι εύλογο, αφού η πίεση χρόνου συνδέεται με την επιθετική οδήγηση και, κατ'επέκταση, με λιγότερη σταθερότητα του τιμονιού. Το αρνητικό πρόσημο της μεταβλητής της εμπειρίας «Exp» δηλώνει ότι όσο πιο εξοικειωμένοι είναι οι οδηγοί ώστε να πραγματοποιήσουν έναν ελιγμό, τόσο μικρότερη είναι και η διακύμανση της στροφής του τιμονιού. Τέλος, η μεταβλητή «AccidentsWDamage» από το ερωτηματολόγιο σχετικά με το αν ο συμμετέχων έχει εμπλακεί σε ατύχημα με υλικές ζημιές εμφανίστηκε με αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι οι οδηγοί που απάντησαν θετικά έχουν μειωμένη διακύμανση της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού.

Από τις πέντε ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο, παρατηρήθηκε ότι η μεταβλητή του χιονιού είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στη διακύμανση της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού με 5.62 φορές μεγαλύτερη επιρροή (σε απόλυτη τιμή) από την αντίστοιχη μεταβλητή της εμπειρίας του οδηγού, η οποία έχει τη πιο μικρή επιρροή. Η μεταβλητή της πίεσης χρόνου ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία είχε 3.27 φορές μεγαλύτερη επιρροή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μοντέλο πρόβλεψης του μέσου χρόνου αντίδρασης σε απρόσμενο συμβάν. Συγκεκριμένα, η μεταβλητή της ηλικίας «Age» είχε θετικό πρόσημο, που υποδηλώνει ότι είναι ανάλογη του χρόνου αντίδρασης. Αυτό αποτελεί ένα εύλογο συμπέρασμα καθώς οι οδηγοί με περισσότερα χρόνια εμπειρίας έχουν μεγαλύτερη επίγνωση των ικανοτήτων τους για το χειρισμό του οχήματός τους, και συνεπώς μικρότερο χρόνο αντίδρασης. Σχετικά με την μεταβλητή του φύλου «Gender» παρατηρήθηκε ότι οι γυναίκες (τιμή 1 της μεταβλητής) παρουσιάζουν μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης από εκείνο των ανδρών (τιμή 0 της μεταβλητής), το οποίο ενδεχομένως οφείλεται στη γενικότερη αντίθεση που παρατηρείται ανάμεσα στα δύο φύλα ως προς την οδηγική τους συμπεριφορά. Μάλιστα, οι άνδρες εμφανίζονται με γρηγορότερα αντανακλαστικά και κατ' επέκταση με χαμηλότερους χρόνους αντίδρασης σε απρόοπτα συμβάντα. Το θετικό πρόσημο της μεταβλητής της ομίχλης «Fog», συνεπάγεται ότι αύξηση της μεταβλητής αυτής, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μέσου χρόνου αντίδρασης. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι όταν η ορατότητα είναι μειωμένη οι οδηγοί δεν είναι σε θέση να δουν έγκαιρα και να εντοπίσουν τα απρόοπτα συμβάντα. Επιπροσθέτως, όσο αυξάνονται οι τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές της βροχής «Rain» και του χιονιού «Snow», τόσο αυξάνεται και ο χρόνος αντίδρασης.

Η μεταβλητή «SnowReduceSpeedAndDriveMoreCarefully» από το ερωτηματολόγιο που δείχνει κατά πόσο οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι οδηγούν με μικρότερη ταχύτητα και πιο προσεκτικά υπό χιόνι ήταν αντιστρόφως ανάλογη του χρόνου αντίδρασης. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί ενδεχομένως από το γεγονός ότι οι οδηγοί που μεταβάλλουν την ταχύτητά τους στο χιόνι είναι περισσότερο συνειδητοποιημένοι και κατ' επέκταση παρουσιάζουν μειωμένους χρόνους αντίδρασης. Αντίθετα η μεταβλητή «DriveUnderPressure» που αφορά το αν ο συμμετέχων οδηγεί υπό πίεση χρόνου εμφανίστηκε με θετικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή της, τόσο αυξάνεται και ο χρόνος αντίδρασης σε απρόοπτο συμβάν. Η διακριτή μεταβλητή του ερωτηματολογίου «AccidentsWDamage» σχετικά με το αν οι συμμετέχοντες έχουν εμπλακεί σε ατύχημα με υλικές ζημιές είχε θετικό πρόσημο, γεγονός που υποδηλώνει ότι όσοι είχαν εμπλακεί σε ατύχημα, εμφάνισαν μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης.

Η ομίχλη είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στο χρόνο αντίδρασης με 4.67 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την αντίστοιχη μεταβλητή της εμπλοκής του οδηγού σε ατύχημα με υλικές ζημιές, η οποία έχει τη μικρότερη επιρροή. Επειδή η ομίχλη δυσχεραίνει πολύ την ορατότητα και μάλιστα περισσότερο από κάθε άλλη καιρική συνθήκη είναι λογικό να επηρεάζεται περισσότερο ο χρόνος από τη στιγμή εμφάνισης του εμποδίου μέχρι την αντίδραση του οδηγού. Η μεταβλητή από το ερωτηματολόγιο που αφορούσε στο αν ο συμμετέχων μειώνει την ταχύτητα του και οδηγεί πιο προσεκτικά υπό χιόνι ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία είχε 3.87 φορές μεγαλύτερη επιρροή. Έπειτα η μεταβλητή της βροχής αντιστοιχούσε σε 3.48 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την αντίστοιχη μεταβλητή με τη μικρότερη επιρροή.

Για το μοντέλο πρόβλεψης της μέσης απόστασης από το προπορευόμενο όχημα παρατηρήθηκε ότι η μεταβλητή του χιονιού «Snow» είχε θετικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτής, τόσο αυξάνεται και η μέση απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο αίσθημα του φόβου το οποίο νιώθουν οι οδηγοί υπό συνθήκες χιονιού, γι' αυτό και προσπαθούν να διατηρούν ασφαλή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Οι μεταβλητές από το ερωτηματολόγιο της οδήγησης υπό χιόνι κοντά στο δεξί οδόστρωμα «SnowDriveToTheEdgeOfTheRoad» και της οδήγησης υπό χιόνι με μειωμένη ταχύτητα «DangerousSnowReducedReactionTime» εμφανίστηκαν με θετικό πρόσημο, που δηλώνει ότι αύξηση των τιμών αυτών συνεπάγεται αύξηση της μέσης απόστασης από το προπορευόμενο όχημα. Το συμπέρασμα αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην περιορισμένη εμπειρία οδήγησης υπό χιόνι με αποτέλεσμα οι οδηγοί να διατηρούν μεγαλύτερες αποστάσεις από το προπορευόμενο όχημα. Η πίεση χρόνου «Rush» σχετίζεται με την ταχύτητα, την επιθετική και επικίνδυνη οδήγηση καθώς και την έλλειψη φόβου με αποτέλεσμα οι αποστάσεις από το προπορευόμενο όχημα να είναι μικρές. Τέλος, σχετικά με το φύλο «Gender» του οδηγού, παρατηρήθηκε ότι οι άνδρες οδηγοί διατηρούν μικρότερες αποστάσεις σε σχέση με τις γυναίκες.

Εξετάζοντας τις σχετικές επιρροές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο παραπάνω μοντέλο, παρατηρήθηκε ότι η πίεση χρόνου είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στην απόσταση από το προπορευόμενο όχημα με 2.89 φορές μεγαλύτερη επιρροή από την αντίστοιχη μεταβλητή του φύλου, η οποία έχει τη πιο μικρή επιρροή. Επιπλέον, η μεταβλητή του χιονιού ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία έχει 1.44 φορές μεγαλύτερη επιρροή.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα διωνυμικά μοντέλα πρόβλεψης της πιθανότητας ατυχήματος εξαιτίας της εμφάνισης επικίνδυνων συμβάντων ή άλλων παραγόντων, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση.

Πίνακας 3: Διωνυμικά λογιστικά μοντέλα πρόβλεψης πιθανότητας ατυχήματος

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Πιθανότητα ατυχήματος εξαιτίας επικίνδυνου συμβάντος				Πιθανότητα ατυχήματος λόγω άλλων παραγόντων εκτός των επικίνδυνων συμβάντων			
	b _i	Wald	e	e*	b _i	Wald	e	e*
Ηλικιακή ομάδα	-0.951	17.018	-0.31	1.56				
Εμπειρία					-1.020	14.891	-0.37	2.36
Φύλο					-0.539	2.872	-0.34	2.17
Ομίχλη	0.793	3.131	0.54	-2.74				
Βροχή	2.084	24.190	15.15	-76.92	1.705	16.482	9.39	-59.72
Χιόνι	2.897	43.700	38.32	-194.57	2.811	45.232	33.21	-211.15
Πίεση χρόνου					0.553	3.100	1.92	-12.24
Οδήγηση πάνω από όριο ταχύτητας	-0.777	9.023	-0.26	1.33				
Προσεκτική οδήγηση	-0.727	4.617	-0.20	1.00				
Συμμετοχή σε ατύχημα με υλικές ζημιές					1.393	12.894	7.57	-48.14
Οδήγηση υπό βροχή ετησίως					-0.815	19.597	-0.16	1.00

Για το μοντέλο πρόβλεψης πιθανότητας ατυχήματος εξαιτίας επικίνδυνου συμβάντος παρατηρήθηκε ότι η ηλικιακή ομάδα «AgeGroup» ήταν αντιστρόφως ανάλογη της πιθανότητας ατυχήματος, το οποίο είναι αναμενόμενο, αφού οι μεγαλύτεροι οδηγοί συνήθως διαθέτουν περισσότερη εμπειρία και διακρίνονται από μεγαλύτερη υπευθυνότητα και αντίληψη όσον

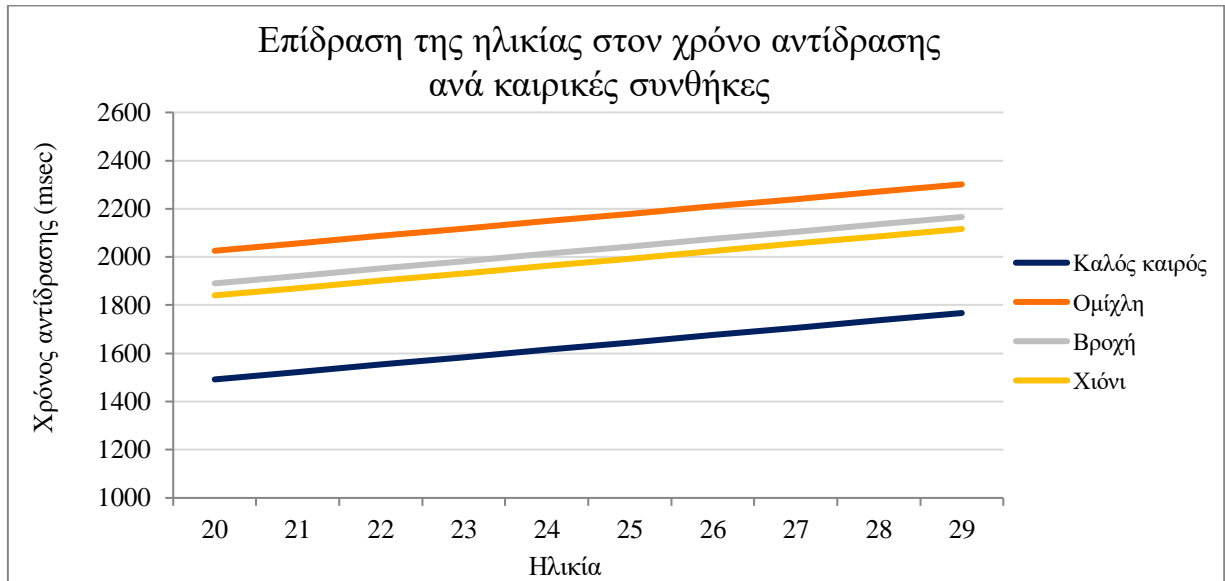
αφορά την οδήγηση. Επιπλέον, οι μεταβλητές της ομίχλης «Fog», της βροχής «Rain» και του χιονιού «Snow» εμφανίστηκαν με θετικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτών, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στη χαμηλή ορατότητα, το ολισθηρό οδόστρωμα, καθώς και τη δυσκολία στην πέδηση. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι οδηγοί που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο ότι οδηγούν πάνω από το όριο ταχύτητας «DriveUpTheLimits» φάνηκε να εμπλέκονται λιγότερο σε οδικά ατυχήματα. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη εγρήγορση, την άνεση και την μεγαλύτερη εξοικείωση με επικίνδυνα συμβάντα. Επίσης, οι συμμετέχοντες που απαντήσαν ότι οδηγούν προσεκτικά «DriveCarefully», παρουσίασαν μικρή πιθανότητα εμπλοκής σε ατύχημα.

Τη μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος λόγω απρόοπτου γεγονότος είχε το χιόνι με μεγάλη διαφορά, όπου παρουσίασε 195 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή του ερωτηματολογίου για το αν οδηγεί προσεκτικά ο συμμετέχων, η οποία είχε τη μικρότερη επιρροή. Η μεταβλητή της βροχής ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία είχε 77 φορές μεγαλύτερη επιρροή.

Αναφορικά με το μοντέλο πρόβλεψης πιθανότητας ατυχήματος εξαιτίας άλλων παραγόντων εκτός των επικίνδυνων συμβάντων, το θετικό πρόσημο των μεταβλητών της βροχής «Rain» και του χιονιού «Snow» υποδηλώνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτών, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα ατυχήματος λόγω άλλων αιτιών εκτός των επικίνδυνων συμβάντων. Πιθανότατα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η βροχή και το χιόνι συνοδεύονται από ολισθηρό οδόστρωμα και δυσκολία στην πέδηση. Η διακριτή μεταβλητή της πίεσης χρόνου «Rush» εμφανίστηκε με θετικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πίεση χρόνου, τόσο αυξάνονται και τα οδικά ατυχήματα. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι η πίεση χρόνου συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας και επιθετική οδήγηση. Όπως ήταν αναμενόμενο, η μεταβλητή της εμπειρίας «Exp» είχε αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνονται τα έτη οδήγησης, τόσο μειώνεται η πιθανότητα σύγκρουσης. Η μεταβλητή του ερωτηματολογίου «AccidentsWDamage» εμφανίστηκε με θετικό πρόσημο, που υποδηλώνει ότι οι συμμετέχοντες που είχαν εμπλακεί σε ατύχημα με υλικές ζημιές παρουσίασαν μεγαλύτερες πιθανότητες πρόκλησης ατυχήματος. Επιπλέον, η μεταβλητή «TimesDrWRainPerYear» που αναφέρεται στις φορές που ο συμμετέχων οδηγούσε υπό βροχή ετησίως είχε αρνητικό πρόσημο, που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η τιμή αυτή, τόσο μειώνεται η πιθανότητα ατυχήματος. Τέλος, σχετικά με το φύλο «Gender» αποδείχθηκε ότι οι άνδρες οδηγοί έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να εμπλακούν σε ατύχημα σε σύγκριση με τις γυναίκες.

Τη μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος εξαιτίας άλλων παραγόντων εκτός των απρόοπτων γεγονότων είχε το χιόνι με μεγάλη διαφορά, όπου παρουσίασε 211 φορές μεγαλύτερη επιρροή από τη μεταβλητή του ερωτηματολογίου για το πόσες φορές το χρόνο ο συμμετέχων οδηγεί υπό βροχή, η οποία είχε τη μικρότερη. Η μεταβλητή της βροχής ήταν η αμέσως επόμενη σε μέγεθος τιμή, η οποία είχε 60 φορές μεγαλύτερη επιρροή.

Στο Διάγραμμα 2 αποτυπώνεται η επίδραση της ηλικίας στον χρόνο αντίδρασης ανά καιρικές συνθήκες. Διαπιστώνεται ότι οι τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής της ηλικίας έχουν αυξητική τάση, καθώς όσο μεγαλώνουν οι τιμές αυτές, τόσο αυξάνεται και ο χρόνος αντίδρασης. Επίσης επιβεβαιώνεται ότι η ομίχλη συνδέεται με μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης για τις ίδιες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών.



Διάγραμμα 2: Επίδραση της ηλικίας στον χρόνο αντίδρασης ανά καιρικές συνθήκες

5. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επιρροής των καιρικών συνθηκών και της πίεσης χρόνου στην οδική ασφάλεια με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης και ερωτηματολογίων. Μετά από κατάλληλη στατιστική επεξεργασία και μία σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν, με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, πέντε μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης της μέσης ταχύτητας οδήγησης, της μέσης απόστασης από τη δεξιά άκρη της οδού, της διακύμανσης της γωνίας στροφής του τιμονιού, του μέσου χρόνου αντίδρασης και της μέσης απόστασης από το προπορευόμενο όχημα. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν δυο επιπλέον μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης για την πιθανότητα ατυχήματος εξαιτίας της εμφάνισης επικίνδυνων γεγονότων και την πιθανότητα ατυχήματος λόγω άλλων παραγόντων.

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι οι αντίξοες καιρικές συνθήκες προκάλεσαν βελτίωση της συμπεριφοράς οδήγησης, όσον αφορά μείωση ταχύτητας και γενικότερα προσεκτικότερη οδήγηση. Ωστόσο, αυτή η βελτίωση φάνηκε να μην μπορεί να αντισταθμίσει τον κίνδυνο ατυχήματος όπως φάνηκε από την αύξηση της διακύμανσης της μέσης γωνίας στροφής του τιμονιού, των χρόνων αντίδρασης και τελικώς της πιθανότητας ατυχήματος. Επιπροσθέτως, το χιόνι είχε τη μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος σε περίπτωση επικίνδυνου συμβάντος, καθώς επίσης και η βροχή και η ομίχλη εμφάνισαν αρκετά μεγάλη επιρροή. Το αποτέλεσμα αυτό ενδεχομένως οφείλεται στην μη εξοικείωση των Ελλήνων οδηγών με το χιόνι αλλά και στη δυσκολία πέδησης λόγω του ολισθηρού οδοστρώματος και στις δύο περιπτώσεις, καθώς και της χαμηλής ορατότητας.

Όταν δεν υπήρχε κάποιο επικίνδυνο συμβάν, η πιθανότητα ατυχήματος αυξήθηκε σημαντικά από την πίεση χρόνου του οδηγού, διότι η συγκέντρωση του οδηγού, η ψυχολογική του κατάσταση και η ταχύτητα που διατηρεί είναι άρρηκτα συνδεδεμένες, ειδικά σε περιπτώσεις απότομης στροφής. Επιπλέον, οι οδηγοί που απάντησαν ότι οδηγούν συνήθως πάνω από το όριο ταχύτητας φάνηκε να εμπλέκονται λιγότερο σε ατυχήματα, αυτό πιθανώς οφείλεται στο

ότι βρίσκονται σε αυξημένη εγρήγορση ή ότι έχουν συνηθίσει τις μεγαλύτερες ταχύτητες άρα και έχουν μεγαλύτερη άνεση και εμπειρία σε επικίνδυνα συμβάντα.

Η ομίχλη παρουσίασε τη μεγαλύτερη επιρροή στον χρόνο αντίδρασης, αφού με τη δυσκολία της ορατότητας του εκάστοτε εμποδίου αυξήθηκε ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού (αύξηση σχεδόν πενταπλάσια). Επιπροσθέτως, η βροχή και το χιόνι οδήγησαν σε αύξηση του χρόνου αντίδρασης (η βροχή σε αύξηση σχεδόν τετραπλάσια και το χιόνι σε τριπλάσια). Παρατηρήθηκε ακόμα ότι όσο δυσχεραίνεται η ορατότητα τόσο αυξάνεται ο χρόνος αντίδρασης. Η πίεση χρόνου είχε ως αποτέλεσμα στατιστικά σημαντική αύξηση του χρόνου αντίδρασης και κατά συνέπεια της πιθανότητας ατυχήματος.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η μέση ταχύτητα του οχήματος μειώθηκε σημαντικά υπό συνθήκες χιονιού (κατά μέσο όρο 15km/h λιγότερο) και αυξήθηκε αρκετά υπό συνθήκες πίεσης χρόνου (κατά μέσο όρο 10 km/h περισσότερο), αποτελέσματα που επιβεβαιώνονται και από τη διεθνή βιβλιογραφία. Η ομίχλη δεν επηρέασε την μέση ταχύτητα, γεγονός που συμφωνεί επίσης με τη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς ένας λόγος που θεωρείται επικίνδυνη συνθήκη είναι η διατήρηση της ταχύτητας χωρίς αντίληψη της δυσκολίας της χαμηλής ορατότητας.

Το χιόνι και η πίεση χρόνου είχαν παρόμοια επιρροή στη διακύμανση της μέσης στροφής του τιμονιού, αφού ενδεχομένως με το χιόνι η πέδηση δυσκολεύει και με τη πίεση χρόνου λόγω της συναισθηματικής κατάστασης του οδηγού ελαττώνεται η ικανότητα ελέγχου του οχήματος. Η ομίχλη, η βροχή και το χιόνι οδήγησαν σε μείωση της πλευρικής απόστασης από τη δεξιά άκρη της οδού, πιθανότατα λόγω του αισθήματος φόβου και της συνειδητοποίησης της επικινδυνότητας. Αντίθετα η πίεση χρόνου, όπου συνδέεται με την έλλειψη προσοχής και την επιθετική οδήγηση οδήγησε σε αύξηση της απόστασης και μάλιστα αποτέλεσε τη μεταβλητή με τη μεγαλύτερη επιρροή (η τιμή είναι σχεδόν διπλάσια για κάθε καιρική συνθήκη για τις ίδιες ηλικιακές ομάδες).

Τέλος, η παρούσα εργασία κατέδειξε ότι οι άνδρες οδηγοί εμφανίζουν μια πιο επιθετική συμπεριφορά, αναπτύσσουν μεγαλύτερες μέσες ταχύτητες και διατηρούν μικρότερες αποστάσεις από το προπορευόμενο όχημα σε σχέση με τις γυναίκες. Επιπλέον, η ηλικία οδήγησε σε αύξηση του χρόνου αντίδρασης, καθώς οι μεγαλύτεροι ηλικιακά οδηγοί φάνηκε να μην διαθέτουν γρήγορα αντανακλαστικά, αλλά και πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης σιγουριάς τους, ήταν λιγότερο σε εγρήγορση.

Μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες θα μπορούσαν να εξετάσουν επιπλέον ηλικιακές ομάδες οδηγών και να επεκτείνουν το πείραμα και σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης (τουλάχιστον όσον αφορά τη βροχή που είναι σχετικά συνηθισμένη στην Ελλάδα). Ακόμα, η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης θα μπορούσε να αποφέρει στατιστικά σημαντικότερα αποτελέσματα. Κλείνοντας, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνταν για την ανάπτυξη ενός μοντέλου συμπεριφοράς με έμφαση στη συνύπαρξη του οδηγού με αυτόνομα οχήματα και την εναλλαγή ελέγχου του οχήματος σε δυσμενείς συνθήκες.

6. Βιβλιογραφία

- Adomah, E., Bakhshi, A. K., & Ahmed, M. M. (2021). Safety impact of connected vehicles on driver behavior in rural work zones under foggy weather conditions (No. TRBAM-21-03428).
- Ali, E. M., Ahmed, M. M., & Yang, G. (2021). Normal and risky driving patterns identification in clear and rainy weather on freeway segments using vehicle kinematics trajectories and time series cluster analysis. *IATSS research*, 45(1), 137-152.
- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M., & Suggett, J. (2003). Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural hazards*, 28(2), 319-343.
- Beck, K. H., Daughters, S. B., & Ali, B. (2013). Hurried driving: Relationship to distress tolerance, driver anger, aggressive and risky driving in college students. *Accident Analysis & Prevention*, 51, 51-55.
- Brodsky, H., & Hakkert, A. S. (1988). Risk of a road accident in rainy weather. *Accident Analysis & Prevention*, 20(3), 161-176.
- Dahlen, E. R., Edwards, B. D., Tubré, T., Zyphur, M. J., & Warren, C. R. (2012). Taking a look behind the wheel: An investigation into the personality predictors of aggressive driving. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 1-9.
- Drosu, A., Cofaru, C., & Popescu, M. V. (2020). Influence of weather conditions on fatal road accidents on highways and urban and rural roads in Romania. *International journal of automotive technology*, 21(2), 309-317.
- Eisenberg, D., & Warner, K. E. (2005). Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. *American journal of public health*, 95(1), 120-124.
- El-Basyouny, K., & Kwon, D. W. (2012). Assessing time and weather effects on collision frequency by severity in Edmonton using multivariate safety performance functions (No. 12-0494).
- European Commission. (2021). Mobility and Transport. Accessed 25/05/21. Retrieved from <https://ec.europa.eu/transport/>.
- He, Y., & Liu, Z. (2021). A Feature Fusion Method to Improve the Driving Obstacle Detection under Foggy Weather. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*.
- Hotta, Y., & Tanida, K. (2005). A study of driving behavior when driver is feeling hurried and a potential method for their detection. *Transaction of Society of Automotive Engineers of Japan*, 36(1), 259-264.
- Hyodo, S., & Hasegawa, K. (2021). Factors Affecting Analysis of the Severity of Accidents in Cold and Snowy Areas Using the Ordered Probit Model. *Asian Transport Studies*, 7, 100035.
- Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis & Prevention*, 27(1), 1-20.
- Kauffman, R. J., Techatassanasoontorn, A. A., & Wang, B. (2012). Event history, spatial analysis and count data methods for empirical research in information systems. *Information Technology and Management*, 13(3), 115-147.
- Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 205-221.
- Moore, R. L., & Cooper, L. (1972). Fog and road traffic.
- Papantoniou, P., Papadimitriou, E., & Yannis, G. (2015). Assessment of driving simulator studies on driver distraction. *Advances in transportation studies*, (35).

- Pavlou, D., Papadimitriou, E., Antoniou, C., Papantoniou, P., Yannis, G., Golias, J., & Papageorgiou, S. G. (2017). Comparative assessment of the behaviour of drivers with Mild Cognitive Impairment or Alzheimer's disease in different road and traffic conditions. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 47, 122-131.
- Salli, R., Lintusaari, M., Tiikkaja, H., & Pöllänen, M. (2008). Wintertime road conditions and accident risks in passenger car traffic. *Tutkimusraportti, Research Report*, (68).
- Theofilatos, A., & Yannis, G. (2014). A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 244-256.
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. (2003). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Chapman and Hall/CRC.
- Zhao, S., Wang, K., Liu, C., & Jackson, E. (2019). Investigating the effects of monthly weather variations on Connecticut freeway crashes from 2011 to 2015. *Journal of safety research*, 71, 153-162.
- Zou, Y., Zhang, Y., & Cheng, K. (2021). Exploring the Impact of Climate and Extreme Weather on Fatal Traffic Accidents. *Sustainability*, 13(1), 390.