



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Διερεύνηση αντανακλαστικότητας στην κατακόρυφη σήμανση αστικών οδών

Διπλωματική Εργασία



Γεωργία Καπερώνη

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα Διπλωματική Εργασία, για την υποστήριξη, την πολύτιμη καθοδήγηση, καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για τη βοήθεια που μου προσέφερε με τις συμβουλές και παρατηρήσεις του, για την υπομονή του, καθώς και για το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν και στην εταιρεία Ο. Μαυροδής & ΣΙΑ Ε.Ε. και στον κύριο Οδυσσέα Μαυροδήμο για την παραχώρηση του πολύ χρήσιμου οργάνου μέτρησης αντανακλαστικότητας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Γεωργία Καπερώνη

Σύνοψη

Διερεύνηση της αντανακλαστικότητας στην κατακόρυφη σήμανση αστικών οδών

Γεωργία Καπερώνη

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της αντανακλαστικότητας στην κατακόρυφη σήμανση αστικών οδών αξιοποιώντας δεδομένα από μετρήσεις στο πεδίο με ειδικό όργανο μέτρησης του συντελεστή οπισθανάκλασης. Για το σκοπό αυτό αναλύεται επαρκής αριθμός δεδομένων από πινακίδες σήμανσης, τα οποία συλλέχθηκαν από κεντρικές αστικές οδούς, καθώς και παράπλευρες σε αυτές. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των στατιστικών μεθόδων της γραμμικής παλινδρόμησης. Μέσω των μοντέλων παλινδρόμησης, εξετάστηκε ο βαθμός και ο τρόπος με τον οποίο χαρακτηριστικά των πινακίδων σήμανσης, όπως η ηλικία και ο προσανατολισμός τους, επηρεάζουν και επομένως μπορούν να προβλέψουν την τιμή της αντανακλαστικότητας των πινακίδων κυκλοφοριακής σήμανσης. Αναπτύχθηκαν συνολικά επτά γραμμικά μοντέλα πρόβλεψης, τα οποία αφορούσαν τύπους πινακίδων, χρώματα που περιέχονται στις πινακίδες σήμανσης, καθώς και ένα γενικό μοντέλο για όλες τις πινακίδες σήμανσης που αναλύθηκαν. Από την εφαρμογή των μοντέλων προέκυψε ισχυρή επιρροή της ηλικίας των πινακίδων σήμανσης στην αντανακλαστικότητά τους, ενώ λιγότερο του προσανατολισμού, καθώς η μεταβλητή αυτή εμπεριέχεται μόνο στο γενικό (τελευταίο) μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των παρατηρήσεων.

Λέξεις – Κλειδιά: αντανακλαστικότητα, ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης, όργανο μέτρησης αντανακλαστικότητας, πινακίδες σήμανσης, γραμμική παλινδρόμηση

Abstract

Assessment of retro reflection of vertical road signs in urban roads

Georgia Kaperoni

Supervisor: Stergios Mavromatis, Professor NTUA

The aim of this Diploma Thesis is to investigate the reflectivity of vertical signs located in urban roads by implementing real data from measurements that were carried out with the use of specific instrument that enables to measure the coefficient of retro reflection. For this purpose, an adequate number of data was collected from selected avenues located in Athens as well as from parallel and vertical roads to those avenues. The analysis of the collected measurements was undertaken with the statistical method of linear regression. With the aid of linear regression models that were created it was feasible to examine how the characteristics of vertical road signs such as their age and orientation can affect and further predict their retro reflection value. During the data analysis, seven linear prediction models were developed with regards to the type and colour of vertical signs as well as a general model was implemented in which all the different types and colours were included. The results obtained show that the age significantly affects the retro reflection of vertical signs whereas the orientation was found to considerably affect only the last general model in which all the measurements were involved.

Key words: retroreflection, coefficient of retroreflection, retroreflectometer, road signs, linear regression

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή	1
1.1	Γενική Ανασκόπηση.....	1
1.2	Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	1
1.3	Μεθοδολογία.....	2
1.4	Δομή	3
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	6
2.1	Εισαγωγή	6
2.2	Βασικές αρχές αντανakλαστικότητας	6
2.3	Χαρακτηριστικά αντανakλαστικών πινακίδων στην κατακόρυφη σήμανση.....	7
2.3.1	Τύποι αντανakλαστικών μεμβρανών.....	8
2.3.2	Χρήση των αντανakλαστικών μεμβρανών στο οδικό δίκτυο.....	8
2.4	Απαιτήσεις Αντανakλαστικότητας.....	11
2.4.1	Δείγματα δοκιμής.....	11
2.4.2	Φωτομετρικές Ιδιότητες.....	12
2.4.3	Αντοχή σε θερμοκρασία.....	13
2.4.4	Αντοχή σε κρούση	13
2.4.5	Αντοχή σε κάμψη	13
2.4.6	Αντοχή στο νερό	14
2.4.7	Καθαρότητα.....	14
2.4.8	Αντοχή στα καύσιμα	14
2.4.9	Ομίχλη.....	14
2.5	Συναφείς Έρευνες	14
2.5.1	The effects of damage on sign visibility: An assist in traffic sign replacement (Kevin Heaslip, et al., 2016)	15
2.5.2	Can daytime digital imaging be used for traffic sign retroreflectivity compliance? (Majid Khalikikhah, et al., 2015).....	15
2.5.3	Evaluation of overhead guide sign sheeting materials to increase visibility and safety for drivers (Mohammed Said Obeidat, et al., 2016).....	16
3	Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	18
3.1	Εισαγωγή	18
3.2	Retrosign GR3 CEN- Όργανο μέτρησης οπισθανάκλασης	18
3.3	Βασικές έννοιες στατιστικής	20
3.4	Μαθηματικά μοντέλα	21

3.4.1	Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης.....	22
3.4.2	Εκτίμηση συντελεστών γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης	23
3.5	Γραφική απεικόνιση δεδομένων στο περιβάλλον της R – Boxplot.....	23
3.6	Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου	24
3.6.1	Συντελεστές της εξίσωσης.....	24
3.6.2	Στατιστική σημαντικότητα: p-value	24
3.6.3	Κριτήρια προσαρμογής και εκτίμησης σφαλμάτων	25
3.7	Ανάλυση Στατιστικού Μοντέλου: Q-Q plot	27
4	Συλλογή κι Επεξεργασία στοιχείων.....	29
4.1	Εισαγωγή	29
4.2	Συλλογή δεδομένων	29
4.3	Επεξεργασία στοιχείων.....	30
4.3.1	Ρυθμιστικές πινακίδες σήμανσης	31
4.3.2	Πληροφοριακές πινακίδες σήμανσης	38
4.3.3	Πινακίδες Κινδύνου	41
4.3.4	Προκαταρκτική ανάλυση	43
5	Μεθοδολογία.....	47
5.1	Εισαγωγή	47
5.2	Επεξεργασία δεδομένων για την εισαγωγή τους στην R	47
5.2.1	Τρόπος επεξεργασίας στοιχείων στο excel	47
5.2.2	Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R	50
5.3	Έλεγχος συσχέτισης.....	51
5.4	Ανάπτυξη Μοντέλων Παλινδρόμησης στο Ειδικό Λογισμικό Στατιστικής ανάλυσης R.....	52
5.5	Μοντέλο 1: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης λευκού και κόκκινου χρώματος.....	52
5.5.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	52
5.5.2	Ποιότητα Μοντέλου και Σχολιασμός Μοντέλου 1	53
5.6	Μοντέλο 2: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης κόκκινου και μπλε χρώματος.....	54
5.6.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	54
5.6.2	Ποιότητα και Σχολιασμός Μοντέλου 2	55
5.7	Μοντέλο 3: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης λευκού και μπλε χρώματος	56

5.7.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	56
5.7.2	Ποιότητα και Σχολιασμός Μοντέλου 3	57
5.8	Μοντέλο 4: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας λευκού χρώματος.....	58
5.8.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	58
5.8.2	Ποιότητα Μοντέλου 4.....	59
5.9	Μοντέλο 5: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας μπλε χρώματος.....	60
5.9.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	60
5.9.2	Ποιότητα και Σχολιασμός Μοντέλου 5	61
5.10	Μοντέλο 6: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας κόκκινου χρώματος	62
5.10.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	62
5.10.2	Ποιότητα Μοντέλου 6.....	63
5.11	Μοντέλο 7: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας όλων των πινακίδων σήμανσης - Γενικό Μοντέλο.....	64
5.11.1	Ανάπτυξη Μοντέλου	64
5.11.2	Ποιότητα Μοντέλου 7.....	65
6	Συμπεράσματα.....	67
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων	67
6.2	Συνολικά Συμπεράσματα.....	69
6.3	Προτάσεις για Βελτίωση της Κατακόρυφης Σήμανσης	71
6.4	Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	72
7	Βιβλιογραφία.....	73

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-2 σε κάθετες οδούς στη Λεωφόρο Βασιλίσσης Σοφίας.....	32
Διάγραμμα 4.2: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-2 σε κάθετες οδούς στη Λεωφόρο Ποσειδώνος.	32
Διάγραμμα 4.3: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-2 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	33
Διάγραμμα 4.4: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-27, P-28, P-32 στη Βασιλίσσης Σοφίας.	33
Διάγραμμα 4.5: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-27, P-28, P-29 στη Λ.Ποσειδώνος.....	34
Διάγραμμα 4.6: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-27, P-28 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	34
Διάγραμμα 4.7: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-7 στη Λ. Ποσειδώνος.....	35
Διάγραμμα 4.8: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-7 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	35
Διάγραμμα 4.9: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-40 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.....	36
Διάγραμμα 4.10: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-39, P-40 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	36
Διάγραμμα 4.11: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-49, P-52 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.	37
Διάγραμμα 4.12: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-49, P-52 στη Λ. Ποσειδώνος.....	37
Διάγραμμα 4.13: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-21 στη Λ. Ποσειδώνος.....	38
Διάγραμμα 4.14: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-21 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	39
Διάγραμμα 4.15: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-8 και Π-10 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.....	39

Διάγραμμα 4.16: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-8 στη Λ. Ποσειδώνος.....	40
Διάγραμμα 4.17: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-8 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	40
Διάγραμμα 4.18: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-96 και Π-98 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.....	41
Διάγραμμα 4.19: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Κ-41 στη Λ. Ποσειδώνος.....	42
Διάγραμμα 4.20: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Κ-41 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.....	42
Διάγραμμα 4.21: Κατανομή συνόλου πινακίδων σήμανσης σύμφωνα με το χρονικό όριο 10 έτη.....	43
Διάγραμμα 4.22: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το λευκό χρώμα (180 cd/lux/m^2).....	43
Διάγραμμα 4.23: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το κόκκινο χρώμα (25 cd/lux/m^2).....	44
Διάγραμμα 4.24: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το μπλε χρώμα (14 cd/lux/m^2).....	44
Διάγραμμα 4.25: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το κίτρινο χρώμα (120 cd/lux/m^2).....	44
Διάγραμμα 4.26: Boxplots ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (coefficient of retroreflection) στο λευκό χρώμα πινακίδων ως προς το έτος τοποθέτησης	45
Διάγραμμα 4.27: Boxplots ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (coefficient of retroreflection) στο κόκκινο χρώμα πινακίδων ως προς το έτος τοποθέτησης.....	45
Διάγραμμα 4.28: Boxplots ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (coefficient of retroreflection) στο μπλε χρώμα πινακίδων ως προς το έτος τοποθέτησης	46
Διάγραμμα 5.1: Boxplot συνολικής αντανάκλαστικότητας (coefficient of retroreflection R') για το σύνολο των μετρήσεων – προσανατολισμού (orientation)	49
Διάγραμμα 5.2: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 1	54
Διάγραμμα 5.3: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 2	56

Διάγραμμα 5.4: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 3	58
Διάγραμμα 5.5: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 4	60
Διάγραμμα 5.6: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 5	62
Διάγραμμα 5.7: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 6	64
Διάγραμμα 5.8: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 7	66

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 2.1: Εφαρμογή των αντανακλαστικών μεμβρανών [Πηγή: ΟΜΟΕ,2010]	11
Πίνακας 2.2: Αντανακλαστικότητα οπισθανακλαστικών μεμβρανών τύπου I [Πηγή: CEN, 2007]..	12
Πίνακας 2.3:Αντανακλαστικότητα οπισθανακλαστικών μεμβρανών τύπου II [Πηγή: CEN, 2007] .	12
Πίνακας 5.1: Εισαγωγή προσανατολισμού	49
Πίνακας 5.2: Συντελεστής συσχέτισης μεταβλητών	52
Πίνακας 5.3: Περίληψη Μοντέλου 1	53
Πίνακας 5.4: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 1	53
Πίνακας 5.5: Περίληψη Μοντέλου 2	55
Πίνακας 5.6: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 2	55
Πίνακας 5.7: Περίληψη Μοντέλου 3	57
Πίνακας 5.8: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 3	57
Πίνακας 5.9: Περίληψη Μοντέλου 4	59
Πίνακας 5.10: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 4	59
Πίνακας 5.11: Περίληψη Μοντέλου 5	61
Πίνακας 5.12: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 5	61
Πίνακας 5.13: Περίληψη Μοντέλου 6	63
Πίνακας 5.14: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 6	63
Πίνακας 5.15: Περίληψη Μοντέλου 7	65
Πίνακας 5.16: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 7	65
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων.....	68

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1: Στάδια εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας.....	3
Εικόνα 2.1: Γωνία εισόδου - Γωνία Παρατήρησης.....	7
Εικόνα 2.2: Πληροφοριακές πινακίδες σήμανσης.....	9
Εικόνα 2.3: Ρυθμιστικές πινακίδες σήμανσης.....	9
Εικόνα 2.4: Αναγγελίας Κινδύνου πινακίδες σήμανσης	10
Εικόνα 3.1: Retrosign GR3 CEN.....	18
Εικόνα 3.2: Μέτρηση αντανάκλαστικότητας σε πινακίδα σήμανσης με το Retrosign GR3	19
Εικόνα 3.3: Γωνία παρατήρησης – Γωνία φωτισμού σε συνθήκες οδήγησης.....	20
Εικόνα 3.4: Μορφή γραμμικού μοντέλου.....	22
Εικόνα 3.5: Ανάλυση Boxplot	24
Εικόνα 3.6: Τιμή p-value – Στατιστική σημαντικότητα	25
Εικόνα 3.7: Q-Q plot για την κανονικότητα των υπολοίπων	28
Εικόνα 4.1: Σημεία μέτρησης αντανάκλαστικότητας για πινακίδα σήμανσης P-2 (STOP).....	29
Εικόνα 5.1: Εισαγωγή δεδομένων στην R.....	50
Εικόνα 5.2: Ενδεικτικό τμήμα βάσης δεδομένων στην R από το σύνολο των μετρήσεων	51

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Η **οδική σήμανση** αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία στο οδικό δίκτυο για την ασφαλή και εύρυθμη κυκλοφορία στους δρόμους. Ο ρόλος της οδικής σήμανσης είναι ζωτικής σημασίας αφού συμβάλλει στην αποτροπή οδικού ατυχήματος με τη μετάδοση μηνυμάτων προς το χρήστη (οδηγό και πεζό) της οδού. Σκοπός της είναι η άμεση ενημέρωση για τις συνθήκες που επικρατούν στο οδικό περιβάλλον διασφαλίζοντας την ασφάλεια στην κίνηση πεζών κι οχημάτων. Συγκεκριμένα, προειδοποιεί για κινδύνους που μπορεί να υπάρχουν σε διάφορα τμήματα του οδικού δικτύου, ενημερώνει για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, καθοδηγεί τον οδηγό και ρυθμίζει την ομαλή κυκλοφορία.

Από την αρχή των οδικών μεταφορών, η ανάγκη για πινακίδες που παρέχουν στους χρήστες της οδού πληροφορίες και προειδοποιήσεις για το οδικό περιβάλλον ήταν μεγάλη. Προκειμένου οι οδηγοί να είναι σε θέση να διαβάσουν αυτά τα σήματα, οι πινακίδες πρέπει είτε να φωτίζονται με εξωτερική πηγή φωτός είτε να είναι οι ίδιες κατασκευασμένες με φύλλα που έχουν ορισμένες αντανakλαστικές ιδιότητες. Αυτές οι αντανakλαστικές ιδιότητες επιτρέπουν στο φως από τους προβολείς ενός οχήματος να ανακλάται πίσω στην πηγή, ώστε ο οδηγός να μπορεί να διαβάσει και να ερμηνεύσει την πινακίδα τη νύχτα.

Ωστόσο, οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι αυξανόμενες απαιτήσεις των οδικών μεταφορών έχουν στόχο τη συνεχή βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης της ασφάλειας και τη διευκόλυνση της αναγνώρισης της οδικής σήμανσης από τα οχήματα που είναι εξοπλισμένα με συστήματα υποβοήθησης του οδηγού ή διαθέτουν υψηλά επίπεδα αυτοματισμού. Για το λόγο αυτό, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, είναι σημαντικός ο καθορισμός νέων απαιτήσεων υψηλής αντανakλαστικότητας όσον αφορά την οδική σήμανση, ώστε να διευκολυνθεί η ανάπτυξη συνεργατικών, συνδεδεμένων και αυτοματοποιημένων συστημάτων κινητικότητας ([Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018](#)).

Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα προς αντιμετώπιση, από άποψη ορατότητας και ασφάλειας, είναι η **αντανakλαστικότητα** και η **οπισθο- αντανakλαση** (retroreflection) των πινακίδων σήμανσης, τόσο της οριζόντιας όσο και της κατακόρυφης, κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η **διερεύνηση της αντανakλαστικότητας και συγκεκριμένα της οπισθανάκλασης, της κατακόρυφης σήμανσης σε αστικό οδικό**

δίκτυο αξιοποιώντας δεδομένα από τη χρήση ειδικού οργάνου μέτρησης του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης.

Αρχικά, η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει έναν κύριο στόχο. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται να εξεταστεί κατά πόσο χαρακτηριστικά που καταγράφηκαν από επιτόπου παρατήρηση όπως ο τύπος της πινακίδας, η παλαιότητα της και ο προσανατολισμός της σε σχέση με τη διεύθυνση του ήλιου επηρεάζουν και επομένως μπορούν να προβλέψουν την αντανάκλαστικότητα των πινακίδων σήμανσης.

Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκε κι αναλύθηκε ένας αρκετά ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων από οδούς που επιλέχθηκαν βάσει των χαρακτηριστικών τους, με κύριο την υψηλή κυκλοφορία για τη διεξαγωγή ακριβέστερων συμπερασμάτων. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν μαθηματικά στατιστικά μοντέλα τα οποία θα επεξηγούν τα παραπάνω ζητήματα και θα προβλέπουν τη σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών των πινακίδων σήμανσης και την τιμή της αντανάκλαστικότητας.

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, θα βοηθήσουν στην κατανόηση του βαθμού και του τρόπου με τον οποίο τα χαρακτηριστικά των πινακίδων σήμανσης επηρεάζουν την αντανάκλαστικότητά τους και κατ' επέκταση την επαρκή ορατότητα αυτών από τους οδηγούς. Τα συμπεράσματα της εργασίας μπορούν να αποφέρουν πολλαπλά οφέλη στην κοινωνία, αφού μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, μέσω της σωστής συντήρησης και σε κάποιες περιπτώσεις αντικατάστασης των πινακίδων σήμανσης.

1.3 Μεθοδολογία

Σε αυτό το σημείο περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά, αφού οριστικοποιήθηκε το θέμα κι ο στόχος της εργασίας αυτής, έγινε διερεύνηση και συλλογή στοιχείων μέσω **βιβλιογραφικής ανασκόπησης**, τόσο σε ελληνική όσο και σε διεθνή βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, έγινε αναζήτηση επιστημονικών άρθρων, προτύπων και προδιαγραφών και συναφών ερευνών με το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας, καθώς και γενικών πληροφοριών που θα μπορούσαν να καταστούν χρήσιμες. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη εξοικείωση με το θέμα της εργασίας κι έγινε προσπάθεια κατανόησης σε βάθος για την απόκτηση σχετικής εμπειρίας για την επεξεργασία αυτού. Αυτή η διαδικασία συνέβαλε στον τρόπο διαχείρισης του θέματος και στη λήψη απόφασης για τη μέθοδο που θα ακολουθηθεί για την περαιτέρω διερεύνησή του.

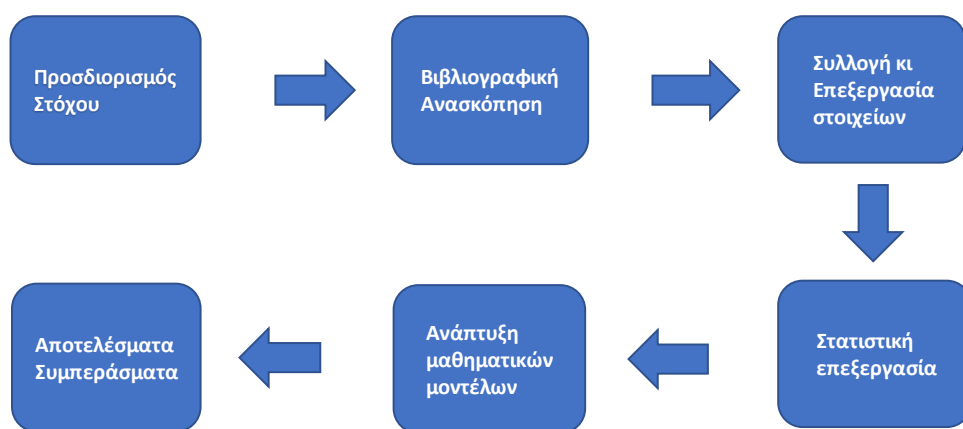
Έπειτα από τη συγκέντρωση και καταγραφή των αποτελεσμάτων από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, αποφασίστηκε ο τρόπος για τη **συλλογή των στοιχείων**. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ειδικό όργανο μέτρησης του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης των πινακίδων σήμανσης σε συγκεκριμένες οδούς με ταυτόχρονη καταγραφή των χαρακτηριστικών τους (τύπος πινακίδας, έτος τοποθέτησης της πινακίδας και προσανατολισμός). Τα οδικά τμήματα που επιλέχθηκαν για την επίτευξη του σκοπού αυτού ήταν τόσο στο κέντρο της πόλης, όσο και στην παράκτια ζώνη της Αθήνας. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν η Λεωφόρος Βασιλίσσης Σοφίας και η Λεωφόρος Ποσειδώνος, ως κεντρικές αστικές αρτηρίες όπου παρατηρείται αυξημένος κυκλοφοριακός φόρτος. Όσον αφορά την παράκτια κεντρική ζώνη της Αθήνας (Λ. Ποσειδώνος), δεδομένου ότι τα κτίρια βρίσκονται μόνο στη μία πλευρά του δρόμου, οι

πινακίδες σήμανσης είναι εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα στη διάρκεια της μέρας. Επιπλέον, για την επιρροή του προσανατολισμού στις πινακίδες σήμανσης, μετρήθηκε κι ένας αριθμός κάθετων πλευρικών οδών στις δύο κεντρικές αρτηρίες.

Για την **επεξεργασία** της συλλογής των στοιχείων, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή βάσεων δεδομένων κι απεικόνισή τους μέσω δημιουργίας **ραβδογραμμάτων** (Microsoft Excel). Με αυτά τα γραφήματα, έγιναν περισσότερο κατανοητά τα δεδομένα κι επιλέχθηκε η μέθοδος για την περαιτέρω ανάλυσή τους. Έπειτα ακολούθησε κατάλληλη επεξεργασία των βάσεων δεδομένων για να αποκτήσουν την τελική μορφή τους, ώστε να μπορούν να εισαχθούν στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, τη γλώσσα προγραμματισμού R. Μέσω της R, αναπτύχθηκαν **μαθηματικά μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης** για την περιγραφή της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή.

Στη συνέχεια, αξιολογήθηκαν κι ερμηνεύθηκαν τα αποτελέσματα, ώστε να διεξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την περιγραφή του βαθμού επιρροής των χαρακτηριστικών των πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την τιμή της αντανakλαστικότητας. Έτσι, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το εξεταζόμενο θέμα.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια που ακολούθηθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Στάδια εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Δομή

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας με τη συνοπτική αναφορά του περιεχομένου του εκάστοτε κεφαλαίου της.

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και περιλαμβάνει μια γενική ανασκόπηση του ευρύτερου πλαισίου που ανήκει το θέμα της Διπλωματικής Εργασίας. Έπειτα αναφέρεται ο σκοπός της

διπλωματικής εργασίας καθώς κι η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη αυτού. Τέλος, παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή της παρούσας εργασίας και τα στάδια που εκτελούνται για την ολοκλήρωσή της.

Κεφάλαιο 2 : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέκυψαν έπειτα από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση με αντικείμενο την αντανάκλαστικότητα της κατακόρυφης σήμανσης. Συγκεκριμένα, αναφέρονται βασικές έννοιες για την κατανόηση του θέματος, στοιχεία που προκύπτουν από επιστημονικά άρθρα, καθώς και πρότυπα και προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται σύμφωνα με τη νομοθεσία. Τέλος, παρουσιάζονται συναφείς έρευνες με το ζήτημα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Κεφάλαιο 3 : Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στοιχεία που βασίστηκε η μεθοδολογία για την ανάλυση των δεδομένων του θέματος της Διπλωματικής Εργασίας.

Αρχικά, αναφέρονται οι βασικές λειτουργίες και ιδιότητες του οργάνου μέτρησης αντανάκλαστικότητας που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων από τα οδικά τμήματα. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι μαθηματικές και στατιστικές έννοιες για την καλύτερη κατανόηση και επεξήγηση των μοντέλων που επιλέχθηκαν. Τέλος, το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με μία σύντομη παρουσίαση του ειδικού λογισμικού στατιστικής ανάλυσης (R studio), παραθέτοντας τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων.

Κεφάλαιο 4 : Συλλογή κι Επεξεργασία στοιχείων

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά τη συλλογή κι επεξεργασία στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στον τρόπο που συλλέχθηκαν τα δεδομένα, μέσω του ειδικού οργάνου μέτρησης του συντελεστή οπισθανάκλασης. Κατόπιν, παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες στους οποίους φαίνονται τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν και σχετικά ραβδογράμματα για την καλύτερη επεξήγησή τους. Έπειτα, ακολουθεί η επεξεργασία τους στο Microsoft Excel ώστε να αποκτήσουν την τελική μορφή τους για την κωδικοποίηση και την εισαγωγή τους στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R (R Studio).

Κεφάλαιο 5 : Μεθοδολογία

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει αναλυτικά τη διαδικασία και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για το εξεταζόμενο θέμα. Αρχικά, παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων μέσω στατιστικών μοντέλων, με ιδιαίτερη έμφαση στους ελέγχους αξιοπιστίας για την αποδοχή τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα τελικά στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης και της εναπομένουσας αντανάκλαστικότητας.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Το έκτο κεφάλαιο αφορά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ερμηνεία των στατιστικών μοντέλων. Συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο περιλαμβάνεται μία σύντομη αναφορά στα κύρια

σημεία που προέκυψαν στη συγκεκριμένη μελέτη και στα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν. Επιπλέον, παρουσιάζονται προτάσεις για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και για μελλοντικές έρευνες.

Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφικές αναφορές

Στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει έρευνες και θεωρητικά στοιχεία που παρουσιάζονται στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, στο δεύτερο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, καθώς και στο τρίτο κεφάλαιο που παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιλαμβάνει έννοιες για την καλύτερη κατανόηση του θέματος, καθώς και πρότυπα και κανονισμούς που ισχύουν μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, γίνεται η παρουσίαση των εννοιών της αντανakλαστικότητας και της οπισθο-αντανakλασης της κατακόρυφης σήμανσης, τα είδη που χρησιμοποιούνται καθώς και οι προδιαγραφές που πρέπει να εξασφαλίζονται για την αποδεκτή χρήση τους. Τέλος, παρουσιάζονται ορισμένες συναφείς έρευνες, οι οποίες εξετάζουν παράγοντες που επηρεάζουν την αντανakλαστικότητα της κατακόρυφης σήμανσης.

2.2 Βασικές αρχές αντανakλαστικότητας

Οι αντανakλαστικές πινακίδες σήμανσης αντανakλούν φως, χωρίς να παράγουν οι ίδιες και να καταναλώνουν τη δική τους ενέργεια, δανειζόμενο από κάποια άλλη πηγή (π.χ. ήλιος, προβολέας αυτοκινήτου, προβολείς δρόμου). Έτσι, λοιπόν, το φαινόμενο της αντανakλαστικότητας δεν περιλαμβάνει δημιουργία φωτός αλλά δανεισμό. Για το λόγο αυτό, η **αντανakλαστικότητα** των πινακίδων και κατ' επέκταση η δυνατότητα να είναι αυτές ορατές εξαρτάται από την ένταση του φωτός που προσπίπτει σε αυτές. Ο βασικότερος τύπος αντανakλαστικότητας είναι η οπισθο-αντανakλαση, η οποία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις πινακίδες σήμανσης και εκφράζεται με έναν ειδικό συντελεστή οπισθανakλασης R' μετρούμενου σε candelas ανά lux ανά τετραγωνικό μέτρο (cd/lux/m^2).

Η **candela (cd)** είναι η βασική μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής SI (International System), δηλαδή μετρά τη δύναμη του φωτός που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Ένα κοινό κερί εκπέμπει φως σε μια φωτεινή ένταση περίπου 1 candela.

Το **Lumen (lm)** είναι η μονάδα SI (International System) της φωτεινής ροής. Μετρά την δύναμη του φωτός όπως γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Η φωτεινή ροή διαφέρει από τη ροή ακτινοβολίας, Μετρά την εκπεμπόμενη συνολική ισχύ του φωτός.

Το **lux (lx)** είναι η μονάδα SI (International System) του φωτισμού και φωτεινής εκπομπής. Χρησιμοποιείται στην φωτομετρία ως μέτρο της έντασης του φωτός, που πέφτει ή διέρχεται σε μία επιφάνεια, ανά τετραγωνικό μέτρο, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Η σχέση που συνδέει το lumen με το lux είναι:

$$\text{lux} = \text{lm} / \text{m}^2$$

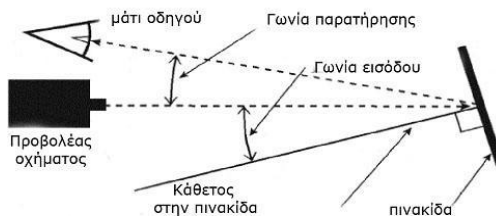
Η **οπισθο-αντανakλαση** είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν οι οπισθο-αντανakλαστικές επιφάνειες επιστρέφουν το φως στην πηγή εκπομπής τους. Οι οπισθο-αντανakλαστικές επιφάνειες θεωρούνται ιδιαίτερα βοηθητικές, κυρίως τις νυχτερινές ώρες, δεδομένου ότι διευκολύνουν σε μεγάλο βαθμό την διαδικασία οδήγησης.

Για την πλήρη κατανόηση των παραπάνω εννοιών και τη σημασία των ιδιοτήτων των οπισθο-αντανakλαστικών υλικών αξίζουν να αναφερθούν οι εξής όροι: **γωνία εισόδου**, **γωνία παρατήρησης** και **κόνος αντανakλώμενου φωτός**.

Γωνία εισόδου είναι η γωνία που σχηματίζει η δέσμη φωτός που προσπίπτει σε κάποιο σημείο της αντανakλαστικής επιφάνειας με την κάθετη στην επιφάνεια σε αυτό το σημείο. Έχει πολύ καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση των αντανakλαστικών μεμβρανών, διότι οι πινακίδες σήμανσης τοποθετούνται πολύ συχνά στην αριστερή πλευρά του δρόμου, μακριά από τον οδηγό και πολλές φορές μετατοπίζονται.

Γωνία παρατήρησης είναι η γωνία που σχηματίζει η δέσμη φωτός που προσπίπτει στην αντανakλαστική επιφάνεια και η δέσμη του αντανakλώμενου φωτός προς το μάτι του παρατηρητή.

Στην εικόνα 2.1 απεικονίζονται οι δύο παραπάνω γωνίες.



Εικόνα 2.1: Γωνία εισόδου - Γωνία Παρατήρησης

[Πηγή: [\(3M Products\)](#)]

Κόνος του αντανakλώμενου φωτός είναι ο κόνος που περιέχει το επιστρέφον φως, το οποίο πρακτικά βρίσκεται εντός 3 μοιρών σε σχέση με την προσπίπτουσα δέσμη φωτός και ουσιαστικά δε δημιουργεί κανένα πρόβλημα στις πινακίδες σήμανσης, αφού η θέση του οδηγού βρίσκεται πολύ κοντά στα φώτα του οχήματός του.

2.3 Χαρακτηριστικά αντανakλαστικών πινακίδων στην κατακόρυφη σήμανση

Στην κατακόρυφη σήμανση το σχήμα, το μέγεθος, το χρώμα καθώς και οι αντίστοιχες αναγραφές των γραμμάτων και τα υλικά κατασκευής καθορίζονται από τις προδιαγραφές του Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) ανάλογα με την κατηγορία της πινακίδας και της οδού. Οι κατακόρυφες πινακίδες σήμανσης του οδικού δικτύου είναι πλέον όλες αντανakλαστικές. Αντανakλαστικές χαρακτηρίζονται οι πινακίδες, όπου ολόκληρη η επιφάνεια κύριας όψης, εκτός από τα σύμβολα μαύρου χρώματος, αποτελούνται από αντανakλαστικές μεμβράνες.

Σήμερα, όλες οι πινακίδες Αναγγελίας Κινδύνου, οι περισσότερες Ρυθμιστικές, καθώς και όλες οι Πληροφοριακές πινακίδες αρχής που εφαρμόζονται εντός κατοικημένων περιοχών κατασκευάζονται από αντανακλαστικές μεμβράνες. Με αυτόν τον τρόπο, η πινακίδα είναι περισσότερο ορατή σε συνθήκες νυχτερινής οδήγησης

Το κύριο χαρακτηριστικό που επιδιώκεται από τις αντανακλαστικές μεμβράνες είναι η οπισθο-αντανάκλαση, η οποία, όπως εξηγήθηκε και προηγουμένως, αφορά την ικανότητα επιστροφής της φωτεινής δέσμης στην κατεύθυνση της πρόσπτωσης. Αυτή η ιδιότητα επιτυγχάνεται με τη χρήση μικροσκοπικών γυάλινων σφαιριδίων, διαμέτρου 0,01-0,1 mm, τα οποία είναι ενσωματωμένα στις μεμβράνες κατασκευής των πινακίδων.

Το υλικό κατασκευής του φύλλου που αναγράφεται το μήνυμα στις πινακίδες είναι από φύλλα κράματος αλουμινίου τύπου AlMg2, πάχους 3 mm. Η εμπρόσθια όψη καλύπτεται από ανακλαστική μεμβράνη, η οποία χαρακτηρίζεται από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) μεμβράνη **Τύπου I (Type I)**, μεμβράνη **Τύπου II (Type II)** ή μεμβράνη **Τύπου III (Type III)**.

2.3.1 Τύποι αντανακλαστικών μεμβρανών

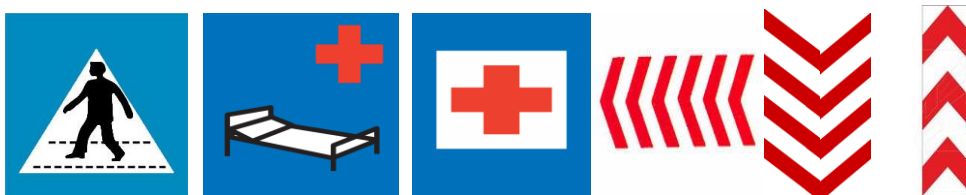
Η αντανακλαστική μεμβράνη **Engineer Grade (Τύπου I)** βασίζεται στην τεχνολογία των ενσωματωμένων οπτικών φακών, χρησιμοποιείται στις πινακίδες σήμανσης από το 1950 με επιτυχία και συνεχίζει να έχει χρήση ακόμα και σήμερα σε περιοχές με χαμηλή όχληση και χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο (π.χ. επαρχιακοί και δευτερεύοντες δρόμοι). Η συμβατική διάρκεια ζωής της μεμβράνης Τύπου I είναι τα επτά έτη. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκε η μεμβράνη **High Intensity Grade (Τύπου II)**, η οποία έχει πολύ πιο βελτιωμένα χαρακτηριστικά από την μεμβράνη Τύπου I. Η μεμβράνη αυτή βασίζεται στην τεχνολογία των ενθυλακωμένων οπτικών φακών ή μικροπρισμάτων. Συγκεκριμένα, διαθέτει πολλαπλάσια ικανότητα οπισθανάκλασης από την πρώτη, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αφού διατηρεί το 80% της αρχικής της φωτεινότητας ακόμα και μετά από δέκα χρόνια και είναι ορατή ακόμα και υπό μεγάλες γωνίες και σε περιοχές με έντονο φωτισμό (προαστιακοί δρόμοι, πρωτεύοντες δρόμοι εθνικού και υπεραστικού δικτύου, εργοταξιακή σήμανση). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό ένας ακόμη τύπος αντανακλαστικών μεμβρανών, που ονομάζεται **Diamond Grade (Τύπος III)**, ο οποίος αποτελείται από μικροπρισματική δομή και θεωρείται ο καλύτερος τύπος συγκριτικά με τους άλλους δύο. Η ορατότητα για τους οδηγούς είναι μεγαλύτερη κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες και αποδίδει σε γωνία εισόδου μέχρι και 60 μοιρών, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο ευελιξία στη θέση τοποθέτησης των πινακίδων αυτών. Τοποθετείται σε δρόμους υψηλής κυκλοφορίας και σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας. Τη διάρκεια ζωής των αντανακλαστικών μεμβρανών Τύπου II και Τύπου III αποτελούν τα δέκα έτη.

2.3.2 Χρήση των αντανακλαστικών μεμβρανών στο οδικό δίκτυο

Για την ορθότερη χρήση των τύπων αντανακλαστικότητας των επιφανειών των πινακίδων σήμανσης, γίνεται διαχωρισμός των πινακίδων ως προς την κατηγορία που ανήκουν (αναγγελίας κινδύνου, ρυθμιστικές, πληροφοριακές), ως προς την οδό στην οποία τοποθετούνται, την περιβαλλοντική όχληση και τη θέση τους στην οδό (δεξιά, αριστερά, υπεράνω – γέφυρα σήμανσης).

Ως προς την κατηγορία που ανήκουν, οι σχετικές προδιαγραφές είναι συγκεκριμένες και θα πρέπει να τηρούνται σε όλες τις περιπτώσεις ανεξάρτητα από το οδικό περιβάλλον (αστικό/υπεραστικό) που τοποθετούνται. Συγκεκριμένα, οι πινακίδες που αφορούν τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας κατά την κυκλοφορία, κρίνονται ιδιαίτερος κρίσιμες και οφείλουν να κατασκευάζονται υποχρεωτικά από αντανακλαστική μεμβράνη τουλάχιστον τύπου II. Τέτοιες πινακίδες είναι οι ακόλουθες:

- **Πληροφοριακές :** Π-21 (διάβαση πεζών), Π-22 (νοσοκομείο), Π-32 (σταθμός πρώτων βοηθειών), Π-74 (κατεύθυνση – επισημάνση επικίνδυνων καμπυλών), Π-75 (διαδοχικά βέλη κατεύθυνσης τοποθετούμενα σε επικίνδυνες καμπύλες κύριων αρτηριών), Π-76 (κινητό εμπόδιο λόγω έργων επί της οδού) και Π-77, Π-78, Π-79 (για πέρασμα από τα δεξιά, τα αριστερά και από τα δεξιά ή τα αριστερά νησίδας ή εμποδίου, αντίστοιχα) . (Εικόνα 2.2)
- **Ρυθμιστικές :** P-1 (υποχρεωτική παραχώρηση προτεραιότητας) , P-2 (STOP-υποχρεωτική διακοπή πορείας), P-30 (απαγορεύεται το προσπέρασμα μηχανοκίνητων οχημάτων πλην δίτροχων μοτοσικλετιστών χωρίς κένιστρο, P-52, P-52 α , P-52 δ (υποχρεωτική διέλευση είτε από τη δεξιά είτε από την αριστερή, μόνο από την αριστερά και μόνο από τη δεξιά πλευρά της νησίδας ή του εμποδίου, αντίστοιχα. (Εικόνα 2.3)
- **Αναγγελίας Κινδύνου:** K-1 α και δ (επικίνδυνη στροφή) , K2 α και δ (επικίνδυνες αντίρροπες ή διαδοχικές στροφές), K-16 (κίνηση παιδιών) και K-31 έως K-37 (αφορούν σε ισόπεδες σιδηροδρομικές διαβάσεις). (Εικόνα 2.4)



Εικόνα 2.2: Πληροφοριακές πινακίδες σήμανσης [Πηγή: <https://www.odosimansi.gr>]



Εικόνα 2.3: Ρυθμιστικές πινακίδες σήμανσης [Πηγή: <https://www.odosimansi.gr>]



Εικόνα 2.4:Αναγγελίας Κινδύνου πινακίδες σήμανσης [Πηγή: <https://www.odosimansi.gr>]

Στα αστικά οδικά δίκτυα, λόγω της εντονότερης περιβαλλοντικής οπτικής όχλησης σε σχέση με τα αντίστοιχα υπεραστικά, οι ανάγκες αντανάκλαστικότητας των πινακίδων είναι αυξημένες. Η υψηλή περιβαλλοντική οπτική όχληση, δημιουργείται από φωτεινές πηγές (προβολείς, φωτεινές πινακίδες καταστημάτων, διαφημίσεις, μεγάλος αριθμός κινούμενων οχημάτων) και προκαλούν αυξημένη διάχυση φωτός στον περιβάλλοντα χώρο, δυσχεραίνοντας την ορατότητα.

Στο υπεραστικό δίκτυο, οι απαιτήσεις αντανάκλαστικότητας των μεμβρανών διαφοροποιούνται σημαντικά, εξαιτίας της κατηγορίας της οδού και των εξωγενών παραγόντων που επηρεάζουν την αναγνωσιμότητα αυτών. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι καιρικές συνθήκες της περιοχής, η βλάστηση και ο προσανατολισμός της οδού.

Στον πίνακα 2.1 παρατίθεται μια προτεινόμενη εφαρμογή των τριών ανακλαστικών μεμβρανών ανάλογα με τη θέση της πινακίδας σήματος στην οδό, τον τύπο οδού και την περιφερειακή όχληση από τον περιβάλλοντα φωτισμό.

Πίνακας 2.1: Εφαρμογή των αντανακλαστικών μεμβρανών [Πηγή: [ΟΜΟΕ,2010](#)]

ΓΕΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ						
ΘΕΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΟ	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ		ΥΠΕΡΑΣΙΚΗ ΟΔΟΣ		ΑΣΤΙΚΗ ΟΔΟΣ	
	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση
Δεξιά	II	II	II	I	II ή III	I ή II
Αριστερά	III	II ή III	II ή III	II	III	II
Υπεράνω	III	III	II ή III	II	III	II
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ						
ΘΕΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΟ	ΑΝΑΓΓΕΛΙΑΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ		ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ		ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΗ	
	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση
Δεξιά	III	II	II	II	II	II
Αριστερά	III	II	III	II	III	III
Υπεράνω	(III)	(III)	(III)	(III)	III	III
ΚΥΡΙΟ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ						
ΘΕΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΟ	ΑΝΑΓΓΕΛΙΑΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ		ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ		ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΗ	
	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση
Δεξιά	II	II	II	I	II	II
Αριστερά	III	II	II	II	II	II
Υπεράνω	(III)	(II)	(II)	(II)	II	II
ΛΟΙΠΟ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ						
ΘΕΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΟ	ΑΝΑΓΓΕΛΙΑΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ		ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ		ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΗ	
	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση	Υψηλή όχληση	Χαμηλή όχληση
Δεξιά	II	I	I ή II	I	II	I
Αριστερά	(II ή III)	(II)	(II)	I ή II	II	I ή II

Σε παρένθεση εμφανίζονται οι περιπτώσεις πινακίδων, των οποίων η εμφάνιση είναι πολύ σπάνια στην πράξη.

2.4 Απαιτήσεις Αντανακλαστικότητας

2.4.1 Δείγματα δοκιμής

Τα όρια των χρωματικών περιοχών σε σχέση με το συντελεστή φωτεινής έντασης όλων των χρωμάτων, τα οπισθοανακλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των πινακίδων, καθώς και οι διαστάσεις, το σχήμα, τα γράμματα και τα αριθμητικά στοιχεία θα πρέπει να ελέγχονται και να συμμορφώνονται με κανονισμούς και πρότυπα (**ISO- International Organization for Standardization, EN-12899**) . Αυτό επιτυγχάνεται μέσω εργαστηριακών δοκιμών σε αντιπροσωπευτικά δείγματα των πλακών.

Τα δείγματα δοκιμής παράγονται σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή του αντανακλαστικού υλικού. Θα πρέπει να έχουν ελάχιστη επιφάνεια 100 cm² συνεχούς επίπεδης επιφάνειας φόντου για τη διευκόλυνση των φωτομετρικών μετρήσεων και άλλων δοκιμών. Όλα

τα δείγματα δοκιμής υποβάλλονται για 24 ώρες σε 23 ± 3 °C και 50 ± 5 % σχετική υγρασία πριν από τη δοκιμή.

2.4.2 Φωτομετρικές Ιδιότητες

Η αντανάκλαστική επιφάνεια της πινακίδας πρέπει να έχει τις ελάχιστες τιμές του συντελεστή αντανάκλασεως εκφρασμένου σε candelas ανά lux ανά τετραγωνικό μέτρο (cd/lux/m^2), όταν φωτίζεται με ένα πρότυπο φωτιστικό CIE A και μετριέται όπως συνιστάται από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE) με τις γωνίες εισόδου και παρατήρησης στο ίδιο επίπεδο. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι η ρύθμιση της γωνίας εισόδου να είναι τέτοια ώστε οι γωνίες εισόδου και παρατήρησης να βρίσκονται στις αντίθετες πλευρές της γραμμής που ενώνει το φως. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 2.2 και Πίνακας 2.3) φαίνονται οι τιμές του συντελεστή ανακλάσεως σε σχέση με τη γωνία παρατήρησης και εισόδου καθώς και το χρώμα του πρότυπου φωτιστικού για αντανάκλαστικότητα τύπου I και τύπου II αντίστοιχα, σύμφωνα τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN-12899.

Πίνακας 2.2: Αντανάκλαστικότητα οπισθανάκλαστικών μεμβρανών τύπου I [Πηγή: [CEN, 2007](#)]

Γωνία παρατήρησης α	Γωνία φωτισμού $\beta_1 (\beta_2=0)$	Ελάχιστες τιμές σε cd/lux/m^2 του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασεως					
		Λευκό	Κίτρινο	Κόκκινο	Πράσινο	Μπλε	Πορτοκαλί
12'	5°	70	50	14,5	9	4	25
	30°	30	22	6	3,5	1,7	10
	40°	10	7	2	1,5	0,5	2,2
20' (0.33°)	5°	50	35	10	7	2	19
	30°	24	16	4	3	1	4,5
	40°	9	6	1,8	1,2	0,4	2
2°	5°	5	3	1	0,5	0,2	1,2
	30°	2,5	1,5	0,5	0,3	0,1	0,5
	40°	1,5	1	0,5	0,2	0,06	0,4

Πίνακας 2.3: Αντανάκλαστικότητα οπισθανάκλαστικών μεμβρανών τύπου II [Πηγή: [CEN, 2007](#)]

Γωνία παρατήρησης α	Γωνία φωτισμού $\beta_1 (\beta_2=0)$	Ελάχιστες τιμές σε cd/lux/m^2 του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασεως					
		Λευκό	Κίτρινο	Κόκκινο	Πράσινο	Μπλε	Πορτοκαλί
12'	5°	250	170	45	45	20	100
	30°	150	100	25	25	11	60
	40°	110	70	15	12	8	29
20' (0.33°)	5°	180	120	25	21	14	65
	30°	100	70	14	12	8	40
	40°	95	60	13	11	7	20
2°	5°	5	3	1	0,5	0,2	1,1
	30°	2,5	1,5	0,4	0,3	0,1	0,8
	40°	1,5	1	0,3	0,2	0,06	0,5

Όταν υποβάλλονται σε προσομοίωση βροχόπτωσης, η αντανακλαστικότητα της αντανακλαστικής επιφάνειας της πλάκας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 80% των τιμών που καθορίζονται ανωτέρω.

Εάν οι τοπικές μεταβολές της φωτεινότητας είναι προφανείς, όταν μια δοκιμαστική πινακίδα έχει αντανακλαστικό φόντο αλλά όχι επιγραφή, οι φωτομετρικές μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε γωνία παρατήρησης 20 '(0.33°) και γωνία εισόδου 5° για να ελεγχθεί το ποσοστό της μεταβολής.

Οι σχετικές μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται στην περιοχή της παρατηρούμενης μεταβολής του συντελεστή φωτεινής έντασης αρκετών παρακείμενων περιοχών, κάθε 5 x 5 cm. Η αναλογία της υψηλότερης προς τη χαμηλότερη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνει το 2.

2.4.3 Αντοχή σε θερμοκρασία

Για τον έλεγχο αυτόν, το δοκιμαστικό δείγμα υπόκειται στις ακόλουθες συνθήκες σε σειρά:

- α) 7 ώρες διαδοχικά σε θερμοκρασία 65 ± 2 °C με σχετική υγρασία $10 \pm 5\%$
- β) 1 ώρα σε θερμοκρασία 23 ± 5 °C και $50 \pm 10\%$ σχετική υγρασία
- γ) 15 ώρες διαδοχικά σε θερμοκρασία -20 °C.

Στο τέλος αυτής της δοκιμής, το ανακλαστικό υλικό, τα γράμματα και τα ψηφία δεν πρέπει να δείχνουν αποκόλληση από το υπόστρωμα, ούτε ρωγμές ή αισθητό αποχρωματισμό.

2.4.4 Αντοχή σε κρούση

Στον έλεγχο αυτόν το δείγμα δοκιμής είναι για 1 ώρα στους -20 °C. Αμέσως μετά την απομάκρυνση από την ψυκτική αποθήκευση, τοποθετείτε η πλάκα δείγματος με την αντανακλαστική πλευρά επάνω σε μια σταθερή βάση στήριξης όπως το σκυρόδεμα ή μια χαλύβδινη πλάκα 12,5 mm και αφήνεται μια χαλύβδινη σφαίρα διαμέτρου 25 mm να πέσει από ύψος 2 m σε ένα επίπεδο τμήμα του δείγματος. Το υλικό αντανάκλασης δεν πρέπει να παρουσιάζει ρωγμές ή διαχωρισμό από το υπόστρωμα σε απόσταση 5 mm από την περιοχή που έχει υποστεί βλάβη.

2.4.5 Αντοχή σε κάμψη

Για τον έλεγχο της αντοχής σε κάμψη, η επίπεδη επιφάνεια του δείγματος δοκιμής της πινακίδας υποβάλλεται σε λυγισμό για διάστημα 2 δευτερολέπτων πάνω από έναν άξονα διαμέτρου 50 mm, σε μια περιλαμβανόμενη γωνία 90° με το υλικό αντανάκλασης που βλέπει προς τα έξω σε θερμοκρασία 23 ± 5 °C. Για να υπάρξει επιτυχία στη συγκεκριμένη δοκιμή, δεν πρέπει να υπάρχουν ρωγμές. Για να διευκολυνθεί η κάμψη, κάθε τυπωμένο περίγραμμα πρέπει να κόβεται από το πάνω και κάτω μέρος της πινακίδας δοκιμής.

2.4.6 Αντοχή στο νερό

Η αντοχή στη διάβρωση είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα που οφείλουν να διαθέτουν οι αντανakλαστικές επιφάνειες. Για την αποτελεσματική τοποθέτησή τους, οι μεμβράνες δεν πρέπει να εμφανίζουν φθορές από διάβρωση.

Στη συγκεκριμένη δοκιμή, η δοκιμαστική πλάκα βυθίζεται για περίοδο 24 ωρών διαδοχικά σε απιονισμένο νερό στους $23 \pm 5^\circ \text{C}$ και στη συνέχεια αφήνεται να στεγνώσει σε κανονική θερμοκρασία δωματίου. Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής αυτής, το δείγμα δεν θα πρέπει να έχει καμία ένδειξη αλλοιώσεως που θα μπορούσε να μειώσει την αποτελεσματικότητά του.

2.4.7 Καθαρότητα

Οι έγχρωμες επιφάνειες των πινακίδων σήμανσης πρέπει να έχουν καθαρό περίγραμμα. Επειδή, όμως, αυτό είναι τεχνικά αδύνατο να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια, η υπέρβαση περιγράμματος που δημιουργείται μεταξύ γειτονικών χρωμάτων στις μεταξοτυπίες, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 3 mm.

Για τη δοκιμή της καθαρότητας, το δοκιμαστικό δείγμα με ένα μίγμα λιπαντικού ελαίου και γραφίτη πρέπει να καθαρίζεται εύκολα χωρίς να καταστρέφεται η αντανakλαστική επιφάνεια όταν σκουπίζεται με ήπιο αλειφατικό διαλύτη, όπως το επτάνιο. Στο τέλος της διαδικασίας αυτής, ακολουθεί πλύση με ουδέτερο απορρυπαντικό.

2.4.8 Αντοχή στα καύσιμα

Ένα τμήμα της πλάκας δείγματος βυθίζεται, συμπεριλαμβανομένων γραμμμάτων και αριθμών, για 1 λεπτό σε ένα καύσιμο δοκιμής αποτελούμενο από 70% n-επτάνιο και 30% τολουόλιο (κατ'όγκο). Μετά την αφαίρεση του δείγματος γίνεται έλεγχος στην επιφάνεια, η οποία δεν θα πρέπει να παρουσιάζει καμία ορατή αλλαγή που θα μπορούσε να μειώσει την αποτελεσματικότητά της.

2.4.9 Ομίχλη

Μια πλάκα δείγματος υποβάλλεται στη δράση ομίχλης αλατόνευρου για δύο κύκλους 22 ωρών το καθένα, χωρισμένοι με ένα διάστημα 2 ωρών, σε θερμοκρασία δωματίου, κατά τη διάρκεια της οποίας το δείγμα αφήνεται να στεγνώσει. Η ομίχλη αλατόνευρου παράγεται με ψεκασμό, σε θερμοκρασία $35 \pm 2^\circ \text{C}$, διαλύματος αλατόνευρου που λαμβάνεται με διάλυση 5 μερών (m/m) χλωριούχου νατρίου σε 95 μέρη (m/m) απιονισμένου νερού. Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής, πλένεται η πλάκα δείγματος με νερό, στεγνώνεται με ένα πανί και στη συνέχεια εξετάζεται. Δεν πρέπει να υπάρχει διάβρωση που να μειώνει την αποτελεσματικότητά του.

2.5 Συναφείς Έρευνες

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά σημεία ερευνών οι οποίες σχετίζονται με την εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν την αντανakλαστικότητα των πινακίδων κυκλοφοριακής σήμανσης με σκοπό τη βελτίωση της ορατότητας και της οδικής ασφάλειας.

2.5.1 The effects of damage on sign visibility: An assist in traffic sign replacement (Kevin Heaslip, et al., 2016)

Σκοπός:

Στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που προκαλούν φθορά στην αντανakλαστικότητα των κυκλοφοριακών πινακίδων και επομένως επιβάλλεται η αντικατάστασή τους.

Μεθοδολογία:

Για τη συγκεκριμένη μεθοδολογία συλλέχθηκαν δεδομένα από 1683 πινακίδες σήμανσης σε λειτουργία στην πολιτεία της Γιούτα της Αμερικής, χρησιμοποιώντας ειδικό όργανο μέτρησης αντανakλαστικότητας (Retrosign Model 4500). Για την κάθε πινακίδα μετρήθηκε η αντανakλαστικότητά της για κάθε χρώμα ξεχωριστά, καταγράφηκε επίσης το έτος τοποθέτησής της, καθώς και η μορφή των φθορών της (καμία, κομμένη, ρηγματωμένη, ξεθώριασμα, βανδαλισμός). Τα δεδομένα αυτά διαχωρίστηκαν και επεξεργάστηκαν για κάθε τύπο αντανakλαστικότητας (Type I,II,III) που ανήκε η πινακίδα χωριστά.

Αποτελέσματα:

Με τη δημιουργία στατιστικών μοντέλων παλινδρόμησης, εκτός από το έτος τοποθέτησης, το οποίο συσχετίζεται απόλυτα με την αντανakλαστικότητα των πινακίδων σήμανσης, η ανάλυση των φθορών έδειξε πως επηρεάζει άμεσα την πρόβλεψη της αντανakλαστικότητας των πινακίδων σήμανσης. Αυτά τα αποτελέσματα, παρείχαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την αντικατάσταση των πινακίδων.

2.5.2 Can daytime digital imaging be used for traffic sign retroreflectivity compliance? (Majid Khalikikhah, et al., 2015)

Σκοπός:

Στόχος της μελέτης είναι να εξετάσει εάν η ψηφιακή απεικόνιση μέσω ειδικού εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της αντανakλαστικότητας των πινακίδων κυκλοφοριακής σήμανσης.

Μεθοδολογία:

Για τη συγκεκριμένη έρευνα δημιουργήθηκαν δύο βάσεις δεδομένων. Για την πρώτη βάση συλλέχθηκαν δεδομένα από μετρήσεις 1700 πινακίδων σήμανσης. Οι μετρήσεις αυτές

πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο χειροκίνητα με ειδικό όργανο μέτρησης του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης. Για τη δεύτερη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία για περισσότερες από 97000 πινακίδες σήμανσης από ειδικά εξοπλισμένο όχημα που κινούνταν σε αυτοκινητόδρομο. Το όχημα αυτό ήταν εξοπλισμένο με αισθητήρα LIDAR(ψηφιακή απεικόνιση), με σύστημα οδικής απεικόνισης με λέιζερ, σύστημα μέτρησης ρωγμών με λέιζερ και σύστημα εντοπισμού του προσανατολισμού της θέσης. Επιπλέον, οι ψηφιακές εικόνες που συλλέχθηκαν από το συγκεκριμένο εξοπλισμένο όχημα κατά τη διάρκεια της μέρας, αξιοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των τύπων των πινακίδων που περιλάμβαναν οι μετρήσεις και την οπτική αξιολόγησή τους σε καλή, μέτρια και κακή. Ο σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να διαπιστωθεί εάν με τα δεδομένα που προήλθαν από την ψηφιακή απεικόνιση μπορεί να εξαχθεί ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα για την εκτίμηση της αντανάκλαστικότητας. Για την επίτευξη αυτού, έγινε προσπάθεια αντιστοίχισης των δεδομένων από τις δύο βάσεις με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS μέσω την συντεταγμένων των πινακίδων και του Google Maps μέσω φωτογραφιών. Από αυτή τη διαδικασία, προέκυψαν περισσότερα από 1500 δεδομένα για πινακίδες σήμανσης και υπολογίστηκε για κάθε μία μέσω του βασικού ορισμού της πιθανότητας εάν είναι αποδεκτή ή όχι, σύμφωνα με την αξιολόγησή της σε καλή, μέτρια ή κακή. Στη συνέχεια, αυτές οι πινακίδες διαχωρίστηκαν ανάλογα με τον τύπο αντανάκλαστικών μεμβρανών (Type I, III, III HIP, IX και XI) ,σύμφωνα με το αμερικανικό πρότυπο ASTM E 1709 (2016) και αναλύθηκαν για κάθε τύπο το σύνολο των χρωμάτων μέσω πινάκων και διαγραμμάτων. Το πρότυπο ASTM E 1709 (American Society for Testing and Material) αφορά πρότυπες μεθόδους δοκιμής για τη μέτρηση αντανάκλαστικότητας πινακίδων σε γωνία παρατήρησης 0.2° και γωνία εισόδου 4°.

Αποτελέσματα:

Προέκυψε πως μέσω της ψηφιακής απεικόνισης κατά τη διάρκεια της μέρας δεν είναι εφικτή η αξιόπιστη πρόβλεψη της αντανάκλαστικότητας των πινακίδων σήμανσης. Παρ' όλα αυτά, μέσω της ψηφιακής απεικόνισης από ειδικά εξοπλισμένο κινούμενο όχημα προκύπτουν αξιόλογα συμπεράσματα για το ποιες πινακίδες επιβάλλεται να διερευνηθούν χειροκίνητα στο πεδίο.

2.5.3 Evaluation of overhead guide sign sheeting materials to increase visibility and safety for drivers (Mohammed Said Obeidat, et al., 2016)

Σκοπός:

Στόχος είναι η εκτίμηση των τύπων αντανάκλαστικών μεμβρανών (type I, type XI, type IV) της σήμανσης για την αύξηση της ορατότητας και της ασφάλειας των οδηγών.

Μεθοδολογία:

Η συλλογή δεδομένων προέκυψε χρησιμοποιώντας οδηγούς κατά τη διάρκεια της νύχτας για τον καθορισμό του βέλτιστου αντανakλαστικού υλικού, το οποίο αυξάνει την ορατότητα των πινακίδων και την αναγνωσιμότητα. Για τη συγκεκριμένη μελέτη συμμετείχαν 43 οδηγοί, εκ των οποίων οι 31 ήταν άνδρες και οι 12 γυναίκες, σε ανοικτό χώρο στάθμευσης με τη μόνη φωτεινή πηγή τα φώτα ενός ακινητοποιημένου οχήματος. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για καθένα οδηγό χωριστά και του ζητήθηκε να διαβάσει τον τίτλο μιας πινακίδας σήμανσης σε δύο καθορισμένες αποστάσεις (180 πόδια και 240 πόδια), αρχικά για επίπεδο φωτισμού μηδέν. Εάν αυτό δεν ήταν δυνατό, αυξανόταν το επίπεδο φωτισμού μέχρι να διαβαστεί σωστά ο τίτλος. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές στη συγκεκριμένη δοκιμή ορίστηκαν κάποια χαρακτηριστικά των οδηγών, όπως η ηλικία, το φύλλο, χρήση διορθωτικών φακών ή γυαλιών, η ημερομηνία τελευταίου ελέγχου της όρασης, η νυχτερινή συχνότητα οδήγησης και η τυχόν συμμετοχή σε οδικό ατύχημα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε το επίπεδο φωτισμού στην πρόσοψη της πινακίδας (επίπεδο 0, 1 κλπ.), στο οποίο διαβάστηκε σωστά ο τίτλος από τον οδηγό.

Αποτελέσματα:

Έπειτα από τη δημιουργία μοντέλων στατιστικής ανάλυσης για κάθε τύπο αντανakλαστικών μεμβρανών, προέκυψε πως η πρώτη σε ορατότητα και ευκρίνεια αντανakλαστική μεμβράνη είναι η Diamond Grade (type XI), δεύτερη η High Intensity (type IV) και τρίτη η Engineering Grade (type I). Η διαφορά των τετραγωνικών μέσων δεν έδειξε στατιστική διαφορά μεταξύ των type XI και type IV. Μια οικονομική λύση για ορατότητα και ασφάλεια, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη έρευνα, ήταν η χρήση αντανakλαστικής μεμβράνης High Intensity τύπου IV.

Από όλα τα παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα πως οι περισσότερες έρευνες εστιάζουν στην ανάλυση του τρόπου με τον οποίο διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν κάθε τύπο αντανakλαστικών μεμβρανών. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία γίνεται προσπάθεια ανάλυσης των χαρακτηριστικών των πινακίδων σήμανσης (τύπος πινακίδας, ηλικία πινακίδας, προσανατολισμός, χρώματα) που επηρεάζουν την αντανakλαστικότητα μεμβρανών Τύπου II.

3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση κι επεξεργασία των δεδομένων του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο ειδικό όργανο μέτρησης οπισθανάκλασης (Retrosign GR3) ,όσον αφορά τη χρήση και λειτουργία του, το οποίο συντέλεσε στη συλλογή δεδομένων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μέθοδοι ανάλυσης που αναπτύχθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων και εξαγωγή μοντέλων πρόβλεψης, δηλαδή η μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο εξετάζεται η σχέση της εξαρτημένης μεταβλητής (αντανάκλαστικότητα) , με τις ανεξάρτητες μεταβλητές (χρώμα, έτος τοποθέτησης, προσανατολισμός, τύπος πινακίδας) και πώς η πρώτη επηρεάζεται από αυτές. Τέλος, αναλύονται οι στατιστικοί έλεγχοι, τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης ενός μοντέλου, καθώς και κύριες λειτουργίες του ειδικού λογισμικού επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε (R Studio).

3.2 Retrosign GR3 CEN- Όργανο μέτρησης οπισθανάκλασης

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του Retrosign GR3 CEN σε αστικό οδικό περιβάλλον, σε συγκεκριμένα οδικά τμήματα. Το GR3 είναι ένα φορητό όργανο για επιτόπια επιθεώρηση και ποιοτικό έλεγχο όλων των τύπων πινακίδων οδικής κυκλοφορίας με αντανάκλαστικές μεμβράνες. Συγκεκριμένα, μετρά την τιμή του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (R'), μέτρο που εκφράζει την ορατότητα των πινακίδων όπως αυτές φαίνονται από τους οδηγούς των μηχανοκίνητων οχημάτων στο φωτισμό των προβολέων.



Εικόνα 3.1: Retrosign GR3 CEN
[Πηγή: <https://roadsensors.madebydelta.com>]

Τα βασικά χαρακτηριστικά του Retrosign GR3 είναι:

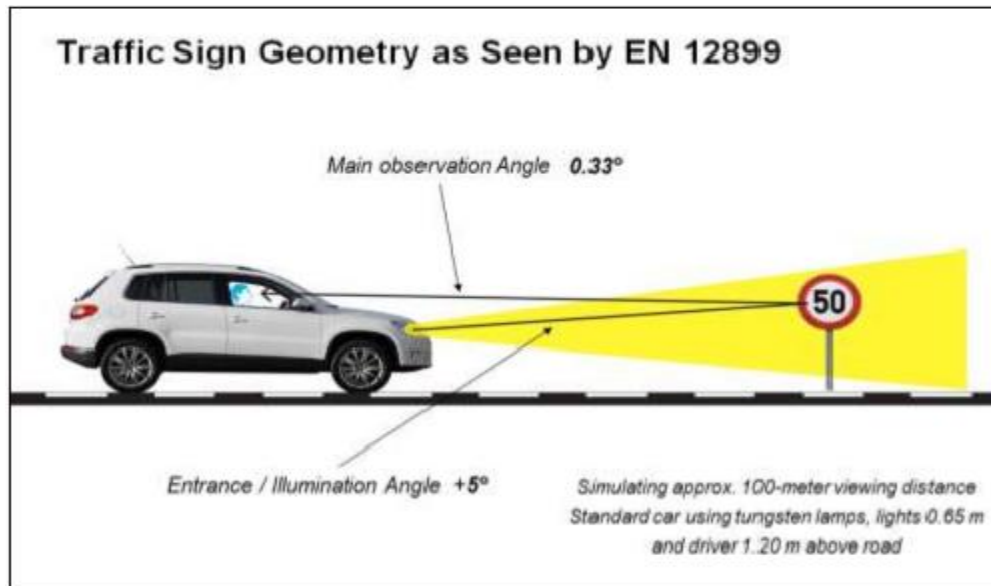
- Ικανότητα μέτρησης στο φως της ημέρας
- Αυτόματη αντιστάθμιση αδέσποτου φωτός και διάγνωση σφαλμάτων
- Μέτρηση σε φωτισμό που αντιστοιχεί σε ρεαλιστική κατάσταση θέασης νυχτερινής κυκλοφορίας
- Άμεση ψηφιακή ανάγνωση μετρήσεων στην οθόνη
- Γρήγορη βαθμονόμηση (calibration) και ειδικός φακός αναφοράς για βαθμονόμηση
- Θύρα USB και καλώδιο USB για εύκολη μεταφορά δεδομένων
- Μπαταρία μεγάλης διάρκειας ζωής (230 V / 50 Hz)
- GPS
- Bluetooth (Ασύρματη σύνδεση επικοινωνίας) για ασύρματη μεταφορά δεδομένων

Ο χρήστης του Retrosign GR3 εκτελεί εύκολα μία μέτρηση, τοποθετώντας το φακό του οργάνου κάθετα στην επιφάνεια της πινακίδας και πιέζοντας το κόκκινο κουμπί σκανδάλης στη λαβή (Εικόνα 3.2). Αυτόματα, εμφανίζεται στην οθόνη LCD η ειδοποίηση WAIT κατά τη διάρκεια της μέτρησης για περίπου 2 δευτερόλεπτα. Αμέσως μετά, ένα ηχητικό σήμα ενημερώνει το χρήστη για την ολοκλήρωση της μέτρησης και τα αποτελέσματά της. Εάν εντοπιστούν σφάλματα κατά τη διάρκεια της μέτρησης, τότε το όργανο προειδοποιεί το χρήστη με τη λέξη “Err” (error) μέσω μηνύματος στην οθόνη.



Εικόνα 3.2: Μέτρηση αντανάκλαστικότητας σε πινακίδα σήμανσης με το Retrosign GR3
[Πηγή: <https://roadsensors.madebydelta.com>]

Το όργανο μετρά σε γωνία φωτισμού $+5^{\circ}$ και οι μετατοπίσεις μεταξύ του φωτισμού και της κύριας γωνίας παρατήρησης είναι 0.33° . (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Γωνία παρατήρησης – Γωνία φωτισμού σε συνθήκες οδήγησης
[Πηγή: <https://assets.madebydelta.com>]

3.3 Βασικές έννοιες στατιστικής

Με τον όρο μεταβλητές εννοούνται τα χαρακτηριστικά ή οι ιδιότητες που ενδιαφέρουν να καταγραφούν και να μετρηθούν σε μία έρευνα. Μεταβλητές μπορεί να είναι η ηλικία, το εισόδημα, το μορφωτικό επίπεδο κλπ.

Ανάλογα με το ρόλο τους, οι μεταβλητές χωρίζονται σε:

- **Εξαρτημένες μεταβλητές (dependent variables):** είναι εκείνες οι μεταβλητές οι τιμές των οποίων εξαρτώνται κατά κάποιο τρόπο από τις ανεξάρτητες μεταβλητές, δηλαδή οι μεταβλητές οι οποίες γίνεται προσπάθεια να «εξηγήσουμε» με βάση εξωτερικούς παράγοντες από τους οποίους επηρεάζονται.
- **Ανεξάρτητες μεταβλητές (independent variables) :** είναι οι μεταβλητές οι οποίες εκφράζουν μία ιδιότητα ή ένα χαρακτηριστικό που επιδρά συστηματικά, και κατά κάποιο τρόπο μπορεί να εκτιμηθεί, στην τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής.

Μέση τιμή ($\bar{x}$) ή μέτρα κεντρικής τάσης (measures of central tendency)

Ορίζεται το άθροισμα των παρατηρήσεων (έστω n) διά το πλήθος των παρατηρήσεων. Όταν σε ένα δείγμα μεγέθους n , οι παρατηρήσεις είναι $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, η μέση τιμή υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

Μέτρα διασποράς και μεταβλητότητας (measures of variability)

Ορίζονται τα μέτρα που εκφράζουν τις αποκλίσεις των τιμών μιας μεταβλητής γύρω από τα μέτρα κεντρικής τάσης. Το σπουδαιότερο μέτρο διασποράς είναι η διακύμανση (Var). Η διακύμανση ορίζεται ως «ο μέσος όρος των τετραγώνων των αποκλίσεων από το μέσο όρο» και είναι ίση με 0 όταν όλες οι τιμές της μεταβλητής είναι ίσες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση. Όταν η διακύμανση είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή, αυτό ονομάζεται υπερδιασπορά και είναι μεγαλύτερη από 1. Εάν είναι μικρότερη από 1, αυτή είναι γνωστή ως υποδιαστολή. Στην περίπτωση που τα δεδομένα αποτελούν ένα δείγμα η διακύμανση συμβολίζεται με S^2 και ορίζεται από τη σχέση:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Συντελεστής συσχέτισης ρ (correlation coefficient)

Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y με διασπορά σ_x^2 και σ_y^2 αντίστοιχα, και συνδιασπορά $\sigma_{xy} = \text{cov}[x,y]$, μετριέται με τον συντελεστή συσχέτισης ρ που ορίζεται ως $\rho = (\sigma_{xy}/\sigma_x)(1/\sigma_y)$. Ο συντελεστής συσχέτισης ρ , όπως και η συνδιασπορά σ_{xy} , εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται, δηλαδή πώς η μία τυχαία μεταβλητή μεταβάλλεται ως προς την άλλη. Η σ_{xy} παίρνει τιμές που εξαρτώνται από το πεδίο τιμών των X και Y ενώ ο συντελεστής ρ παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$. Οι χαρακτηριστικές τιμές του ρ ερμηνεύονται ως εξής :

- $\rho = 1$: υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση μεταξύ των X και Y
- $\rho = 0$: δεν υπάρχει καμιά (γραμμική) συσχέτιση μεταξύ των X και Y
- $\rho = -1$: υπάρχει τέλεια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των X και Y

3.4 Μαθηματικά μοντέλα

Σε διάφορα προβλήματα της Στατιστικής το ενδιαφέρον εστιάζεται στην ταυτόχρονη μελέτη δύο ή περισσότερων μεταβλητών, για να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο συσχετίζονται αυτές οι μεταβλητές μεταξύ τους. Ο κλάδος της στατιστικής που εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη μιας από αυτές μέσω των άλλων λέγεται **ανάλυση της παλινδρόμησης** (regression analysis). Στην **απλή παλινδρόμηση** χρησιμοποιείται μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή X , η οποία μπορεί να εκφράσει ικανοποιητικά

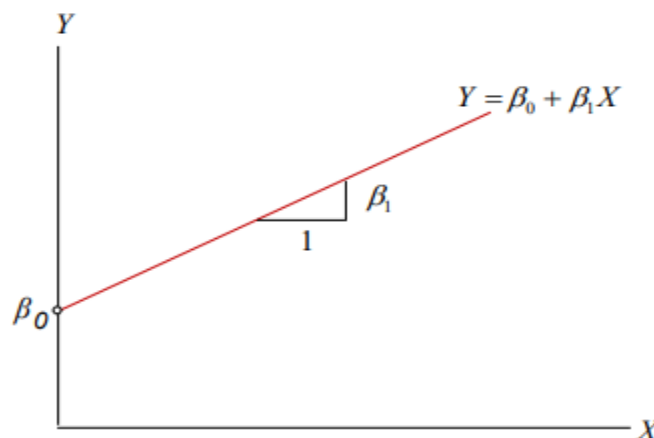
την εξαρτημένη μεταβλητή Y . Η παλινδρόμηση στην οποία υπάρχουν περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές, καλείται **πολλαπλή παλινδρόμηση**. Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων αποτελεί μια στατιστική διαδικασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η ανάπτυξη μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης (Κούτρας, 2004).

3.4.1 Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης

Η γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες και σημαντικές μορφές της όπου η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής είναι ένας γραμμικός συνδυασμός μιας ή περισσότερων ανεξαρτήτων μεταβλητών. Η γενική μορφή αυτού του γραμμικού μοντέλου είναι η εξής:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \beta_0 + \varepsilon,$$

Όπου β_i οι συντελεστές και X_i οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης συλλαμβάνει το γεγονός ότι κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή επηρεάζει και συνεισφέρει στην αναμενόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής με κάποιο συντελεστή β , και η συνεισφορά των ανεξαρτήτων μεταβλητών είναι αθροιστική. Οι συντελεστές β καθορίζουν το πόσο συνεισφέρει κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή. Η σχηματική απεικόνιση ενός γραμμικού μοντέλου φαίνεται στην εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4: Μορφή γραμμικού μοντέλου
[Πηγή: msirpy.weebly.com]

3.4.2 Εκτίμηση συντελεστών γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης

Μέθοδος Ελαχίστων τετραγώνων

Αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους εκτίμησης των συντελεστών ενός γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης. Το ζητούμενο μέσω της μεθόδου αυτής είναι να βρεθεί η σχέση για την οποία τα δεδομένα που έχουν προκύψει θα προσαρμοστούν όσο το δυνατό καλύτερα πάνω στη γραφική της παράσταση.

Για τη γραμμική σχέση $y = b_0 + b_1x$ οι συντελεστές b_0 και b_1 προσδιορίζονται βρίσκοντας τις τιμές για τις οποίες ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων και υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$b_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad \text{και} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x},$$

Όπου $\bar{y}$: μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής

$\bar{x}$: μέση τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής

n : πλήθος των μετρήσεων

Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται στο περιβάλλον της R για την εκτίμηση των συντελεστών ενός γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων είναι η συνάρτηση **lm()** (linear model).

Η συνάρτηση **lm()** λαμβάνει ως ορίσματα τόσο το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης με τη μορφή τύπου (formula) της R, το οποίο μπορεί να είναι απλό ή πολλαπλό, με ειδική σύνταξη για τον προσδιορισμό της εξαρτημένης και των ανεξαρτητών μεταβλητών, το σύνολο εκπαίδευσης απ' όπου θα εκτιμηθούν οι συντελεστές. Αν κληθεί επιτυχώς, η συνάρτηση **lm()** επιστρέφει ένα αντικείμενο το οποίο περιέχει μεταβλητές με τα αποτελέσματα της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι εκτιμήσεις των συντελεστών β καθώς και τα υπόλοιπα. Η βασική σύνταξη για τη συνάρτηση **lm()** στη γραμμική παλινδρόμηση είναι:

lm(formula)

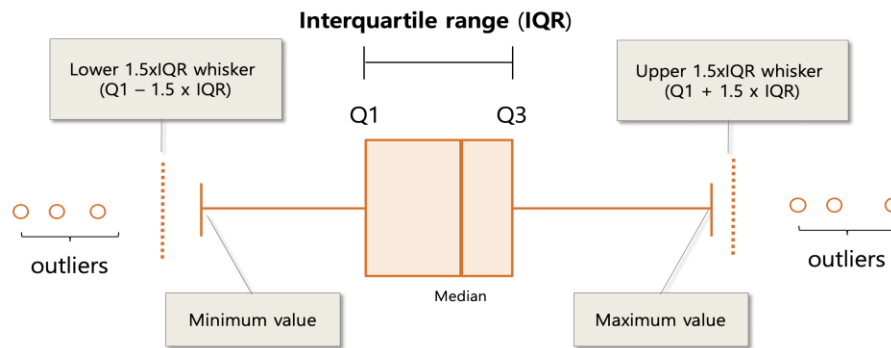
3.5 Γραφική απεικόνιση δεδομένων στο περιβάλλον της R – Boxplot

Στην περιγραφική στατιστική, το boxplot αποτελεί έναν τρόπο γραφικής απεικόνισης πέντε βασικών παραμέτρων μιας σειράς παρατηρήσεων. Αυτές οι παράμετροι είναι οι εξής:

- η μικρότερη παρατήρηση (min)
- το 1^ο τεταρτημόριο (Q1)
- η διάμεσος (Q2)

- το τρίτο τεταρτημόριο (Q3)
- η μέγιστη τιμή των παρατηρήσεων (max)

Επιπλέον, με το boxplot εντοπίζονται και τυχόν ακραίες τιμές (outliers) μιας μεταβλητής.



Εικόνα 3.5: Ανάλυση Boxplot [Πηγή: <https://towardsdatascience.com>]

3.6 Κριτήρια Αποδοχής Μοντέλου

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και τη αποδοχή ενός μοντέλου μετά τη δημιουργία του είναι τα πρόσημα και οι τιμές των συντελεστών β_i (b_i) της εξίσωσης, η στατιστική σημαντικότητα, η ποιότητα του μοντέλου και τα μέτρα προσαρμογής.

3.6.1 Συντελεστές της εξίσωσης

Οι συντελεστές της εξίσωσης στη γραμμική παλινδρόμηση εκτιμώνται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων κι όσον αφορά τα πρόσημά τους, αυτά ερμηνεύονται λογικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο δηλώνει μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης.

3.6.2 Στατιστική σημαντικότητα: p-value

Η τιμή του p-value (probability value) είναι ιδιαίτερα σημαντική στη στατιστική συμπερασματολογία, ειδικά όταν γίνεται χρήση στατιστικών μοντέλων. Το p-value είναι εργαλείο που συναντάται σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις και τα αποτελέσματα των ελέγχων. Η τιμή p-value ορίζεται ως η πιθανότητα λήψης αποτελέσματος ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό που παρατηρήθηκε μέσω των δεδομένων. Η πιθανότητα p είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας α που οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης H_0 έναντι της εναλλακτικής H_1 . Γενικά, όσο πιο μικρή είναι η τιμή της πιθανότητας p , τόσο περισσότερες είναι οι αποδείξεις για την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης H_0 έναντι της εναλλακτικής H_1 . Εάν η τιμή p είναι μικρότερη ή ίση του επιπέδου σημαντικότητας α , τότε η μηδενική υπόθεση H_0 απορρίπτεται. Στο περιβάλλον της R, με αστεράκια συμβολίζεται η στατιστική σημαντικότητα του κάθε p-value. Για παράδειγμα, με τρία αστεράκια είναι στατιστικά πολύ σημαντικό για κάθε διάστημα εμπιστοσύνης που ορίζουμε ενώ με ένα αστεράκι μπορούμε να

πούμε ότι είναι στατιστικά σημαντικό μόνο με διάστημα εμπιστοσύνης 95% και πάνω (Εικόνα 3.4).

```
Call:
lm(formula = Salary ~ Experience + Gender, data = Artsy)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-371.21 -117.34  -10.22   107.95   573.43

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   765.368     16.268   47.049  < 2e-16 ***
Experience     10.482       1.548    6.773 8.77e-11 ***
Gender         225.058     24.631    9.137  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 168.3 on 253 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.466,    Adjusted R-squared:  0.4618
F-statistic: 110.4 on 2 and 253 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Εικόνα 3.6: Τιμή p-value – Στατιστική σημαντικότητα

3.6.3 Κριτήρια προσαρμογής και εκτίμησης σφαλμάτων

Student's t-test

Η τιμή του Student's t-test ή t-test εκφράζει την επιρροή μιας ανεξάρτητης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Όσο αυξάνεται η τιμή του συντελεστή της μεταβλητής, τόσο αυξάνεται κι η επιρροή της μεταβλητής αυτής. Η σχέση που χρησιμοποιείται για το t-test είναι η εξής:

$$t = \frac{\beta_i}{s.e.},$$

Όπου,

β_i : συντελεστής της μεταβλητής

s.e.: η τιμή του τυπικού σφάλματος (Standard Error)

Όπως φαίνεται κι από την παραπάνω σχέση, η τιμή του τυπικού σφάλματος είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής του t-test, δηλαδή όσο θα μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο η επιρροή της ανεξάρτητης μεταβλητής θα αυξάνεται. Το t μπορεί να πάρει αρνητικές και θετικές τιμές, αφού αυτό εξαρτάται από το πρόσημο του συντελεστή (β). Μεγάλη τιμή του t κατά απόλυτη τιμή υποδεικνύει ισχυρή στατιστική σημαντικότητα. Συγκεκριμένα, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, το t είναι ίσο με 1,96. Επομένως, για να κριθεί μια μεταβλητή αξιόλογη και στατιστικά σημαντική και να συμπεριληφθεί στο μοντέλο, θα πρέπει το t-test να έχει μια τιμή μεγαλύτερη από 1,96.

F- statistic

Το F-statistic χρησιμοποιείται για να καθορίσει την επιρροή πολλαπλών συντελεστών σε ένα μοντέλο. Εκφράζεται από τη σχέση:

$$F\text{- statistic} = \frac{MSR}{MSE} ,$$

Όπου,

MSR: δηλώνει τη μέση τετραγωνική παλινδρόμηση

MSE: δηλώνει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

AIC και BIC

Όσον αφορά την εκτίμηση του σφάλματος πρόβλεψης χρησιμοποιούνται οι δείκτες AIC και BIC. Είναι εκτιμητές σχετικής ποιότητας στατιστικών μοντέλων για ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη μια συλλογή μοντέλων για τα δεδομένα, οι δείκτες αυτοί εκτιμούν την ποιότητα κάθε μοντέλου, σε σχέση με κάθε ένα από τα άλλα μοντέλα. Έτσι, το AIC και το BIC παρέχουν ένα μέσο για την επιλογή μοντέλου. Αυτοί οι δύο δείκτες βασίζονται στη θεωρία της πληροφορίας. Όταν ένα στατιστικό μοντέλο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της διαδικασίας που δημιούργησε τα δεδομένα, η αναπαράσταση σχεδόν ποτέ δεν θα είναι ακριβής. Οπότε ορισμένες πληροφορίες θα χαθούν χρησιμοποιώντας το μοντέλο που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία. Μέσω των AIC και BIC εκτιμάται η σχετική ποσότητα πληροφοριών που χάθηκαν από ένα δεδομένο μοντέλο: όσο λιγότερες πληροφορίες χάνει ένα μοντέλο, τόσο υψηλότερη είναι η ποιότητα αυτού του μοντέλου. Επομένως στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των δύο αυτών κριτηρίων.

Κριτήριο R^2 – Προσαρμοσμένο R^2 (Adjusted)

Η τιμή του R^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο μοντέλο. Συγκεκριμένα, εκφράζει την ποιότητα ενός μοντέλου και ορίζεται ως:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Όπου,

SSR: δηλώνει το άθροισμα των τετραγώνων της παλινδρόμησης ($SSR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2$)

SST: δηλώνει το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων ($SST = \sum(y_i - \hat{y}_i)^2$)

Ο συντελεστής αυτός είναι ουσιαστικά το ποσοστό της μεταβλητής απόκρισης που εξηγείται από ένα γραμμικό μοντέλο. Παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του

R^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών Y και X . Δηλαδή, όσο υψηλότερο είναι το R^2 τόσο καλύτερα εκφράζει το μοντέλο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Το κριτήριο του Προσαρμοσμένου (Adjusted) R^2 χρησιμοποιείται για τον καλύτερο έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου, αφού όταν γίνεται πρόσθεση μεταβλητών στο μοντέλο, ο συντελεστής R^2 αυξάνεται συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο λιγότερων μεταβλητών. Ορίζεται από τη σχέση:

$$adjR^2 = \frac{MSE}{MST}$$

Όπου,

MST: δηλώνει τη μέση τιμή του συνόλου των τετραγώνων

MSE: δηλώνει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

3.7 Ανάλυση Στατιστικού Μοντέλου: Q-Q plot

Η ανάλυση ενός στατιστικού μοντέλου αποτελεί ένα σημαντικό βήμα μετά την ανάπτυξη μιας στατιστικής πρόβλεψης. Η διαδικασία αυτή αφορά τα αποτελέσματα του μοντέλου και αποτελεί τη διερεύνησή του ως προς το βαθμό που είναι ικανοποιητική και αποδεκτή η περιγραφή του. Πρακτικά, είναι αρκετά δύσκολο να υπάρξει πλήρης περιγραφή ενός συστήματος που προσομοιώνεται μέσω μαθηματικών εξισώσεων, παρ' όλα αυτά μπορεί να θεωρηθεί ως ικανοποιητική προσέγγιση ακόμα κι αν δεν ικανοποιείται η διαδικασία αυτή.

Ένα χρήσιμο στατιστικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση μοντέλων είναι ο έλεγχος της κανονικότητας των υπολοίπων. Πιο συγκεκριμένα τα υπόλοιπα ενός προσαρμοσμένου μοντέλου είναι η διαφορά μεταξύ των πραγματικών παρατηρήσεων και των προβλέψεων του μοντέλου. Η σχέση που εκφράζει τα υπόλοιπα ορίζεται ως εξής:

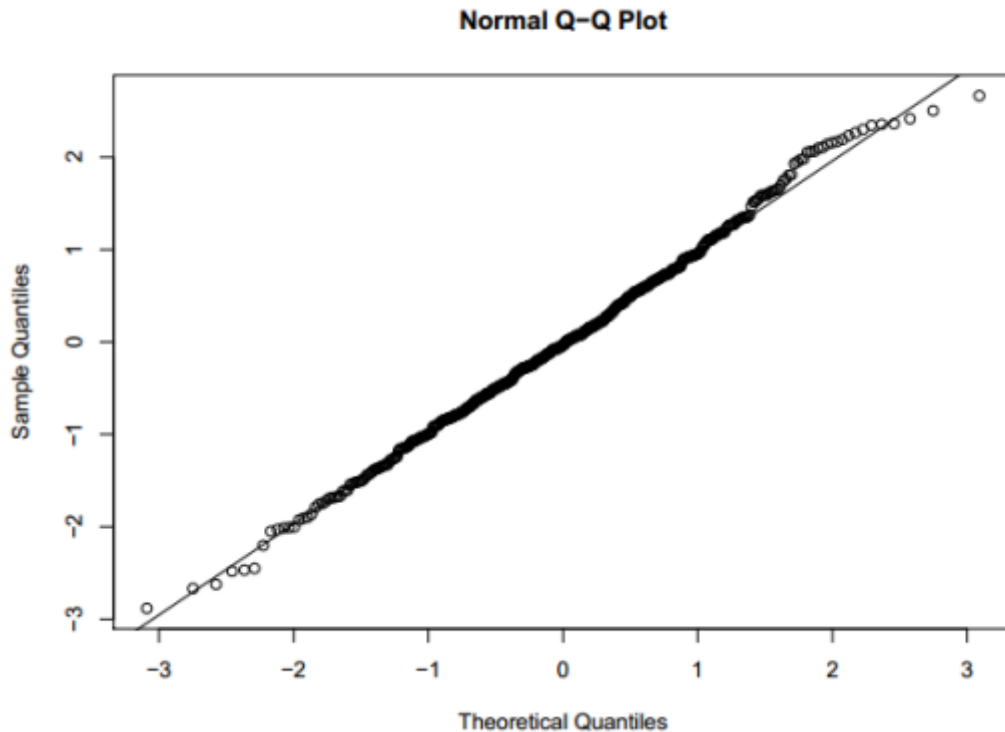
$$\hat{\varepsilon}_i = y_i - \hat{y}_i,$$

Όπου,

y_i : οι παρατηρηθείς τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής

$\hat{y}_i$: οι εκτιμώμενες τιμές

Ο έλεγχος αυτός εκτελείται με τη βοήθεια γραφικών παραστάσεων (Normal Q-Q plot) και κάποιων στατιστικών ελέγχων (Shapiro-Wilk, Kolmogrovn-Smirnov). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα τέτοιο γράφημα αναπαράστασης της κανονικότητας των υπολοίπων.



Εικόνα 3.7: Q-Q plot για την κανονικότητα των υπολοίπων
[Πηγή: <https://stats.stackexchange.com>]

Στην εικόνα 3.7 παρατηρείται ένα γράφημα Q-Q plot, όπου απεικονίζεται η σύγκριση των ποσοστιαίων σημείων των υπολοίπων του πραγματικού δείγματος (ευθεία γραμμή) ως προς τα ποσοστιαία σημεία των υπολοίπων που προέρχονται από κανονική κατανομή (σημεία). Παρατηρείται μια μικρή απόκλιση των σημείων στην αρχή και στο τέλος του γραφήματος από την ευθεία γραμμή, ωστόσο ισχύει σε μεγάλο ποσοστό η προϋπόθεση της κανονικότητας των υπολοίπων.

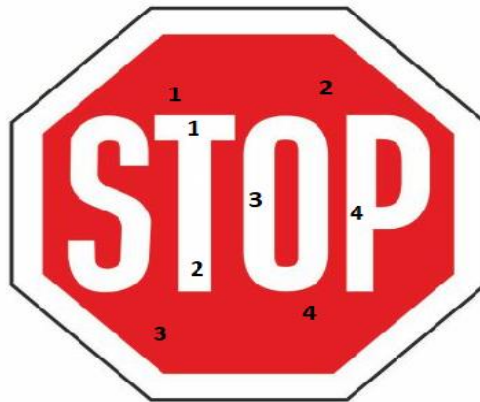
4 Συλλογή κι Επεξεργασία στοιχείων

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία συλλογής κι επεξεργασίας των στοιχείων, έτσι ώστε να δοθεί μία πλήρη εικόνα για το θέμα που εξετάστηκε. Αρχικά, με τη βοήθεια του ειδικού οργάνου μέτρησης αντανάκλαστικότητας παρουσιάζονται οι μετρήσεις και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν. Στη συνέχεια, μέσω γραφημάτων παρουσιάζονται τα δεδομένα με τον απαραίτητο σχολιασμό και περαιτέρω αναλύσεις που βοήθησαν στην καλύτερη κατανόησή τους.

4.2 Συλλογή δεδομένων

Για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ειδικό όργανο μέτρησης του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (όργανο Retrosign GR3). Η χρήση του οργάνου αναλύθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο του κεφαλαίου 3. Συγκεκριμένα, σε κάθε πινακίδα σήμανσης εκτελούνταν μετρήσεις σε τέσσερα διαφορετικά σημεία για το κάθε χρώμα που περιείχε και καταγράφονταν τα αποτελέσματα. Η τελική τιμή του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης που αναλύθηκε προέκυψε από το μέσο όρο των τεσσάρων μετρήσεων ανά χρώμα για κάθε μία πινακίδα σήμανσης. Στην εικόνα 4.1 αποτυπώνεται αυτή η διαδικασία μέτρησης για μια ρυθμιστική πινακίδα τύπου P-2 (STOP).



Εικόνα 4.1: Σημεία μέτρησης αντανάκλαστικότητας για πινακίδα σήμανσης P-2 (STOP)

Αρχικά, επιλέχθηκαν ορισμένα οδικά τμήματα όπου θα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις για το σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, τα οδικά τμήματα στα οποία έγιναν οι εν λόγω μετρήσεις ήταν η Λεωφόρος Βασιλίσσης Σοφίας και οι κάθετες οδοί σε αυτήν που περιλαμβάνουν τη ρυθμιστική πινακίδα P-2 (STOP), η Λεωφόρος Ποσειδώνος, καθώς και κάποιες παράπλευρες οδοί κάθετες και παράλληλες σε αυτήν. Η επιλογή των δύο παραπάνω λεωφόρων έγινε λόγω του υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου που παρατηρείται καθημερινά και στις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, ιδιαίτερα στις ώρες αιχμής. Επιπλέον, ακόμα έναν λόγο για τον οποίο μελετήθηκε η Λ. Ποσειδώνος, αποτελεί η υπερβολική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία των πινακίδων σήμανσης, αφού τα κτίρια σε όλο το μήκος της είναι από τη μία πλευρά του δρόμου. Όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κάθετα και παράλληλα στις δύο κεντρικές λεωφόρους, αυτό συνέβη λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού τους. Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις, καταγράφηκαν και κάποια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν με κάποιον τρόπο τις πινακίδες σήμανσης σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

- **Τύπος της πινακίδας:** Αφορά στο είδος της πληροφορίας που παρέχεται στον χρήστη, δηλαδή αν η πινακίδα είναι ρυθμιστική, πληροφοριακή, αναγγελίας κινδύνου καθώς και τον αντίστοιχο κωδικό της (π.χ. P-2 για την πινακίδα STOP). Αυτή η καταγραφή εξυπηρετεί στην κατηγοριοποίησή των πινακίδων βάσει των κοινών χρωμάτων και συμβόλων για την καλύτερη μελέτη τους.
- **Έτος τοποθέτησης :** Στο πίσω μέρος κάθε πινακίδας αναγράφεται το έτος κατασκευής και τοποθέτησής της κι έτσι είναι εύκολο να υπολογισθεί η ηλικία αυτής.
- **Τύπος αντανakλαστικότητα:** Στις αντανakλαστικές μεμβράνες που εφαρμόζονται στην μπροστινή όψη της εκάστοτε πινακίδας, με πολύ λεπτομερή παρατήρηση, φαίνεται ο τύπος των αντανakλαστικών μεμβρανών (Τύπος I, Τύπος II ή Τύπος III). Σε αυτό το χαρακτηριστικό έγινε μία κοινή παραδοχή πως όλες οι πινακίδες που μελετήθηκαν ήταν Τύπου II, εφόσον είναι μια βασική προϋπόθεση για τις περισσότερες πινακίδες σήμανσης που μετρήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.
- **Προσανατολισμός:** Ο προσανατολισμός των πινακίδων σήμανσης, προσδιορίστηκε με πυξίδα (ή και Google Maps) που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε μία πινακίδα που μετρήθηκε.

Επιπρόσθετα, για την καλύτερη αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης όσον αφορά την κατακόρυφη σήμανση στο αστικό οδικό δίκτυο, παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν εμφανείς φθορές από βανδαλισμούς (αυτοκόλλητα, χρωματισμός με σπρέι, κλπ.).

4.3 Επεξεργασία στοιχείων

Έπειτα από τη συλλογή των δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία τους και η απεικόνισή τους σε ραβδογράμματα, που συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων και χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή ποιοτικότερων συμπερασμάτων. Τα γραφήματα αυτά προέκυψαν από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα οδικά τμήματα που προαναφέρθηκαν (Λ. Ποσειδώνος, Λ. Βασιλίσσης Σοφίας, παράπλευρες οδοί) και μέσω αυτών αποτυπώνονται οι τιμές του συντελεστή αντανakλαστικότητας ανά τύπο πινακίδας σε σχέση με το έτος

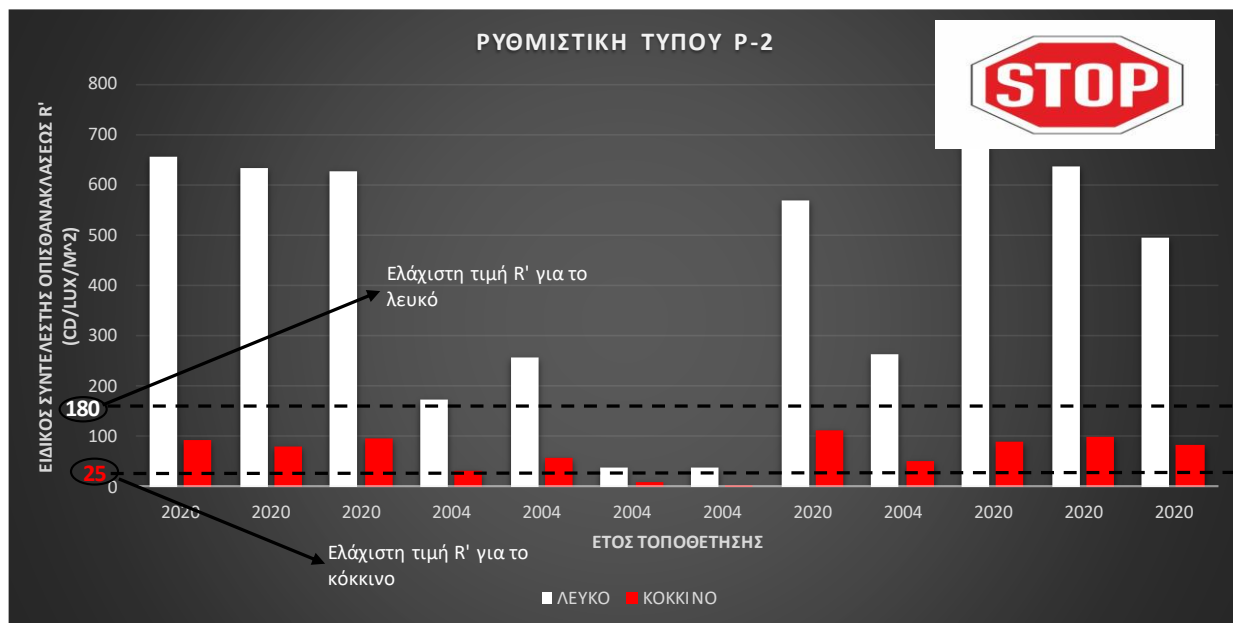
τοποθέτησης της κάθε μίας. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δεδομένα για Ρυθμιστικές πινακίδες σήμανσης, Πληροφοριακές, καθώς και Κινδύνου όπου ήταν δυνατό. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα αυτά με τον κατάλληλο σχολιασμό.

4.3.1 Ρυθμιστικές πινακίδες σήμανσης

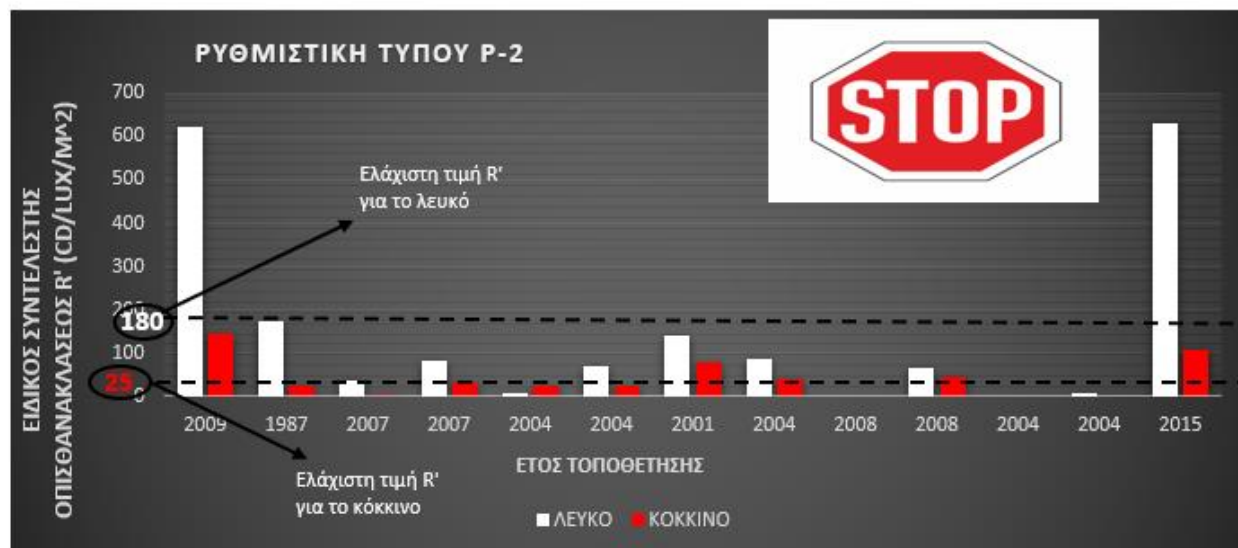
Τα γραφήματα που ακολουθούν περιλαμβάνουν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους εξής τύπους ρυθμιστικών πινακίδων σήμανσης:

- P-2 : Υποχρεωτική διακοπή πορείας (STOP)
- P-27 , P-28 , P-29 , P-32 : Απαγορεύεται η αριστερή στροφή, η δεξιά στροφή, η αναστροφή, καθώς και το επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας που υποδεικνύεται στον αναγραφόμενο αριθμό, αντίστοιχα
- P-7: Απαγορεύεται η είσοδος στην οδό σε όλα τα οχήματα
- P-39, P-40: Απαγορεύεται η στάθμευση κι η στάση και η στάθμευση, αντίστοιχα
- P-47 έως P-52: Υποχρεωτική κατεύθυνση πορείας όπου υποδεικνύει το βέλος

Στα παρακάτω διαγράμματα η διακεκομμένη γραμμή δηλώνει το ελάχιστο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης (R') για κάθε χρώμα, όπως έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 2 (Βιβλιογραφική Ανασκόπηση) σύμφωνα με το πρότυπο EN-12899 (2007). Στο πρότυπο EN-12899 αναφέρονται τα ελάχιστα απαιτούμενα όρια του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για κάθε χρώμα αντανακλαστικών πινακίδων. Συγκεκριμένα, το ελάχιστο όριο για το λευκό είναι 180 (cd/lux/m^2), για το κόκκινο 25 (cd/lux/m^2), για το μπλε 14 (cd/lux/m^2) και για το κίτρινο 120 (cd/lux/m^2).



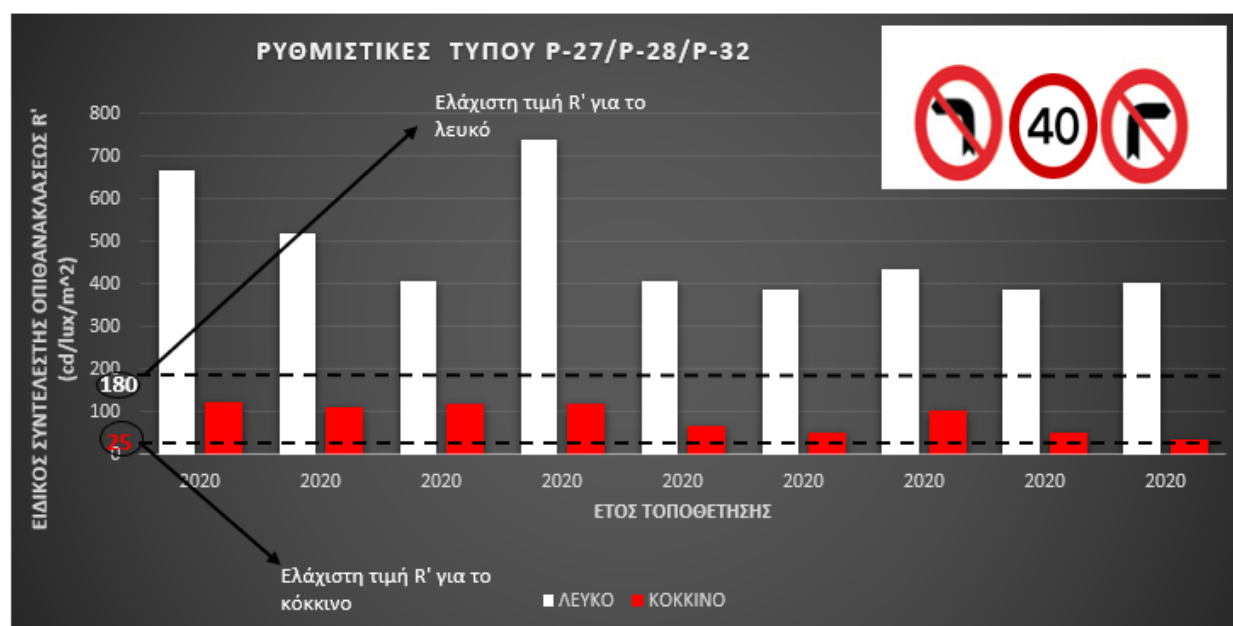
Διάγραμμα 4.1: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-2 σε κάθετες οδούς στη Λεωφόρο Βασιλίσσης Σοφίας.



Διάγραμμα 4.2: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-2 σε κάθετες οδούς στη Λεωφόρο Ποσειδώνος.



Διάγραμμα 4.3: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-2 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.



Διάγραμμα 4.4: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-27, P-28, P-32 στη Βασιλίσσης Σοφίας.



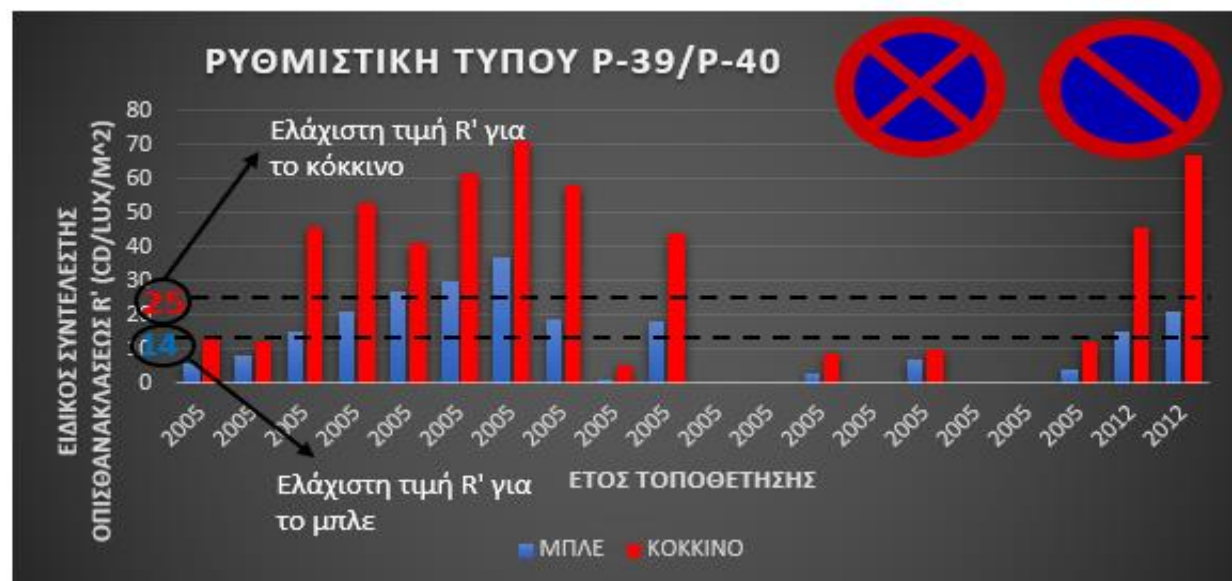
Διάγραμμα 4.5: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-27, P-28, P-29 στη Λ.Ποσειδώνος.



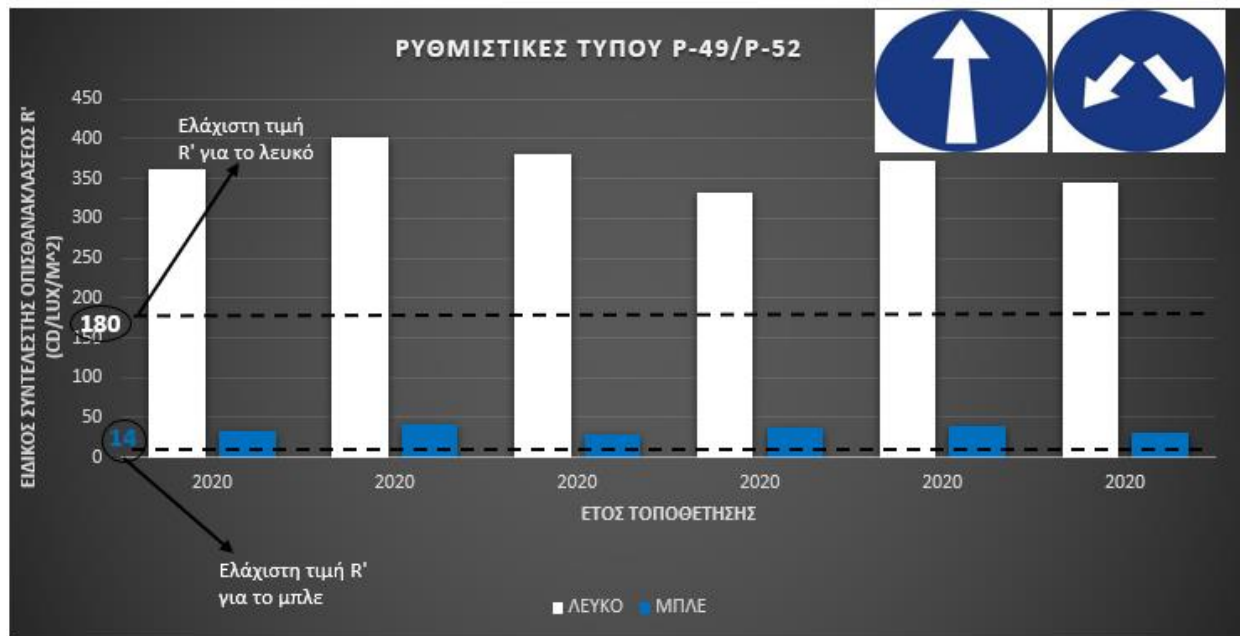
Διάγραμμα 4.6: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-27, P-28 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.



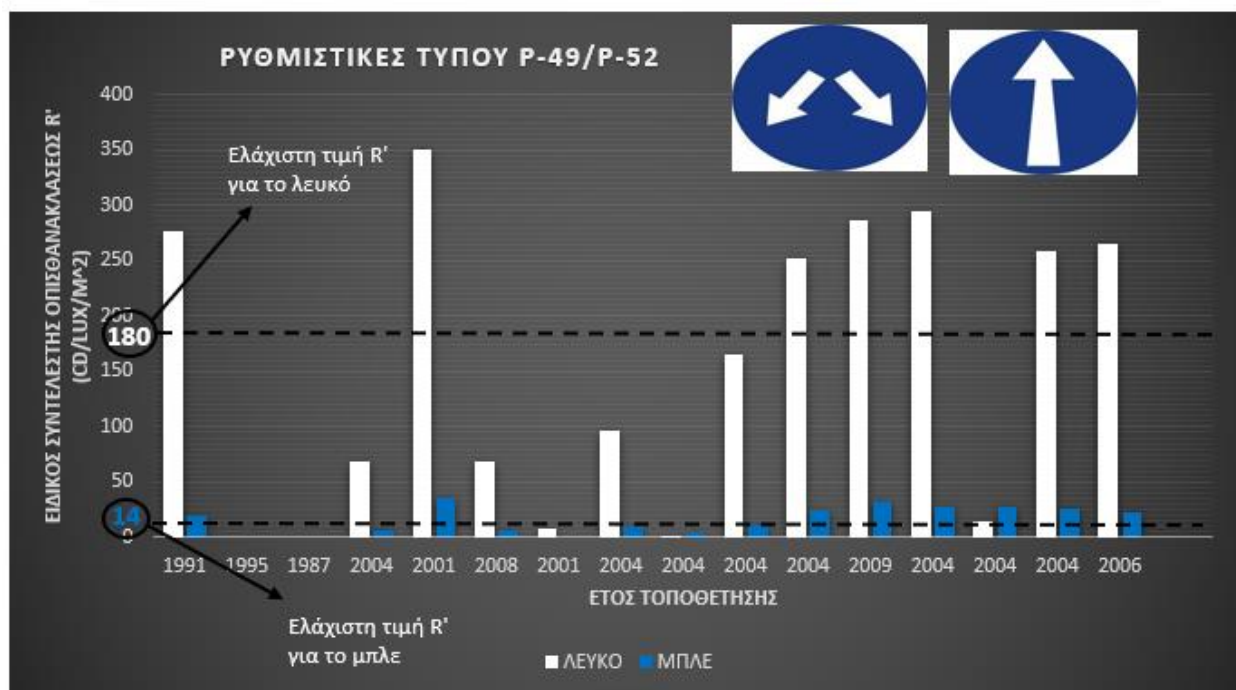
Διάγραμμα 4.9: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-40 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.



Διάγραμμα 4.10: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-39, P-40 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.



Διάγραμμα 4.11: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-49, P-52 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.

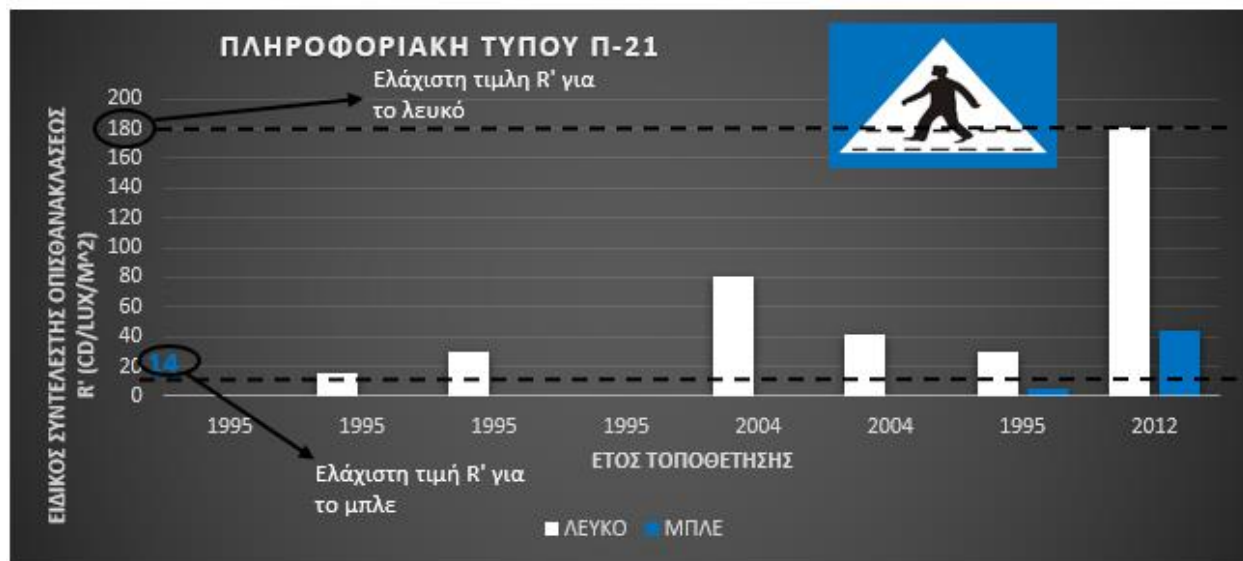


Διάγραμμα 4.12: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου P-49, P-52 στη Λ. Ποσειδώνος.

4.3.2 Πληροφοριακές πινακίδες σήμανσης

Όσον αφορά τις πληροφοριακές πινακίδες σήμανσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στους εξής τύπους:

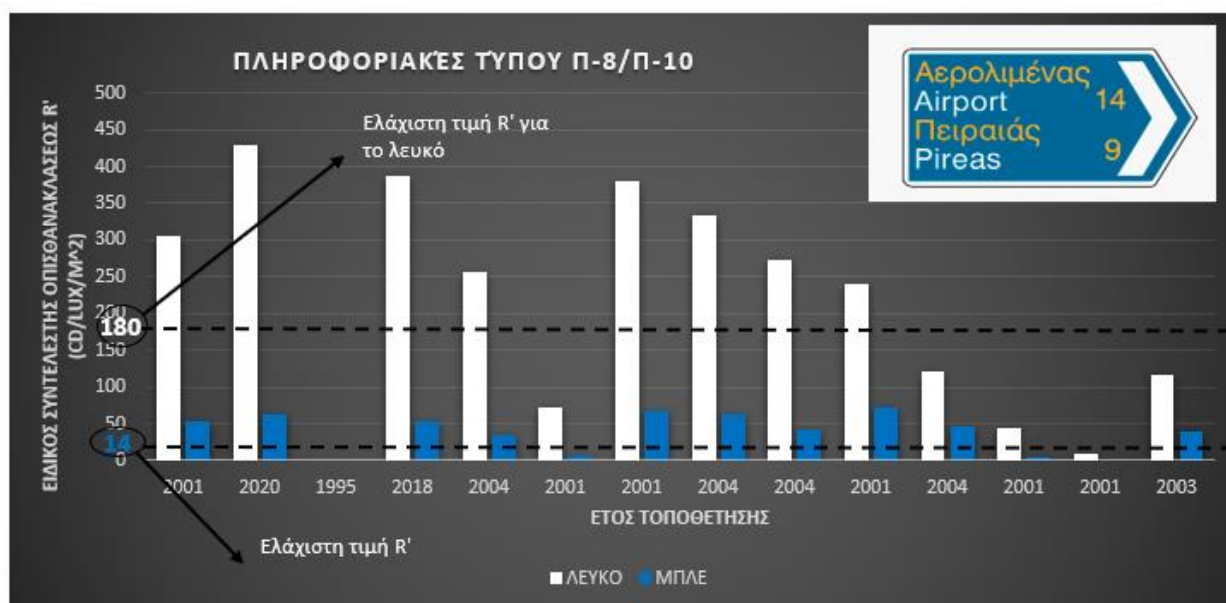
- Π-21: Δηλώνει την ύπαρξη διάβασης πεζών
- Π-8 έως Π-10: Δηλώνει την κατεύθυνση μιας ή περισσότερων τοπωνυμίων
- Π-94: Απαγορεύεται η στάση ή η στάθμευση και οι παραβάτες μετακινούνται
- Π-98: Πινακίδα που δηλώνει την ύπαρξη λεωφορειολωρίδων



Διάγραμμα 4.13: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-21 στη Λ. Ποσειδώνος.



Διάγραμμα 4.14: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-21 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.



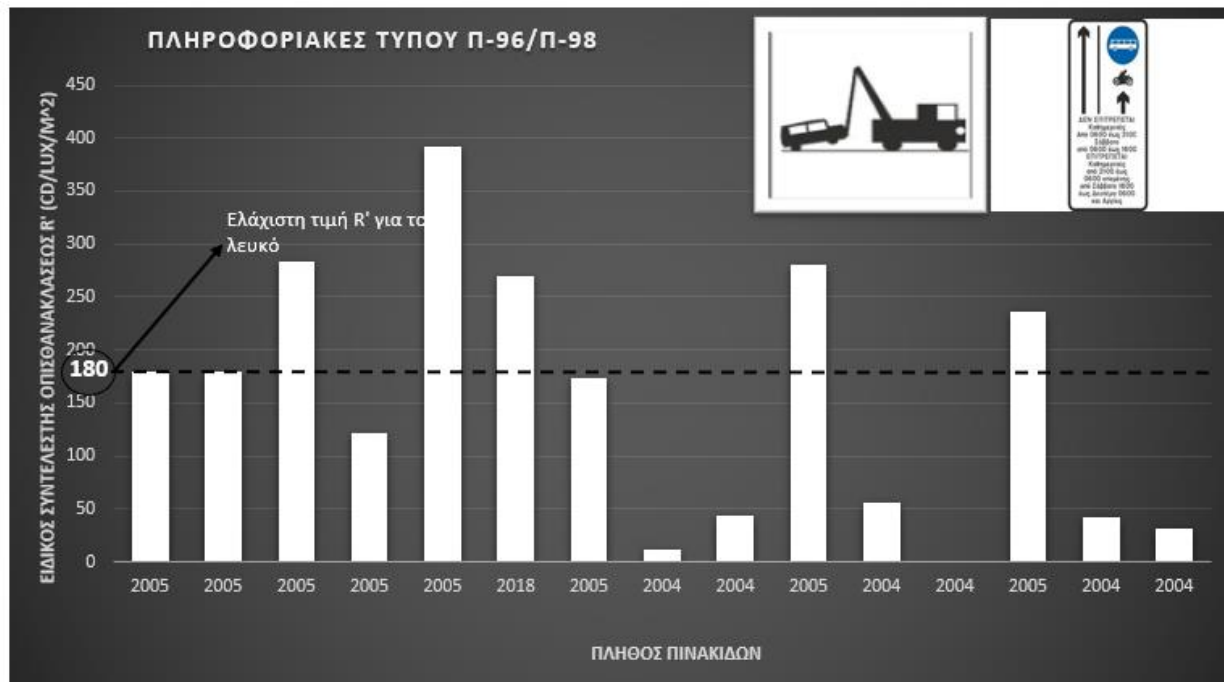
Διάγραμμα 4.15: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-8 και Π-10 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.



Διάγραμμα 4.16: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-8 στη Λ. Ποσειδώνος.



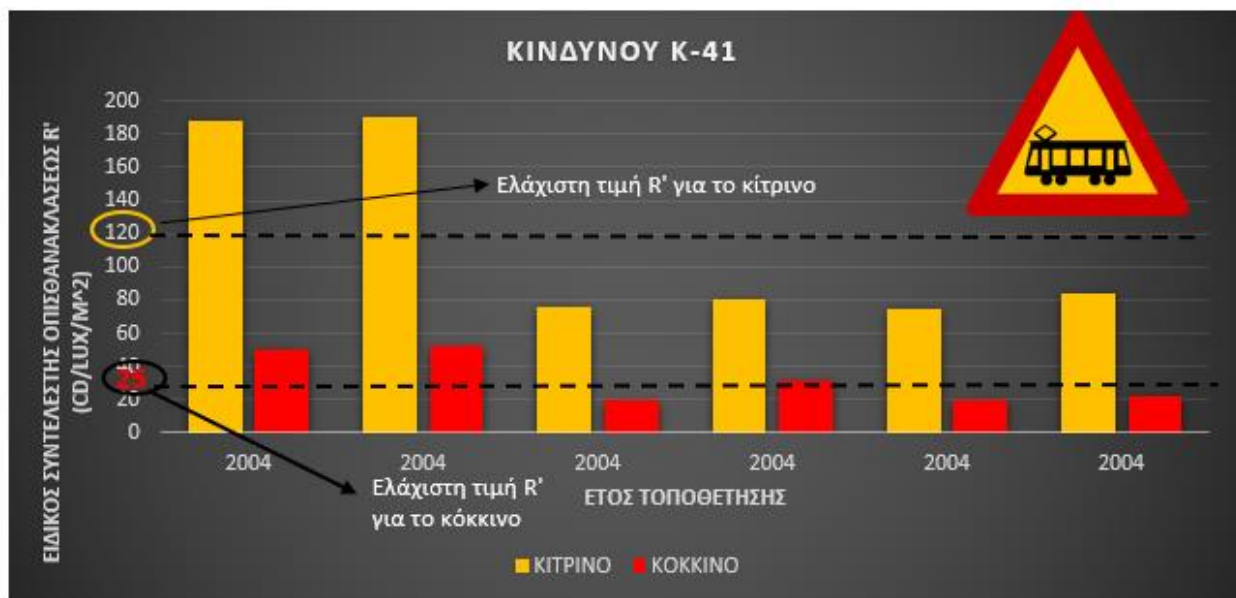
Διάγραμμα 4.17: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-8 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.



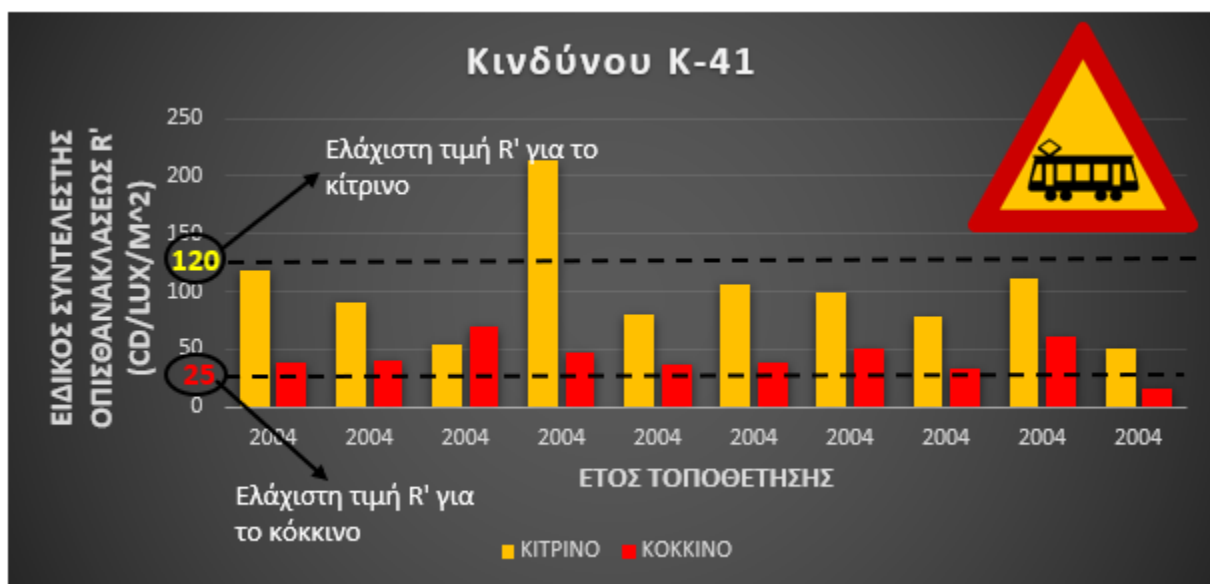
Διάγραμμα 4.18: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Π-96 και Π-98 στη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.

4.3.3 Πινακίδες Κινδύνου

Στη Λεωφόρο Ποσειδώνος, καθώς και στις παράπλευρες οδούς σε αυτήν μετρήθηκε και ένας αριθμός πινακίδων κινδύνου, λόγω της ύπαρξης τραμ.



Διάγραμμα 4.19: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Κ-41 στη Λ. Ποσειδώνος.



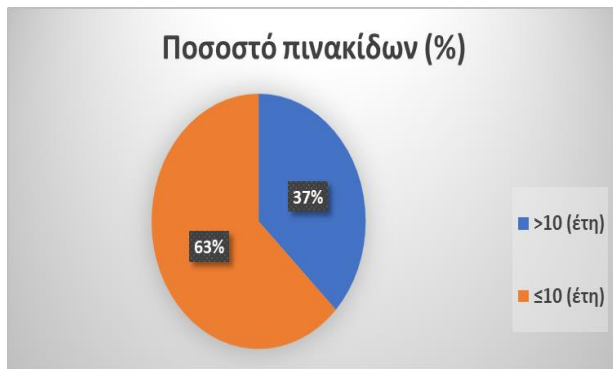
Διάγραμμα 4.20: Ειδικός συντελεστής οπισθανάκλασης (R') για πινακίδες τύπου Κ-41 σε παράπλευρες οδούς στη Λ. Ποσειδώνος.

Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Το 20,5% των πινακίδων σήμανσης στη λεωφόρο Βασιλίσσης Σοφίας κρίνονται ακατάλληλες, δεδομένου ότι δεν ξεπερνούν τα ελάχιστα όρια αντανάκλαστικότητας που θα έπρεπε να διαθέτουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές (EN-12899).
- Στη λεωφόρο Ποσειδώνος, το 62,4% των πινακίδων σήμανσης, επίσης, δεν πληροί τις προϋποθέσεις αντανάκλαστικότητας.
- Όσον αφορά τις παράλληλες και κάθετες οδούς στη λεωφόρο Ποσειδώνος, για το 23,4% κρίνεται μη αποδεκτή η χρήση τους από άποψη αντανάκλαστικότητας και κατ' επέκταση ορατότητας.

4.3.4 Προκαταρκτική ανάλυση

Μετά την υλοποίηση της επεξεργασίας των στοιχείων και την αποτύπωσή τους σε ραβδογράμματα, δημιουργήθηκαν διαγράμματα που αποτελούν μια προκαταρκτική ανάλυση που συμβάλλει στην ακόμα καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, αναλύθηκε το ποσοστό των πινακίδων που ξεπερνούν τα 10 έτη, που είναι το χρονικό όριο για πινακίδες αντανάκλαστικότητας **Τύπου II**, καθώς και τα ποσοστά των πινακίδων που βρίσκονται πάνω και κάτω από το όριο του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για κάθε χρώμα που εξετάστηκε, σύμφωνα με τη Βιβλιογραφική Ανασκόπηση. Τέλος, δημιουργήθηκαν boxplots για τον ειδικό συντελεστή οπισθανάκλασης στο λευκό, στο κόκκινο και στο μπλε χρώμα σε σχέση με το έτος τοποθέτησης της κάθε πινακίδας.



Διάγραμμα 4.21: Κατανομή συνόλου πινακίδων σήμανσης σύμφωνα με το χρονικό όριο 10 έτη



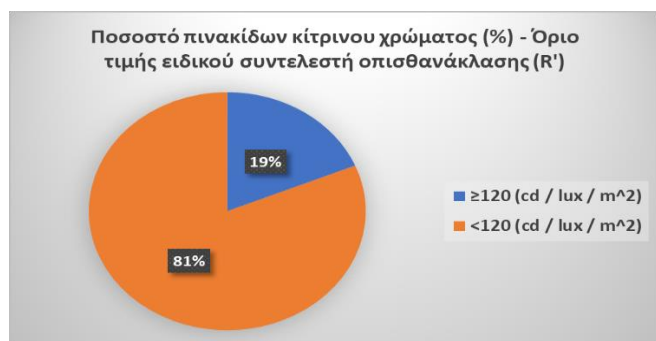
Διάγραμμα 4.22: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το λευκό χρώμα (180 cd/lux/m²)



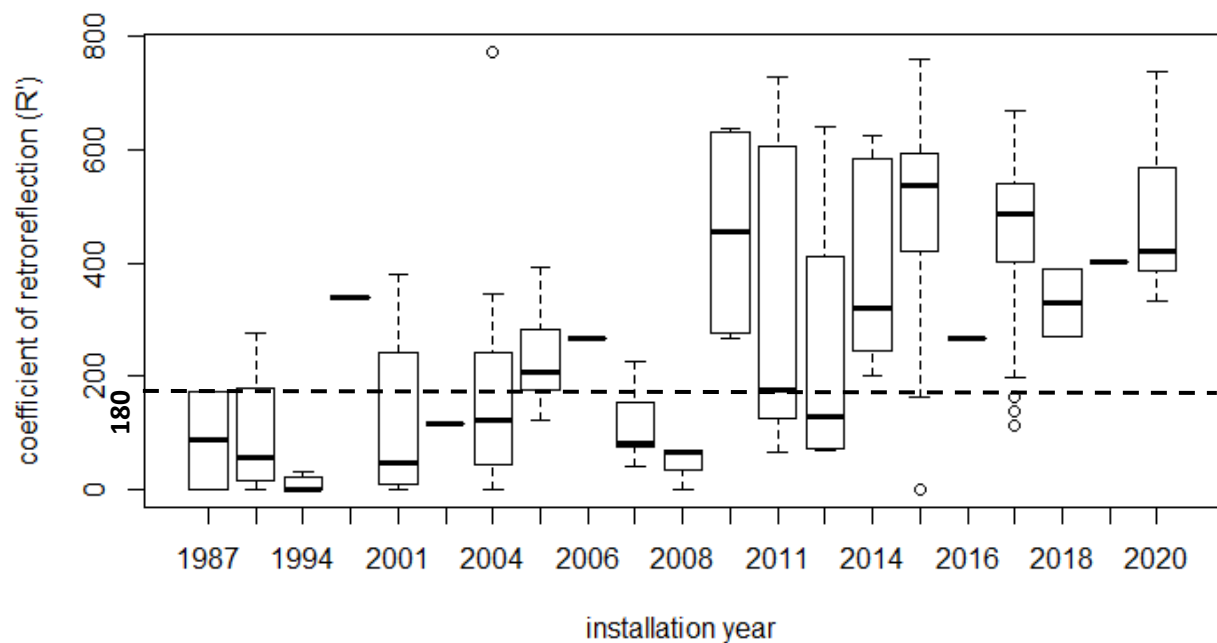
Διάγραμμα 4.23: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το κόκκινο χρώμα (25 cd/lux/m²)



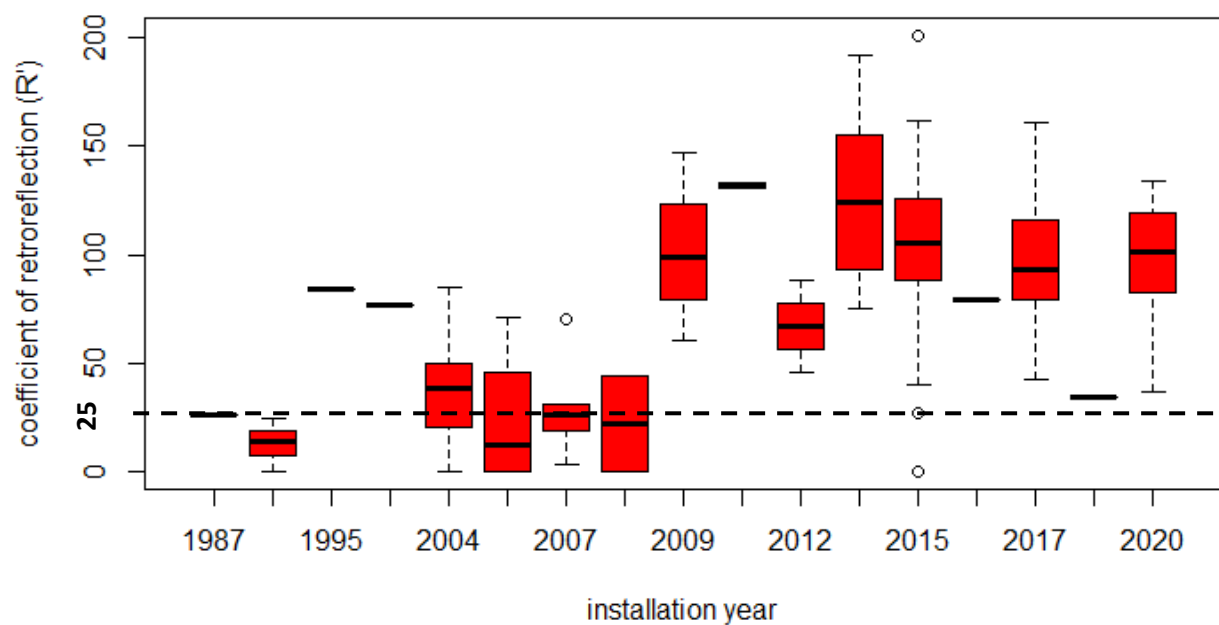
Διάγραμμα 4.24: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το μπλε χρώμα (14 cd/lux/m²)



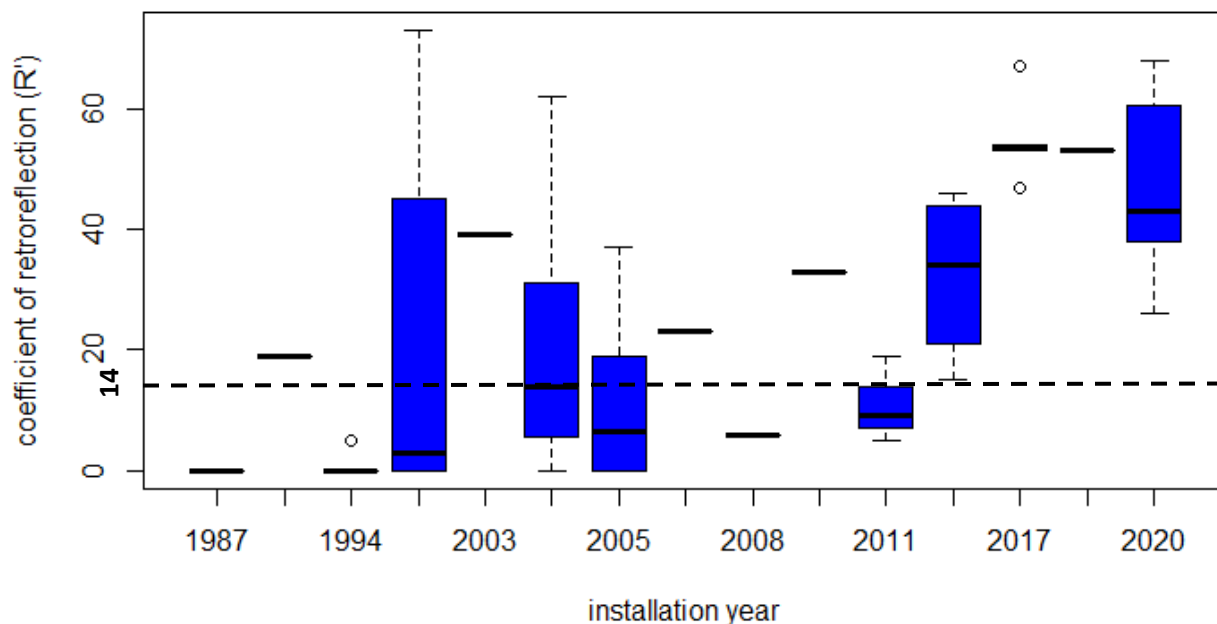
Διάγραμμα 4.25: Κατανομή πινακίδων σήμανσης σε σχέση με την ελάχιστη τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης για το κίτρινο χρώμα (120 cd/lux/m²)



Διάγραμμα 4.26: Boxplots ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (coefficient of retroreflection) στο λευκό χρώμα πινακίδων ως προς το έτος τοποθέτησης



Διάγραμμα 4.27: Boxplots ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (coefficient of retroreflection) στο κόκκινο χρώμα πινακίδων ως προς το έτος τοποθέτησης



Διάγραμμα 4.28: Boxplots ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (coefficient of retroreflection) στο μπλε χρώμα πινακίδων ως προς το έτος τοποθέτησης

Στα διαγράμματα 4.26, 4.27 και 4.28 με διακεκομμένη γραμμή αποτυπώνεται το ελάχιστο απαιτούμενο όριο του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για κάθε χρώμα αντίστοιχα.

Εξετάζοντας τα ανωτέρω διαγράμματα boxplots προκύπτουν τα εξής:

- Η τιμή του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης στο λευκό χρώμα είναι υψηλή και υπερβαίνει το ελάχιστο όριο για τις περισσότερες παρατηρήσεις, από το έτος τοποθέτησης 2010 έως 2020. Πριν από το έτος 2010, παρατηρείται πως οι περισσότερες μετρήσεις δεν ξεπερνούν το απαιτούμενο όριο του 180 (cd/lux/m²).
- Η τιμή του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης στο κόκκινο χρώμα είναι, όπως παρατηρείται, για τις περισσότερες μετρήσεις πάνω από το ελάχιστο απαιτούμενο όριο. Οι περιπτώσεις των παρατηρήσεων που δεν ικανοποιούν την ελάχιστη τιμή του 25 (cd/lux/m²) είναι από το έτος 2008 και νωρίτερα, οι οποίες υπερβαίνουν τα 10 έτη τοποθέτησης.
- Για την τιμή του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης στο μπλε χρώμα παρατηρείται πως σχεδόν οι μισές παρατηρήσεις δεν υπερβαίνουν το ελάχιστο απαιτούμενο όριο 14 (cd/lux/m²) πριν από το έτος 2011.

5 Μεθοδολογία

5.1 Εισαγωγή

Έπειτα από τη μελέτη της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και του θεωρητικού υπόβαθρου που συνέβαλε στη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, έγινε η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας για την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, τα κατάλληλα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για την περιγραφή του ζητούμενου, καθώς και τα αποτελέσματα αυτών.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των μοντέλων, είναι η **γραμμική παλινδρόμηση** (linear regression), όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο με τίτλο «Θεωρητικό Υπόβαθρο» (Κεφάλαιο 3).

Συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα της ανάπτυξης της μεθοδολογίας και των μοντέλων, με ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοπιστία των δεδομένων και στους στατιστικούς ελέγχους για την αποδοχή ή την απόρριψη των μαθηματικών μοντέλων. Στο τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε, καθώς και η ερμηνεία αυτών.

5.2 Επεξεργασία δεδομένων για την εισαγωγή τους στην R

Η παράγραφος αυτή αναφέρεται στο πρώτο βήμα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα οδικά τμήματα. Στη συνέχεια, περιγράφεται ο τρόπος εισαγωγής των μεταβλητών στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (R-Studio).

5.2.1 Τρόπος επεξεργασίας στοιχείων στο excel

Πριν την εισαγωγή των υπό εξέταση μεταβλητών στο λογισμικό της R, πραγματοποιήθηκε ειδική επεξεργασία των στοιχείων στο excel. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν φύλλα στο excel που περιείχαν τις τιμές του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για κάθε χρώμα (λευκό, κόκκινο, μπλε), την ηλικία των πινακίδων σε έτη βάσει του έτους τοποθέτησης (Age), τον προσανατολισμό της (orientation), καθώς και τον τύπο της (type, π.χ. Π-21). Όσον αφορά το κίτρινο χρώμα, δεν ήταν δυνατό να εισαχθεί για ανάλυση στα μοντέλα, εφόσον οι πινακίδες σήμανσης που περιλαμβάνουν το συγκεκριμένο χρώμα είναι ελάχιστες και δε θα μπορούσε να εξαχθεί αξιόπιστο αποτέλεσμα. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε μια ακόμα στήλη με τη συνολική αντανάκλαστικότητα της κάθε πινακίδας, σύμφωνα με το ποσοστό του εμβადού που καταλαμβάνει κάθε χρώμα στο σύνολο της πινακίδας. Τα ποσοστά αυτά δημιουργήθηκαν ανά τύπο πινακίδας ως εξής :



Ρυθμιστική πινακίδα P-2: Το 70% του συνολικού της εμβადού καταλαμβάνει το κόκκινο χρώμα, ενώ το υπόλοιπο 30% το λευκό.

2.  **Ρυθμιστικές πινακίδες P-27,P-28:** Το 60% του συνολικού τους εμβαδού καταλαμβάνει το λευκό χρώμα, το 30% το κόκκινο χρώμα, ενώ περίπου το 10% το μαύρο, το οποίο έχει μηδενική αντανάκλαστικότητα.
3.  **Ρυθμιστική πινακίδα P-7:** Το 80% του συνολικού της εμβαδού καταλαμβάνει το κόκκινο και το υπόλοιπο 20% το λευκό.
4.  **Ρυθμιστική πινακίδα P-40:** Το 60% του συνολικού της εμβαδού καταλαμβάνει το μπλε χρώμα, ενώ το υπόλοιπο 40% το κόκκινο.
5.  **Ρυθμιστική πινακίδα P-49:** Το 70% του συνολικού της εμβαδού καταλαμβάνει το μπλε χρώμα, ενώ το υπόλοιπο 30% το λευκό.
6.  **Πληροφοριακή πινακίδα Π-21:** Το 50% του συνολικού της εμβαδού καταλαμβάνει το μπλε χρώμα, το υπόλοιπο 35% το λευκό και το 15% το μαύρο, το οποίο έχει μηδενική αντανάκλαστικότητα.
7.  **Πληροφοριακή πινακίδα Π-8:** Το 75% του συνολικού της εμβαδού καταλαμβάνει το μπλε χρώμα, ενώ το υπόλοιπο 25% το λευκό.

Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί η **συνολική αντανάκλαστικότητα** (total retroreflection) είναι:

$$\text{Συνολική αντανάκλαστικότητα} = (\text{ποσοστό εμβαδού χρώματος 1}) * (\text{τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για χρώμα 1}) + (\text{ποσοστό εμβαδού χρώματος 2}) * (\text{τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για χρώμα 2})$$

Όπου,

χρώμα 1 και χρώμα 2 : τα χρώματα που περιέχει η εκάστοτε πινακίδα σήμανσης (λευκό, κόκκινο, μπλε)

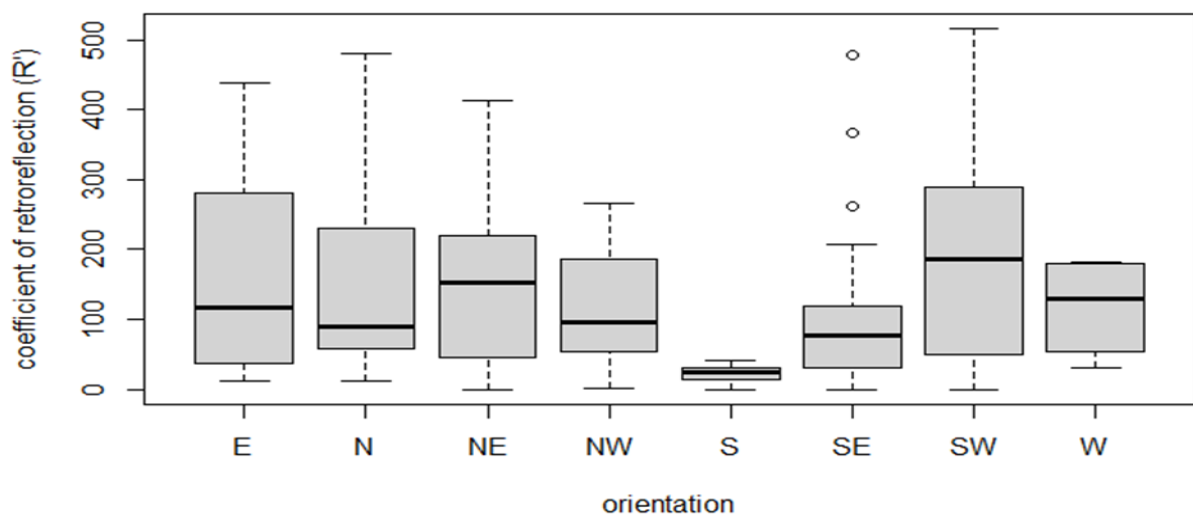
τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (cd/lux/m²): η τιμή αυτή προκύπτει από τις μετρήσεις

Για τον προσανατολισμό των πινακίδων (orientation), με **N** (North) συμβολίζεται ο Βορράς, με **S** (South) ο Νότος, με **E** (East) η Ανατολή και με **W** (West) η Δύση. Για την εισαγωγή αυτής της μεταβλητής στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R, δημιουργήθηκε ακόμα μια στήλη στο excel εκφρασμένης του προσανατολισμού σε μοίρες. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η μετατροπή αυτή.

Πίνακας 5.1: Εισαγωγή προσανατολισμού

	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ							
	B (N)	BA (NE)	A (E)	NA (SE)	N (S)	NA (SW)	Δ (W)	BA (NW)
μοίρες	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα γράφημα boxplot με την τιμή της συνολικής αντανάκλαστικότητας σε σχέση με τον προσανατολισμό για το σύνολο των πινακίδων σήμανσης.



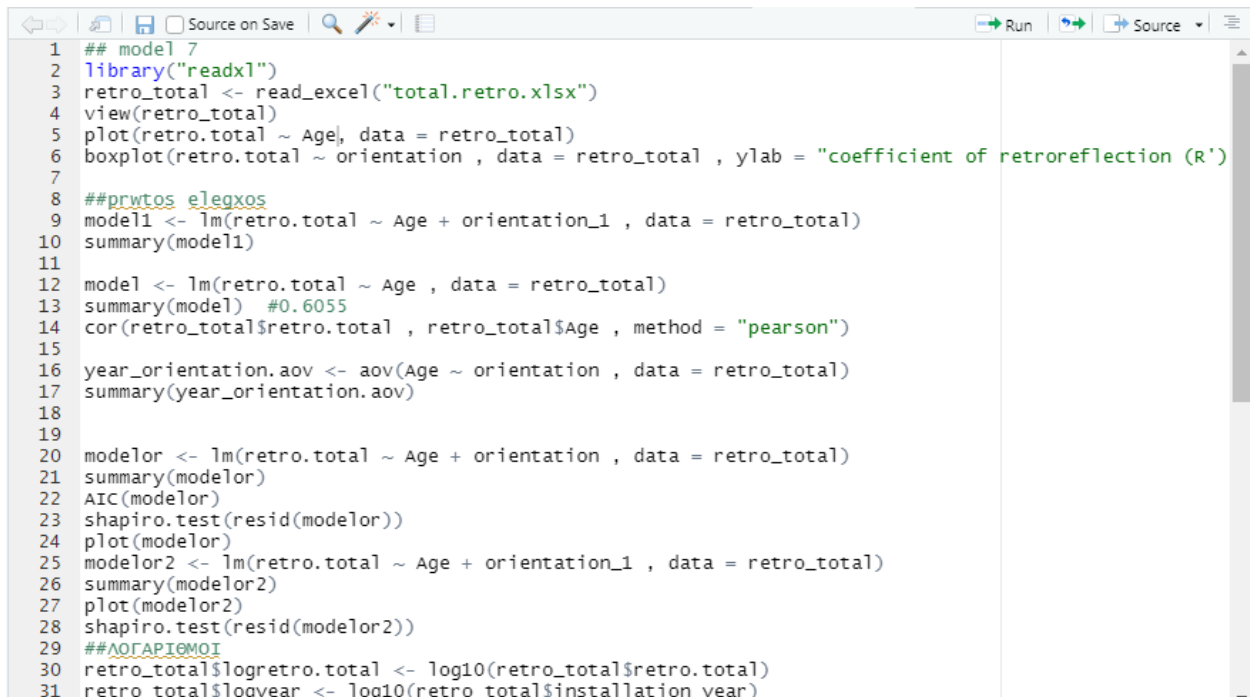
Διάγραμμα 5.1: Boxplot συνολικής αντανάκλαστικότητας (coefficient of retroreflection R') για το σύνολο των μετρήσεων – προσανατολισμού (orientation)

Η βάση δεδομένων που προέκυψε δόθηκε σε αρχείο Microsoft Excel και περιλάμβανε τα εξής δεδομένα:

- retro.white : τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για το λευκό χρώμα
- retro.red: τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για το κόκκινο χρώμα
- retro.blue: τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για το μπλε χρώμα
- retro.yellow: τιμή ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης για το κίτρινο χρώμα
- retro.total: συνολική αντανάκλαστικότητα για κάθε τύπο πινακίδας σήμανσης
- Age: η ηλικία των πινακίδων σήμανσης σύμφωνα με το έτος τοποθέτησης
- orientation: προσανατολισμός με τα σημεία του ορίζοντα
- orientation_1: προσανατολισμός σε μοίρες
- type: τύπος της κάθε πινακίδας

5.2.2 Εισαγωγή βάσης δεδομένων στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, απαιτείται η εισαγωγή τους στο ειδικό λογισμικό ανάλυσης R. Αρχικά, μέσω της εντολής **library("readxl")** το πρόγραμμα ανακαλεί το πακέτο που έχει ήδη εγκατασταθεί και είναι απαραίτητο για την εισαγωγή του αρχείου excel, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της εντολής **read_excel**. Στη συνέχεια με την εντολή **view(data)** προβάλλεται ο πίνακας, με βάση τον οποίο θα πραγματοποιηθεί στατιστική επεξεργασία και ανάλυση. Παρακάτω απεικονίζονται τα σημεία που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



```
1 ## model 7
2 library("readxl")
3 retro_total <- read_excel("total.retro.xlsx")
4 view(retro_total)
5 plot(retro.total ~ Age, data = retro_total)
6 boxplot(retro.total ~ orientation, data = retro_total, ylab = "coefficient of retrorreflection (R')")
7
8 ##prwtos elegxos
9 model1 <- lm(retro.total ~ Age + orientation_1, data = retro_total)
10 summary(model1)
11
12 model <- lm(retro.total ~ Age, data = retro_total)
13 summary(model) #0.6055
14 cor(retro_total$retro.total, retro_total$Age, method = "pearson")
15
16 year_orientation.aov <- aov(Age ~ orientation, data = retro_total)
17 summary(year_orientation.aov)
18
19
20 modelor <- lm(retro.total ~ Age + orientation, data = retro_total)
21 summary(modelor)
22 AIC(modelor)
23 shapiro.test(resid(modelor))
24 plot(modelor)
25 modelor2 <- lm(retro.total ~ Age + orientation_1, data = retro_total)
26 summary(modelor2)
27 plot(modelor2)
28 shapiro.test(resid(modelor2))
29 ##ΑΟΓΑΠΘΜΟΙ
30 retro_total$logretro.total <- log10(retro_total$retro.total)
31 retro_total$logyear <- log10(retro_total$installation_year)
```

Εικόνα 5.1: Εισαγωγή δεδομένων στην R

	retro.white	retro.red	retro.blue	retro.yellow	retro.total	installation_year	Age	orientation	orientation_1	type	...
1	172	26	0	0	35.000	1987	33	NE	45	r-2	
2	0	0	0	0	35.000	1987	33	S	180	p-49/50	
3	0	0	0	0	37.300	1991	29	NE	45	r-7	
4	79	24	0	0	37.300	1991	29	SW	225	r-7	
5	33	14	0	0	37.300	1991	29	SE	135	r-7	
6	277	0	19	0	37.300	1991	29	SW	225	p-49/50	
7	0	0	0	0	0.001	1995	25	SE	135	p-21	
8	15	0	0	0	5.250	1995	25	SE	135	p-21	
9	30	0	0	0	10.500	1995	25	S	180	p-21	
10	0	0	0	0	0.001	1995	25	S	180	p-21	
11	30	0	5	0	13.000	1995	25	NW	315	p-21	
12	0	0	0	0	0.001	1995	25	SE	135	p-49/50	
13	0	0	0	0	0.001	1995	25	NE	45	p-8/9/10	
14	340	84	0	0	229.200	1996	24	NW	315	r-27/28/29/32	
15	141	77	0	0	96.200	2003	17	NW	315	r-2	
16	350	0	36	0	130.200	2003	17	NW	315	p-49/50	
17	8	0	0	0	2.400	2003	17	NW	315	p-49/50	
18	306	0	54	0	101.700	2003	17	E	90	p-8/9/10	

Εικόνα 5.2: Ενδεικτικό τμήμα βάσης δεδομένων στην R από το σύνολο των μετρήσεων

5.3 Έλεγχος συσχέτισης

Σε πρώτη φάση, για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της εναπομένουσας αντανakλαστικότηταs και συνολικής αντανakλαστικότηταs, εξετάστηκε η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Αυτό που επιδιώκεται είναι μέγιστη συσχέτιση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής και μηδενική συσχέτιση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Οι απόλυτες τιμές του συντελεστή συσχέτισης κοντά στη μονάδα δηλώνουν ισχυρή συσχέτιση, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν ανύπαρκτη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Πρακτικά, μικρή συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών θεωρείται όταν η απόλυτη τιμή του δείκτη συσχέτισης είναι μικρότερη ή ίση με 0,5~0,6.

Στα μοντέλα που κατασκευάστηκαν ορίστηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές η ηλικία της κάθε πινακίδας και ο προσανατολισμός της. Αυτές οι δύο μεταβλητές δεν έχουν καμία συσχέτιση μεταξύ τους και επομένως μπορούν να εισαχθούν μαζί σε ένα μοντέλο. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος συσχέτισης μεταξύ εξαρτημένης μεταβλητής (retroreflection) και της ανεξάρτητης μεταβλητής (Age), για κάθε ένα μοντέλο.

Ο έλεγχος συσχέτισης των ποσοτικών μεταβλητών retroreflection και Age, πραγματοποιήθηκε μέσω της εντολής **cor(x,y,method=...)** όπου:

x, y = οι δύο μεταβλητές για τις οποίες εξετάζεται η γραμμική συσχέτιση

method= η μέθοδος με την οποία πραγματοποιείται η γραμμική συσχέτιση, στην περίπτωση αυτή **Pearson**.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συντελεστή συσχέτισης για το κάθε ένα μοντέλο που δημιουργήθηκε.

Πίνακας 5.2: Συντελεστής συσχέτισης μεταβλητών

Correlation Pearson							
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
retroreflection							
Age	0.93	0.87	0.791	0.711	0.871	0.633	0.775

5.4 Ανάπτυξη Μοντέλων Παλινδρόμησης στο Ειδικό Λογισμικό Στατιστικής ανάλυσης R

Ο προσδιορισμός των κατάλληλων μοντέλων πρόβλεψης τόσο της συνολικής αντανakλαστικότητας για όλα τα χρώματα και όλους τους τύπους πινακίδων, όσο και για κάθε τύπο και κάθε χρώμα ξεχωριστά, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Η εφαρμογή της στο πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης R γίνεται με ορισμένες εντολές.

Για τη γραμμική παλινδρόμηση ορίζεται ως εξαρτημένη μεταβλητή μια αριθμητική, που στη περίπτωση αυτή είναι η τιμή του συντελεστή οπισθανάκλασης. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω της εντολής **lm(formula, data)** και η περίληψη του μοντέλου μέσω της εντολής **summary(ονομασία μοντέλου)**, ώστε να γίνει εξαγωγή και στατιστική αξιολόγηση του μοντέλου.

Στη συνέχεια, μέσω της εντολής **plot(ονομασία μοντέλου)** στο λογισμικό της R, λαμβάνεται το διάγραμμα Q-Q plot των κανονικοποιημένων υπολοίπων, το οποίο βοηθά στον έλεγχο κανονικότητας της κατανομής των σφαλμάτων. Όσο πιο κοντά βρίσκονται τα σημεία στη διακεκομμένη ευθεία, τόσο καλύτερη η προσαρμογή των δεδομένων.

5.5 Μοντέλο 1: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης λευκού και κόκκινου χρώματος

5.5.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Για την κατασκευή του συγκεκριμένου μοντέλου, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των δεδομένων των ρυθμιστικών πινακίδων σήμανσης που περιέχουν λευκό και κόκκινο χρώμα. Αυτές είναι οι P-2, P-7, P-27, P-28, P-29 και P-32.

Έπειτα από δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης αντανakλαστικότητας σε πινακίδες λευκού και κόκκινου χρώματος, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τη **συνολική αντανakλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητη μεταβλητή την **ηλικία** των πινακίδων (**Age**). Η μεταβλητή του προσανατολισμού δεν ήταν στατιστικά σημαντική.

Το μοντέλο δημιουργήθηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και η εξίσωση που το περιγράφει είναι:

$$\sqrt{\text{Retroreflection}} = 17.72 - 0.504 * (\text{Age})$$

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.3: Περίληψη Μοντέλου 1

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
2.425 on 174 degrees of freedom	275.3 on 1 and 174 DF	0.6128	0.6105	<2.2e-16

Πίνακας 5.4: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 1

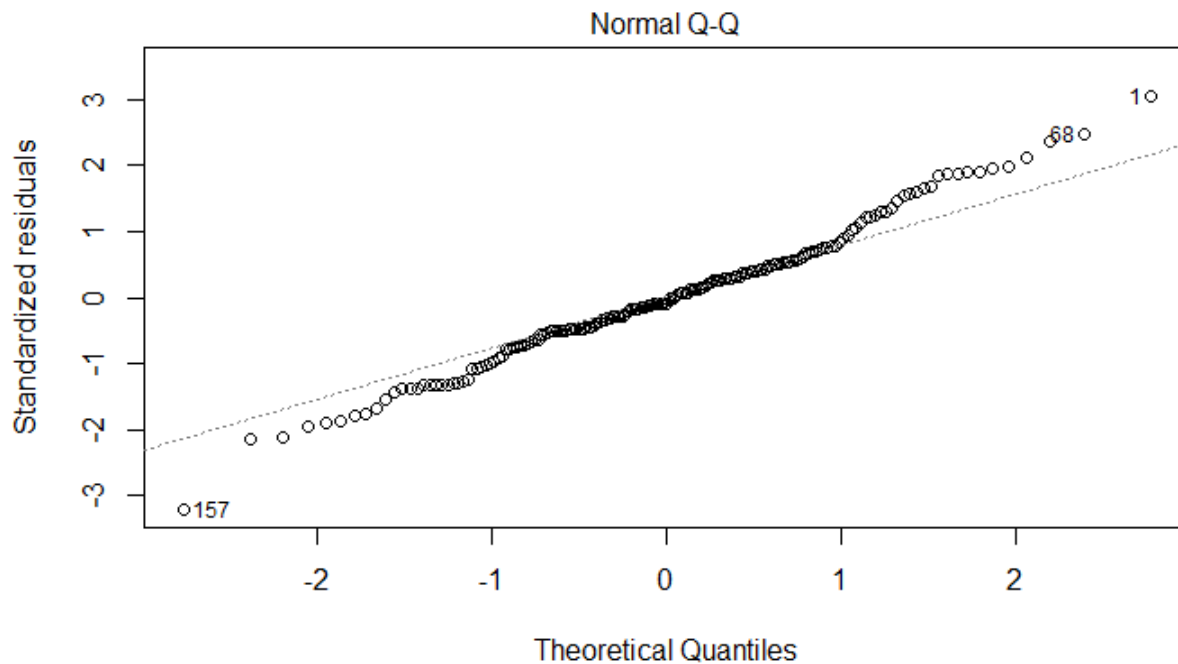
Model 1					
retroreflection					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	17.7202	0.27718	63.94	<2e-16	***
Age	-0.50374	0.03036	-16.59	<2e-16	***

5.5.2 Ποιότητα Μοντέλου και Σχολιασμός Μοντέλου 1

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι πολύ ικανοποιητικός και αποδεικνύει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **R² = 0.6128** και **adjusted R² = 0.6105** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 61% της μεταβλητότητας της συνολικής αντανakλαστικότητας.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά. Συγκεκριμένα, η αύξηση της μεταβλητής Age έχει αρνητική επίδραση στην τιμή της αντανakλαστικότητας (retroreflection).

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 1.



Διάγραμμα 5.2: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 1

5.6 Μοντέλο 2: Πρόβλεψη συνολικής αντανακλαστικότητας πινακίδων σήμανσης κόκκινου και μπλε χρώματος

5.6.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Για το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι πινακίδες σήμανσης που περιέχουν κόκκινο και μπλε χρώμα (P-39 και P-40).

Ύστερα από δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης αντανακλαστικότητας σε πινακίδες κόκκινου και μπλε χρώματος, είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τη **συνολική αντανακλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητη μεταβλητή την **ηλικία των πινακίδων (Age)**.

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και είναι η εξής:

$$\text{Retroreflection} = 72.107 - 3.758 * (\text{Age})$$

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.5: Περίληψη Μοντέλου 2

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
15.92 on 35 degrees of freedom	109.8 on 1 and 35 DF	0.7583	0.7514	2,46E-09

Πίνακας 5.6: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 2

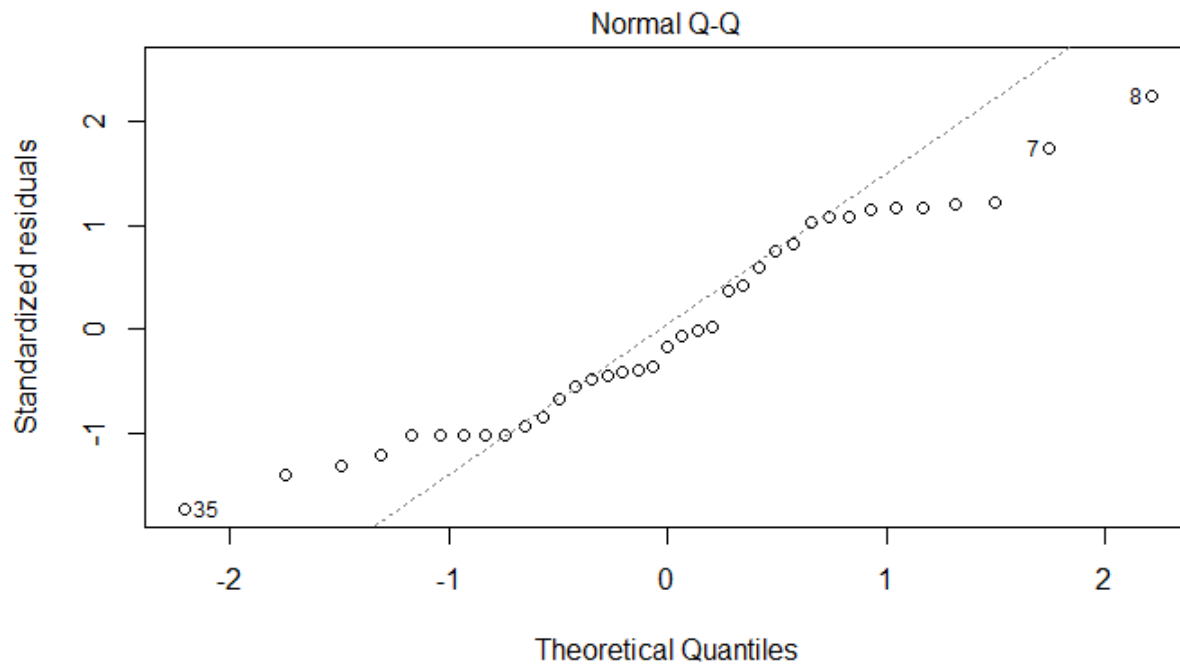
Model 2					
retroreflection					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	72.1066	3.9263	18.36	<2e-16	***
Age	-3.7581	0.3587	-10.48	2.46e-12	***

5.6.2 Ποιότητα και Σχολιασμός Μοντέλου 2

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι οριακά ικανοποιητικός και αποδεικνύει την σχετικά καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **$R^2 = 0.7583$** και **adjusted $R^2 = 0.7514$** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 75% της μεταβλητότητας της συνολικής αντανakλαστικότητας.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά. Η ηλικία έχει αρνητικό πρόσημο στην εξίσωση που σημαίνει ότι η αύξησή της κατά μία μονάδα, μειώνει τη συνολική αντανakλαστικότητα κατά 3.8.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 2.



Διάγραμμα 5.3: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 2

5.7 Μοντέλο 3: Πρόβλεψη συνολικής αντανακλαστικότητας πινακίδων σήμανσης λευκού και μπλε χρώματος

5.7.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν οι πινακίδες σήμανσης που περιέχουν λευκό και μπλε χρώμα. Αυτές οι πινακίδες είναι οι Π-21, Π-8, Π-9, Π-10, Ρ-49, Ρ-50.

Ύστερα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης αντανακλαστικότητας σε πινακίδες λευκού και μπλε χρώματος, είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τη **συνολική αντανακλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητη μεταβλητή την ηλικία των πινακίδων (**Age**).

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και είναι η εξής:

$$\sqrt{\text{Retroreflection}} = 12.03 - 0.360 * (\text{Age})$$

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.7: Περίληψη Μοντέλου 3

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
3.36 on 72 degrees of freedom	50.27 on 1 and 72 DF	0.4112	0.403	<2.2e-16

Πίνακας 5.8: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 3

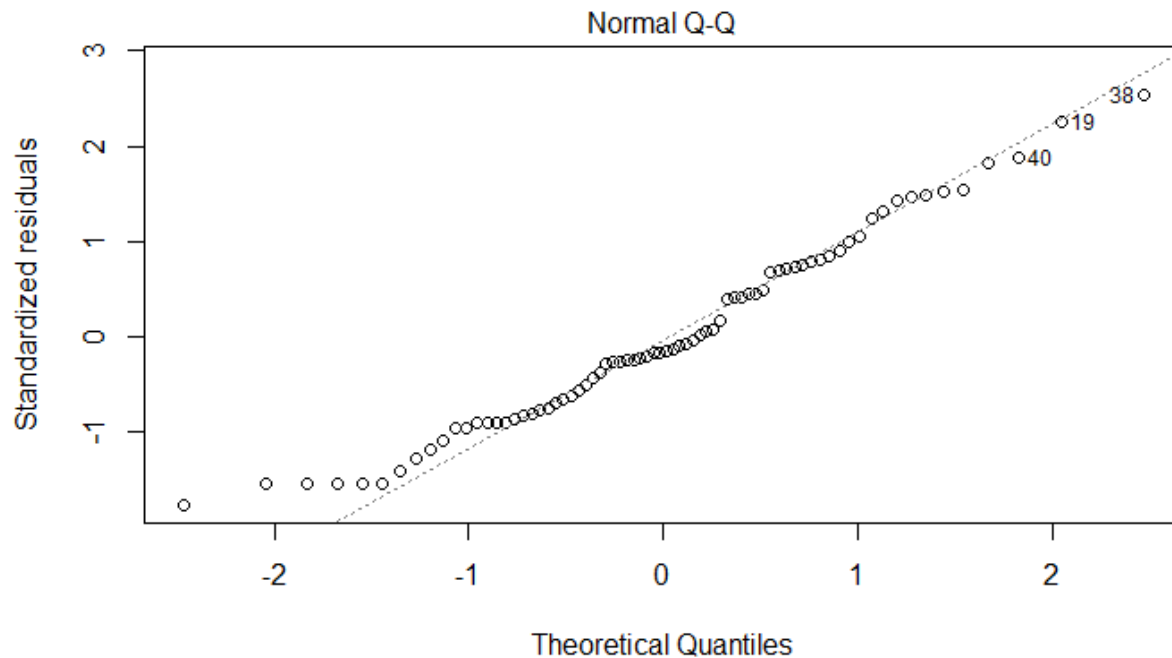
Model 3					
retroreflection					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	12.03011	0.83063	14.48	<2e-16	***
Age	-0.36048	0.05084	-7.09	7.53e-10	***

5.7.2 Ποιότητα και Σχολιασμός Μοντέλου 3

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι πολύ ικανοποιητικός και αποδεικνύει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **$R^2 = 0.4112$** και **adjusted $R^2 = 0.403$** είναι οριακά αποδεκτοί, εφόσον τα δεδομένα προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά και δηλώνουν την αρνητική επίδραση της αύξησης της ηλικίας στη συνολική αντανakλαστικότητα.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 3.



Διάγραμμα 5.4: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 3

5.8 Μοντέλο 4: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανакλαστικότητας λευκού χρώματος

5.8.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Ύστερα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο για την πρόβλεψη της εναπομένουσας αντανакλαστικότητας λευκού χρώματος, αξιολογώντας το σύνολο των πινακίδων σήμανσης, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή την **αντανакλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητη την **ηλικία τους (Age)**. Όσον αφορά την εναπομένουσα αντανакλαστικότητα, αυτή προκύπτει αφαιρώντας το ελάχιστο απαιτούμενο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης για το λευκό χρώμα, το οποίο είναι **180 cd/lux/m²**, σύμφωνα με τα πρότυπα και τις προδιαγραφές του EN-12899.

Το συγκεκριμένο μοντέλο κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και η μαθηματική σχέση που το περιγράφει είναι η εξής:

$$\text{Retroreflection} - 180 = 320.167 - 19.37 * (\text{Age}),$$

Όπου,

180 (cd/lux/m²) : το ελάχιστο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης για το λευκό χρώμα

και (Retroreflection – 180): η εναπομένουσα αντανакλαστικότητα

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.9: Περίληψη Μοντέλου 4

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
57.02 on 260 degrees of freedom	1644 on 1 and 260 DF	0.8635	0.8629	<2.2e-16

Πίνακας 5.10: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 4

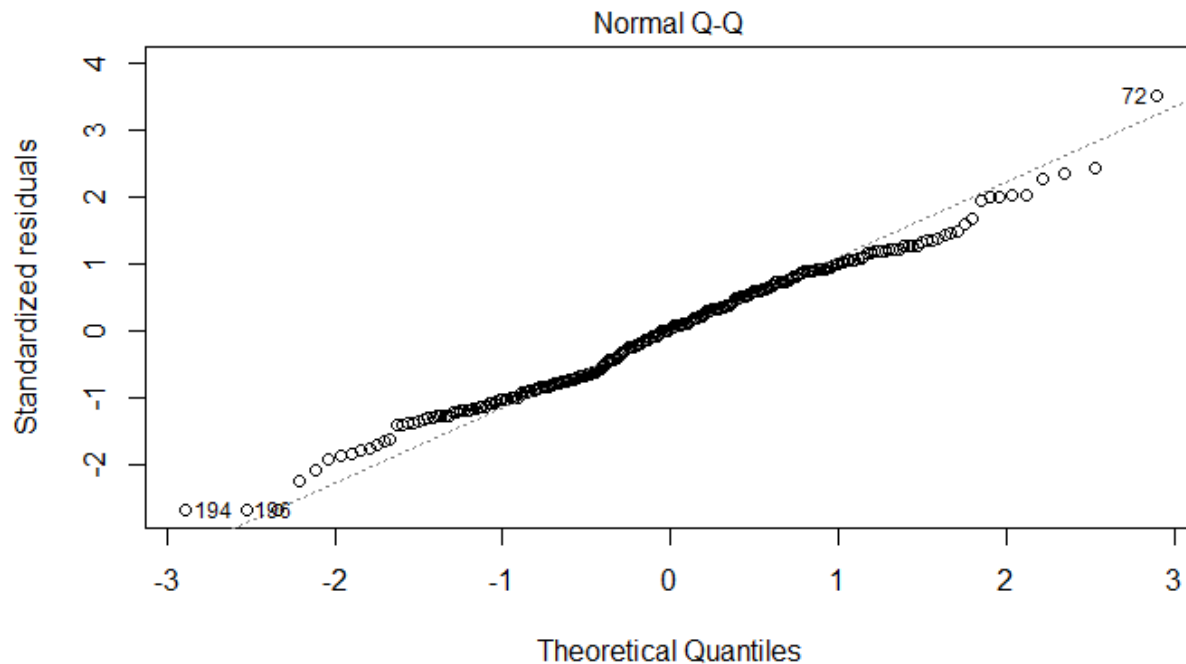
Model 4					
retroreflection					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	500.1674	5.6517	88.50	<2e-16	***
Age	-19.3702	0.4777	-40.55	<2e-16	***

5.8.2 Ποιότητα Μοντέλου 4

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι αρκετά ικανοποιητικός και αποδεικνύει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **$R^2 = 0.8635$** και **adjusted $R^2 = 0.8629$** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 86% της μεταβλητότητας της αντανакλαστικότητα.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 4.



Διάγραμμα 5.5: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 4

5.9 Μοντέλο 5: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας μπλε χρώματος

5.9.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Μετά από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης της εναπομένουσας αντανakλαστικότητας μπλε χρώματος, αξιολογώντας το σύνολο των πινακίδων σήμανσης, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή την **αντανakλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητη την **ηλικία (Age)** της κάθε μίας. Όσον αφορά την εναπομένουσα αντανakλαστικότητα, αυτή προκύπτει αφαιρώντας το ελάχιστο απαιτούμενο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης για το μπλε χρώμα, το οποίο είναι **14 cd/lux/m²**, σύμφωνα με τα πρότυπα και τις προδιαγραφές EN-12899.

Το συγκεκριμένο μοντέλο προέκυψε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και η εξίσωση που το περιγράφει είναι:

$$\text{Retroreflection} - 14 = 33.015 - 1.760 * (\text{Age})$$

Όπου,

14 (cd/lux/m²) : το ελάχιστο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης για το μπλε χρώμα
και (Retroreflecion – 14): η εναπομένουσα αντανakλαστικότητα

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.11: Περίληψη Μοντέλου 5

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
8.549 on 99 degrees of freedom	307 on 1 and 99 DF	0.7561	0.7537	<2.2e-16

Πίνακας 5.12: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 5

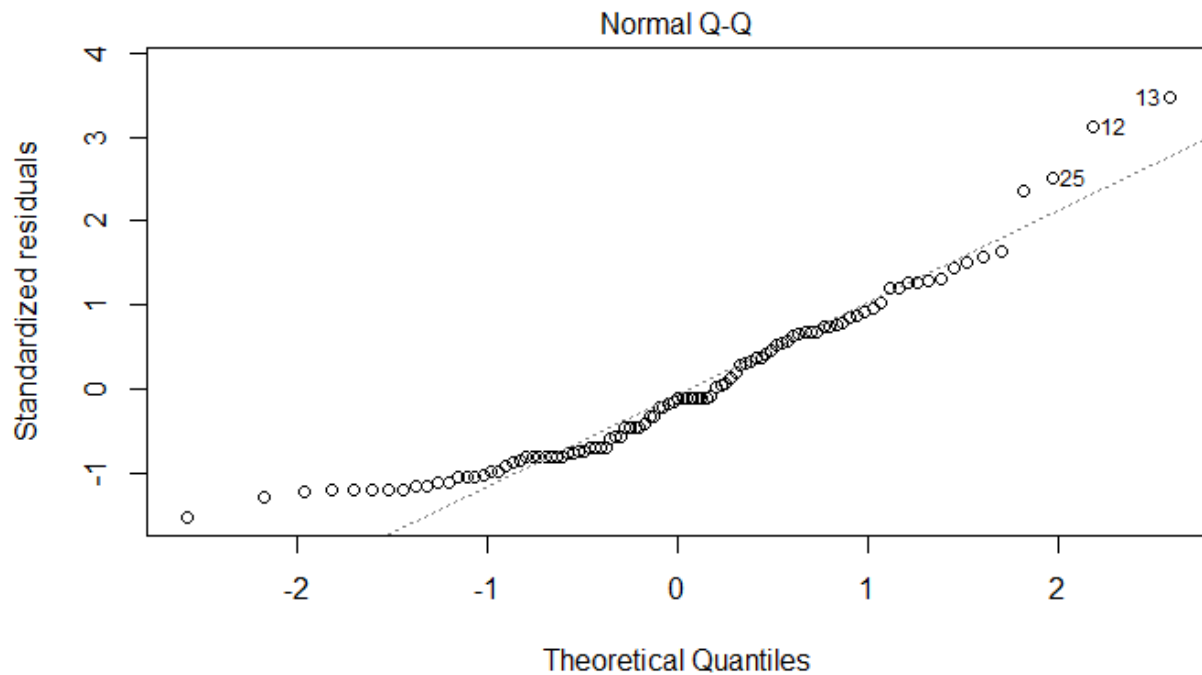
Model 5					
retroreflection					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	47.0151	1.4689	32.01	<2e-16	***
Age	-1.7602	0.1005	-17.52	<2e-16	***

5.9.2 Ποιότητα και Σχολιασμός Μοντέλου 5

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι πολύ ικανοποιητικός και αποδεικνύει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **$R^2 = 0.7561$** και **adjusted $R^2 = 0.7537$** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν περίπου το 75% της μεταβλητότητας της αντανakλαστικότητας.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 5.



Διάγραμμα 5.6: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 5

5.10 Μοντέλο 6: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανακλαστικότητας κόκκινου χρώματος

5.10.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Έπειτα από πολλές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης της εναπομένουσας αντανακλαστικότητας κόκκινου χρώματος, αξιολογώντας το σύνολο των πινακίδων σήμανσης, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή την **αντανακλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητη την **ηλικία (Age)** της κάθε μίας. Όσον αφορά την εναπομένουσα αντανακλαστικότητα, αυτή προκύπτει αφαιρώντας το ελάχιστο απαιτούμενο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης για το κόκκινο χρώμα, το οποίο είναι **25 cd/lux/m²**, σύμφωνα με τα πρότυπα και τις προδιαγραφές του EN-12899.

Το συγκεκριμένο μοντέλο κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και ορίζεται από την εξίσωση:

$$\sqrt{\text{Retroreflection} - 25} = 87.03 - 4.05 * (\text{Age})$$

Όπου,

25 (cd/lux/m²) : το ελάχιστο όριο του συντελεστή οπισθανάκλασης για το κόκκινο χρώμα

και (Retroreflecion – 25): η εναπομένουσα αντανakλαστικότητα

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.13: Περίληψη Μοντέλου 6

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
1.317 on 224 degrees of freedom	392 on 1 and 224 DF	0.6258	0.6242	<2.2e-16

Πίνακας 5.14: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 6

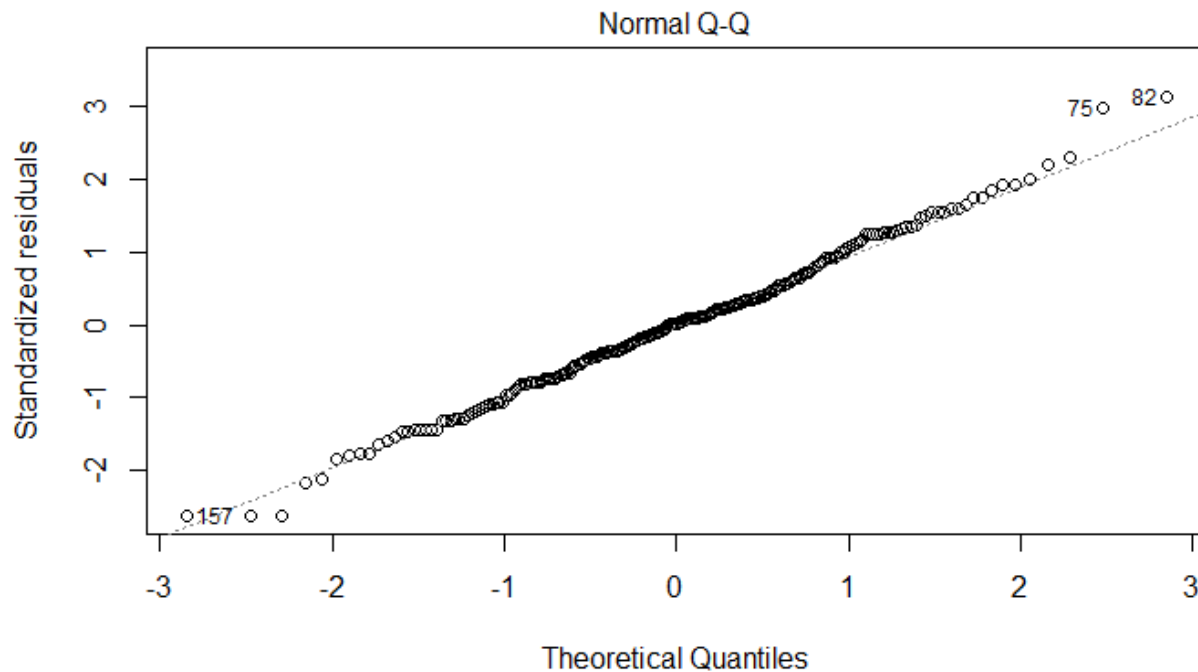
Model 6					
retroreflecion					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	112.0297	2.0682	54.17	<2e-16	***
Age	-4.0497	0.2092	-19.36	<2e-16	***

5.10.2 Ποιότητα Μοντέλου 6

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι πολύ ικανοποιητικός και αποδεικνύει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **$R^2 = 0.6258$** και **adjusted $R^2 = 0.6242$** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν το 62% της μεταβλητότητας της αντανakλαστικότητας του μοντέλου.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 6.



Διάγραμμα 5.7: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 6

5.11 Μοντέλο 7: Πρόβλεψη συνολικής αντανακλαστικότητας όλων των πινακίδων σήμανσης - Γενικό Μοντέλο

5.11.1 Ανάπτυξη Μοντέλου

Για το δημιουργία του συγκεκριμένου μοντέλου αξιολογήθηκε το σύνολο των πινακίδων σήμανσης όλων των τύπων και χρωμάτων.

Ύστερα από αρκετές δοκιμές ως το καλύτερο μοντέλο πρόβλεψης αντανακλαστικότητας για το σύνολο των πινακίδων, προέκυψε ότι είναι εκείνο με εξαρτημένη μεταβλητή τη **συνολική αντανακλαστικότητα (retroreflection)** και ανεξάρτητες μεταβλητές:

- **Age:** η ηλικία των πινακίδων σήμανσης
- **orientation:** ο προσανατολισμός των πινακίδων σήμανσης

Η εξίσωση που περιγράφει αυτό το μοντέλο κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης και είναι η εξής:

$$\text{Retroreflection} = 225.981 - 9.805 * (\text{Age}) + 0.098 * (\text{orientation})$$

Τα αποτελέσματα για την ακρίβεια που προσφέρει το μοντέλο φαίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.15: Περίληψη Μοντέλου 7

Model Summary				
Residual standard error	F-statistics	Multiple R-squared	Adjusted R-squared	p-value
55.25 on 261 degrees of freedom	211.4 on 2 and 261 DF	0.6183	0.6154	<2.2e-16

Πίνακας 5.16: Μεταβλητές στην εξίσωση Μοντέλου 7

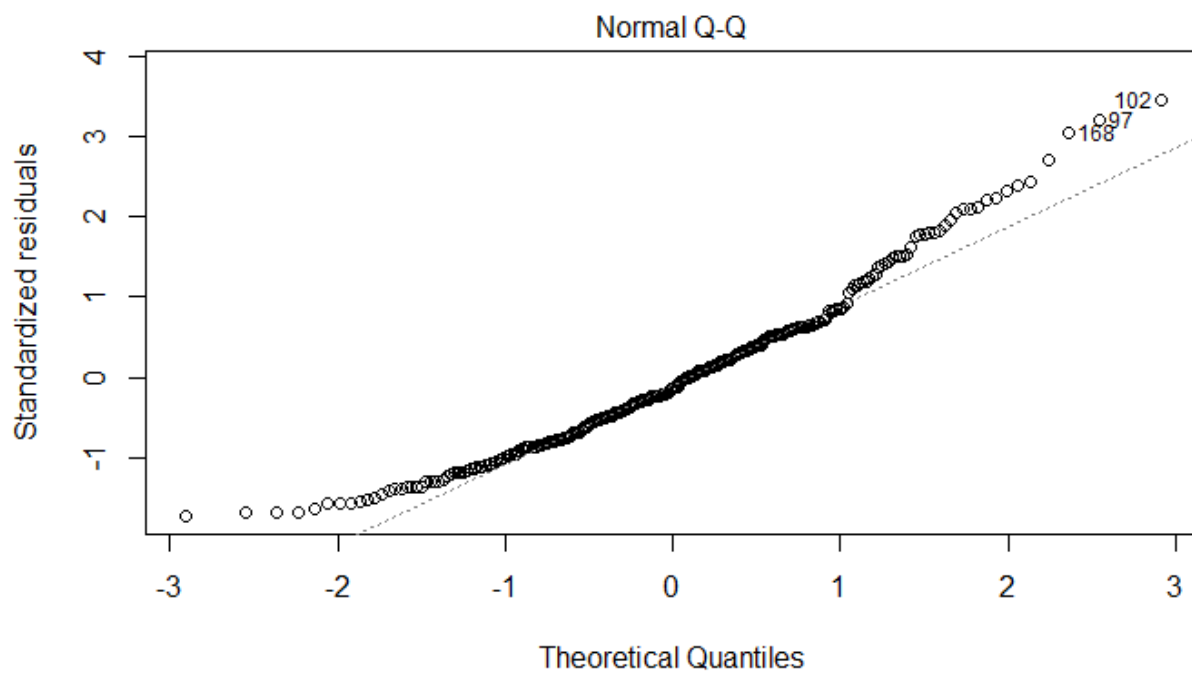
Model 7					
retroreflection					
Coefficients					
Variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	
Intercept	225.98144	6.80751	33.20	<2e-16	***
Age	-9.80529	0.47689	-20.56	<2e-16	***
orientation	0.0975	0.03473	2.67	0.00805	**

5.11.2 Ποιότητα Μοντέλου 7

Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν τα εξής:

- Το **επίπεδο σημαντικότητας** των μεταβλητών είναι μικρότερο από 0.05, όπως αποδεικνύεται και από το δείκτη p-value.
- Ο δείκτης **Residual standard error** είναι ικανοποιητικός και αποδεικνύει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην εξίσωση του μοντέλου.
- Οι συντελεστές **$R^2 = 0.6183$** και **adjusted $R^2 = 0.6154$** είναι αποδεκτοί, εφόσον εξηγούν το 61% της μεταβλητότητας της συνολικής αντανakλαστικότητας.
- Οι **μεταβλητές** που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα πρόσημά τους εξηγούνται λογικά. Συγκεκριμένα, η αύξηση της ηλικίας κατά μία μονάδα μειώνει τη τιμή της αντανakλαστικότητας κατά 9.8 μονάδες, ενώ ο προσανατολισμός έχει μια μικρή θετική επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα Normal Q-Q από τη γραμμική παλινδρόμηση του Μοντέλου 7.



Διάγραμμα 5.8: Κατανομή υπολοίπων – Μοντέλο 7

6 Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η **διερεύνηση της αντανακλαστικότητας στην κατακόρυφη σήμανση αστικών οδών**. Ειδικότερα, επιδιώκεται να βρεθούν ποια χαρακτηριστικά, που καταγράφηκαν από επιτόπου παρατήρηση, είναι αυτά που επηρεάζουν και μπορούν να προβλέψουν την αντανακλαστικότητα των πινακίδων σήμανσης. Επιπλέον, εξετάστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντανακλαστικότητα των πινακίδων σε διάφορους τύπους πινακίδων και για κάθε χρώμα.

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν, αντλήθηκαν από το όργανο μέτρησης αντανακλαστικότητας Retrosign GR3. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε αστικές οδούς (Λ. Ποσειδώνος, Λ. Βασιλίσσης Σοφίας, παράπλευρες οδοί) και συλλέχθηκαν δεδομένα κατακόρυφης σήμανσης σε αυτές. Ακολούθησε η επεξεργασία των στοιχείων αυτών και η αποτύπωσή τους σε διαγράμματα για κάθε τύπο πινακίδας, για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.

Έπειτα, δημιουργήθηκαν βάσεις δεδομένων από τη συλλογή των στοιχείων με σκοπό τη δημιουργία στατιστικών μοντέλων. Αυτές αφορούσαν όλους τους τύπους πινακίδων που υπήρχαν επαρκή δεδομένα για ακριβέστερα συμπεράσματα. Οι βάσεις δεδομένων περιλάμβαναν τις μετρήσεις του ειδικού συντελεστή οπισθανάκλασης (αντανακλαστικότητα) ανά χρώμα πινακίδας, τη συνολική αντανακλαστικότητά της, τον προσανατολισμό της, καθώς και την ηλικία τους βάσει του έτους τοποθέτησης της κάθε μίας.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία και μια σειρά δοκιμών αναπτύχθηκαν, με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression), επτά μαθηματικά μοντέλα. Τα τρία πρώτα μοντέλα αφορούσαν τις ρυθμιστικές και πληροφοριακές πινακίδες που περιείχαν τους ίδιους συνδυασμούς χρωμάτων (λευκό-κόκκινο, μπλε-κόκκινο, λευκό-μπλε), ενώ τα τρία επόμενα αφορούσαν στην πρόβλεψη της εναπομένουσας αντανακλαστικότητας ανά χρώμα (λευκό, μπλε, κόκκινο). Τέλος, το τελευταίο και γενικό μοντέλο περιείχε το σύνολο των πινακίδων που μετρήθηκαν και αφορούσε στην πρόβλεψη της συνολικής αντανακλαστικότητας.

Τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθηματικών μοντέλων

Μοντέλα Πρόβλεψης Αντανakλαστικότητας												
	Model 1: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης λευκού και κόκκινου χρώματος			Model 2: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης κόκκινου και μπλε χρώματος			Model 3: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας πινακίδων σήμανσης λευκού και μπλε χρώματος					
	Εξαρτημένη μεταβλητή : $\sqrt{\text{Retroreflection}}$			Εξαρτημένη μεταβλητή: Retroreflection			Εξάρτημένη μεταβλητή: $\sqrt{\text{Retroreflection}}$					
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²			
Intercept	17.7202	0.6128	0.6105	72.1066	0.7583	0.7514	12.03011	0.4112	0.403			
Age	-0.50374			-3.7581			-0.36048					
	Model 4: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας λευκού χρώματος			Model 5: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας μπλε χρώματος			Model 6: Πρόβλεψη εναπομένουσας αντανakλαστικότητας κόκκινου χρώματος			Model 7: Πρόβλεψη συνολικής αντανakλαστικότητας για όλες τις πινακίδες σήμανσης		
	Εξαρτημένη μεταβλητή : (Retroreflection - 180)			Εξαρτημένη μεταβλητή: (Retroreflection - 14)			Εξάρτημένη μεταβλητή: (Retroreflection - 25)			Εξάρτημένη μεταβλητή: $\sqrt{\text{Retroreflection}}$		
Ανεξάρτητες Μεταβλητές	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²	β_i	R ²	Προσαρμοσμένο R ²
Intercept	320.167	0.8635	0.8629	33.015	0.7561	0.7537	87.0297	0.6258	0.6242	225.98144	0.6183	0.6154
Age	-19.3702			-1.7602			-4.0497			-9.80529		
orientation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0975		

6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων που συνδέεται άμεσα με τον αρχικό σκοπό της. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθούν τα συνολικά συμπεράσματα με τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων. Τα συμπεράσματα αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- **Στη λεωφόρο Ποσειδώνος το μεγαλύτερο ποσοστό της κατακόρυφης σήμανσης αποτελείται από πινακίδες, οι οποίες δεν πληρούν τις προϋποθέσεις της αντανakλαστικότητας** κι επιβάλλουν την άμεση αντικατάστασή τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην παλαιότητά τους.
- **Οι πινακίδες σήμανσης στη λεωφόρο Ποσειδώνος φαίνεται να παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη φθορά συγκριτικά με αυτές των άλλων οδικών τμημάτων.** Αυτός ο ισχυρισμός προκύπτει από το γεγονός ότι ορισμένες πινακίδες της λεωφόρου Ποσειδώνος που είχαν το ίδιο έτος τοποθέτησης με αυτές των υπόλοιπων εξεταζόμενων οδών, παρουσίαζαν εντονότερα προβλήματα αντανakλαστικότητας. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από την αυξημένη έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία τις περισσότερες ώρες το χρόνο.
- **Οι Πληροφοριακές πινακίδες σήμανσης στο σύνολο των μετρήσεων παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές αντανakλαστικότητας από τους άλλους τύπους πινακίδων.** Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη παλαιότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες που εξετάστηκαν.
- **Σχεδόν όλες οι πινακίδες σήμανσης Αναγγελίας Κινδύνου (K- 41) που αξιοποιήθηκαν για τις μετρήσεις δεν ξεπερνούν το ελάχιστο όριο αντανakλαστικότητας του κίτρινου χρώματος.** Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι σε όλες τις περιπτώσεις το έτος τοποθέτησης υπερβαίνει τη δεκαετία. Ένας άλλος λόγος που ενδεχομένως συμβαίνει αυτό εντονότερα στο κίτρινο κι όχι στο κόκκινο χρώμα, το οποίο επίσης εμφανίζεται στις συγκεκριμένες πινακίδες, είναι ότι οι απαιτήσεις αντανakλαστικότητας στο κίτρινο είναι μεγαλύτερες απ' ότι στο κόκκινο, όπως προκύπτει από τα ελάχιστα όρια του συντελεστή οπισθανάκλασης για τα δύο αυτά χρώματα.
- **Η Ρυθμιστική πινακίδα σήμανσης P-2 (STOP) των κάθετων οδών που καταλήγουν στη Λ. Ποσειδώνος παρουσιάζει πολύ χαμηλά επίπεδα αντανakλαστικότητας με αποτέλεσμα τη μείωση της ορατότητας ιδίως τις νυχτερινές ώρες και τον κίνδυνο της ασφάλειας των χρηστών της οδού.** Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παλαιότητα των συγκεκριμένων πινακίδων και ενδεχομένως στην κακή συντήρησή τους, όπως απλός καθαρισμός από χρωματισμούς και αυτοκόλλητα.
- Η έρευνα έδειξε ότι η **ηλικία** των πινακίδων σήμανσης και συνεπώς η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους έχει μεγάλη βαρύτητα στα μοντέλα και είναι στατιστικά σημαντικότερη από τον προσανατολισμό τους.

- Ο **προσανατολισμός** των πινακίδων σήμανσης και ιδιαίτερα η αυξημένη έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία, αποτελούν αδιαμφισβήτητα ισχυρούς παράγοντες μείωσης της αντανάκλαστικότητας τους. Τα ποσοτικά αλλά ενδεχομένως και ποιοτικά δεδομένα όμως από την παρούσα διπλωματική εργασία δεν ήταν επαρκή προκειμένου να στοιχειοθετηθεί αυτός ο ισχυρισμός.
- Το μοντέλο που αναφέρεται στην πρόβλεψη της συνολικής αντανάκλαστικότητας των πινακίδων σήμανσης λευκού και μπλε χρώματος (Μοντέλο 3) έχει μικρότερο συντελεστή προσαρμογής R^2 (0.41) συγκριτικά με τα υπόλοιπα μοντέλα. Ο συντελεστής αυτός είναι ικανοποιητικός και μπορεί να θεωρηθεί πως το μοντέλο εκφράζει σε καλό βαθμό την εξαρτημένη μεταβλητή, δεδομένου ότι η συγκεκριμένη κατηγορία πινακίδων αποτελείται από τις λιγότερες παρατηρήσεις.
- Το μοντέλο πρόβλεψης συνολικής αντανάκλαστικότητας (Μοντέλο 7) αποτελεί ένα γενικό μοντέλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλους τους τύπους και για όλα τα χρώματα των πινακίδων σήμανσης.
- Το γενικό (τελευταίο) μοντέλο πρόβλεψης αντανάκλαστικότητας περιλαμβάνει ως στατιστικά σημαντική και τη μεταβλητή του προσανατολισμού (orientation), καθώς εμπεριέχει το σύνολο των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία. Κατά συνέπεια, τηρουμένων των αναλογιών βάσει των συλλεχθέντων δεδομένων, θεωρείται ικανό προκειμένου να αξιολογήσει τη μεταβολή της υπόψη μεταβλητής.

6.3 Προτάσεις για Βελτίωση της Κατακόρυφης Σήμανσης

Η κατακόρυφη σήμανση των οδικών δικτύων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλει στην οδική ασφάλεια. Αρχικά, η σωστή μελέτη και εγκατάσταση της κατακόρυφης σήμανσης ρυθμίζει την κυκλοφορία και διασφαλίζει συνθήκες ασφάλειας για την κίνηση πεζών και οχημάτων. Επιπλέον, η μετάδοση μηνυμάτων προς τους χρήστες της οδού προειδοποιεί για κινδύνους σε διάφορα τμήματα του οδικού δικτύου. Τέλος, η σαφής και εύκολα κατανοητή σήμανση προκαλεί το αίσθημα της ασφάλειας στους οδηγούς ώστε να λαμβάνουν έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα για την αποτροπή οδικών ατυχημάτων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση κάποιων προτάσεων, οι οποίες συμβάλλουν στη βελτίωση της κατακόρυφης σήμανσης για την ασφάλεια των χρηστών της οδού.

- Με την αυστηρότερη και συχνότερη αστυνόμευση θα μειωθούν περιστατικά βανδαλισμού, που αφορούν την κάλυψη πινακίδων κυκλοφοριακής σήμανσης με αυτοκόλλητα και χρώματα, ώστε να δημιουργηθούν ασφαλέστερες συνθήκες οδήγησης τόσο για τους οδηγούς όσο και για τους πεζούς.
- Η συντήρηση των πινακίδων με τον καθαρισμό τους, αποτελεί μια διαδικασία πολύ σημαντική η οποία εξασφαλίζει ότι είναι ευανάγνωστες και ορατές.
- Εκστρατείες ενημέρωσης για τη σημασία της κατακόρυφης σήμανσης στην οδική ασφάλεια προκειμένου να εκλείψουν φαινόμενα φθοράς και βανδαλισμού. Απαιτείται συντονισμένη προσπάθεια από όλους τους αρμόδιους φορείς προκειμένου οι πινακίδες σήμανσης που έχουν συμπληρώσει τα δέκα έτη να αντικατασταθούν άμεσα. Επισημαίνεται ότι τα δέκα έτη αποτελούν τη διάρκεια ζωής των πινακίδων σήμανσης με αντανakλαστικότητα Τύπου II.
- Επίσης, αντικατάσταση επιβάλλεται και σε όλες τις πινακίδες που έχουν υποστεί φθορές, όπως ρωγμές, βανδαλισμό κλπ.

6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στο πλαίσιο της περαιτέρω έρευνας, από την εμπειρία της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, θα μπορούσαν να διερευνηθούν τα εξής:

- Η παρατήρηση των ίδιων μεταβλητών σε μεγαλύτερο δείγμα κυκλοφοριακών πινακίδων όλων των τύπων, συμπεριλαμβανομένων και περισσότερων πινακίδων κινδύνου. Συγκεκριμένα, όσο περισσότερες πινακίδες εισαχθούν στην ανάλυση, τόσο πιο αξιόπιστα αποτελέσματα προκύπτουν και ίσως αυτό έδινε τη δυνατότητα ανάπτυξης μοντέλων με λιγότερα σφάλματα και ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και ιδίως του προσανατολισμού.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ανάλυση των ίδιων μεταβλητών και σε διαφορετικά οδικά περιβάλλοντα και διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Πιο αναλυτικά, σε αστικά/υπεραστικά δίκτυα και με διαφορετικά καιρικά φαινόμενα (βροχή/ηλιοφάνεια).
- Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί παρόμοια έρευνα και στην οριζόντια σήμανση, στην οποία τα χαμηλά επίπεδα αντανακλαστικότητας παρατηρούνται εντονότερα.

7 Βιβλιογραφία

1. Majid Khalikikhah, Kevin Heaslip, (2016). The effects of damage on sign visibility: An assist in traffic sign replacement, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756416300423>
2. Majid Khalikikhah, Kevin Heaslip, Ziqi Song, (2015). Can daytime digital imaging be used for traffic sign retroreflectivity compliance?, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224115003978>
3. Mohammed Said Obeidat, Malgorzata J. Rays, Andrew Rys, Juan Du, (2016). Evaluation of overhead guide sign sheeting materials to increase visibility and safety for drivers, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687016300618>
4. CEN (European Committee for Standardization), EN12899-1 European Standard, (2007). Fixed, vertical road traffic signs- Part 1: Fixed signs, Pages 10-11.
5. ASTM International, ASTM 1709, (2016). Standard test method for measurement of retroreflective signs using a portable retroreflectometer.
6. 3M Hellas Ltd, (2007). Εγχειρίδιο Προϊόντων Οδικής Σήμανσης, <http://www.3m.com/gr/tss>
7. Τσανακτσίδης Δημήτριος, Τσιτσούλας Δημήτριος, Κάθετη Σήμανση Οδών – Πινακίδες Σήμανσης, <https://www.tsanak.gr/documents/civil/signs.pdf>
8. ISO (International Organization of Standardization), (2016). Road vehicles – Retro-reflective registration plates for motor vehicles and trailers – Specification
9. DELTA, (2019). Retrosign GRX Retroreflectometer, User Manual, On-site Quality Control of Road Traffic Signs, High Visibility Clothing, Conspicuity Tapes, and License Plates in accordance with CEN/ASTM
10. Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι. Εισαγωγή στη θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1990.
11. Douglas Lind, William Marchal, Samuel Wathen, “Statistical Techniques in Business and Economics”, Seventeenth Edition, 2018
13. Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression), <https://methods.sagepub.com/reference/the-sage-encyclopedia-of-communication-research-methods/i7759.xml?fromsearch=true>
14. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2018), <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/EL/COM-2018-274-F1-EL-ANNEX-1-PART-1.PDF>

15. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), (2010). Τεύχος 6, Κατακόρυφη Σήμανση Αυτοκινητοδρόμων, Μέρος 5: Χρώματα – Οπισθανακλαστικά Υλικά και Απαιτήσεις Ποιότητας Πινακίδων Σήμανσης, http://www.ggde.gr/dmdocuments/omoe_2_d.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΗΣ R

MODEL 1

```
library("readxl")

retro_regul <- read_excel("regul.xlsx")

head(retro_regul)

hist(retro_regul$retro.white)

hist(retro_regul$retro.red)

hist(retro_regul$retro.total)

plot(retro.white~ installation_year , data= retro_regul)

plot(retro.red ~ installation_year , data = retro_regul)

plot(retro.total ~ installation_year , data = retro_regul)

##anova - orientation

retro_orientation.aov <- aov(retro.total ~ orientation_1 , data = retro_regul)

summary(retro_orientation.aov)

##ΕΛΕΓΧΟΙ - ΔΟΚΙΜΕΣ

model1 <- lm(retro.total~ orientation_1 + Age , data = retro_regul)

summary(model1)

modeltotal <- lm(retro.total ~ Age , data= retro_regul)

summary(modeltotal)

##ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

#ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΙ

retro_regul$logretro.total <- log10(retro_regul$retro.total)

retro_regul$logAge <- log10(retro_regul$Age)

##ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ##

retro_regul$retro.total2 <- (retro_regul$retro.total)**2

retro_regul$Age2 <- (retro_regul$Age)**2

##ΡΙΖΕΣ##
```

```
retro_regul$sqrtetro.total <- sqrt(retro_regul$etro.total)
retro_regul$sqAge <- sqrt(retro_regul$Age)
```

```
##ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
```

```
final_model= lm(retro_regul$sqrtetro.total ~ retro_regul$Age)
summary(final_model)
plot(final_model)
```

MODEL 2

```
library("readxl")
retro_total <- read_excel("R39_40.xlsx")
plot(retro.total ~ Age , data = retro_total)
##ΠΡΩΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
model <- lm(retro.total ~ Age , data = retro_total)
summary(model)
abline(model)
##correlation (retroreflection- Age)
cor(retro_total$etro.total , retro_total$Age , method = "pearson")
##ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
#ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΙ
retro_total$logetro.total <- log10(retro_total$etro.total)
retro_total$logAge <- log10(retro_total$Age)
##ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ
retro_total$etro.total2 <- (retro_total$etro.total)**2
retro_total$Age2 <- (retro_total$Age)**2
##ΠΙΣΕΣ
retro_total$sqrtetro.total <- sqrt(retro_total$etro.total)
retro_total$sqAge <- sqrt(retro_total$Age)
##ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
```

```
Final_model <- lm(retro.total ~ Age , data = retro_total)
```

```
summary(final_model)
```

```
plot(final_model)
```

MODEL 3

```
library("readxl")
```

```
retro_info <- read_excel("info.xlsx")
```

```
head(retro_info)
```

```
hist(retro_info$retro.total)
```

```
plot(retro.total ~ Age , data = retro_info)
```

```
##correlation (retroreflection-Age)
```

```
cor(retro_info$retro.total , retro_info$Age , method = "pearson")
```

```
#ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
```

```
##ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΙ
```

```
retro_info$logretro.total <- log10(retro_info$retro.total)
```

```
retro_info$logAge <- log10(retro_info$Age)
```

```
##ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ
```

```
retro_info$retro.total2 <- (retro_info$retro.total)**2
```

```
retro_info$Age2 <- (retro_info$Age)**2
```

```
##ΠΙΣΕΣ
```

```
retro_info$sqrtretro.total <- sqrt(retro_info$retro.total)
```

```
retro_info$sqrtAge <- sqrt(retro_info$Age)
```

```
#teliko modelo
```

```
Final_model = lm(retro_info$sqrtretro.total ~ retro_info$Age)
```

```
summary(final_model)
```

```
plot(final_model)
```

MODEL 4

```
library("readxl")
```

```
retro_white <- read_excel("retro_white.xlsx")
```

```
##boxplot - plot
```

```
boxplot(retro.white2 ~ year , data = retro_white , ylab = "coefficient of retroreflection (R')", xlab =  
"installation year" , col = c("white"))
```

```
#correlation – Pearson (retroreflection – Age)
```

```
cor(retro_white$retro.white , retro_white$Age , method = "pearson")
```

```
#TEAIKO MONTEAO
```

```
model <- lm(retro.white ~ year , data = retro_white)
```

```
summary(model)
```

```
plot(model)
```

MODEL 5

```
library("readxl")
```

```
retro_blue <- read_excel("retro_blue.xlsx")
```

```
##boxplot - plot
```

```
par(mfrow=c(1,1))
```

```
boxplot(retro.blue ~ year , data = retro_blue , ylab = "coefficient of retroreflection (R')", xlab =  
"installation year" , col = c("blue"))
```

```
plot(retro.blue ~ Age , data = retro_blue)
```

```
#TEAIKO MONTEAO
```

```
model <- lm(retro.blue ~ Age , data = retro_blue)
```

```
summary(model)
```

```
plot(model)
```

```
abline(model)
```

```
confint(model , level = 0.95)
```

MODEL 6

```
library("readxl")
```

```
retro_red <- read_excel("retro_red.xlsx")
```

```
##boxplot - plot
```

```

boxplot(retro.red ~ year , data = retro_red , ylab = "coefficient of retroreflection (R')", xlab =
"installation year" , col = c("red"))

plot(retro_red$retro.red ~ retro_red$year)

#correlation – Pearson (retroreflection – Age)

cor(retro_red$retro.red , retro_red$Age , method = "pearson")

##ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

model <- lm(retro.red ~ Age , data = retro_red)

summary(model)

plot(model)

abline(model)

MODEL 7

library("readxl")

retro_total <- read_excel("total.retro.xlsx")

view(retro_total)

plot(retro.total ~ Age, data = retro_total)

boxplot(retro.total ~ orientation , data = retro_total , ylab = "coefficient of retroreflection (R')", xlab =
"orientation")

#correlation – Pearson

cor(retro_total$retro.total , retro_total$Age, method = "pearson")

#anova

year_orientation.aov <- aov(installation_year ~ orientation , data = retro_total)

summary(year_orientation.aov)

##ΠΡΩΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

model1 <- lm(retro.total ~ Age + orientation_1 , data = retro_total)

summary(model1)

model <- lm(retro.total ~ Age , data = retro_total)

summary(model)

#ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

final_model <- lm(retro.total ~ Age + orientation_1, data = retro_total)

```

```
summary(final_model)
```

```
plot(final_model)
```