



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΚΩΣΤΑΣ Σ. ΜΙΧΑΗΛΟΓΛΟΥ

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

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται και οι σπουδές μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Θα ήθελα λοιπόν να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όσους συνέβαλαν στο κλείσιμο αυτού του κύκλου σπουδών.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τη στήριξη και τις συμβουλές του καθ'όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας και για τις καθοριστικές υποδείξεις του στα ζητήματα που προέκυψαν.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δημήτριο Νικολάου, Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π., για τον χρόνο που αφιέρωσε και την πολύτιμη βοήθειά του, για την γρήγορη ανταπόκρισή του σε όλες τις απορίες που μου δημιουργήθηκαν, για τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις του καθώς και για την άψογη συνεργασία μας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για τη συνεχή στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Κώστας Μιχαήλογλου

Κατάταξη επιδόσεων οδικής ασφάλειας στις Περιφέρειες της Ελλάδας

Κώστας Μιχαήλογλου

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

Σύνοψη:

Ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάλυση των επιδόσεων οδικής ασφάλειας στις Περιφέρειες της Ελλάδας. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία οδικών ατυχημάτων και τα βασικά χαρακτηριστικά των Περιφερειών για τη χρονική περίοδο 2010-2019 και αναπτύχθηκαν καταρχήν 2 μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας με και χωρίς την Περιφέρεια Αττικής. Από τα μοντέλα αυτά προκύπτει ότι ο αριθμός των νεκρών ανά 100.000 πληθυσμό εξαρτάται από το εισόδημα ανά κάτοικο και από τον αριθμό των οχημάτων, των γιατρών (με την Αττική) και την πυκνότητα (km²/κάτοικο) και την ανεργία (χωρίς την Αττική). Στη συνέχεια αξιοποιήθηκε η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA-Data Envelopment Analysis) για την κατάταξη των 12 Περιφερειών (εκτός της Αττικής) ως προς τις επιδόσεις οδικής ασφάλειας, με βάση τον πληθυσμό, το συνολικό εισόδημα και τον αριθμό οχημάτων. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή, τις καλύτερες επιδόσεις οδικής ασφάλειας εμφανίζουν η Θεσσαλία, τα Ιόνια νησιά και η Κεντρική Μακεδονία, ενώ τις χειρότερες επιδόσεις εμφανίζουν η Πελοπόννησος και το Νότιο Αιγαίο.

Λέξεις Κλειδιά: οδικά ατυχήματα, Περιφέρειες Ελλάδας, συνολικοί θάνατοι, θάνατοι ανά 100.000 πληθυσμό, γραμμική παλινδρόμηση, μέθοδος DEA

Road safety benchmarking in Greek regions

Kostas Michailoglou

Supervisor: George Yannis, Professor N.T.U.A

Abstract

The current diploma thesis aims to analyze the performance of road safety in the regions of Greece. For this purpose, the data of road accidents and the main characteristics of each region were used for the period 2010-2019 and two linear regression models were developed for all the regions of Greece, with and without Attica. From these models occurs that the number of deaths per 100.000 population depends on the income per inhabitant and the number of vehicles, the number of physicians (with Attica) and the density of each district (km²/inhabitant) and the unemployment (without Attica). Subsequently, the method of Data Envelopment Analysis (DEA) was utilized for the benchmarking of the 12 regions (except of Attica) based on their performance on road safety, depending on the population, the total income and the number of vehicles. According to this classification, Thessaly, Ionian islands and Central Macedonia appear to have the best road safety performances, while Peloponnese and South Aegean have the worst ones.

Keywords: road safety, road accidents, regions of Greece, total deaths, deaths per 100.000 population, linear regression, DEA

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

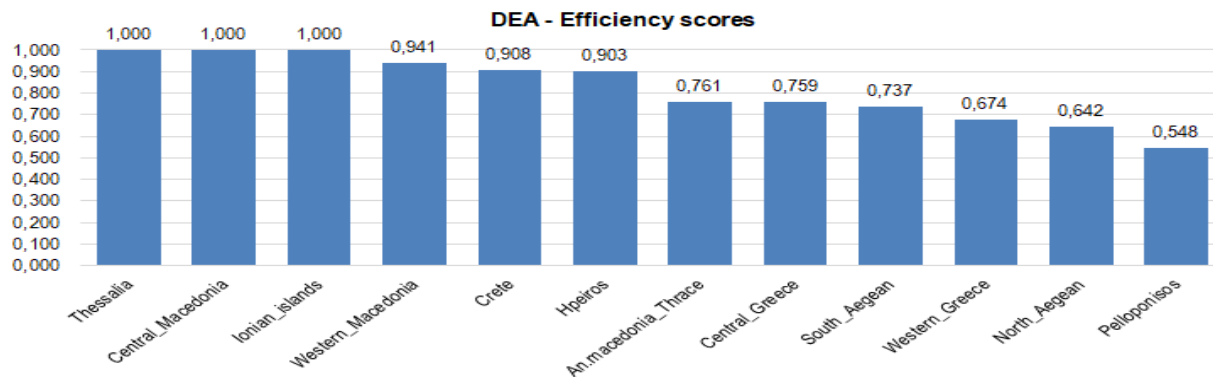
Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των οδικών ατυχημάτων και των θανάτων που προκύπτουν από αυτά στις Περιφέρειες της Ελλάδας για τη χρονική περίοδο 2010-2019. Συγκεκριμένα, συγκεντρώθηκαν διάφορα χαρακτηριστικά των Περιφερειών της Ελλάδας, όπως π.χ. ΑΕΠ, αριθμός γιατρών, ανεργία, αριθμός οχημάτων, χιλιοστά βροχόπτωσης, αριθμός ατυχημάτων κ.ά. Μετά τη συγκέντρωση αυτή, εξετάστηκε ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται μεταξύ τους καθώς και με τον αριθμό των θανάτων ανά 100.000 πληθυσμό. Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού R.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό της εξαρτημένης μεταβλητής. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν εκείνη της γραμμικής παλινδρόμησης. Μάλιστα, αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικά στατιστικά μοντέλα, ένα με όλες τις Περιφέρειες και ένα δίχως την Περιφέρεια Αττικής. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι η Αττική είναι υπερβολικά μεγαλύτερη Περιφέρεια σε πληθυσμό και πολλά από τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παίρνουν ακραίες τιμές, με αποτέλεσμα να διαφέρει σημαντικά από τις υπόλοιπες 12 Περιφέρειες. Τα μοντέλα αυτά ολοκληρώθηκαν με τον υπολογισμό της ευαισθησίας και της ελαστικότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Τέλος, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο χωρίς την Περιφέρεια της Αττικής με τη χρήση της μεθόδου περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων DEA (Data Envelopment Analysis). Με τη μέθοδο αυτή έγινε κατάταξη των εξεταζόμενων περιφερειών με βάση το σκορ της κάθε μιας. Το σκορ προκύπτει από το αποτέλεσμα του υπό μελέτη μοντέλου DEA. Συνεπώς, θέτοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τον συνολικό αριθμό των θανάτων σε κάθε Περιφέρεια και μελετώντας τα στοιχεία του έτους 2019, έπειτα από κατάλληλες δοκιμές, δημιουργήθηκε το τελικό μοντέλο DEA. Το μοντέλο αυτό καθώς και τα προηγούμενα μοντέλα της γραμμικής παλινδρόμησης συνοψίζονται παρακάτω:

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	μοντέλο με Αττική			μοντέλο χωρίς Αττική		
	βι	t	ei*	βι	t	ei*
σταθερά	6,591	2,856	-	8,821	2,799	-
αριθμός οχημάτων	-0,00000149	-2,871	-1	-	-	-
εισόδημα/κάτοικο	0,0006036	3,393	6,33	0,000628	2,715	2,69
αριθμός γιατρών	-0,005241	-1,99	-2,77	-	-	-
ανεργία	-	-	-	-0,14824	-2,419	-1,4
πυκνότητα πληθυσμού	-	-	-	-0,03926	-3,022	-1
R ²	0,2538			0,2207		

Πίνακας: Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης



Εικόνα: Αποτελέσματα μοντέλου DEA

Η ανάλυση των οδικών ατυχημάτων και αντίστοιχων θανάτων για τις Περιφέρειες της Ελλάδας οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

- **Όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων τόσο μειώνεται ο αριθμός των θανάτων** ανά 100.000 κατοίκους, γεγονός που επιβεβαιώνεται ότι συμβαίνει στις ανεπτυγμένες χώρες. Η αύξηση των οχημάτων που κυκλοφορούν στο οδικό δίκτυο μιας Περιφέρειας οδηγεί σε αυξημένους κυκλοφοριακούς φόρτους και συνήθως χαμηλότερες ταχύτητες, με συνέπεια να μειώνεται και η συχνότητα των οδικών ατυχημάτων αλλά και η σοβαρότητά τους.
- **Η αύξηση του εισοδήματος ανά κάτοικο οδηγεί σε ανάλογη αύξηση των θανάτων** ανά 100.000 κατοίκους. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρήστες της οδού χρησιμοποιούν περισσότερο τα οχήματα τους, διανύοντας περισσότερα επιβατοχιλιόμετρα και μένουν εκτεθειμένοι περισσότερο στον κίνδυνο. Επιπλέον, ίσως λόγω του υψηλότερου εισοδήματος, διαθέτουν πιο ακριβά και πιο γρήγορα οχήματα, με τα οποία οδηγούν πιο επικίνδυνα και με υψηλότερες ταχύτητες.
- **Η αύξηση της ανεργίας οδηγεί σε μείωση των θανάτων** ανά 100.000 πληθυσμό. Ενδεχομένως όταν υπάρχει υψηλή ανεργία, λιγότεροι πολίτες θα προχωρήσουν σε αγορά οχήματος, αφού δεν θα μπορούν ούτε να το αγοράσουν ούτε να το συντηρήσουν και μάλιστα θα χρησιμοποιούν τα οχήματα τους λιγότερο για οικονομία και ίσως να χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς που είναι ασφαλέστερα. Δηλαδή, μειώνονται τα οχηματοχιλιόμετρα, με άμεση επίπτωση τη μείωση των ατυχημάτων και των επερχόμενων θανάτων από αυτά. Παράλληλα, όσοι χρησιμοποιούν τα οχήματα τους, θα οδηγούν πλέον με σταθερές ταχύτητες για την καλύτερη κατανάλωση των καυσίμων και θα είναι πιο προσεκτικοί στο δρόμο, μια που ένα ατύχημα θα τους στοιχήσει αρκετά σε συνδυασμό με την υψηλή ανεργία.
- **Η αύξηση της πυκνότητας πληθυσμού μιας Περιφέρειας οδηγεί σε μείωση του αριθμού των θανάτων** από οδικά ατυχήματα. Υψηλότερη πυκνότητα πληθυσμού σε πολίτες ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ενδεχομένως οδηγεί σε υψηλότερο

κυκλοφοριακό φόρτο, επειδή οι οδηγοί θα χρησιμοποιούν τους ίδιους δρόμους για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους, με πιθανό αποτέλεσμα τα οχήματα να κυκλοφορούν με χαμηλότερες ταχύτητες και τα θανατηφόρα ατυχήματα να μειώνονται.

- **Αύξηση του αριθμού των γιατρών (ανά χίλιους κατοίκους) οδηγεί σε μείωση του αριθμού των θανάτων** από οδικά ατυχήματα. Υψηλός αριθμός γιατρών σημαίνει ίσως ότι μετά από ένα ατύχημα, ένας γιατρός θα είναι πιθανότατα διαθέσιμος για την περίθαλψη των τραυματιών. Ο αριθμός των γιατρών αποτελεί δείκτη της οικονομίας μιας περιοχής. Όπως έχει αποδειχτεί από σχετικές βιβλιογραφίες, τέτοιοι οικονομικοί δείκτες σχετίζονται με τη μείωση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων και των θυμάτων σε αυτά.

- Στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς την Περιφέρεια Αττικής η ανεργία προκαλεί 1,4 φορές μεγαλύτερη επιρροή στον αριθμό των θανάτων ανά 100.000 σε σχέση με την πυκνότητα του πληθυσμού. Το εισόδημα ανά κάτοικο αντίστοιχα έχει 2,69 φορές μεγαλύτερη επιρροή.

- Σχετικά με το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας, συμπεραίνουμε ότι το εισόδημα ανά κάτοικο επηρεάζει τους θανάτους ανά 100 χιλιάδες 6,33 φορές περισσότερο σε σχέση με τον αριθμό των οχημάτων, ενώ ο αριθμός των γιατρών 2,77 φορές περισσότερο.

- Όλες οι Περιφέρειες εκτός του Βόρειου Αιγαίου παρουσιάζουν υψηλές μειώσεις στο ποσοστό των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών για τα έτη 2010 και 2019. Το Βόρειο Αιγαίο παρουσιάζει αύξηση της τάξεως του 10-15% στους νεκρούς, τα ατυχήματα και τους βαριά τραυματίες για το έτος 2019 σε σχέση με το 2010. Οι ελαφρά τραυματίες έχουν μια ελάχιστη πτώση της τάξεως του 5%.

- Όσον αφορά στο μοντέλο της μεθόδου DEA, παρατηρούμε ότι οι Περιφέρειες της Θεσσαλίας, της Κεντρικής Μακεδονίας και των Ιόνιων Νήσων είναι οι πλέον αποδοτικές με σκορ ίσο με 1. Οι υπόλοιπες Περιφέρειες δεν είναι αποδοτικές με τις χειρότερες από αυτές να είναι αυτή της Πελοποννήσου με σκορ 0,54 και αυτή του Βόρειου Αιγαίου με σκορ 0,64.

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 Γενική ανασκόπηση	15
1.2– Στόχος	18
1.3-Μεθοδολογία.....	19
1.4– Δομή Διπλωματικής Εργασίας	20
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	22
2.1. Εισαγωγή.....	22
2.2. Τροχαία ατυχήματα και θανάτοι	22
2.3 Μέθοδος DEA.....	25
2.4 Σύνοψη βιβλιογραφικής ανασκόπησης για τροχαία ατυχήματα και θανάτους.....	28
2.5 Σύνοψη βιβλιογραφικής ανασκόπησης για μέθοδο DEA.....	29
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	30
3.1. Εισαγωγή	30
3.2. Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης	30
3.3 Συσχέτιση μεταβλητών	32
3.4. Κριτήρια αποδοχής μοντέλου	33
3.5. Ποιότητα μοντέλου	35
3.6. Εξήγηση αποτελεσμάτων	37
3.7 Η μέθοδος περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA)	38
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	39
4.1. Εισαγωγή.....	39
4.2. Συλλογή δεδομένων	39
4.3. Επεξεργασία στοιχείων	40
4.3.1. Επεξεργασία αρχικής βάσης δεδομένων.....	40

4.3.2. Νεκροί ανά πληθυσμό.....	42
4.3.3. Ποσοστιαία μεταβολή νεκρών, ατυχημάτων και τραυματιών	42
4.3.4. Μεταβολή ατυχημάτων & νεκρών ανά έτος για κάθε Περιφέρεια.....	43
4.4. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα	45
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	47
5.1. Εισαγωγή.....	47
5.2. Γραμμική Παλινδρόμηση - Κώδικας στο R-studio	48
5.3. Ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης	52
5.3.1. Μοντέλο για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας	52
5.3.2. Μοντέλο χωρίς την Περιφέρεια της Αττικής	57
5.4. Το μοντέλο DEA	62
6. Συμπεράσματα	67
6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	67
6.2. Συνολικά συμπεράσματα	69
6.3. Προτάσεις για βελτίωση της οδικής ασφάλειας.....	71
6.4. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	72
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική ανασκόπηση

Τα οδικά τροχαία ατυχήματα αποτελούν μια μάστιγα της εποχής μας καθώς και μια από τις κυριότερες αιτίες θανάτων και σοβαρών τραυματισμών. Η κατανάλωση αλκοόλ ή εξαρτησιογόνων ουσιών και η συνεχής χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης αποτελούν βασικά αίτια στην πρόκληση οδικών ατυχημάτων. Το μέγεθος του προβλήματος γίνεται ακόμη μεγαλύτερο μια που τα οδικά τροχαία ατυχήματα αφορούν κυρίως άτομα νεαρής ηλικίας, με σημαντικές επιπτώσεις στις δαπάνες της δημόσιας υγείας καθώς και στην παραγωγικότητα κάθε χώρας. Μάλιστα, εκτιμάται ότι τα τροχαία ατυχήματα επιβαρύνουν με ένα κόστος περίπου ίσο με το 3% του παγκόσμιου ΑΕΠ.

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛ.ΣΤΑΤ.), οδικό τροχαίο ατύχημα είναι το συμβάν το οποίο συντελείται στους δρόμους και τις πλατείες δημόσιας χρήσης και οφείλεται σε ένα ή περισσότερα οχήματα, εκ των οποίων τουλάχιστον ένα βρισκόταν σε κίνηση, προκαλεί δε τον θάνατο ή τραυματισμό ενός ή παραπάνω ατόμων. Θανατηφόρο ονομάζεται το ατύχημα όταν ένας ή περισσότεροι συμμετέχοντες αποβιώνουν σε διάστημα 30 ημερών από το τροχαίο συμβάν. Οι τραυματίες, δηλαδή τα άτομα που υπέστησαν σωματική κάκωση ή βλάβη της υγείας τους, διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους ελαφρά και τους βαριά τραυματίες. Ως ελαφρά θεωρούνται όσοι τραυματίες αποκόμισαν απλή σωματική κάκωση χωρίς να τεθεί η ζωή τους σε κίνδυνο. Αντίθετα, βαριά τραυματίες αποτελούν τα άτομα που δέχτηκαν σοβαρή βλάβη στην υγεία τους και ως εκ τούτου, κινδυνεύουν να χάσουν τη ζωή τους ή τη διανοητική επαφή με το περιβάλλον τους.

Παγκοσμίως, έχει εκτιμηθεί ότι ο ετήσιος αριθμός των ανθρώπων που χάνουν τη ζωή τους εξαιτίας των οδικών ατυχημάτων ανέρχεται στο 1,5 εκατομμύριο, ενώ υπολογίζεται ότι περίπου 50 εκατομμύρια άνθρωποι δέχονται μη θανάσιμους τραυματισμούς, πολλοί εκ των οποίων καταλήγουν σε μόνιμη αναπηρία. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το

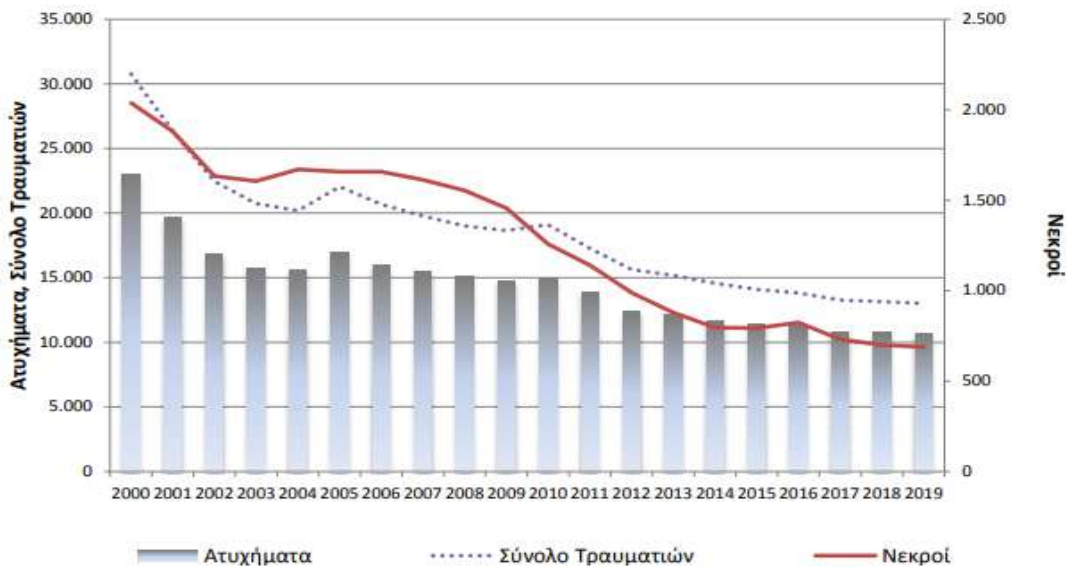
γεγονός ότι τα οδικά τροχαία ατυχήματα αποτελούν κύρια αιτία θανάτου για τους νέους ηλικίας 15-29 ετών (World Health Statistics, 2018). Γίνεται αντιληπτό με αυτόν τον τρόπο πόσο κρίσιμο είναι το ζήτημα των τροχαίων ατυχημάτων καθώς και η αντιμετώπιση του με βελτίωση της οδικής ασφάλειας, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Στην Ελλάδα, τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν ένα πολύ συχνό φαινόμενο. Παρόλα αυτά, παρατηρείται σημαντική πτωτική τάση στα ατυχήματα από το 1991 έως και σήμερα, με κομβικά έτη το 1996 και το 2000. Μάλιστα, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2020), το έτος 2019 καταγράφηκαν 768 λιγότεροι νεκροί σε σχέση με το 2009. Επίσης, παρά την σχετική αύξηση του στόλου οχημάτων την δεκαετία 2010-2020, ο αριθμός των νεκρών έχει μειωθεί σχεδόν στα μισά, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.1: Μεταβολή στόλου οχημάτων και νεκρών από οδικά ατυχήματα στην Ελλάδα, 2010-2020 (www.nrso.ntua.gr/data)

Ακόμα μεγαλύτερη είναι η μείωση απο το έτος 2000 και μετά, μείωση που αντανακλάται και στον αριθμό ατυχημάτων, και στον αριθμό των τραυματιών αλλά και στον αριθμό των νεκρών της τελευταίας εικοσαετίας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η πτωτική αυτή πορεία.



Εικόνα 1.2: Αριθμός ατυχημάτων και παθόντων προσώπων 2000-2019 (ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Είναι λοιπόν εμφανές ότι πολλά θετικά αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί από το 2000 έως και σήμερα για την αντιμετώπιση του κρίσιμου αυτού προβλήματος. Με βάση αυτά γίνεται αντιληπτό πλέον ότι νέες δράσεις βελτίωσης πρέπει να καθοριστούν, όχι μόνο σε πανελλήνιο επίπεδο αλλά και σε επίπεδο περιφερειών.

1.2– Στόχος

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάλυση των οδικών ατυχημάτων και των θανάτων που προκύπτουν από αυτά στις Περιφέρειες της Ελλάδας για τη χρονική περίοδο 2010-2019.

Για το σκοπό αυτό, αξιοποιούνται οι μέθοδοι της λογιστικής παλινδρόμησης και της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA-Data Envelopment Analysis) με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R. Με βάσεις δεδομένων κυρίως την ΕΛ.ΣΤΑΤ. και την EUROSTAT (Ελληνική & αντίστοιχα Ευρωπαϊκή στατιστική υπηρεσία) και δευτερευόντως βάσεις όπως π.χ. η ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, θα αναζητηθούν οι κατάλληλες μεταβλητές-χαρακτηριστικά της κάθε Περιφέρειας. Οι μεταβλητές αυτές θα συλλεχθούν και στη συνέχεια θα εξεταστούν ως προς τη συσχέτιση μεταξύ τους και με την εξαρτημένη μεταβλητή που θα έχει επιλεγεί κατάλληλα. Τελικά, θα επιλεγεί ο συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών που θα έχει υψηλή συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή και χαμηλή με τις υπόλοιπες ανεξάρτητες. Το τελικό μοντέλο θα πρέπει να αντικατοπτρίζει την επιρροή των ανεξάρτητων μεταβλητών στο αποτέλεσμα της εξαρτημένης μεταβλητής.

Με αυτόν τον τρόπο, το μοντέλο θα μας βοηθήσει να διαπιστώσουμε και να κατατάξουμε τις Περιοχές με βάση την απόδοση τους στα οδικά τροχαία ατυχήματα και ταυτόχρονα στους θανάτους και τους τραυματισμούς που συμβαίνουν ως απόρροια των ατυχημάτων αυτών.

1.3-Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και την επίτευξη των ανωτέρω στόχων, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία, τα στάδια της οποίας παρουσιάζονται εκτενώς στη συγκεκριμένη ενότητα.

Αρχικά, έγινε **οριστικοποίηση του θέματος** της και του επιδιωκόμενου στόχου της παρούσας εργασίας. Για το σκοπό αυτό, έγινε ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση**, τόσο σε ελληνική και όσο και σε διεθνή βιβλιογραφία, με σκοπό να βρεθούν έρευνες και δημοσιεύσεις χρήσιμες για την συγκεκριμένη έρευνα.

Μετά τη βιβλιογραφική αναζήτηση, πραγματοποιήθηκε **συλλογή των απαραίτητων στοιχείων** από διάφορες πηγές του διαδικτύου και ακολούθησε η εισαγωγή τους στο Microsoft Excel ως βάση δεδομένων.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η **επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας** για την ανάλυση των δεδομένων καθώς και η **επεξεργασία τους** για να αποκτήσουν την τελική μορφή έτσι ώστε να εισαχθούν στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, δηλαδή την γλώσσα προγραμματισμού R στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία.

Ύστερα, πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές και επαναλήψεις έως ότου αναπτυχθεί τελικά το κατάλληλο **μαθηματικό μοντέλο**. Το μοντέλο αυτό επιλέχθηκε ώστε να δίνει σαφή και λογικά αποτελέσματα.

Τελικό στάδιο ήταν η **περιγραφή και ερμηνεία των αποτελεσμάτων** του μοντέλου και τελικώς η **εξαγωγή συμπερασμάτων** αναφορικά με την αξιολόγηση των Περιφερειών της Ελλάδας ως προς τα οδικά τροχαία ατυχήματα.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται σχηματικά τα διαδοχικά στάδια της μεθοδολογίας, όπως αυτά περιγράφηκαν ανωτέρω:



Εικόνα 1.3: Διάγραμμα ροής των διαδοχικών σταδίων εκπόνησης της εργασίας

1.4– Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται η **δομή της Διπλωματικής Εργασίας** μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του κάθε κεφαλαίου.

Το **κεφάλαιο 1**, το οποίο είναι και το παρόν κεφάλαιο, αποτελεί μια **εισαγωγή** με σκοπό να γίνει άμεσα αντιληπτό το αντικείμενο-στόχος της παρούσας Εργασίας. Περιγράφονται οι ορισμοί των ατυχημάτων, των θανάτων και των τραυματισμών από τα οδικά τροχαία ατυχήματα και γίνεται ανάλυση της οδικής ασφάλειας για τον χρήστη.

Στο **κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από **βιβλιογραφική ανασκόπηση** δημοσιευμένων ερευνών και άρθρων, τα οποία είναι σχετικά με το αντικείμενο της παρούσας Εργασίας.

Το **κεφάλαιο 3** περιέχει το θεωρητικό υπόβαθρο, δηλαδή τα μαθηματικά μοντέλα και τις μεθόδους στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν στην Εργασία. Το τελευταίο μέρος του κεφαλαίου περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή των βημάτων που

ακολουθούνται για την ανάπτυξη των μοντέλων της γραμμικής παλινδρόμησης και της DEA.

Το **κεφάλαιο 4** περιέχει τη **διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων-δεδομένων** που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Εργασία. Αρχικά, περιγράφεται η διαδικασία συλλογής των στοιχείων και αποθήκευσής τους στο Microsoft Excel. Ακολουθεί η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων αυτών και η δημιουργία του βασικού πίνακα, ενός πίνακα με όλα τα δεδομένα έτοιμα για εισαγωγή στο μαθηματικό μοντέλο. Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν στη γλώσσα προγραμματισμού R.

Το **κεφάλαιο 5** περιλαμβάνει την αναλυτική **περιγραφή της μεθοδολογίας** που εφαρμόστηκε και την **εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων**. Αρχικά περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, με ιδιαίτερη έμφαση στους στατιστικούς ελέγχους αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, ενώ τα τελικά αποτελέσματα συνοδεύονται από τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις και τη περιγραφή τους, έτσι ώστε να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτά.

Στο **κεφάλαιο 6** παρατίθενται τα **συμπεράσματα** που προέκυψαν από την τελική εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο

Στο **κεφάλαιο 7** αναφέρονται οι **βιβλιογραφικές αναφορές** που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Πρόκειται ουσιαστικά για μία λίστα με όλες τις έρευνες και τις ιστοσελίδες που αποτέλεσαν πηγή για τη συγγραφή της παρούσας Εργασίας.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** και αναλύει άρθρα και έρευνες, το αντικείμενο των οποίων παρουσιάζει συνάφεια με την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Το κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα αφορά μελέτες και άρθρα που αναδεικνύουν τη σχέση μεταξύ των οδικών ατυχημάτων και των θανάτων αναφορικά με τις ανεξάρτητες μεταβλητές των μοντέλων, όπως πχ το ΑΕΠ, το εισόδημα, την ανεργία κτλ. Η δεύτερη ενότητα αφορά διάφορες έρευνες για τη μέθοδο DEA και την κατάταξη επιδόσεων που προκύπτει από τα μοντέλα της.

2.2. Τροχαία ατυχήματα και θάνατοι

2.2.1. Επιρροή των αλλαγών του ΑΕΠ στους θανάτους από τροχαίο

Γιαννής Γ, Παπαδημητρίου Ε., Φώλλα Κ. (2014)

Σύμφωνα με την έρευνα, τα τελευταία χρόνια οι νεκροί από οδικά τροχαία ατυχήματα παρουσιάζουν σημαντικές ετήσιες μειώσεις σε πολλές αναπτυγμένες χώρες, μειώσεις που δεν οφείλονται σε καμία περίπτωση σε πολιτικές προσπάθειες. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα τα στοιχεία του κατά κεφαλή ΑΕΠ και των ποσοστών των νεκρών από 27 Ευρωπαϊκές χώρες για τα έτη 1975 έως 2011, με σκοπό την ανάπτυξη μεικτών γραμμικών μοντέλων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ότι μια ετήσια αύξηση του κατά κεφαλή ΑΕΠ οδηγεί σε μια ετήσια αύξηση των νεκρών, και αντίστροφα. Τα αποτελέσματα συνολικά είναι στατιστικά σημαντικά για όλες τις χώρες, είτε αυτές είναι από Ανατολική, Δυτική, Βόρεια, Νότια ή Κεντρική Ευρώπη. Έτσι λοιπόν, η βελτίωση του επιπέδου της ευημερίας της κάθε χώρας μπορεί να προκαλέσει αντίστοιχη αύξηση του ΑΕΠ, με αποτέλεσμα την αύξηση των νεκρών από οδικά τροχαία ατυχήματα. Αντίθετα, μια μείωση του ΑΕΠ λόγω κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων, όπως για παράδειγμα οι οικονομικές υφέσεις και οι πολιτικές αλλαγές σε χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής

Ευρώπης στις αρχές του 1990, επιδρά θετικά στη μείωση του ετήσιου ποσοστού του αριθμού των νεκρών.

2.2.2. Νεκροί από τροχαία και ανεργία

Leigh J. & Waldon H. (1991)

Οι συγγραφείς του άρθρου ξεκίνησαν την έρευνά τους με τρεις αρχικές υποθέσεις όσον αφορά στους νεκρούς από τροχαία ατυχήματα σε αυτοκινητόδρομους:

- 1) Με την αύξηση της ανεργίας, η μέση οδήγηση μειώνεται, ιδιαίτερα όσον αφορά τον άνεργο πληθυσμό, και ως απόρροια οι νεκροί θα μειωθούν.
- 2) Η επιρροή της ανεργίας στην κατανάλωση αλκοόλ είναι διφορούμενη. Αφενός, αρκετοί άνεργοι θα πίνουν λιγότερο εξαιτίας του χαμηλότερου ή και μηδενικού τους εισοδήματος. Αφετέρου, λόγω του άγχους τους, αρκετοί άλλοι θα καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει ακριβής επίδραση της ανεργίας στην κατανάλωση αλκοόλ και ως συνέπεια σε θανατηφόρο ατύχημα.
- 3) Η ανεργία οδηγεί σε υψηλά επίπεδα άγχους και δυσαρέσκειας, με αποτέλεσμα τη μειωμένη προσοχή κατά τη διάρκεια της οδήγησης, γεγονός που οδηγεί σε περισσότερα ατυχήματα και νεκρούς.

Η έρευνα βασίστηκε σε δεδομένα από πενήντα πολιτείες και την Περιφέρεια της Κολούμπια για τα έτη 1976-1980. Χρησιμοποιήθηκαν οικονομετρικά μοντέλα με είσοδο 255 παρατηρήσεων. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν οι ερευνητές είναι πως θεωρώντας ότι τα συνολικά μίλια που διανύθηκαν παραμένουν σταθερά, μια αύξηση της ανεργίας οδηγεί σε υψηλότερα ποσοστά νεκρών, κυρίως λόγω της επίδρασης του άγχους. Παρόλα αυτά, αύξηση της ανεργίας προκαλεί κατά γενικό κανόνα λιγότερη οδήγηση, με αποτέλεσμα να μειώνονται τελικά και οι θάνατοι από οδικά ατυχήματα.

2.2.3. Επίδραση της πυκνότητας πληθυσμού στους θανάτους από οδικό ατύχημα

Clark D. (2003)

Αντικείμενο αυτής της έρευνας ήταν η αξιολόγηση της επιρροής της πυκνότητας πληθυσμού στον αριθμό των θανάτων ύστερα από οδικά τροχαία ατυχήματα. Θέμα της έρευνας ήταν οι οδηγοί, τα αυτοκίνητα των οποίων χρειάστηκαν ρυμούλκηση έπειτα από σύγκρουση και είχαν χρησιμοποιηθεί ως δείγματα από το σύστημα NAAS-GES για την περίοδο 1994 με 1998. Όλες οι υποθέσεις είχαν χωριστεί σε κατηγορίες ανάλογα με τον πληθυσμό της τοποθεσίας του ατυχήματος (μεγαλύτερος ή μικρότερος από 25 χιλιάδες) και ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού της χώρας κατοικίας του οδηγού. Επίσης, κατηγοριοποιήθηκαν βάσει ηλικίας, χρήσης ζώνης ασφαλείας και ταχύτητας οχήματος. Συνολικά, 190.721 περιπτώσεις ατυχημάτων με συγκεκριμένη τοποθεσία βρέθηκαν στο δείγμα. Πραγματοποιήθηκε χρήση αναλυτικών μεθόδων για στρωματοποιημένα και σταθμισμένα δεδομένα έρευνας έτσι ώστε να βρεθούν οι τελικές επιδράσεις στη θνησιμότητα. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξε ο συγγραφέας είναι ότι η θνησιμότητα από τροχαία ατυχήματα ήταν υψηλότερη σε περιοχές με πληθυσμό λιγότερο από 25.000 και αντιστρόφως ανάλογη με την πυκνότητα πληθυσμού της περιοχής που κατοικούσε ο οδηγός. Η ηλικία, η ζώνη ασφαλείας και η ταχύτητα του οχήματος επίσης επηρεάζουν σημαντικά τη θνητότητα. Ο αυξημένος κίνδυνος των κατοίκων αστικών περιοχών να πεθάνουν από οδικό τροχαίο ατύχημα μπορεί τέλος να αποδοθεί και σε μετα-τραυματικούς παράγοντες.

2.2.4. Ο ρόλος της ιατρικής φροντίδας και των τεχνολογικών προόδων στη μείωση των θανάτων μοτοσυκλετιστών

Law T., Evans A., Noland R. (2007)

Η έρευνα αυτή έγινε με αφορμή την μείωση των θανάτων κατά κεφαλή από οδικά τροχαία ατυχήματα κατά 55% από το έτος 1970 έως το 2004 για τις χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD). Για την ίδια χρονική περίοδο φαίνεται ότι η αντίστοιχη μείωση στους θανάτους κατά κεφαλή των μοτοσυκλετιστών είναι της τάξης του 44%. Μάλιστα, σε χώρες όπως η Ελλάδα, το Λουξεμβούργο και οι Η.Π.Α., οι θάνατοι

μοτοσυκλετιστών αποτελούν πολύ μεγάλο μέρος των νεκρών από οδικά τροχαία ατυχήματα. Αν και πολλές έρευνες έχουν αποδώσει το πρόβλημα της ασφάλειας των μοτοσυκλετιστών σε έλλειψη εμπειρίας, μη κατοχή άδειας, οδήγηση υπό επήρεια ουσιών ή αλκοόλ, κακή οδηγική συμπεριφορά και κακή κατάσταση της μοτοσυκλέτας, η συγκεκριμένη έρευνα έγινε με σκοπό να αναλυθεί η επίδραση των βελτιώσεων στην ιατρική φροντίδα και στην τεχνολογία στη μείωση των θανάτων αυτών. Δεδομένα συλλέχθηκαν από τη διεθνή βάση δεδομένων κυκλοφορίας και ατυχημάτων (IRTAD) και από τον του Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD) για τα έτη 1970-2004 και χρησιμοποιήθηκε το αρνητικό διωνυμικό μοντέλο για την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Επίσης, λήφθηκαν υπόψη οι μεταβλητές της μέσης διαμονής του ασθενή στο νοσοκομείο, ο αριθμός των γιατρών κατά κεφαλή και το ποσοστό θνησιμότητας των ασθενών. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα των μοντέλων έδειξαν ότι και οι τρεις αυτοί παράγοντες είναι σημαντικοί και καθιστούν την πρόοδο της υγείας και της τεχνολογίας ως αίτιο της μείωσης της θνησιμότητας των μοτοσυκλετιστών.

2.3 Μέθοδος DEA

2.3.1. Βαθμολόγηση επιδόσεων οδικής ασφάλειας στις Η.Π.Α. με τη χρήση DEA

Egilmez G.& McAvoy D. (2013)

Σε αυτή την έρευνα αναπτύχθηκε ένα μοντέλο DEA με σκοπό την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας και παραγωγικότητας 50 Πολιτειών των Η.Π.Α. στη μείωση του αριθμού των νεκρών από οδικά τροχαία ατυχήματα. Πέντε μεταβλητές προστέθηκαν για την παραγωγή ενός ενιαίου σκορ οδικής ασφάλειας μοντέλου DEA, με μοναδική μεταβλητή εξόδου τα θανατηφόρα ατυχήματα. Για τις συγκεκριμένες μεταβλητές, κρίθηκε κατάλληλη και επιλέχθηκε η περίοδος 2002-2008 λόγω της ύπαρξης δεδομένων. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι υπάρχει μια πτωτική τάση της τάξεως του -0,2% που βοηθάει στην ελαχιστοποίηση των νεκρών στις Η.Π.Α., γεγονός που αποδίδεται στη συνεχή τεχνολογική ανάπτυξη. Συμπεραίνουμε ότι παρά την παρατηρούμενη μειωτική τάση στους νεκρούς από τροχαία, η αποδοτικότητα των πολιτειών στο μηδενισμό των νεκρών αυτών είναι ακόμα πολύ μακρινός στόχος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με πολιτικές που θα αυξήσουν τη χρήση ζώνης των επιβατών των οχημάτων και θα βελτιώσουν την κατάσταση των οδοστρωμάτων.

2.3.2. Ένας δείκτης παραγωγικότητας με χρήση DEA με σκοπό την αξιολόγηση της οδικής ασφάλειας

Shen Y , Hermans E., Ruan D., Vanhoof K., Brijs T. & Wets G. (2010)

Για την παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος DEA με σκοπό να υπολογίσει την παραγωγικότητα. Μάλιστα, η μέθοδος μας επιτρέπει να αποσυνθέσουμε την παραγωγικότητα σε δύο επιμέρους στοιχεία, την αλλαγή στην αποδοτικότητα και την τεχνική αλλαγή. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο με είσοδο - έξοδο δεδομένα οδικής ασφάλειας έτσι ώστε να αξιολογήσει τις αλλαγές στις επιδόσεις οδικής ασφάλειας 26 Ευρωπαϊκών χωρών για τα έτη 2000-2007 βάσει ενός δείκτη παραγωγικότητας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν σημαντική πρόοδο στην οδική ασφάλεια των περισσότερων πολιτειών για την συγκεκριμένη υπό μελέτη περίοδο. Τέλος, η αποσύνθεση αποκαλύπτει ότι ο όγκος της βελτίωσης αποκτήθηκε με την υιοθέτηση νέων στρατηγικών και τεχνολογιών οδικής ασφάλειας και όχι λόγω της αλλαγής αποδοτικότητας των ανεπαρκών χωρών, δηλαδή τη σταδιακή βελτίωση των ανεπαρκών χωρών μέχρι να φτάσουν στο επίπεδο επάρκειας των ήδη αποδοτικών χωρών.

2.3.3. Δείκτες θανάτων από οδικά ατυχήματα στη Βραζιλία: Μια διάγνωση των πολιτειών με τη χρήση DEA

Bastos J., Shen Y., Brijs T. , Wets G., Clóvis A., Ferraz P. (2015)

Η ευρεία οικονομική ανάπτυξη της Βραζιλίας την τελευταία δεκαετία και η επακόλουθη έκρηξη στην αυτοκίνηση έχουν προκαλέσει ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα: την αύξηση των θυμάτων από τροχαία ατυχήματα. Με στόχο να συμβάλει στην διάγνωση της οδικής ασφάλειας σε εθνικό επίπεδο, η συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζει δύο κύριους δείκτες που είναι διαθέσιμοι στην χώρα: το ποσοστό θνησιμότητας (εκφρασμένο σε νεκρούς κατά κεφαλή) και το ποσοστό των θανάτων (εκφρασμένο με δύο υποδείκτες, τους νεκρούς ανά όχημα και τους νεκρούς ανά οχηματοχιλιόμετρα που διανύθηκαν). Αυτοί οι δείκτες αθροίστηκαν σε ένα μικτό δείκτη με τη μέθοδο πολλαπλών επιπέδων της DEA και δημιουργήθηκε ένα σύνθετο μοντέλο. Το μοντέλο αυτό αναζητά τον βέλτιστο συνδυασμό των στατιστικών βαρών των δεικτών για κάθε μεταβλητή, στην περίπτωση της παρούσας

έρευνας καθεμιά από τις 27 πολιτείες της Βραζιλίας. Κάθε δείκτης σκορ αναπαριστάνει την απόδοση οδικής ασφάλειας μιας πολιτείας και με βάση αυτά γίνεται η κατάταξη τους. Οι συγγραφείς της έρευνας καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι συνδυάζοντας τους δείκτες θνησιμότητας και εφαρμόζοντας συγκεκριμένες διαδικασίες, μπορούν να καταλήξουν σε αξιόπιστα αποτελέσματα κατάταξης, αποτελέσματα που προσφέρουν χρήσιμη βοήθεια στην οργάνωση της οδικής ασφάλειας της χώρας.

2.3.4 Ένας σύστημα υποστήριξης ασαφούς λογικής στον προγραμματισμό της οδικής ασφάλειας

Behnood H., Ayati E., Brijs T. & Pirayesh M. (2017)

Το αντικείμενο αυτής της έρευνας ήταν η ανάπτυξη ενός υποστηρικτικού συστήματος για τους υπεύθυνους των πολιτικών της οδικής ασφάλειας ώστε να πάρουν σωστές αποφάσεις στον προγραμματισμό της οδικής ασφάλειας βάσει της αποδοτικότητας προηγουμένως εφαρμοσμένων μέτρων ασφάλειας. Τα μέτρα που λήφθηκαν υπόψη για κάθε περιοχή στην έρευνα περιλαμβάνουν δείκτες επίδοσης που αφορούν επιχειρήσεις αστυνομίας, επικίνδυνες θέσεις, εγκαταστάσεις υποστήριξης αυτοκινητοδρόμων, κάμερες ελέγχου ταχύτητας, υπηρεσίες επείγουσας ιατρικής βοήθειας καθώς και έργα φωτισμού του δρόμου. Για αυτό το λόγο, ένα μέγεθος ανεπάρκειας υπολογίζεται, το οποίο καθορίζεται από την αναλογία των νεκρών από τροχαίο σε σχέση με το συνδυασμό των δεικτών επίδοσης που αναφέρθηκαν, με σκοπό την ελαχιστοποίησή του. Η μοντελοποίηση της σχετικής ανεπάρκειας κάθε περιοχής πραγματοποιήθηκε με τη χρήση DEA, η οποία ακολουθεί μια διαδικασία καθορισμού στόχου και κατάταξης. Στο επόμενο βήμα, ένα σύστημα τυχαίας επιλογής απόφασης κατασκευάστηκε έτσι ώστε να μετατραπούν οι πληροφορίες της DEA σε ένα σύστημα κανόνων το οποίο θα χρησιμοποιούν οι υπεύθυνοι για να αξιολογήσουν τα πιθανά αποτελέσματα μιας ενδεχόμενης νέας στρατηγικής στην οδική ασφάλεια. Συνεπώς, με τη χρήση της μεθόδου DEA και των διαδικασιών της, οι υπεύθυνοι για τις πολιτικές οδικής ασφάλειας μπορούν να αναλύσουν πολλές διαφορετικές στρατηγικές, προτού πάρουν την τελική τους απόφαση.

2.3.5. Υπολογίζοντας την ανάπτυξη της οδικής ασφάλειας στα προάστια της Κίνας για την περίοδο 2007-2016

Kang L.& Wu C. (2021)

Η παρούσα έρευνα αναδεικνύει μια προσέγγιση στην ανάλυση της οδικής ασφάλειας με την πάροδο του χρόνου. Η μέθοδος αυτή κατασκευάστηκε με την ανάλυση DEA και με τον δείκτη παραγωγικότητας Malmquist (DEA-MPI). Ο πυρήνας αυτής της μεθόδου είναι η σύγκριση της αναλογίας δεδομένων εισόδου εξόδου για την μέτρηση της οδικής ασφάλειας στις Κινέζικες επαρχίες για τα έτη 2007 έως 2016. Τρεις δείκτες οδικών κινδύνων χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος και τέσσερις δείκτες αποτελεσμάτων οδικών ατυχημάτων ως έξοδος. Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζουν ότι οι περισσότερες επαρχίες έχουν πετύχει σπουδαία πρόοδο στην οδική ασφάλεια μέσα στην τελευταία δεκαετία. Ο τελικός δείκτης παραγωγικότητας αποδομείται σε έναν δείκτη αλλαγής αποδοτικότητας και σε έναν δείκτη τεχνικής αλλαγής. Στα αποτελέσματα, ο μεν δείκτης έχει μειωθεί και ο δε έχει αυξηθεί. Το 2016, η Κίνα κατάφερε να βελτιώσει την παραγωγικότητα της οδικής ασφάλειας 1433 φορές καλύτερα σε σχέση με το 2007, γεγονός που αποδίδεται στην βελτίωση της τεχνολογίας. Συμπερασματικά, η έρευνα αυτή δίνει μια γενική εικόνα για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στις κινέζικες επαρχίες και αποτελεί οδηγό για τους ιθύνοντες της οδικής ασφάλειας για να καταστρώσουν σωστές στρατηγικές για το συγκεκριμένο θέμα.

2.4 Σύνοψη βιβλιογραφικής ανασκόπησης για τροχαία ατυχήματα και θανάτους

Συνοψίζοντας, παρατηρείται ότι αρκετοί παράγοντες επιδρούν στα οδικά τροχαία ατυχήματα και προκαλούν θανάτους. Μελετήθηκαν συγκεκριμένα οι παράγοντες του ΑΕΠ, της ανεργίας, της πυκνότητας πληθυσμού και των διάφορων προόδων στην τεχνολογία και την ιατρική, σε διεθνές επίπεδο.

Αναφορικά με το **ΑΕΠ**, συμπεραίνεται πως αύξηση του λόγω κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων επιδρά αρνητικά στην οδική ασφάλεια, αυξάνοντας τους νεκρούς από οδικά τροχαία ατυχήματα. Η **ανεργία** φαίνεται να είναι συνδεδεμένη με τα οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται: αν τα οχηματοχιλιόμετρα παραμείνουν σταθερά, αύξηση της ανεργίας οδηγεί σε αυξημένα ποσοστά νεκρών, με κύριο αίτιο το άγχος λόγω έλλειψης εργασίας. Αντίθετα, η ανεργία προκαλεί λιγότερη οδήγηση και συνεπώς λιγότερα οχηματοχιλιόμετρα, με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της θνησιμότητας από οδικά ατυχήματα. Η πυκνότητα πληθυσμού επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα τους θανάτους, μια που όσο αυξάνεται η συγκεκριμένη μεταβλητή, παρατηρείται πως ο αριθμός των θανάτων ελαχιστοποιείται. Τέλος, η μείωση της θνησιμότητας των μοτοσυκλετιστών προκύπτει ως απόρροια των **εξελίξεων στους τομείς της ιατρικής και της τεχνολογίας**.

2.5 Σύνοψη βιβλιογραφικής ανασκόπησης για μέθοδο DEA

Όσον αφορά τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων ή αλλιώς DEA, παρατηρείται ότι η μέθοδος έχει διεθνή χρήση για την περίπτωση κατάταξης και εξαγωγής συμπερασμάτων οδικής ασφάλειας. Με τη χρήση της έχει διαπιστωθεί ότι η οδική ασφάλεια έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, αίτιο που οφείλεται στις νέες στρατηγικές και τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί. Μάλιστα, η μέθοδος δεν αξιοποιείται μόνο για την κατάταξη και εύρεση της αποδοτικότητας στην οδική ασφάλεια κάθε πολιτείας ή Περιφέρειας. Μπορεί κατ'επέκταση να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για τους υπεύθυνους οδικής ασφάλειας, αναπτύσσοντας νέα συστήματα και στρατηγικές και προσαρμόζοντας τα στις ανάγκες της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Με άλλα λόγια, η DEA αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την λήψη αποφάσεων οδικής ασφάλειας.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο βασίστηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία**. Συγκεκριμένα, θα αναλυθεί η στατιστική μέθοδος ανάλυσης της γραμμικής παλινδρόμησης. Η επιλογή αυτής της μεθόδου βασίστηκε στη «φύση» της ανεξάρτητης μεταβλητής της εργασίας, δηλαδή του αριθμού των νεκρών από τροχαία οδικά ατυχήματα ανά 100 χιλιάδες πληθυσμό. Η δεδομένη μεταβλητή εντάσσεται στην κατηγορία των συνεχών μεταβλητών, και μια που στο μοντέλο αναζητείται η σχέση της με διάφορα χαρακτηριστικά - μεγέθη των Περιφερειών της Ελλάδας, η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης κρίνεται η πλέον κατάλληλη. Στη συνέχεια εξετάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου καθώς και τα κριτήρια αποδοχής των μαθηματικών μοντέλων που προκύπτουν από αυτή. Τέλος, παρουσιάζεται η μέθοδος DEA του λογισμικού R και μελετάται η μεθοδολογία και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της.

3.2. Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης

Ο κλάδος της στατιστικής, ο οποίος εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της μίας μεταβλητής από τις υπόλοιπες ονομάζεται ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis). Με τον όρο εξαρτημένη μεταβλητή εννοείται η μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ ο όρος ανεξάρτητη μεταβλητή αναφέρεται σε εκείνη τη μεταβλητή, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία αλλά

παίρνει καθορισμένες τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή αντίθετα, θεωρείται τυχαία και “καθοδηγείται” από την ανεξάρτητη μεταβλητή

Προκειμένου να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή ένας συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκαλεί τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων. Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μια στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης. Επισημαίνεται ότι η επιλογή της μεθόδου ανάπτυξης ενός μοντέλου βασίζεται στο αν η εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνει συνεχείς ή διακριτές τιμές. Στη περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχές μέγεθος και ακολουθεί κανονική κατανομή χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, της οποίας η πιο απλή περίπτωση είναι η γραμμική παλινδρόμηση (Simple Linear Regression). Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση υπάρχει μία μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή X και μία μόνο εξαρτημένη μεταβλητή Y , η οποία προσεγγίζεται ως μια γραμμική συνάρτηση του X . Η τιμή y_i της μεταβλητής Y , για κάθε τιμή της μεταβλητής X δίνεται από τη σχέση:

Το πρόβλημα της παλινδρόμησης είναι εύρεση των παραμέτρων α και b που εκφράζουν όσο το δυνατόν καλύτερα την γραμμική εξάρτηση της εξαρτημένης μεταβλητής Y από την ανεξάρτητη μεταβλητή X . Κάθε ζεύγος τιμών (α , b) καθορίζει και μια διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή και οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i$$

- ο σταθερός όρος β_0 είναι η τιμή του Y για $X=0$
- ο συντελεστής β_1 του X είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή αλλιώς ο συντελεστής παλινδρόμησης (regression coefficient). Εκφράζει τη μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X μεταβληθεί κατά μία μονάδα.

Η τυχαία μεταβλητή ϵ_i λέγεται σφάλμα παλινδρόμησης (Regression Error) και ορίζεται ως η διαφορά της y_i από τη δεσμευμένη μέση τιμή $E(Y|X= x_i)$ όπου $E(Y|X=x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i$. Για την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

- Η μεταβλητή X είναι ελεγχόμενη για το πρόβλημα υπό μελέτη, δηλαδή είναι γνωστές οι τιμές της χωρίς καμία αμφιβολία.

- Η εξάρτηση της Y από τη X είναι γραμμική.
- Το σφάλμα παλινδρόμησης έχει μέση τιμή μηδέν για κάθε τιμή της X και η διασπορά του είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από τη X .

Οι παραπάνω υποθέσεις για γραμμική σχέση και σταθερή διασπορά αποτελούν χαρακτηριστικά πληθυσμών με κανονική κατανομή. Συνήθως, σε προβλήματα γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται η υπόθεση ότι η δεσμευμένη κατανομή της Y είναι κανονική. Σε περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές X ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), τότε γίνεται αναφορά στη πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression). Η εξίσωση η οποία αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές έχει τη γενικότερη μορφή:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i$$

Οι υποθέσεις της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι ίδιες με εκείνες της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή υποθέτει κανείς ότι τα σφάλματα της παλινδρόμησης (όπως και η τυχαία μεταβλητή Y για κάθε μεταβλητή X) ακολουθούν κανονική κατανομή με σταθερή διασπορά. Γενικά το πρόβλημα και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στη πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των παραμέτρων πρέπει να ελέγξει αν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών, δηλαδή θα πρέπει να ισχύει $\rho(X_i, X_j) \neq 0$

3.3 Συσχέτιση μεταβλητών

Έστω x, y δύο τυχαίες και συνεχείς μεταβλητές. Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δύο μεταβλητών x και y , οι οποίες έχουν διασπορά σ_x^2 και σ_y^2 αντίστοιχα, και συνδιασπορά $\sigma_{xy} = \text{cov}[x,y]$ καθορίζεται με το συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) ρ , ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$\rho = \sigma_{XY} / (\sigma_X \sigma_Y)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ , όπως και η συνδιασπορά σ_{XY} , εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται, δηλαδή πως 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 .

Όταν $\rho = \pm 1$ η σχέση είναι αιτιοκρατική κι όχι πιθανοκρατική γιατί γνωρίζοντας την τιμή της μιας τ.μ. γνωρίζουμε και την τιμή της άλλης τ.μ. ακριβώς. Όταν ο συντελεστής συσχέτισης είναι κοντά στο -1 ή 1 η γραμμική συσχέτιση των δύο τ.μ. είναι ισχυρή (συνήθως χαρακτηρίζουμε ισχυρές τις συσχετίσεις όταν $|\rho| > 0,9$) ενώ όταν είναι κοντά στο 0 οι τυχαίες μεταβλητές είναι πρακτικά ασυσχέτιστες. Όπως φαίνεται από τον ορισμό, ο συντελεστής συσχέτισης ρ δεν εξαρτάται από τη μονάδα μέτρησης των X και Y και είναι συμμετρικός ως προς τις X και Y .

3.4. Κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Για την αποδοχή (ή όχι) των παραπάνω μοντέλων απαιτείται η εξέταση διάφορων παραγόντων για την αξιολόγησή τους. **Ο έλεγχος t-test (t-student κατανομή) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της στατιστικής σημαντικότητας.** Στη συγκεκριμένη περίπτωση αξιολογεί τις ανεξάρτητες μεταβλητές ώστε να επιλεχθούν οι κατάλληλες. Ο συντελεστής t υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_i = \beta_i / S. E. \text{ όπου:}$$

- β_i : συντελεστές παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών

- S.E.: τυπικό σφάλμα των συντελεστών β (standard error)

Ο t-ratio αναφέρεται σε κάθε μια από τις μεταβλητές ξεχωριστά. Ο δείκτης αυτός είναι στην ουσία το αποτέλεσμα της διαίρεσης της εκτιμώμενης για το συντελεστή τιμής διά της τυπικής απόκλισής της. Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέγεθος που παρουσιάζει τη συνέπεια με την οποία έχει υπολογιστεί η τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή. Αυτό σημαίνει ότι η πραγματική τιμή του συντελεστή για διάστημα εμπιστοσύνης (επίπεδο σημαντικότητας) 95% βρίσκεται στο διάστημα με κέντρο την υπολογιζόμενη τιμή του συντελεστή και άκρα την τιμή αυτή +/- τη τυπική απόκλιση. Ο δείκτης t-ratio στην ουσία δείχνει αν η πραγματική τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή διαφέρει σημαντικά από το 0 ή όχι. Δείχνει δηλαδή αν η επίδραση της αντίστοιχης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα είναι σημαντική ή όχι. Αν η επιρροή αυτή είναι σημαντική, τότε η συγκεκριμένη μεταβλητή πρέπει να συμπεριληφθεί στην ανάπτυξη του μαθηματικού προτύπου. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να αποκλειστεί. Οι τιμές που μπορεί να πάρει κυμαίνονται από $-\infty$ έως $+\infty$. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόλυτη τιμή του τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα.

Ανάλογα το επίπεδο σημαντικότητας στο οποίο ενδιαφέρει να βρίσκονται τα αποτελέσματα της έρευνας, υπάρχουν πίνακες που δίνουν την τιμή του t-ratio, πάνω από την οποία η συγκεκριμένη μεταβλητή πρέπει να συμπεριληφθεί στο πρότυπο. Άρα για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, μια μεταβλητή μπορεί να παραμείνει στο πρότυπο αν η απόλυτη τιμή του t-ratio του συντελεστή της είναι μεγαλύτερη από 1,96. Πρέπει να σημειωθεί ότι από τη στιγμή που υπάρχει σταθερός όρος, η τελευταία τιμή των κατηγορικών μεταβλητών θεωρείται περιττή και χρησιμοποιείται ως επίπεδο αναφοράς για τη σύγκριση αυτής με τις άλλες τιμές των κατηγορικών μεταβλητών.

Με το t-test λοιπόν καθορίζεται εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει και με τις αλληλεπιδράσεις των κατηγορικών μεταβλητών με τις υπόλοιπες ανεξάρτητες μεταβλητές. Επισημαίνεται ότι οι διακριτές μεταβλητές με κατηγορίες k έχουν k-1 βαθμούς ελευθερίας, ενώ οι συνεχείς έχουν πάντοτε ένα βαθμό ελευθερίας.

Αντί για το t-ratio μπορεί πιο απλά να υπολογιστεί η τιμή του p-value και να συγκριθεί με το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας. Συγκεκριμένα, μια συνήθης πρακτική στον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων, είναι ο υπολογισμός της τιμής της πιθανότητας p (probability value ή p-value). Η πιθανότητα p είναι το μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας α που οδηγεί

στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης H_0 έναντι της εναλλακτικής H_1 . Είναι μια σημαντική τιμή διότι ποσοτικοποιεί τη στατιστική απόδειξη που υποστηρίζει την εναλλακτική υπόθεση. Γενικά όσο πιο μικρή είναι η τιμή της πιθανότητας p , τόσες 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.**

3.5. Ποιότητα μοντέλου

Η ποιότητα του μοντέλου εξετάζεται με το συντελεστή προσαρμογής R^2 . Ο συντελεστής προσαρμογής R^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο γραμμικό μοντέλο και ορίζεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

όπου:

- \hat{y}_i : προβλεπόμενη τιμή ,
- y_i : παρατηρηθείσα τιμή,
- \bar{y} : μέση τιμή

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 κοντά στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Ο συντελεστής R^2 έχει συγκριτική αξία, κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του R^2 που είναι αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του

συντελεστή R^2 . Ο συντελεστής R^2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το X παίρνει καθορισμένες τιμές ή αν είναι τυχαία μεταβλητή.

Για τη στατιστική εμπιστοσύνη του μοντέλου της λογιστικής παλινδρόμησης χρησιμοποιείται η μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανοφάνειας. Για να επιτευχθεί υψηλή πιθανοφάνεια πρέπει ο λογάριθμος των συναρτήσεων πιθανοφάνειας $L = -2$ Restricted Log Likelihood να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος και γενικά προτιμώνται τα μοντέλα με το μικρότερο λογάριθμο συνάρτησης πιθανοφάνειας L . Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και απαιτείται ένας κανόνας που να αποφασίζει εάν η μείωση του L αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας (Likelihood Ratio Test – LRT). Το μέγεθος $L(0)$ αποτελεί ένα απλό υπολογισμό της πιθανοφάνειας ενός προτύπου στο οποίο για κάθε παρατήρηση (στοιχείο της έρευνας πεδίου), όλες οι εναλλακτικές επιλογές έχουν την ίδια πιθανότητα να επιλεγούν. Το μέγεθος $L(b)$ αποτελεί μια προσέγγιση της πιθανοφάνειας που θα προέκυπτε από ένα πρότυπο στο οποίο όλες οι εναλλακτικές επιλογές εκτός από μία έχουν ένα εναλλακτικό καθορισμένο συντελεστή (alternative specific constant). Οι τιμές των παραπάνω μεγεθών εξεταζόμενες μεμονωμένα δε δίνουν καμιά ουσιαστική πληροφορία. Απεναντίας όμως συγκρινόμενες μεταξύ τους, και με τις αντίστοιχες τιμές άλλων δοκιμών, δίνουν μια γενική εικόνα για τη ποιότητα του συγκεκριμένου προτύπου.

Για παράδειγμα οι έλεγχοι πιθανοφάνειας χ^2 (likelihood ratio χ^2) είναι ένας πολύ συνηθισμένος τρόπος ελέγχου προτύπων που έχουν αναπτυχθεί με βάση τα ίδια δεδομένα. Όταν το ένα πρότυπο είναι γενίκευση του άλλου, τα δύο πρότυπα μπορούν να παρουσιάσουν συμπεριφορά (nested hypotheses) για την οποία το διπλάσιο της διαφοράς του λογάριθμου της πιθανοφάνειας μπορεί να ελεγχθεί σαν μεταβλητή χ^2 με κατάλληλο αριθμό βαθμών ελευθερίας. Η τελική πιθανοφάνεια των δύο αυτών μοντέλων είναι το κλειδί στο δεδομένα για τον παραπάνω έλεγχο. Σύμφωνα με το κριτήριο του λόγου πιθανοφάνειας, εάν η διαφορά:

$$LRT = -2 * (L(b) - L(0)) > \chi_{b,0.05}^2$$

Όπου $L(b)$ = λογάριθμος πιθανοφάνειας (μοντέλου με b μεταβλητές) και $L(0)$ = λογάριθμος πιθανοφάνειας (μοντέλου χωρίς τις b μεταβλητές), είναι μεγαλύτερη από τη τιμή του

κριτηρίου χ^2 για p βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, τότε το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνεται αποδεκτό.

3.6. Εξήγηση αποτελεσμάτων

3.6.1 Εξήγηση προσήμων των β_i

Όσον αφορά τους συντελεστές της εξίσωσης β_i , θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των προσήμων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά δεδομένου ότι, αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής (x_i) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες. Στη περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά τότε αναφερόμαστε στην ελαστικότητα (elasticity).

3.6.2. Ανάλυση ευαισθησίας

Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η 1% μεταβολή της ανεξάρτητης. Η ελαστικότητα για γραμμικά μοντέλα δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$e_i = \left(\frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) * \left(\frac{X_i}{Y_i} \right) = \beta_i * \left(\frac{X_i}{Y_i} \right)$$

3.7 Η μέθοδος περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA)

Η μέθοδος Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων Data Envelopment Analysis ή εν συντομία DEA είναι μια **μέθοδος μέτρησης επιδόσεων** η οποία χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τις επιδόσεις παρόμοιων μονάδων ενός συνόλου. Οι μονάδες αυτές για τις οποίες κάνουμε ανάλυση επιδόσεων ονομάζονται DMUs (Decision Making Units). Για παράδειγμα, μπορούμε να συγκρίνουμε όλα τα καταστήματα ενός οργανισμού π.χ. Μακντόναλντς μια περιοχής και να διαπιστώσουμε ποιο κατάστημα λειτουργεί αποδοτικά και ποιο όχι, προτείνοντας παράλληλα λύσεις βελτίωσης. Η DEA έχει εφαρμογή σε πολλές αντίστοιχες επιχειρήσεις. Στη συγκεκριμένη έρευνα η DEA χρησιμοποιείται για την σύγκριση όλων των Περιφερειών της Ελλάδας εκτός από την Αττική. Οι δώδεκα αυτές Περιφέρειες αποτελούν και τα DMU της μεθόδου

Η τεχνική της DEA υπολογίζει την αποδοτικότητα κάθε Περιφέρειας, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από μεταβλητές εισόδου και εξόδου. Οι μεταβλητές αυτές αφορούν στα χαρακτηριστικά της κάθε Περιφέρειας, και είναι ίδιες με αυτές που εξετάστηκαν και στη μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης. Σημαντική διαφορά είναι πως η DEA απαιτεί καθαρούς αριθμούς και όχι ποσοστά για να είναι ακριβής. Κατά συνέπεια, η εξαρτημένη μεταβλητή - μεταβλητή εξόδου στη συγκεκριμένη μέθοδο είναι ο συνολικός αριθμός θανάτων από τροχαία ατυχήματα, εν αντιθέσει με την προηγούμενη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός θανάτων ανά 100 χιλιάδες πληθυσμό. Μπορούμε να φτιάξουμε διάφορα μοντέλα με τη μέθοδο DEA, ανάλογα με το είδος των μεταβλητών. Στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκε το πιο απλό μοντέλο, το βασικό μοντέλο. Τέλος, με την **εντολή efficiencis** της μεθόδου μπορούμε να κατατάξουμε επιτυχώς όλες τις Περιφέρειες.

4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1. Εισαγωγή

Αφού πραγματοποιήθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών συναφών με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ακολούθησε η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου στατιστικής ανάλυσης και η ανάλυση του θεωρητικού υπόβαθρου. Αφού επιλέχθηκε η γραμμική παλινδρόμηση ως αρχική μέθοδος στατιστικής ανάλυσης και έπειτα η DEA, επόμενο βήμα ήταν η συλλογή και η επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων και μεταβλητών που θα συνθέσουν το μοντέλο ανάλυσης.

Αρχικά, παρατίθεται η διαδικασία άντλησης των στοιχείων από το διαδίκτυο και η εισαγωγή τους σε ένα έγγραφο Excel. Έπειτα, παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων και παρουσιάζονται κάποια περιγραφικά διαγράμματα δημιουργήθηκαν για περιγραφική ανάλυση. Τέλος, παρατίθενται τα χρήσιμα συμπεράσματα που προέκυψαν από την περιγραφική αυτή ανάλυση.

4.2. Συλλογή δεδομένων

Για την παρούσα Έρευνα κρίνεται απαραίτητη η εύρεση μιας βάσης δεδομένων που θα περιλαμβάνει στοιχεία για τα οδικά τροχαία ατυχήματα για την περίοδο μελέτης 2010-2019. Θα πρέπει να προσφέρει πληροφορίες αναφορικά με τον αριθμό των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών, ελαφριά ή βαριά. Η πηγή αυτών των απαιτούμενων μεταβλητών ήταν η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Η υπηρεσία αυτή βασίζεται στα δελτία οδικού τροχαίου ατυχήματος (Δ.Ο.Τ.Α) για κάθε ατύχημα το οποίο συμβαίνει. Το δελτίο αυτό συμπληρώνεται από την Τροχαία μετά το κάθε ατύχημα και το κοινοποιεί στην ΕΛ.ΣΤΑΤ. στο τέλος κάθε μήνα με δεδομένα ανά Περιφέρεια και ανά νομό.

Έπειτα, κρίθηκε απαραίτητο να αξιοποιηθούν επιπλέον δεδομένα - μεταβλητές σχετικά με την κάθε Περιφέρεια. Η ΕΛ.ΣΤΑΤ. δεν διέθετε το συγκεκριμένο υλικό. Για το σκοπό αυτό, τα

δεδομένα αναζητήθηκαν σε μια μεγαλύτερη βάση δεδομένων, την Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή (EUROSTAT). Η EUROSTAT προσέφερε αρκετές πληροφορίες για τις Περιφέρειες της Ελλάδας, όπως για παράδειγμα τον αριθμό των γιατρών ανά χίλιους κατοίκους, τον ΑΕΠ, τον οικονομικά ενεργό πληθυσμό σε χιλιάδες, τον άνεργο πληθυσμό, την πυκνότητα πληθυσμού και το εισόδημα.

Τέλος, σημαντική πηγή αποτέλεσε και η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (hnmms.gr), από την οποία αντλήθηκαν πληροφορίες σχετικά με το μέσο ύψος βροχόπτωσης και τη μέση θερμοκρασία του κάθε μήνα. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν από αντίστοιχα μηνιαία κλιματικά δελτία τα οποία διαθέτει η συγκεκριμένη υπηρεσία.

4.3. Επεξεργασία στοιχείων

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζεται η διαδικασία συμπλήρωσης του εγγράφου Excel και επεξεργασίας των στοιχείων που συλλέχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Επιπλέον παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και προβολή των δεδομένων.

4.3.1. Επεξεργασία αρχικής βάσης δεδομένων

Μετά τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων ακολουθεί η διαδικασία επεξεργασίας τους σε ένα έγγραφο του Microsoft Excel.

Αρχικά, δημιουργήθηκε ένας ενοποιημένος πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις συλλεχθείσες μεταβλητές για τις Περιφέρειες της Ελλάδας. Στον κατακόρυφο άξονα στοιχήθηκαν οι Περιφέρειες, μια φορά για κάθε έτος αναφοράς, από το 2010 έως το 2019. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετήθηκαν όλες οι μεταβλητές που συλλέχθηκαν. Τμήμα του ενοποιημένου πίνακα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

1	REGIONS	YEAR	ACCIDENTS	DEATHS	SERIOUS_INJ	SLIGHT_INJ	POPULATION
2	An.macedonia_Thrace	2010	639	72	137	731	611.573,00
3	An.macedonia_Thrace	2011	608	71	103	704	612.074,00
4	An.macedonia_Thrace	2012	530	55	113	554	610.102,00
5	An.macedonia_Thrace	2013	456	52	77	503	608.214,00
6	An.macedonia_Thrace	2014	456	44	76	503	606.490,00
7	An.macedonia_Thrace	2015	496	40	68	589	604.504,00
8	An.macedonia_Thrace	2016	444	49	65	511	602.799,00
9	An.macedonia_Thrace	2017	379	42	43	442	601.175,00
10	An.macedonia_Thrace	2018	413	44	73	468	599.723,00
11	An.macedonia_Thrace	2019	408	44	31	465	598.613,00
12	Central_Macedonia	2010	2599	197	276	3060	1.925.437,00
13	Central_Macedonia	2011	2550	158	269	2854	1.922.590,00
14	Central_Macedonia	2012	2183	163	198	2589	1.912.624,00
15	Central_Macedonia	2013	2376	128	140	2873	1.903.360,00
16	Central_Macedonia	2014	2245	130	126	2721	1.893.878,00
17	Central_Macedonia	2015	2326	128	137	2793	1.883.339,00
18	Central_Macedonia	2016	2451	144	109	2915	1.880.122,00
19	Central_Macedonia	2017	2098	112	85	2471	1.875.996,00
20	Central_Macedonia	2018	1848	92	77	2269	1.873.777,00
21	Central_Macedonia	2019	1861	108	72	2209	1.872.102,00
22	Western_Macedonia	2010	197	29	33	240	285.899,00
23	Western_Macedonia	2011	229	42	39	252	284.061,00
24	Western_Macedonia	2012	154	33	30	156	281.324,00
25	Western_Macedonia	2013	128	16	24	147	278.706,00
26	Western_Macedonia	2014	76	18	19	100	276.423,00
27	Western_Macedonia	2015	103	19	23	106	273.843,00
28	Western_Macedonia	2016	89	15	10	107	271.488,00
29	Western_Macedonia	2017	74	12	11	78	269.222,00
30	Western_Macedonia	2018	61	20	9	66	267.008,00
31	Western_Macedonia	2019	68	17	8	71	264.670,00

Εικόνα 4.1: Τμήμα ενοποιημένου πίνακα δεδομένων.

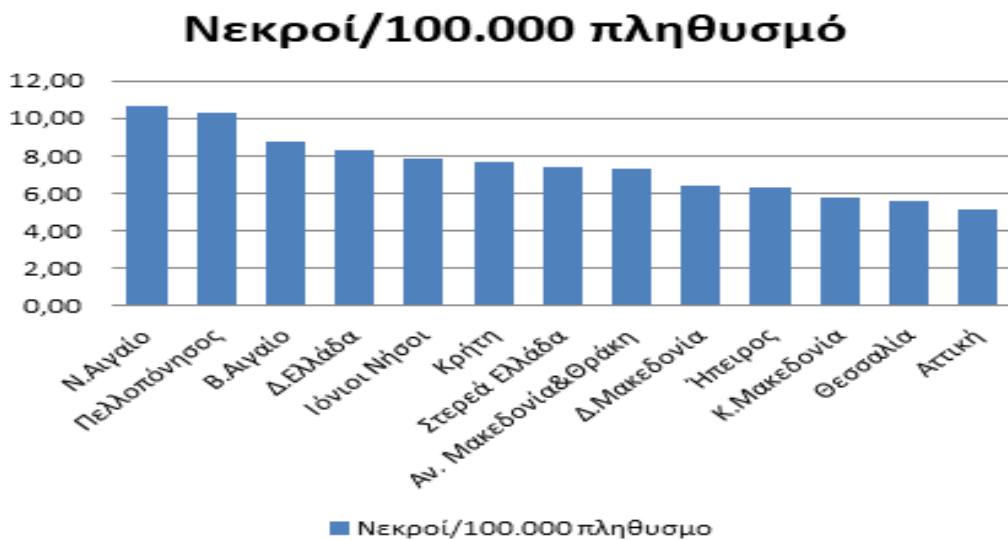
Δημιουργήθηκαν τέσσερις νέες μεταβλητές για την ανάδειξη των μεγεθών των ελαφρά τραυματιών, των βαριά τραυματιών, των ατυχημάτων και των νεκρών, διαιρώντας τις δεδομένες τιμές για 100 χιλιάδες πληθυσμό, έτσι ώστε τα νούμερα να δίνουν μια καλύτερη εικόνα αναλογικά με τον πληθυσμό κάθε περιοχής. Τέσσερις ακόμα δημιουργήθηκαν για τις ίδιες μεταβλητές, αυτή τη φορά με διαιρέτη των αριθμό τον οχημάτων επί χίλια. Αυτό είχε σκοπό να μπορούν να συγκριθούν οι μεταβλητές της κάθε Περιφέρειας αναλογικά με τον στόλο οχημάτων της καθεμίας. Δημιουργήθηκε επίσης μια νέα μεταβλητή από το ετήσιο εισόδημα κάθε Περιφέρειας, το κατά κεφαλή εισόδημα ανά κάτοικο, διαιρώντας το συνολικό εισόδημα με τον εκάστοτε πληθυσμό.

Τελικό στάδιο αποτέλεσε η επεξεργασία των ελλιπών δεδομένων. Παρατηρήθηκε ότι τα κλιματικά δελτία δεν διέθεταν πληροφορίες για το έτος 2010. Το ίδιο συνέβη και για το εισόδημα (και κατ'έπείταση το εισόδημα ανά κάτοικο) και για τον αριθμό των γιατρών (ανά χίλιους κατοίκους) για το έτος 2019. Αποφασίστηκε τα δεδομένα που έλειπαν να

συμπληρωθούν αναλογικά, με βάση την πτωτική ή ανοδική τάση των μεγεθών ανά το χρόνο. Με τον εμπειρικό αυτό τρόπο, οι μεταβλητές της έρευνας έγιναν πλήρεις και ήταν έτοιμες για εισαγωγή στο μοντέλο.

4.3.2. Νεκροί ανά πληθυσμό

Για τη συγκριτική ανάλυση του αριθμού των νεκρών κάθε Περιφέρειας για το τελευταίο έτος αναφοράς, το 2019, δημιουργήθηκε στο αρχείο Excel ένας διάγραμμα παρουσίασης των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω:

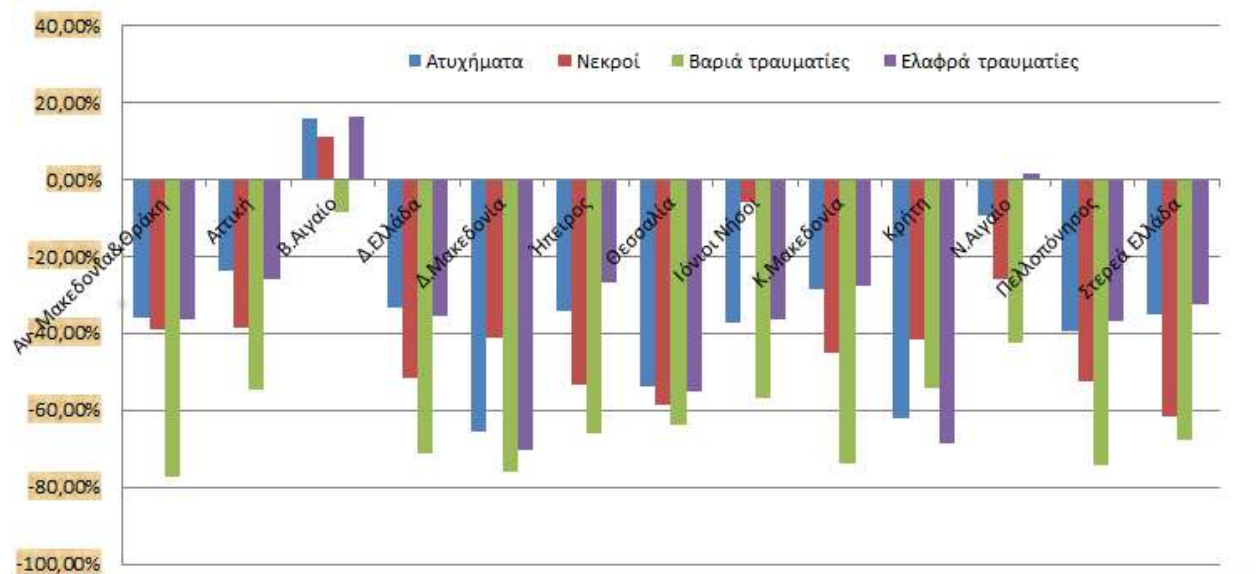


Εικόνα 4.2: Διάγραμμα νεκρών ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό για κάθε Περιφέρεια.

4.3.3. Ποσοστιαία μεταβολή νεκρών, ατυχημάτων και τραυματιών

Ο αριθμός των ατυχημάτων, των νεκρών, των ελαφρά και βαριά τραυματιών αποτελούν τα σημαντικότερα μεγέθη των οδικών τροχαίων ατυχημάτων. Κρίθηκε λοιπόν ιδιαίτερα ενδιαφέρον να παρουσιαστεί σχηματικά μια σύγκριση των μεγεθών αυτών μεταξύ του πρώτου έτους της περιόδου αναφοράς, το 2010, με το τελευταίο έτος, το 2019. Έτσι, θα

φανερί ξεκάθαρα το ποσοστό μείωσης κάθε μεγέθους στη διάρκεια των δέκα ετών για κάθε Περιφέρεια. Το διάγραμμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:

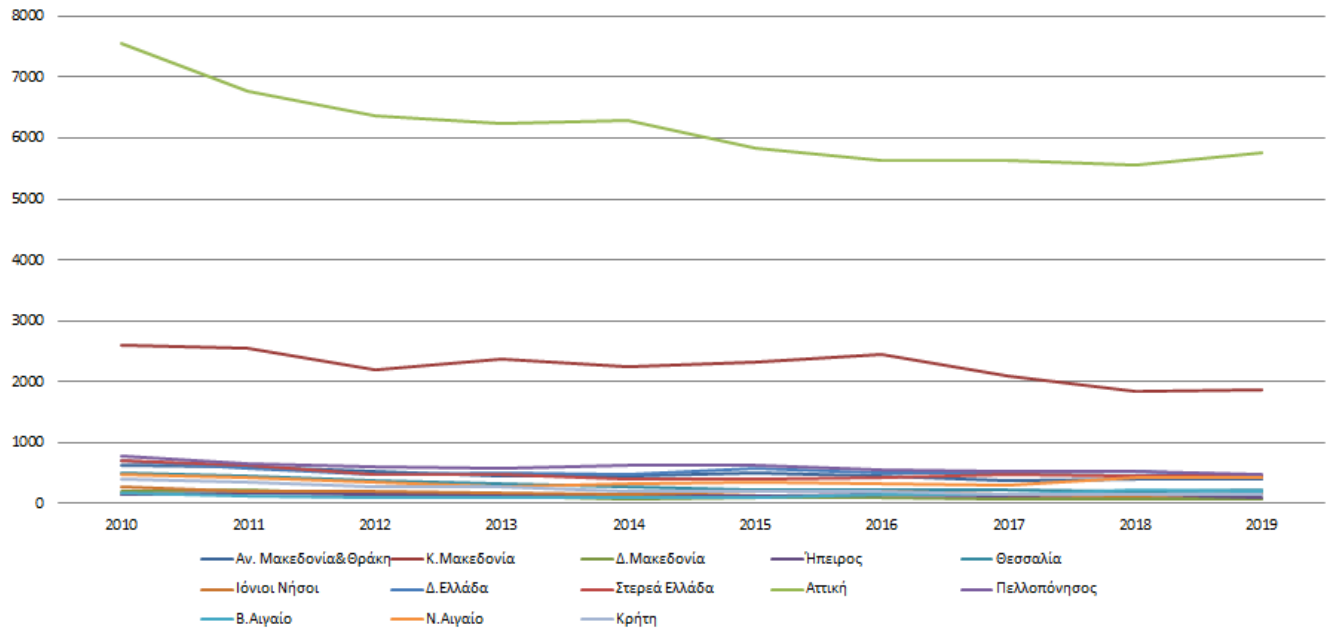


Εικόνα 4.3: Διάγραμμα ποσοστιαίας μεταβολής των νεκρών, των ατυχημάτων και των τραυματιών κάθε Περιφέρειας για τα έτη 2010 και 2019.

4.3.4. Μεταβολή ατυχημάτων & νεκρών ανά έτος για κάθε Περιφέρεια

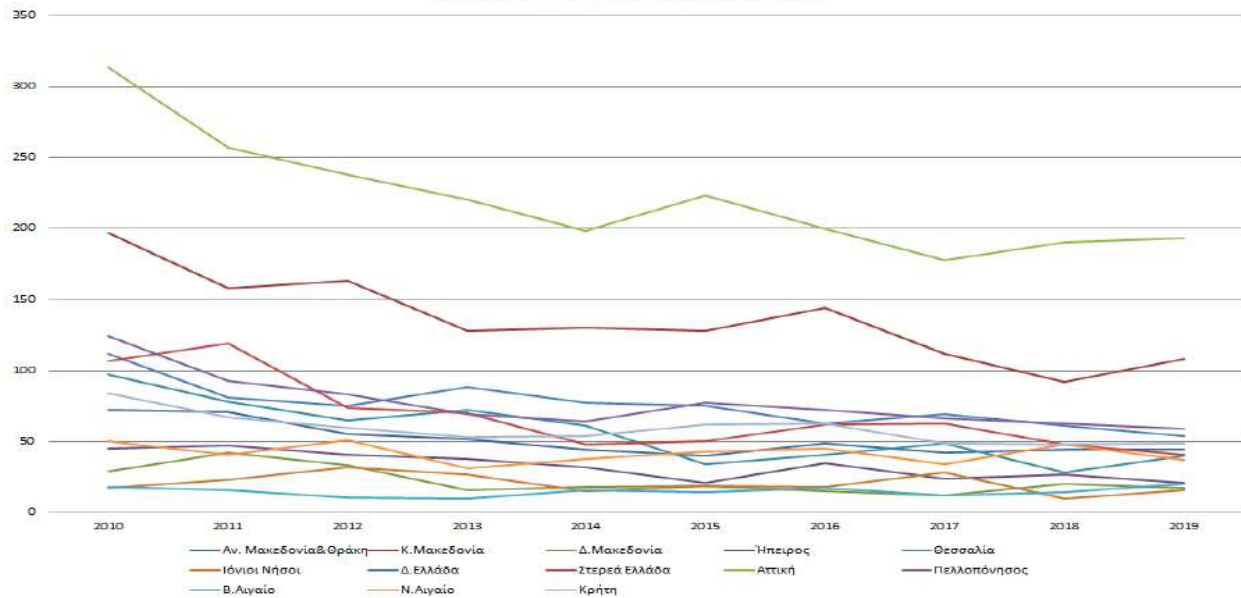
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα μεταβολής των ατυχημάτων και των νεκρών για κάθε Περιφέρεια, με την πάροδο κάθε έτους. Φαίνεται έτσι η ετήσια διακύμανση των μεγεθών αυτών για ολόκληρη την περίοδο αναφοράς.

Μεταβολή ατυχημάτων ανά περιφέρεια



Εικόνα 4.4: Μεταβολή ατυχημάτων ανά Περιφέρεια για την περίοδο 2010-2019

Μεταβολή νεκρών ανά περιφέρεια



Εικόνα 4.5: Μεταβολή νεκρών ανά Περιφέρεια για την περίοδο 2010-2019

4.4. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

- Το Νότιο Αιγαίο και η Πελοπόννησος έχουν τους περισσότερους νεκρούς/100.000 πληθυσμό με τον ακριβή αριθμό να ξεπερνάει τους 10 νεκρούς.
- Η Αττική έχει τους λιγότερους νεκρούς/100.000 πληθυσμό. Αυτό συμβαίνει γιατί ενώ η Αττική έχει τον υψηλότερο αριθμό νεκρών από όλες τις υπόλοιπες Περιφέρειες, διαθέτει υπερβολικά περισσότερο πληθυσμό σε σχέση με τις άλλες. Για τον λόγο αυτό, η Αττική έχει τον μικρότερο αριθμό στη συγκεκριμένη μεταβλητή.
- Όλες οι Περιφέρειες εκτός του Βόρειου Αιγαίου παρουσιάζουν υψηλές μειώσεις στο ποσοστό των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών για τα έτη 2010 και 2019.
- Το Βόρειο Αιγαίο παρουσιάζει αύξηση της τάξεως του 10-15% στους νεκρούς, τα ατυχήματα και τους βαριά τραυματίες για το έτος 2019 σε σχέση με το 2010. Οι ελαφρά τραυματίες έχουν μια ελάχιστη πτώση της τάξεως του 5%.
- Η Περιφέρεια της Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης έχει τη μεγαλύτερη μείωση στους βαριά τραυματίες με ποσοστό που αγγίζει το 80%!
- Η Στερεά Ελλάδα παρουσιάζει την υψηλότερη μείωση στον αριθμό των νεκρών από τροχαία ατυχήματα, με ποσοστό που ξεπερνάει το 60%!
- Η Δυτική Μακεδονία καθώς και η Κρήτη παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης των ελαφρά τραυματιών από τα ατυχήματα, ποσοστά της τάξης του 70%!
- Η Δυτική Μακεδονία παρουσιάζει επίσης τη μεγαλύτερη πτώση σε αριθμό ατυχημάτων με ποσοστό 65%!
- Βάσει των εικόνων 4.4 και 4.5 γίνεται αντιληπτή η τεράστια διαφορά της Αττικής σε ατυχήματα και νεκρούς σε σχέση με τις άλλες Περιφέρειες. Λόγω της μεγάλης αυτής απόκλισης με τις υπόλοιπες Περιφέρειες, αποφασίστηκε να αναπτυχθεί ένα στατιστικό μοντέλο χωρίς την Περιφέρεια της Αττικής.

- Η κεντρική Μακεδονία είναι δεύτερη σε αριθμό ατυχημάτων και νεκρών, πίσω μόνο από την Αττική

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Εισαγωγή

Ύστερα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συναφών ερευνών και μεθοδολογιών, την παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των στοιχείων και την περιγραφή συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων, ακολουθεί το στάδιο της εφαρμογής της μεθοδολογίας που επιλέχθηκε.

Καταλληλότερη μέθοδος για την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων της Εργασίας, η οποία έχει παρουσιαστεί αναλυτικά στο κεφάλαιο του θεωρητικού υποβάθρου, κρίθηκε η γραμμική παλινδρόμηση (Linear Regression). Στο κεφάλαιο αυτό συνεπώς, αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης κατάλληλων μοντέλων. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και πολλά μοντέλα αναπτύχθηκαν κατά τη διαδικασία αυτή, τα περισσότερα από αυτά κρίθηκαν ανεπαρκή για την εξαγωγή συμπερασμάτων ή απορρίφθηκαν από τους στατιστικούς έλεγχους. Μόνο όσα μοντέλα ικανοποιούσαν και τους δύο αυτούς περιορισμούς έγιναν αποδεκτά.

Επιπρόσθετα, αναπτύχθηκε και ένα μοντέλο με τη μέθοδο DEA. Η μέθοδος αυτή εξυπηρετεί τις ανάγκες της Παρούσας Διπλωματικής, μιας και προσφέρει την ικανότητα να κατατάξει τις Περιφέρειες ανάλογα με το πόσο επικίνδυνες ή όχι είναι για τα οδικά τροχαία ατυχήματα. Η κατάταξη αυτή γίνεται με την επιλογή κατάλληλων μεταβλητών και δοκιμών για την εξαγωγή ορθών και λογικών συμπερασμάτων.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των μοντέλων που αναπτύχθηκαν, τα οποία συνοδεύονται από την αντίστοιχη περιγραφή και επεξήγηση τους.

5.2. Γραμμική Παλινδρόμηση - Κώδικας στο R-studio

Για την διερεύνηση της επιρροής των διάφορων ανεξάρτητων μεταβλητών στους θανάτους ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό, δηλαδή την εξαρτημένη μεταβλητή, κρίθηκε καταλληλότερη η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Η επιλογή βασίστηκε στο γεγονός ότι η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής και στο ότι ακολουθεί περίπου κανονική κατανομή. Δημιουργήθηκε λοιπόν ένα script στο R-studio το οποίο θα βοηθήσει στην δημιουργία των επιθυμητών μοντέλων.

Στην πρώτη φάση, καθαρίζονται τα δεδομένα από προηγούμενη εκτέλεση του προγράμματος και φορτώνονται οι απαραίτητες βιβλιοθήκες εντολών. Τοποθετούνται όλα τα δεδομένα του αρχείου Excel σε μια μεταβλητή (regions) και αφού ελέγχεται η δομή και τα στοιχεία της μεταβλητής, μετατρέπονται οι στήλες των ετών σε παραγοντικές μεταβλητές, μια που αποτελούν χαρακτηριστικό και όχι συγκριτικό μέγεθος, και ελέγχεται η μεταβλητή για τυχόν κενά που πιθανόν υπάρχουν και θα αποτελέσουν εμπόδιο αργότερα στα μοντέλα. Ύστερα, δημιουργείται μια νέα μεταβλητή, μόνο με τις αριθμητικές τιμές της μεταβλητής regions, και με βάση τη μέθοδο Pearson φτιάχνεται και σχεδιάζεται ο πίνακας συσχέτισης όλων των στοιχείων.

Από τον πίνακα αυτόν, επιλέγονται στοιχεία που έχουν μικρή συσχέτιση μεταξύ τους και υψηλή με την εξαρτημένη μεταβλητή και εισάγονται στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Το μοντέλο εκτελείται και διατυπώνονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά του. Τέλος, υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών πολυγραμμικότητας κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής. Εφόσον αυτές οι τιμές είναι μικρότερες του πέντε, οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν μπορούν να προβλεφθούν γραμμικά μεταξύ τους και πλέον το μοντέλο είναι έτοιμο προς αποδοχή ή απόρριψη.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στο R-studio για την υλοποίηση των μοντέλων:


```

###Diploma Thesis script
rm(list=ls()) #clears all objects from workspace
### Import dataset
install.packages("readxl")
library(readxl)
install.packages('Rcpp')
library(Rcpp)
regions <- read_excel("C:/Users/komis/Desktop/KM.DIPLOMAS(WA)eng.xlsx")
View(regions)
str(regions)

###convert variables into factor
regions$YEAR <- as.factor(regions$YEAR)

###Check for NA values
any(is.na(regions))

###descriptive statistics for scale variables and frequencies for categorical
summary(regions)

###correlation estimation for numeric data - Grab only numeric columns
regions_numeric<-regions[,sapply(regions, is.numeric)]
CorMatrix <- cor(regions_numeric,method = c("pearson"))
CorMatrix

#visualize correlation matrix
install.packages("corrplot")
corrplot::corrplot(CorMatrix, method = "number", tl.col = "black",tl.srt = 45)

###linear regression
#we should select independent variables that are not highly correlated (correlation < 0.5)
model1 <- lm(DEATHS_PER_100.000~ UNEMPLOYMENT+PHYSICIANS+MEAN_ANNUAL_RAIN , data = regions) #fits a regression model
summary(model1)
#we want R squared as high as possible (it takes values from 0 to 1),
#we want p_value<0.05 for all independent variables

###Collinearity testing only for variables that will be considered ###VIF check - GVIF
install.packages("car")
library(car)
vif(model1) #requires car package

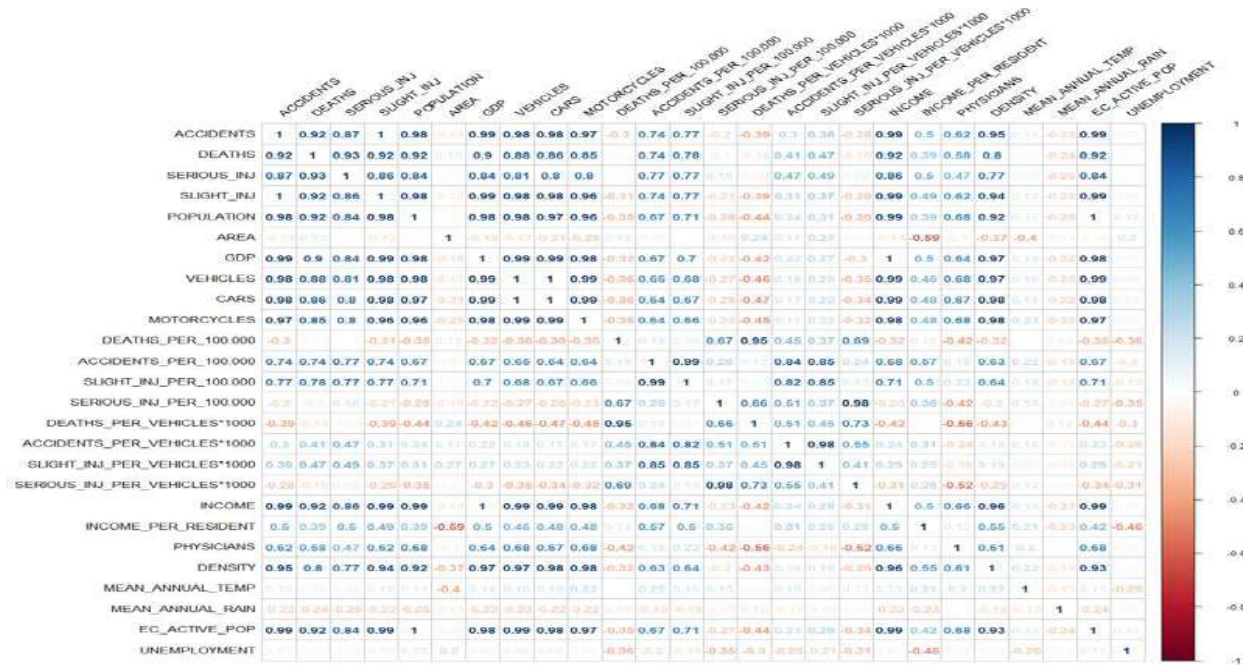
```

Εικόνα 5.1: Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στο R-studio

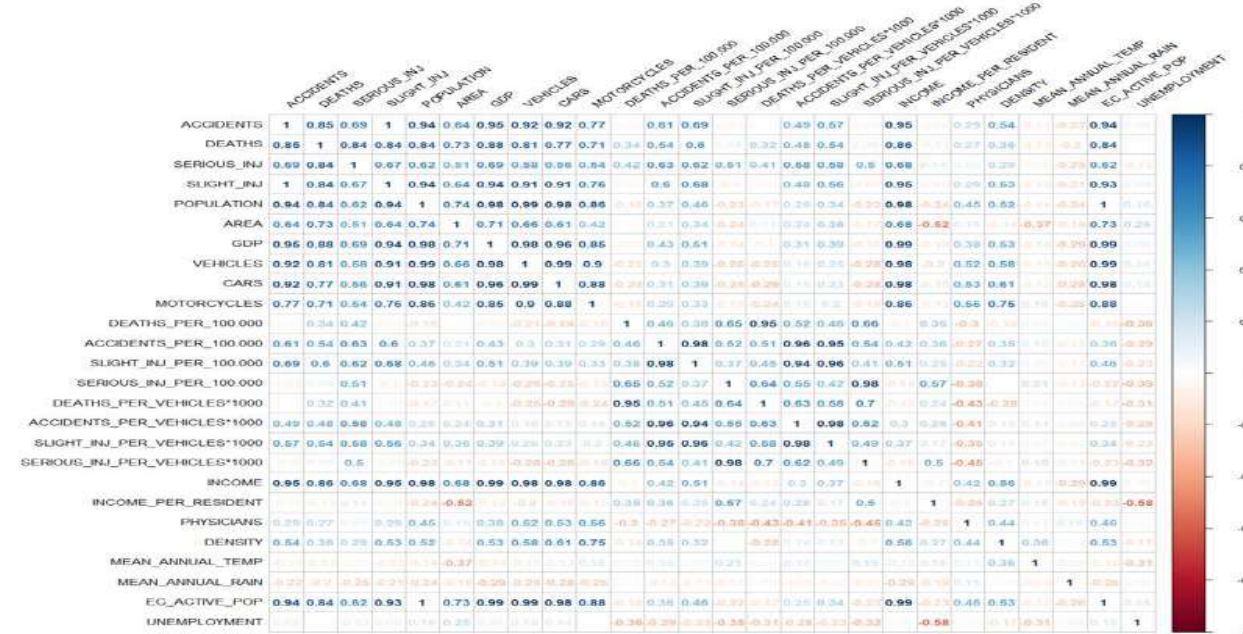
Παρακάτω γίνεται επεξήγηση των βασικών εντολών που χρησιμοποιήθηκαν στην R για την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων:

- `Rm(list=ls())` → διαγράφει όλα τα υπάρχοντα αντικείμενα πριν την εκτέλεση του κώδικα
- `Install.packages()` → εγκαθιστά ένα «πακέτο» εντολών, το όνομα του οποίου αναγράφεται μέσα στην παρένθεση
- `Library()` → φορτώνει το πακέτο εντολών που βρίσκεται μέσα στην παρένθεση, έτσι ώστε οι εντολές του πακέτου να είναι έτοιμες προς χρήση
- `Read.excel()` → διαβάζει ένα αρχείο μορφής Excel
- `View()` → ανοίγει σε νέα καρτέλα ένα αντικείμενο με μορφή πίνακα
- `Str()` → προβάλλει την εσωτερική δομή ενός αντικειμένου, τα στοιχεία του
- `As.factor` → μετατρέπει μία στήλη από αριθμητική σε παραγοντική
- `Any(is.na())` → ελέγχει αν λείπει κάποια τιμή από τα δεδομένα, δηλαδή είναι κενό (NA=Not Available)
- `Sapply(regions,is.numeric)` → παίρνει την μεταβλητή `regions` και επιστρέφει όλες τις στήλες, τα στοιχεία των οποίων είναι αριθμητικά
- `Cor()` → δημιουργεί έναν πίνακα συσχέτισης όλων των μεταβλητών μεταξύ τους. Μέσα στην παρένθεση καθορίζεται η μέθοδος συσχέτισης π.χ. `c("pearson")`
- `Corrplot()` → δημιουργεί μια εικόνα με τον πίνακα συσχέτισης για οπτική επεξήγηση
- `Lm()` → δημιουργεί το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Μέσα στην παρένθεση καθορίζεται πρώτα η εξαρτημένη μεταβλητή και μετά το ~ όλες οι ανεξάρτητες και τέλος η πηγή των δεδομένων μεταβλητών
- `Summary()` → παρουσιάζει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων
- `Vif()` → ελέγχει την πολυγραμμικότητα μεταξύ των συντελεστών

Τέλος, παρατίθενται οι πίνακες συσχέτισης για τα δύο μοντέλα, με και χωρίς την Περιφέρεια της Αττικής. Βάσει αυτών των πινάκων, έγιναν δοκιμές στο μοντέλο με μεταβλητές που είχαν χαμηλή συσχέτιση μεταξύ τους και υψηλή με την εξαρτημένη μεταβλητή. Το μοντέλο που παράχθηκε ελέγχθηκε στατιστικά, ώσπου επιλέχθηκαν τα δύο καταλληλότερα μοντέλα που κάλυπταν τους απαραίτητους ελέγχους και απέδιδαν λογικά συμπεράσματα.



Εικόνα 5.2: Πίνακας συσχέτισης μεταβλητών για μοντέλο χωρίς την Αττική



5.3. Ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης

Στην ενότητα αυτή γίνεται ανάλυση των δύο μοντέλων που αναπτύχθηκαν με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή ένα με όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας και ένα χωρίς την Περιφέρεια Αττικής. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά κάθε μοντέλου επεξηγούνται και επίσης διερευνάται η επιρροή κάθε επιλεγείσας μεταβλητής στον αριθμό των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό, με σκοπό την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων στη συνέχεια.

5.3.1. Μοντέλο για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας

5.3.1.1 Αποτέλεσμα μοντέλου

```
Call:
lm(formula = DEATHS_PER_100.000 ~ VEHICLES + INCOME_PER_RESIDENT +
    PHYSICIANS, data = regions)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.3975 -1.8117 -0.1854  1.7978 10.2610

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   6.591e+00  2.308e+00   2.856 0.005018 **
VEHICLES     -1.490e-06  5.188e-07  -2.871 0.004797 **
INCOME_PER_RESIDENT  6.036e-04  1.779e-04   3.393 0.000924 ***
PHYSICIANS    -5.241e-03  2.633e-03  -1.990 0.048741 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.925 on 126 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2538,    Adjusted R-squared:  0.236
F-statistic: 14.29 on 3 and 126 DF,  p-value: 4.533e-08

> vif(model1) #requires car package
              VEHICLES INCOME_PER_RESIDENT      PHYSICIANS
              2.533951              1.378151              2.033198
```

Εικόνα 5.4: Αποτέλεσμα μοντέλου για όλες τις Περιφέρειες

5.3.1.2. Περιγραφή αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τα αποτελέσματα του μοντέλου της γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις δεκαετίες Περιφέρειες της Ελλάδας προέκυψε η ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\text{Deaths_per_100.000} = 6,591 - 1,49 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Vehicles} + 6,036 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Income_per_resident} - 5,241 \cdot 10^{-3} \cdot \text{physicians}$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι:

Αριθμός οχημάτων: Αύξηση του αριθμού των οχημάτων προκαλεί μείωση στον αριθμό των θανάτων ανά εκατό χιλιάδες. Για μία μονάδα οχημάτων, οι θάνατοι μειώνονται κατά $1,49 \cdot 10^{-6}$ μονάδες. Αυτό ενδεχομένως εξηγείται από το γεγονός ότι στα ανεπτυγμένα κράτη, αύξηση των κυκλοφορούντων οχημάτων προκαλεί μείωση των θανάτων από οδικά τροχαία ατυχήματα (Γ.Γιαννής και Α.Τσουμάνης, 2006). Η αύξηση των οχημάτων για δεδομένο πληθυσμό φαίνεται να προκαλεί μείωση της καμπύλης της διαχρονικής εξέλιξης των θανάτων.

Εισόδημα ανά κάτοικο: Η σχέση μεταξύ του εισοδήματος ανά κάτοικο και των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό είναι ανάλογη. Μεταβολή του εισοδήματος ανά κάτοικο κατά μία μονάδα προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή στους θανάτους κατά $6,036 \cdot 10^{-4}$ μονάδες. Με αύξηση του εισοδήματος, παρατηρείται ότι οι κάτοικοι της εξεταζόμενης περιοχής μετακινούνται περισσότερο με τα οχήματά τους, επομένως υπάρχει αύξηση των διανυόμενων επιβατοχιλιομέτρων. Εξ αιτίας αυτού, οι χρήστες της οδού εκτίθενται σε κίνδυνο σε αυξημένο βαθμό, με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλότερος κίνδυνος πρόκλησης ατυχήματος και κατά συνέπεια τραυματισμός, θανάσιμος ή μη.

Αριθμός γιατρών (ανά 1000 κατοίκους): Ο αριθμός των γιατρών ανά χίλιους κατοίκους επιφέρει μείωση των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες κατά $5,241 \cdot 10^{-3}$ μονάδες. Ο αριθμός των γιατρών αποτελεί έναν δείκτη της οικονομίας μιας περιοχής, καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτός, τόσο πιο οικονομικά ανεπτυγμένη είναι η δεδομένη περιοχή. Βάσει βιβλιογραφίας επομένως, είναι αποδεδειγμένο ότι τέτοιοι οικονομικοί δείκτες οδηγούν σε μείωση των νεκρών από οδικά τροχαία ατυχήματα. Μάλιστα, όσο περισσότεροι γιατροί

εργάζονται, τόσο πιο άμεση περίθαλψη θα προσφέρεται σε έναν τραυματία ατυχήματος. Με αυτόν τον τρόπο η θνησιμότητα ελαττώνεται.

5.3.1.3. Ποιότητα μοντέλου

Ως προς τα στατιστικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου, παρατηρούμε ότι η σταθερά αλλά και οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι στατιστικά σημαντικές βάσει του κριτηρίου t-test. Ο δείκτης ποιότητας R^2 έχει ικανοποιητική τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα που παρήχθησαν και βλέπουμε ότι οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών παίρνουν λογικές τιμές. Τέλος, οι δείκτες πολυγραμμικότητας έχουν τιμές μικρότερες του πέντε και επομένως δεν εμφανίζεται γραμμικότητα μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους. Συνεπώς, το μοντέλο είναι αποδοτικό στη συσχέτιση της εξαρτημένης με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που του έχουμε εισάγει.

5.3.1.4 Σχετική επιρροή των μεταβλητών

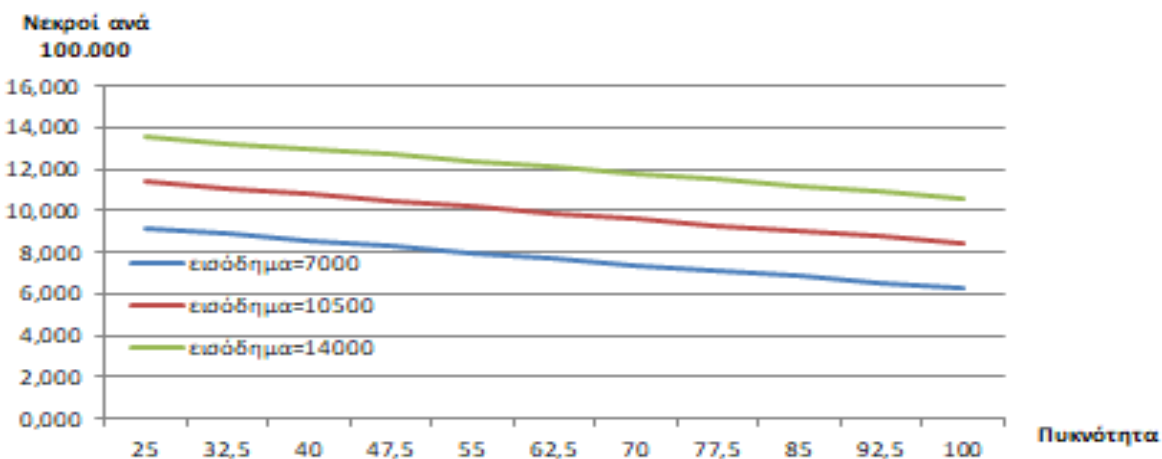
Σχετικά με το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας, συμπεραίνουμε ότι το εισόδημα ανά κάτοικο επηρεάζει τους θανάτους ανά 100 χιλιάδες 6,33 φορές περισσότερο σε σχέση με τον αριθμό των οχημάτων, ενώ ο αριθμός των γιατρών 2,77 φορές περισσότερο. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Ανεξάρτητες μεταβλητές	ΜΟΝΤΕΛΟ 2010-2019 (ΟΛΕΣ ΟΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ)		
	Τιμές συντελεστών	Σχετική επιρροή	
		ei* (σχετική επιρροή)	ei (ελαστικότητα)
Σταθερός όρος	6,591		
vehicles	-0,00000149	-1,00	-0,106
income_per_resident	0,0006036	6,33	0,673
physicians	-0,005241	-2,77	-0,294

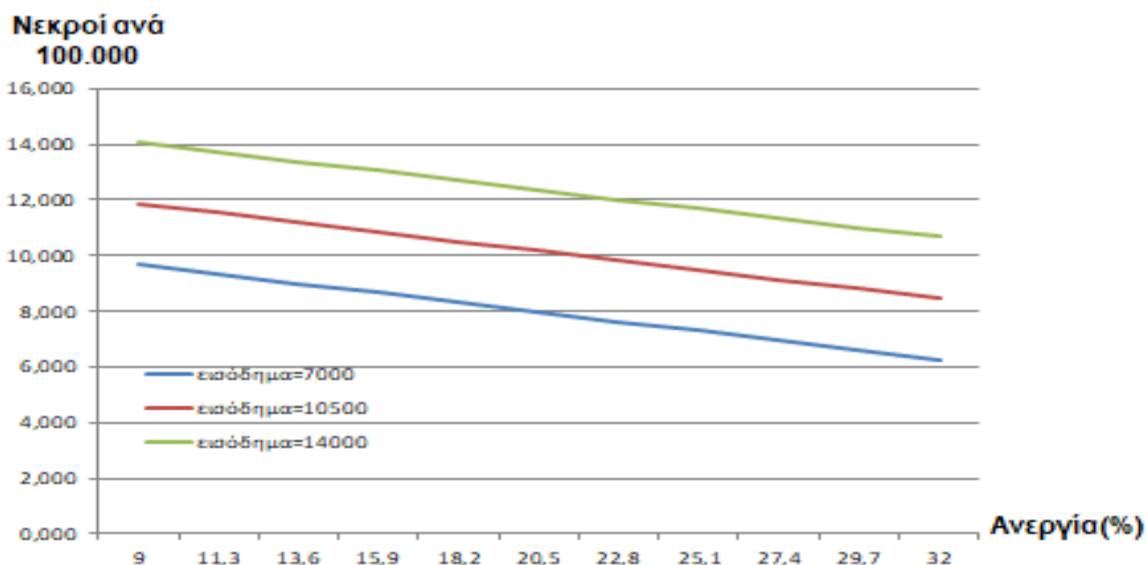
Εικόνα 5.5: Σχετική επιρροή μεταβλητών μοντέλου

5.3.1.5. Ανάλυση Ευαισθησίας

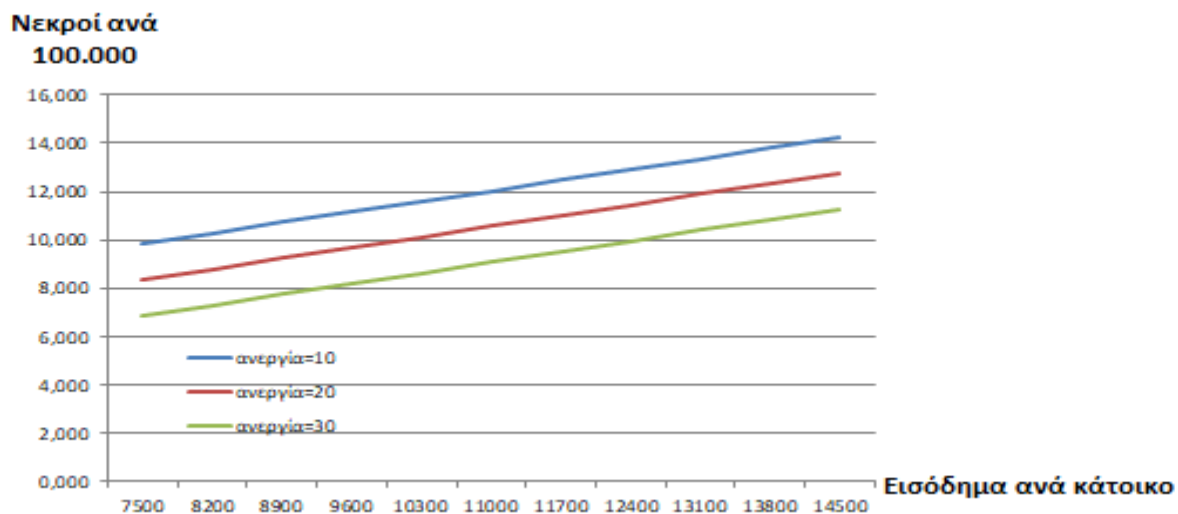
Για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή, αναπτύχθηκαν τα διαγράμματα ευαισθησίας. Τα διαγράμματα αυτά περιγράφουν την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής, στην περίπτωση μας των θανάτων ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό, για μεταβολή μιας εκ των ανεξάρτητων μεταβλητών, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμένουν σταθερές. Πραγματοποιήθηκαν συνδυασμοί για όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Κάθε φορά, μία μεταβλητή έπαιρνε τιμή ίση με τον μέσο όρο όλων των τιμών της, μια άλλη έπαιρνε μια τυχαία τιμή στο εύρος των τιμών που παρατηρήθηκαν και η τρίτη μεταβαλλόταν. Τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:



Εικόνα 5.6: Μεταβολή πυκνότητας για σταθερή τιμή ανεργίας(20,71%) και για τις ενδεικτικές τιμές εισοδήματος ανά κάτοικο.



Εικόνα 5.7: Μεταβολή ανεργίας για σταθερή πυκνότητα πληθυσμού (56,62 κάτοικοι/κμ²) και για τις ενδεικτικές τιμές εισοδήματος ανά κάτοικο.



Εικόνα 5.8: Μεταβολή εισοδήματος ανά κάτοικο για σταθερή τιμή πυκνότητας (56,62 κάτοικοι/κμ²) και για τις ενδεικτικές τιμές ποσοστού ανεργίας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτουν εύλογα τα εξής συμπεράσματα:

- Αύξηση της πυκνότητας κρατώντας σταθερές τις τιμές του εισοδήματος ανά κάτοικο και της ανεργίας, ο αριθμός των θανάτων ανά εκατό χιλιάδες μειώνεται γραμμικά (5.6). Μάλιστα, για μεγαλύτερο εισόδημα ο αριθμός των θανάτων αυξάνεται αντίστοιχα.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα 5.7, διατηρώντας σταθερή πυκνότητα και εισόδημα ανά κάτοικο, παρατηρούμε ότι μια πιθανή αύξηση της ανεργίας επιφέρει μια γραμμική πτώση των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες. Για μεγαλύτερη τιμή εισοδήματος, και εδώ ο αριθμός των θανάτων λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές.
- Για αύξηση του εισοδήματος ανά κάτοικο, ο αριθμός των θανάτων ανά εκατό χιλιάδες αυξάνεται γραμμικά, δεδομένων των σταθερών τιμών ανεργίας και πυκνότητας πληθυσμού(5.8). Για υψηλότερα ποσοστά ανεργίας, οι νεκροί ανά εκατό χιλιάδες μειώνονται.

5.3.2. Μοντέλο χωρίς την Περιφέρεια της Αττικής

5.3.2.1 Αποτέλεσμα μοντέλου

```
lm(formula = DEATHS_PER_100.000 ~ DENSITY + UNEMPLOYMENT + INCOME_PER_RESIDENT,
    data = regions)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.9476 -2.3863  0.0612  1.7941 10.0702

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   8.8217570   3.1514464   2.799  0.00600 **
DENSITY       -0.0392631   0.0129932  -3.022  0.00309 **
UNEMPLOYMENT  -0.1482406   0.0612721  -2.419  0.01710 *
INCOME_PER_RESIDENT 0.0006278   0.0002312   2.715  0.00764 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.946 on 116 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2207,    Adjusted R-squared:  0.2005
F-statistic: 10.95 on 3 and 116 DF,  p-value: 2.194e-06

> library(car)
Loading required package: carData
> vif(modell) #requires car package
          DENSITY          UNEMPLOYMENT INCOME_PER_RESIDENT
1.082114          1.500817          1.575402
```

Εικόνα 5.9: Αποτέλεσμα μοντέλου για χωρίς την Περιφέρεια Αττικής

5.3.2.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων μοντέλου

Από τα αποτελέσματα του μοντέλου της γραμμικής παλινδρόμησης για τις δώδεκα Περιφέρειες της Ελλάδας, χωρίς την Περιφέρεια Αττικής, προέκυψε η ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\text{Deaths_per_100.000} = 8,821757 - 0,03926 * \text{Density} - 0,14824 * \text{Unemployment} + 0,0006278 * \text{Income_per_resident}$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι:

Πυκνότητα πληθυσμού: Η πυκνότητα του πληθυσμού μια Περιφέρειας αποτελεί μέγεθος με αντιστρόφως ανάλογη επιρροή στους θανάτους ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό. Αύξηση του μεγέθους κατά μία μονάδα επιφέρει μείωση των θανάτων κατά 0,03926 μονάδες. Υψηλότερη πυκνότητα πληθυσμού ερμηνεύεται με αυξημένο πληθυσμό σε μια συγκεκριμένη έκταση. Αυτό αντικατοπτρίζεται κυρίως σε αστικές περιοχές. Σε τέτοιες περιοχές, οι χρήστες κινούνται στο οδικό δίκτυο με χαμηλότερες ταχύτητες, λόγω συμφόρησης. Ο αριθμός των ατυχημάτων ίσως είναι μεγαλύτερος από άλλες περιοχές, οι νεκροί από αυτά όμως θα είναι λιγότεροι εξαιτίας των χαμηλών ταχυτήτων που αναπτύσσονται.

Ανεργία: Η αύξηση του αριθμού των ανέργων μιας Περιφέρειας κατά μία μονάδα φαίνεται να προκαλεί μείωση των θανάτων κατά 0,14824 μονάδες. Λόγω της αυξημένης ανεργίας, οι χρήστες της οδού θα χρησιμοποιούν λιγότερο τα οχήματά τους, με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των οχηματοχιλιομέτρων, συνεπώς συμβαίνουν λιγότερα ατυχήματα. Επιπλέον, όσοι συνεχίσουν να χρησιμοποιούν τα οχήματά τους, πλέον θα οδηγούν με σταθερές ταχύτητες για να πετύχουν την ελάχιστη κατανάλωση καύσιμου και θα οδηγούν με περισσότερη ασφάλεια, καθώς ένα πιθανό ατύχημα θα τους κοστίσει ακριβιά. Εφόσον λοιπόν τα οδικά τροχαία ατυχήματα μειώνονται, υπάρχει άμεση μείωση των νεκρών από αυτά.

Εισόδημα ανά κάτοικο: Μια ενδεχόμενη αλλαγή στο εισόδημα ανά κάτοικο των περιφερειών κατά μια μονάδα επηρεάζει τους νεκρούς ανά εκατό χιλιάδες με αύξηση κατά 0,0006278 μονάδες. Και εδώ, όπως και στο προηγούμενο μοντέλο, η ερμηνεία οφείλεται στην αύξηση των επιβατοχιλιομέτρων που διανύονται, αύξηση που συνεπάγεται υψηλότερη έκθεση σε κίνδυνο για τους χρήστες της οδού.

5.3.2.3. Ποιότητα του μοντέλου

Αναφορικά με τα στατιστικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, φαίνεται ότι οι μεταβλητές και η σταθερά είναι στατιστικά σημαντικές με βάση το κριτήριο t-test. Οι συντελεστές των μεταβλητών παίρνουν λογικές τιμές για καθεμιά μεταβλητή και ο δείκτης ποιότητας R^2 παίρνει αποδεκτή τιμή σε σχέση με άλλα μοντέλα που δημιουργήθηκαν. Τέλος, οι δείκτες πολυγραμμικότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές και άρα οι μεταβλητές δεν μπορούν να προβλεφθούν με γραμμικό τρόπο μεταξύ τους.

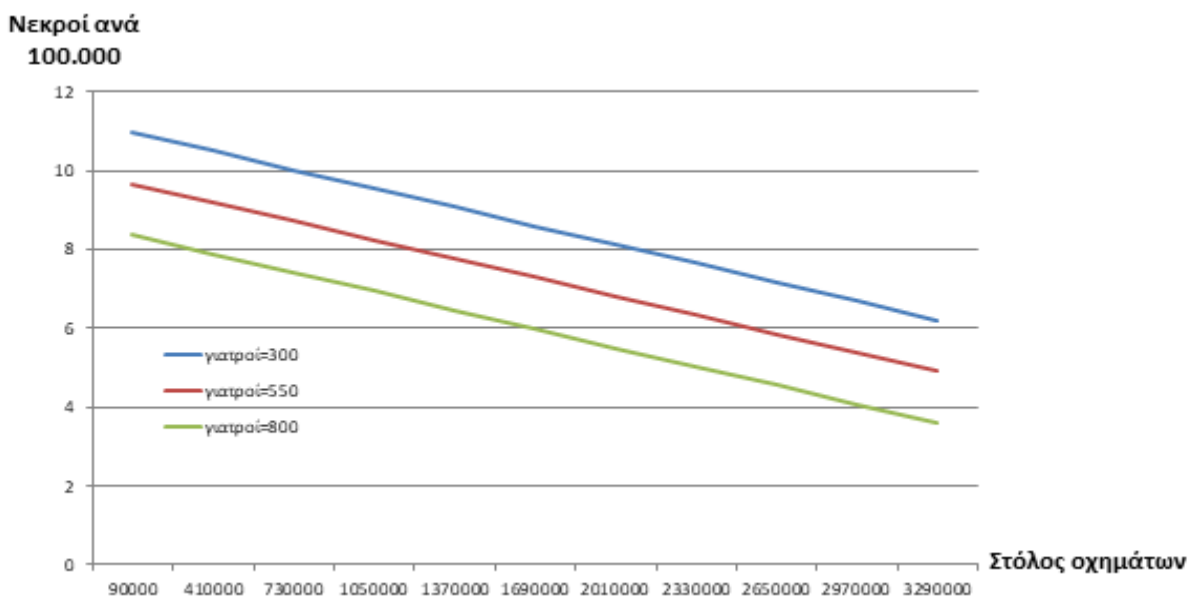
5.3.2.4. Σχετική επιρροή των μεταβλητών

Στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς την Περιφέρεια Αττικής, βλέπουμε ότι η ανεργία προκαλεί 1,4 φορές μεγαλύτερη επιρροή στην εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου σε σχέση με την πυκνότητα του πληθυσμού. Το εισόδημα ανά κάτοικο αντίστοιχα έχει 2,69 φορές μεγαλύτερη επιρροή. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

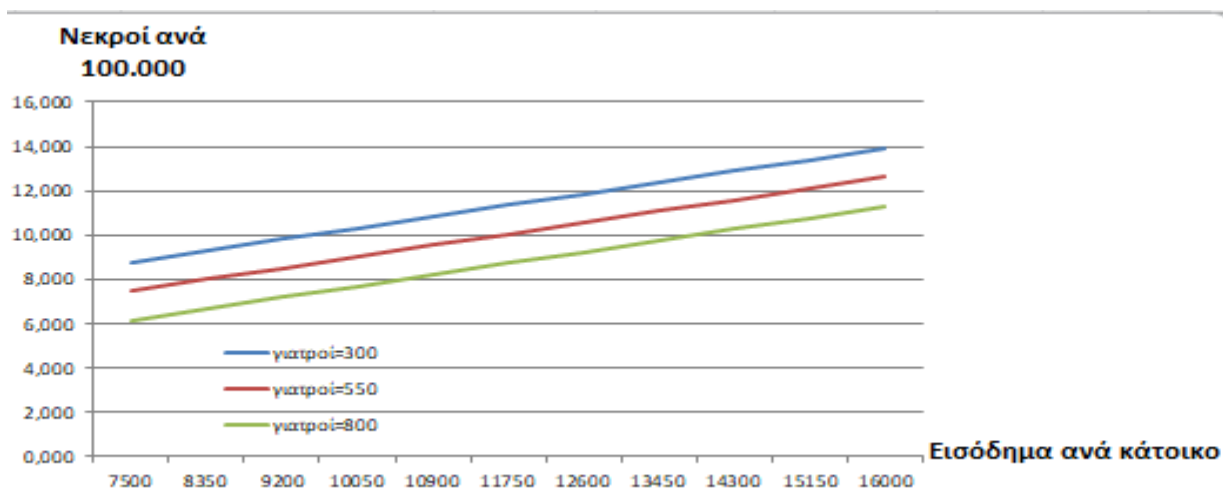
Ανεξάρτητες μεταβλητές	ΜΟΝΤΕΛΟ 2010-2019(ΧΩΡΙΣ ΑΤΤΙΚΗ)		
	Τιμές συντ.	Σχετική επιρροή	
		ei* (σχετική επιρροή)	ei (ελαστικότητα)
Σταθερός όρος	8,821		
Πυκνότητα	-0,039	-1,00	-0,238
Ανεργία	-0,148	-1,40	-0,334
Εισόδημα ανά κάτοικο	0,0006278	2,69	0,641

Εικόνα 5.10: Σχετική επιρροή μεταβλητών μοντέλου χωρίς Περιφέρεια Αττικής

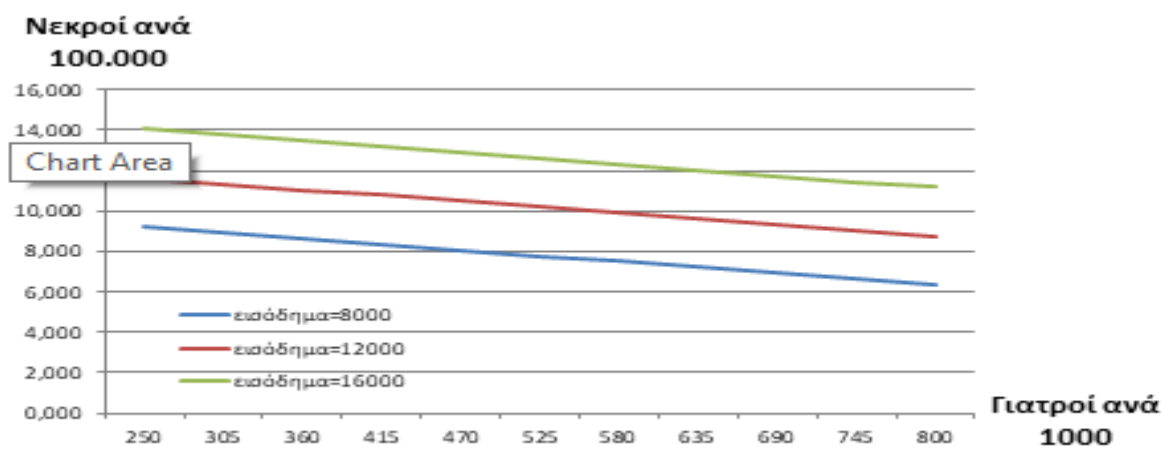
5.3.2.5. Ανάλυση ευαισθησίας



Εικόνα 5.11: Μεταβολή οχημάτων για σταθερή τιμή εισοδήματος ανά κάτοικο (1098,01) και για τις ενδεικτικές τιμές του αριθμού των γιατρών ανά χίλιους κατοίκους.



Εικόνα 5.12: Μεταβολή εισοδήματος ανά κάτοικο για σταθερή τιμή στόλου οχημάτων (504.451) και για τις ενδεικτικές τιμές του αριθμού των γιατρών ανά χίλιους κατοίκους



Εικόνα 5.13: Μεταβολή γιατρών ανά χίλιους κατοίκους για σταθερή τιμή στόλου οχημάτων (504.451) και για τις ενδεικτικές τιμές εισοδήματος ανά κάτοικο.

Από τα παραπάνω διαγράμματα ευαισθησίας προκύπτει ότι:

- Διατηρώντας σταθερή τιμή εισοδήματος ανά κάτοικο και σταθερό αριθμό γιατρών, αυξανόμενου του στόλου οχημάτων παρατηρείται ότι μειώνεται ο αριθμός των θανάτων ανά εκατό χιλιάδες (5.11). Για μεγαλύτερο αριθμό γιατρών, η θνησιμότητα μειώνεται.
- Βλέποντας το διάγραμμα 5.12 προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο αριθμός των νεκρών αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του εισοδήματος ανά κάτοικο, έχοντας σταθερές τιμές στον στόλο οχημάτων και στον αριθμό γιατρών. Οι τιμές των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες λαμβάνουν μικρότερες τιμές για αύξηση του αριθμού των γιατρών ανά χίλιους κατοίκους μιας Περιφέρειας.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα 5.13, με σταθερό αριθμό στόλου οχημάτων και σταθερό εισόδημα ανά κάτοικο, μια αύξηση του αριθμού των γιατρών επιφέρει μείωση των θανάτων ανά εκατό χιλιάδες. Υψηλότερη τιμή εισοδήματος φαίνεται να προκαλεί περισσότερους θανάτους ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό.

5.4. Το μοντέλο DEA

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το μοντέλο που προέκυψε σύμφωνα με τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε με σκοπό την κατάταξη των Περιφερειών και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις ασφαλείς ή μη Περιφέρειες της Ελλάδας. Το μοντέλο αυτό δεν συμπεριλαμβάνει την Περιφέρεια Αττικής. Η συγκεκριμένη Περιφέρεια θεωρήθηκε ακατάλληλη για το μοντέλο, μια που τα τεράστια νούμερα σε πληθυσμό, στόλο οχημάτων, ατυχήματα, νεκρούς και τραυματίες δεν θα απέδιδαν λογικά αποτελέσματα συγκριτικά με τις υπόλοιπες Περιφέρειες. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που εισήχθησαν για την παραγωγή του μοντέλου ήταν καθαροί αριθμοί, και όχι διαιρεμένα π.χ. επιλέχθηκε αριθμός νεκρών και όχι νεκροί ανά εκατό χιλιάδες πληθυσμό.

5.4.1. Διαδικασία παραγωγής μοντέλου

Για την παραγωγή του μοντέλου, αφού φορτώθηκαν οι απαραίτητες βιβλιοθήκες εντολών, τα δεδομένα του εγγράφου Excel φορτώθηκαν σε μια μεταβλητή με την οποία δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για την ανάπτυξη του μοντέλου. Έπειτα, ενώθηκαν όλες οι μεταβλητές που θα εισαχθούν στο μοντέλο σε έναν πίνακα. Κατόπιν, δημιουργείται η βάση δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί για το μοντέλο DEA, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δεδομένα του αρχείου Excel. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στις μεταβλητές εισόδου μέχρι να προκύψει το τελικό μοντέλο που δίνει τα ιδανικότερα αποτελέσματα. Τέλος, το μοντέλο αξιολογήθηκε ως προς τις επιδόσεις οδικής ασφάλειας των Περιφερειών.

Παρακάτω παρατίθενται ο κώδικας του R-studio που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μοντέλου, μια επεξήγηση των εντολών του κώδικα και τέλος τα αποτελέσματα του μοντέλου και η αιτιολόγηση τους.

5.4.2. Ο κώδικας του R-studio και επεξήγηση των εντολών του

```
#install.packages("deaR")
#START - package loading #####
rm(list=ls()) #NUKEM FOR CLEAN SLATE !!!
Sys.sleep(0.1) #Breather
options(scipen = 7)
library('deaR')
library('readxl')
data_dea <- read_excel("C:/./Best/DiplomaTheses/DT-Mihailoglou/KM.DIPLOMA_dea2eng-dn.xlsx")
View(data_dea)

data(package="deaR")

df <- data.frame(data_dea[[1]])
for (i in 2:length(data_dea)){
  df<-cbind(df,data_dea[[i]])
}
names(df) <- names(data_dea)

#output=fatalities, input=population, GDP, klp, idio me model
#Adapting the input-oriented CCR DEA model
data_basic <- read_data(data_dea,
                        ni = 1,
                        no = 3)

#Running the input-oriented CCR DEA model
result_dea <- model_basic(data_basic,
                          dmu_eval = 1:12,
                          dmu_ref = 1:12,
                          orientation = "io",
                          rts = "crs")

#Running the input-oriented CCR DEA model for DMU's in NFT
View(result_dea)

#Extract efficiency scores
efficiencies(result_dea)
```

Εικόνα 5.14: Κώδικας R-studio για την ανάπτυξη του μοντέλου με DEA

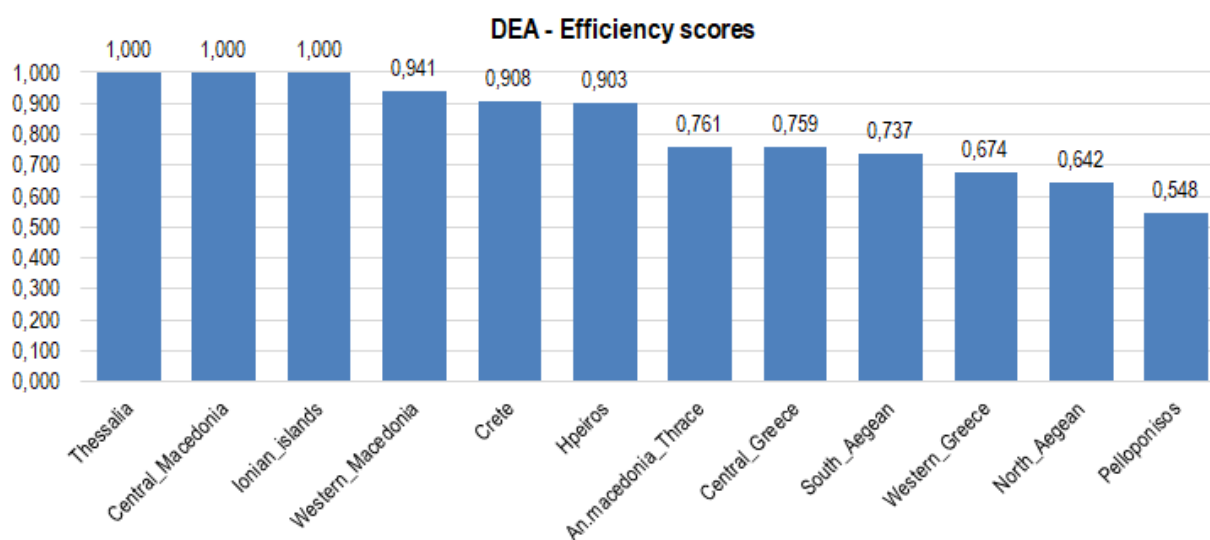
Εντολές που χρησιμοποιήθηκαν

- `Rm(list=ls())` → διαγράφει όλα τα υπάρχοντα αντικείμενα πριν την εκτέλεση του Κώδικα
- `Sys.sleep()` → επιτρέπει στην R να σταματήσει για το χρονικό διάστημα που αναγράφεται στην παρένθεση, προτού συνεχίσει την εκτέλεση των εντολών
- `Options()` → επιτρέπει την εξέταση και αλλαγή ορισμένων επιλογών
- `Install.packages()` → εγκαθιστά ένα «πακέτο» εντολών, το όνομα του οποίου αναγράφεται μέσα στην παρένθεση
- `Library()` → φορτώνει το πακέτο εντολών που βρίσκεται μέσα στην παρένθεση, έτσι ώστε οι εντολές του πακέτου να είναι έτοιμες προς χρήση
- `Read.excel()` → διαβάζει ένα αρχείο μορφής Excel
- `View()` → ανοίγει σε νέα καρτέλα ένα αντικείμενο με μορφή πίνακα
- `Data.frame()` → δημιουργεί ένα νέο πλαίσιο δεδομένων για χρήση
- `Cbind()` → συνενώνει τις στήλες που επιλέχθηκαν από έναν πίνακα
- `Names()` → προσδιορίζει την ονομασία συγκεκριμένων αντικειμένων
- `Read_data()` → Διαβάζει διαφορετικούς τύπου δεδομένων από μία πηγή και τα αποθηκεύει σε ένα πλαίσιο δεδομένων για χρήση
- `Model_basic()` → Δημιουργεί ένα βασικό μοντέλο DEA αξιολογώντας κάθε μεταβλητή, με βάση τα δεδομένα εισόδου και θέτοντας τα δεδομένα εξόδου ως σταθερές τιμές
- `Efficiencies()` → Υπολογίζει την αποδοτικότητα των συγκρίσιμων μεγεθών, στην παρούσα εργασία τις Περιφέρειες της Ελλάδας

5.4.3. Αποτελέσματα μοντέλου

Μεταβλητή εισόδου: Αριθμός θανάτων

Μεταβλητές εξόδου: πληθυσμός, εισόδημα, στόλος οχημάτων



Εικόνα 5.15: Αποτελέσματα μοντέλου DEA

5.4.4. Αιτιολόγηση αποτελεσμάτων

Πριν την τελική επιλογή του μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμές με διαφορετικούς συνδυασμούς μεταβλητών εξόδου και διαφορετική μεταβλητή εισόδου. Τελικώς, επιλέχθηκαν ως μεταβλητές εξόδου ο πληθυσμός, το συνολικό εισόδημα και ο στόλος οχημάτων κάθε Περιφέρειας και ως μεταβλητή εισόδου ο συνολικός αριθμός νεκρών από οδικά τροχαία ατυχήματα. Το μοντέλο αυτό κρίθηκε το καταλληλότερο.

Παρατηρούμε ότι οι Περιφέρειες με το υψηλότερο δείκτη επίδοσης είναι η Θεσσαλία, η Κεντρική Μακεδονία και τα Ιόνια Νησιά. Στις εν λόγω Περιφέρειες εργάζεται μεγάλος αριθμός γιατρών, πράγμα που λειτουργεί ανασταλτικά στη θνησιμότητα από οδικά ατυχήματα, όπως έχει διαπιστωθεί και στη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Μάλιστα, παρατηρείται ότι οι εν λόγω Περιφέρειες διαθέτουν μεγάλο στόλο οχημάτων ανά πληθυσμό και σε συνδυασμό με το χαμηλό αριθμό νεκρών ανά πληθυσμό, αποδίδουν καλύτερα σε θέματα οδικής ασφάλειας.

Αντίθετα, η Πελοπόννησος και το Νότιο Αιγαίο, Περιφέρειες με το χειρότερο δείκτη επίδοσης στα οδικά ατυχήματα, διαθέτουν σχετικά χαμηλό αριθμό οχημάτων ανά πληθυσμό και αριθμό γιατρών συγκριτικά με τις υπόλοιπες Περιφέρειες. Επίσης, διαθέτουν υψηλό αριθμό νεκρών ανά πληθυσμό. Συνεπώς, και τα τρία παραπάνω στοιχεία εντείνουν τα οδικά τροχαία ατυχήματα και στη συνέχεια τους θανάτους που προκύπτουν από αυτά.

	<i>Fat/pop</i>		REGIONS	<i>VEH/POP</i>		REGIONS	PHYSICIANS
Thessalia	5,6		Crete	650,9		Hpeiros	702,35
Central_Macedonia	5,8		Ionian_islands	581,2		Central_Macedonia	628,48
Ionian_islands	7,9		Central_Macedonia	537,0		Crete	621,14
Western_Macedonia	6,4		Western_Macedonia	532,0		Ionian_islands	522,76
Crete	7,7		Hpeiros	503,7		Thessalia	520,52
Hpeiros	6,3		Thessalia	499,4		An.macedonia_Thrace	497,17
An.macedonia_Thrace	7,4		An.macedonia_Thrace	497,0		Western_Greece	488,93
Central_Greece	7,4		Western_Greece	463,1		Pelloponisos	381,11
South_Aegean	10,6		South_Aegean	457,5		North_Aegean	363,38
Western_Greece	8,3		Central_Greece	416,4		Western_Macedonia	355,23
North_Aegean	8,7		North_Aegean	394,6		South_Aegean	347,90
Pelloponisos	10,3		Pelloponisos	376,8		Central_Greece	305,05

Εικόνα 5.16: Περιφέρειες και αριθμός θανάτων/πληθυσμό, αριθμός οχημάτων/πληθυσμό και αριθμός γιατρών

Συνεπώς, τα αποτελέσματα του μοντέλου DEA είναι λογικά για τις δεδομένες μεταβλητές. Φυσικά, τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να είναι πληρέστερα αν υπήρχαν διαθέσιμες κάποιες περαιτέρω πληροφορίες για κάθε Περιφέρεια. Συγκεκριμένα, θα ήταν χρήσιμο αν υπήρχε κάποιος δείκτης αξιολόγησης της ποιότητας του οδικού δικτύου κάθε Περιφέρειας, μια που το οδικό δίκτυο παίζει σπουδαίο ρόλο στην οδική ασφάλεια των χρηστών της οδού. Εξίσου σημαντικός είναι και ο παράγοντας της αστυνόμευσης, μια που η απουσία της οδηγεί αναπόφευκτα σε περισσότερες παραβάσεις του Κ.Ο.Κ από τους χρήστες, παραβάσεις που συχνά οδηγούν σε ατυχήματα.

6. Συμπεράσματα

6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων

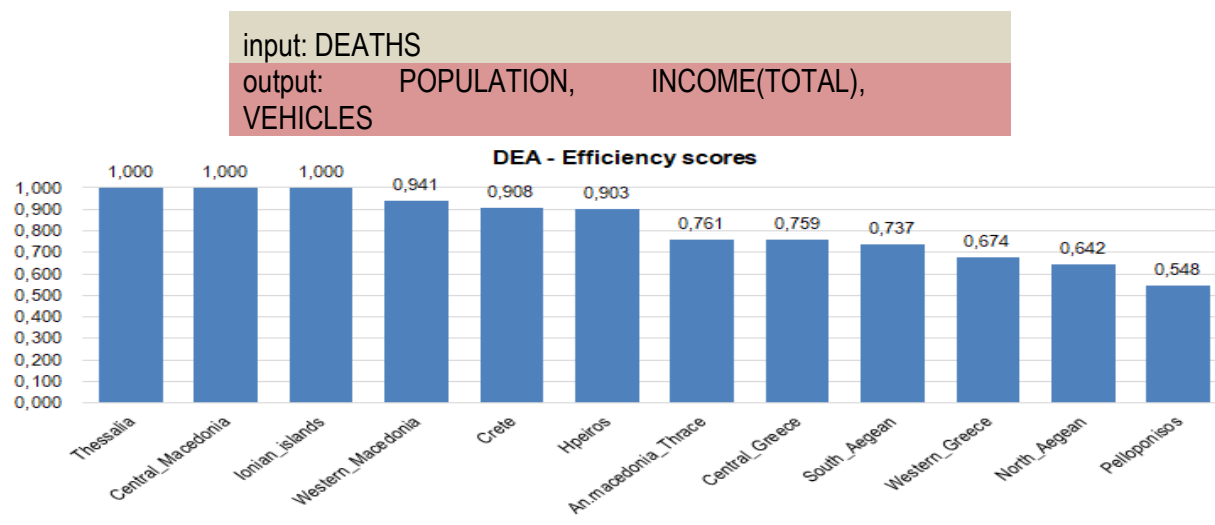
Ο στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάλυση των επιδόσεων οδικής ασφάλειας στις Περιφέρειες της Ελλάδας. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία οδικών ατυχημάτων και τα βασικά χαρακτηριστικά των Περιφερειών για τη χρονική περίοδο 2010-2019. Η συλλογή των απαραίτητων αυτών στοιχείων για την ανάλυση πραγματοποιήθηκε από τις ιστοσελίδες της ΕΛ.ΣΤΑΤ. και της EUROSTAT και η αποθήκευση και επεξεργασία τους για χρήση έγινε στο Excel.

Αναπτύχθηκαν καταρχήν 2 μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας με και χωρίς την Περιφέρεια Αττικής, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	μοντέλο με Αττική			μοντέλο χωρίς Αττική		
	βι	t	ei*	βι	t	ei*
σταθερά	6,591	2,856	-	8,821	2,799	-
αριθμός οχημάτων	-0,00000149	-2,871	-1	-	-	-
εισόδημα/κάτοικο	0,0006036	3,393	6,33	0,000628	2,715	2,69
αριθμός γιατρών	-0,005241	-1,99	-2,77	-	-	-
Ανεργία	-	-	-	-0,14824	-2,419	-1,4
πυκνότητα πληθυσμού	-	-	-	-0,03926	-3,022	-1
R ²	0,2538			0,2207		

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης

Στη συνέχεια αξιοποιήθηκε η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA-Data Envelopment Analysis) για την κατάταξη των 12 Περιφερειών (εκτός της Αττικής) ως προς τις επιδόσεις οδικής ασφάλειας, με βάση τον πληθυσμό, το συνολικό εισόδημα και τον αριθμό οχημάτων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 6.1: Αποτελέσματα μοντέλου DEA

6.2. Συνολικά συμπεράσματα

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων που συνδέονται με τους αρχικούς στόχους που τέθηκαν και παρουσιάζουν ενδιαφέρον από άποψη οδικής ασφάλειας. Τα κύρια συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- **Όσο αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων τόσο μειώνεται ο αριθμός των θανάτων** ανά 100.000 κατοίκους, γεγονός που επιβεβαιώνεται ότι συμβαίνει στις ανεπτυγμένες χώρες. Η αύξηση των οχημάτων που κυκλοφορούν στο οδικό δίκτυο μιας Περιφέρειας οδηγεί σε αυξημένους κυκλοφοριακούς φόρτους και συνήθως χαμηλότερες ταχύτητες, με συνέπεια να μειώνεται και η συχνότητα των οδικών ατυχημάτων αλλά και η σοβαρότητά τους.
- **Η αύξηση του εισοδήματος ανά κάτοικο οδηγεί σε ανάλογη αύξηση των θανάτων** ανά 100.000 κατοίκους. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρήστες της οδού χρησιμοποιούν περισσότερο τα οχήματα τους, διανύοντας περισσότερα επιβατοχιλιόμετρα και μένουν εκτεθειμένοι περισσότερο στον κίνδυνο. Επιπλέον, ίσως λόγω του υψηλότερου εισοδήματος, διαθέτουν πιο ακριβά και πιο γρήγορα οχήματα, με τα οποία οδηγούν πιο επικίνδυνα και με υψηλότερες ταχύτητες.
- **Η αύξηση της ανεργίας οδηγεί σε μείωση των θανάτων** ανά 100.000 πληθυσμό. Ενδεχομένως όταν υπάρχει υψηλή ανεργία, λιγότεροι πολίτες θα προχωρήσουν σε αγορά οχήματος, αφού δεν θα μπορούν ούτε να το αγοράσουν ούτε να το συντηρήσουν και μάλιστα θα χρησιμοποιούν τα οχήματα τους λιγότερο για οικονομία και ίσως να χρησιμοποιούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς που είναι ασφαλέστερα. Δηλαδή, μειώνονται τα οχηματοχιλιόμετρα, με άμεση επίπτωση τη μείωση των ατυχημάτων και των επερχόμενων θανάτων από αυτά. Παράλληλα, όσοι χρησιμοποιούν τα οχήματα τους, θα οδηγούν πλέον με σταθερές ταχύτητες για την καλύτερη κατανάλωση των καυσίμων και θα είναι πιο προσεκτικοί στο δρόμο, μια που ένα ατύχημα θα τους στοιχήσει αρκετά σε συνδυασμό με την υψηλή ανεργία.

- **Η αύξηση της πυκνότητα πληθυσμού μιας Περιφέρειας οδηγεί σε μείωση του αριθμού των θανάτων** από οδικά ατυχήματα. Υψηλότερη πυκνότητα πληθυσμού σε πολίτες ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ενδεχομένως οδηγεί σε υψηλότερο κυκλοφοριακό φόρτο, επειδή οι οδηγοί θα χρησιμοποιούν τους ίδιους δρόμους για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους, με πιθανό αποτέλεσμα τα οχήματα να κυκλοφορούν με χαμηλότερες ταχύτητες και τα θανατηφόρα ατυχήματα να μειώνονται.
- **Αύξηση του αριθμού των γιατρών (ανά χίλιους κατοίκους) οδηγεί σε μείωση του αριθμού των θανάτων** από οδικά ατυχήματα. Υψηλός αριθμός γιατρών σημαίνει ίσως ότι μετά από ένα ατύχημα, ένας γιατρός θα είναι πιθανότατα διαθέσιμος για την περίθαλψη των τραυματιών. Ο αριθμός των γιατρών αποτελεί δείκτη της οικονομίας μιας περιοχής. Όπως έχει αποδειχτεί από σχετικές βιβλιογραφίες, τέτοιοι οικονομικοί δείκτες σχετίζονται με τη μείωση των οδικών τροχαίων ατυχημάτων και των θυμάτων σε αυτά.
- Στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης χωρίς την Περιφέρεια Αττικής η ανεργία προκαλεί 1,4 φορές μεγαλύτερη επιρροή στον αριθμό των θανάτων ανά 100.000 σε σχέση με την πυκνότητα του πληθυσμού. Το εισόδημα ανά κάτοικο αντίστοιχα έχει 2,69 φορές μεγαλύτερη επιρροή.
- Σχετικά με το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για όλες τις Περιφέρειες της Ελλάδας, συμπεραίνουμε ότι το εισόδημα ανά κάτοικο επηρεάζει τους θανάτους ανά 100 χιλιάδες 6,33 φορές περισσότερο σε σχέση με τον αριθμό των οχημάτων, ενώ ο αριθμός των γιατρών 2,77 φορές περισσότερο.

- Όλες οι Περιφέρειες εκτός του Βόρειου Αιγαίου παρουσιάζουν υψηλές μειώσεις στο ποσοστό των ατυχημάτων, των νεκρών και των τραυματιών για τα έτη 2010 και 2019. Το Βόρειο Αιγαίο παρουσιάζει αύξηση της τάξεως του 10-15% στους νεκρούς, τα ατυχήματα και τους βαριά τραυματίες για το έτος 2019 σε σχέση με το 2010. Οι ελαφρά τραυματίες έχουν μια ελάχιστη πτώση της τάξεως του 5%.
- Όσον αφορά στο μοντέλο της μεθόδου DEA, παρατηρούμε ότι οι Περιφέρειες της Θεσσαλίας, της Κεντρικής Μακεδονίας και των Ιόνιων Νήσων είναι οι πλέον αποδοτικές με σκορ ίσο με 1. Οι υπόλοιπες Περιφέρειες δεν είναι αποδοτικές με τις χειρότερες από αυτές να είναι αυτή της Πελοποννήσου με σκορ 0,54 και αυτή του Βόρειου Αιγαίου με σκορ 0,64.

6.3. Προτάσεις για βελτίωση της οδικής ασφάλειας

Με το πέρας της έρευνας της παρούσας Εργασίας και την εξαγωγή αποτελεσμάτων και των τελικών συμπερασμάτων, γίνεται μια προσπάθεια διατύπωσης εύλογων προτάσεων που αντικατροπρίζονται στις πραγματικές συνθήκες των Περιφερειών της Ελλάδας. Οι προτάσεις αυτές ενδέχεται να βελτιώσουν τα επίπεδα οδικής ασφάλειας και να μειώσουν τα τροχαία ατυχήματα και τους παθόντες αυτών.

- Αρχικό μέτρο για την διασφάλιση καλύτερης οδικής ασφάλειας είναι η **αυστηρότερη και συστηματικότερη αστυνόμευση**. Οι οδηγοί, βλέποντας πως πολλές κύριες οδικές αρτηρίες αστυνομεύονται, θα αποφεύγουν την οδήγηση υπό την επήρεια ουσιών ή αλκοόλ και θα ελαχιστοποιήσουν τις παράνομες κινήσεις. Όταν μάλιστα γνωρίζουν ότι πιθανό παράπτωμα επιφέρει αυστηρές ποινές, σίγουρα θα ελαττώσουν όλες τις ενέργειες που πιθανόν θα οδηγούσαν σε τροχαίο ατύχημα.

- Επιπλέον, μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης των επιδόσεων οδικής ασφάλειας των περιφερειών, δίνεται η ευκαιρία να εντοπιστούν οι Περιφέρειες με τις καλύτερες επιδόσεις και να αποτελέσουν πρότυπα για τις υπόλοιπες Περιφέρειες μέσω διαφόρων καλών πρακτικών οδικής ασφάλειας που εφαρμόζουν.
- Θα πρέπει να υπάρχουν στρατηγικά σχέδια οδικής ασφάλειας και να τίθενται στόχοι σε επίπεδο Περιφέρειας. Κάθε Περιφέρεια πρέπει να έχει συγκεκριμένους στόχους για τη μείωση των ατυχημάτων και των παθόντων καθώς και για τη συντήρηση του οδικού δικτύου, ώστε να κινδυνεύουν όσο το δυνατόν λιγότερο οι χρήστες της οδού.

6.4. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την ευρύτερη μελέτη του αντικειμένου της οδικής ασφάλειας και των τροχαίων ατυχημάτων των Περιφερειών, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση των παρακάτω:

- Συλλογή δεδομένων και μεταβλητών από μεγαλύτερο χρονικό εύρος, έτσι ώστε να φανεί ακόμα περισσότερο η μεταβολή των θανάτων και των ατυχημάτων ανά χρόνο.
- Συλλογή περισσότερων δεδομένων για κάθε Περιφέρεια, όπως π.χ. μήκος οδικού δικτύου, μήκος υπεραστικών οδών κ.ά.. Συμπεριλαμβανομένων των επιπλέον μεταβλητών, θα διαμορφωνόταν μια πιο σφαιρική εικόνα για την επίδοση στην οδική ασφάλεια των Περιφερειών στα οδικά τροχαία ατυχήματα.
- Σύγκριση αποτελεσμάτων με αντίστοιχα μοντέλα άλλων χωρών, όπως για παράδειγμα τα Κράτη - Μέλη και οι Περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

- Έρευνα αναφορικά με τους Νομούς της Ελλάδας και κατάταξη αυτών, όπως ακριβώς έγινε και με τις Περιφέρειες.

- Έρευνα με τη χρήση της μεθόδου DEA, χρησιμοποιώντας όμως το μοντέλο Malmquist. Με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση και κατάταξη των περιφερειών βάσει μεγαλύτερης χρονικής περιόδου, εν αντιθέσει με την παρούσα εργασία που έγινε για το έτος 2019.

- Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της συσχέτισης των ίδιων δεικτών με τον αριθμό των νεκρών ανά εκατό χιλιάδες στα οδικά ατυχήματα με χρήση άλλων στατιστικών μεθόδων. Για παράδειγμα, θα ήταν χρήσιμο να συγκεντρωθούν στοιχεία για μεγαλύτερο χρονικό εύρος και να γίνει χρήση ανάλυσης χρονοσειρών.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΛ.ΣΤΑΤ. – Ελληνική Στατιστική Αρχή. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- EUROSTAT –Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Ε.Μ.Υ. – Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία <http://www.hnms.gr/emyl/>
- Άρθρο από ΤΟ ΒΗΜΑ- <https://www.tovima.gr/2016/12/02/society/o-xartis-twn-troxaiwn-atyximatwn-stin-ellada/>
- Οδικά τροχαία ατυχήματα:Επιδημιολογία, παράγοντες κινδύνου και μέτρα πρόληψης, Μ. Καρδαρά, Α. Παπαζαφειροπούλου, Σ. Παππάς (2009)
- Leigh, J. P., & Waldon, H. M. (1991). Unemployment and highway fatalities. *Journal of health politics, policy and law*, 16(1), 135-156.
- Yannis, G., Papadimitriou, E., & Folla, K. (2014). Effect of GDP changes on road traffic fatalities. *Safety science*, 63, 42-49.
- Clark, D. E. (2003). Effect of population density on mortality after motor vehicle collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 35(6), 965-971.
- Law, T. H., Evans, A. W., & Noland, R. B. (2007, January). The Role of medical care and technology improvements in reducing motorcyclist fatalities. In *Proceedings of the 39th universities transport study group conference, Harrogate, UK* (pp. 3-5).
- Egilmez, G., & McAvoy, D. (2013). Benchmarking road safety of US states: a DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis & Prevention*, 53, 55-64.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Vanhoof, K., Brijs, T., & Wets, G. (2010). A DEA-based Malmquist productivity index approach in assessing road safety performance. In *Computational Intelligence: Foundations and Applications* (pp. 923-928).
- Bastos, J. T., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Ferraz, A. C. P. (2015). Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research. *Accident Analysis & Prevention*, 81, 61-73.

- Behnood, H. R., Ayati, E., Brijs, T., Neghab, M. P., & Shen, Y. (2017, October). A fuzzy decision-support system in road safety planning. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 170, No. 5, pp. 305-317). Thomas Telford Ltd.
- Kang, L., & Wu, C. (2021). Measuring the development of Chinese provincial road safety over the period 2007–2016. *Measurement*, 175, 109133.