

**ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΩΝ ΟΔΩΝ****Γιώργος Γιάννης***Επίκουρος Καθηγητής**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: geyannis@central.ntua.gr***Κωνσταντίνος Αντωνίου***Δρ. Συγκοινωνιολόγος Μηχανικός***Γιώργος Καπότσης***Συγκοινωνιολόγος Μηχανικός**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής,
Ηρ. Πολυτεχνείου 5, 15773, Αθήνα, τηλ.: 210-7721326, φαξ: 210-7721454*

Περίληψη: Η επικινδυνότητα της οδού εξαρτάται από σειρά παραγόντων, αρκετοί από τους οποίους αφορούν στο οδικό περιβάλλον. Στην εργασία παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για την εκτίμηση της σχετικής επιρροής διακριτών παραμέτρων, όπως ο αριθμός των κατευθύνσεων και των λωρίδων της οδού, ο τύπος της περιοχής και οι καιρικές συνθήκες, για τις οποίες η έννοια της ελαστικότητας (elasticity) δεν ορίζεται. Η μεθοδολογία βασίζεται στην εκτίμηση γενικευμένων γραμμικών μαθηματικών προτύπων με τη χρήση των στατιστικών κατανομών Poisson και quasi-Poisson. Από την εφαρμογή των προτύπων προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα και διατυπώνονται οι σχετικές πρακτικές προτάσεις για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της οδού και της αντίστοιχης ασφάλειας στο οδικό δίκτυο της Ελλάδας.

Λέξεις - κλειδιά: Οδικά ατυχήματα, οδοποιία, χαρακτηριστικά οδού, σχετική επιρροή

CORRELATION OF ROAD RISK WITH SELECTED INTERURBAN ROAD CHARACTERISTICS

George Yannis

Assistant Professor

National Technical University of Athens, email: geyannis@central.ntua.gr

Constantinos Antoniou

Dr. Transportation Engineer

George Kapotsis

Transportation Engineer

National Technical University of Athens, Department of Transportation Planning and Engineering, 5 Iroon Politechniou, 15773, Athens, tel: 210-7721326, fax: 210-7721454

Abstract: Road risk depends on several characteristics of the road environment. A methodology for the estimation of the relative impact of discrete road related parameters, for which the measure of elasticity cannot be defined, is presented in this paper. Many parameters, such as the number of directions and lanes of the road, the type of the area and the weather conditions, are often defined as discrete parameters, and therefore this approach has many practical applications. The methodology is based on the estimation of generalized linear models using the Poisson and quasi-Poisson statistical distributions. Useful conclusions are extracted from the application of these models, and related practical recommendations are formulated for the improvement of the road characteristics and related road safety in the Greek highway network.

Keywords: Road safety, highway-engineering, road characteristics, relative impact

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βελτίωση της οδικής ασφάλειας είναι ένα σημαντικό ζήτημα που απασχολεί όλες τις σύγχρονες κοινωνίες. Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό ενός συντονισμένου σχεδίου βελτίωσης της οδικής ασφάλειας αποτελεί η εκτίμηση του αναμενόμενου οφέλους που μπορεί να προκύψει από διάφορες εναλλακτικές επεμβάσεις. Στις Η.Π.Α. εκτελείται αυτή τη στιγμή μια σημαντική προσπάθεια για τη δημιουργία ενός εγχειριδίου οδικής ασφάλειας (<http://www.highwaysafetymanual.org/>), το οποίο θα προβλέπει παραμέτρους που θα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του επιπέδου οδικής ασφάλειας της κάθε οδού σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της. Η λογική που παρουσιάζεται είναι αντίστοιχη εκείνης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας στο Highway Capacity Manual (HCM, 2000). Συγκεκριμένα, ο εκτιμώμενος αριθμός ατυχημάτων N για ένα οδικό τμήμα ή μια διασταύρωση εξαρτάται από έναν αριθμό ατυχημάτων βάσης N_B και έναν αριθμό παραμέτρων προσαρμογής (accident modification factors, AMF), ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της οδού και του περιβάλλοντος της:

$$N = N_B C(AMF_1, AMF_2, \dots, AMF_n) \quad (1)$$

όπου C είναι μια σχέση που συσχετίζει τις παραμέτρους προσαρμογής με τον αριθμό των ατυχημάτων.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της σχετικής επιρροής ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών της οδού και του περιβάλλοντος της στην οδική ασφάλεια. Αναπτύσσεται ειδική μεθοδολογία που βασίζεται στη χρήση γενικευμένων γραμμικών μαθηματικών προτύπων με χρήση κατάλληλων στατιστικών κατανομών, ενώ προτείνεται μια προσέγγιση που επιτρέπει τη σύγκριση της σχετικής επιρροής διακριτών παραμέτρων (για τις οποίες η έννοια της ελαστικότητας δεν ορίζεται).

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί μια ευρύτατα χρησιμοποιούμενη στατιστική μεθοδολογία, λόγω και της ευκολίας εφαρμογής της. Στην πράξη, όμως, οι υποθέσεις της μεθοδολογίας αυτής συχνά παραβιάζονται, χωρίς πολλές φορές αυτό να αναγνωρίζεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκτίμηση και εφαρμογή στατιστικά εσφαλμένων μαθηματικών προτύπων, τα οποία χωρίς τους κατάλληλους ελέγχους μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες προβλέψεις. Η πλέον συνηθισμένη σχετική παραβίαση στην οδική ασφάλεια έχει να κάνει με την κατανομή που ακολουθούν τα δεδομένα, η οποία συχνά δεν είναι η κανονική αλλά η κατανομή Poisson (π.χ. Nicholson and Wong, 1993). Ακόμα και η κατανομή Poisson, όμως, κρίνεται συχνά ανεπαρκής για την περιγραφή των δεδομένων, καθώς πολλές φορές υπάρχει μεγαλύτερη (ή μικρότερη) διασπορά (Maycock and Hall, 1984). Αυτό το φαινόμενο αντικρούει την υπόθεση της κατανομής Poisson ότι η διακύμανση ισούται με τη μέση τιμή. Μία πρακτική επίπτωση αυτής της λανθασμένης παραδοχής θα ήταν η υπό-εκτίμηση των τυπικών σφαλμάτων των παραμέτρων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη αποδοχή στατιστικά ασήμαντων παραμέτρων του προτύπου ως σημαντικές.

Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κατανομή quasi-Poisson, η οποία άρει τον περιορισμό ότι ο λόγος της διακύμανσης προς τη μέση τιμή ισούται με τη μονάδα και επιτρέπει την εκτίμηση μιας παραμέτρου διασποράς. Οι Maycock and Hall (1984) έδειξαν

ότι σε αντίστοιχα αποτελέσματα μπορεί να οδηγήσει και η χρήση της αρνητικής διωνυμικής κατανομής, την οποία χρησιμοποίησαν σε εφαρμογές οδικής ασφάλειας και οι Μιαου (1994) και Wood (2002). Οι Maher και Summersgill (1996) αναφέρουν ότι η χρήση των δύο κατανομών (quasi-Poisson και αρνητική διωνυμική) μπορεί να δώσει αντίστοιχα αποτελέσματα, αν και επισημαίνουν ότι μπορεί να έχουν και αρκετά διαφορετικές ιδιότητες πρόβλεψης. Οι Lord et al. (2005) εξετάζουν τη χρήση διαφόρων κατανομών, περιλαμβανομένων των Poisson, αρνητική διωνυμική (ή Poisson-γάμμα), και zero-inflated Poisson στην προτυποποίηση δεδομένων οδικής ασφάλειας.

Τα γενικευμένα γραμμικά πρότυπα (generalized linear models, GLM) αποτελούν μία μεθοδολογία που επεκτείνει τη γραμμική παλινδρόμηση, επιτρέποντας τη χρήση άλλων στατιστικών κατανομών (McCullagh and Nelder, 1989, Dobson, 1990, Gill, 2000). Οι Yannis et al., (2007) παρουσιάζουν τη μεθοδολογία, καθώς και ένα παράδειγμα χρήσης της στην οδική ασφάλεια. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία, καθώς προσφέρει ένα ενοποιημένο πλαίσιο για την εφαρμογή των εναλλακτικών κατανομών.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η συλλογή δεδομένων βασίστηκε κυρίως στη βάση δεδομένων οδικών ατυχημάτων του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ με βάση τα στοιχεία που συλλέγει η Τροχαία και επεξεργάζεται η ΕΣΥΕ. Από τα διαθέσιμα στοιχεία, επιλέχθηκε να μελετηθούν τα ατυχήματα που συμβαίνουν στο υπεραστικό οδικό δίκτυο της χώρας ως προς τον αριθμό ατυχημάτων. Η επιλογή αυτή έγινε καταρχήν διότι οι δείκτες θανατηφόρων ατυχημάτων και ατυχημάτων με σοβαρούς τραυματισμούς είναι υψηλότεροι στις υπεραστικές οδούς λόγω κυρίως των υψηλότερων ταχυτήτων. Παράλληλα, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια χαρακτηριστικών από ότι εκείνα σε αστικές οδούς με αποτέλεσμα να καθίσταται πιο εύκολη η εξαγωγή και γενίκευση συμπερασμάτων από το εξεταζόμενο δείγμα για το μήκος του οδικού δικτύου. Οι τελικές μορφές των μαθηματικών προτύπων προέκυψαν από ανάλυση διαφόρων εναλλακτικών και εκτιμήθηκαν με χρήση ειδικού στατιστικού λογισμικού (R Development Core Team, 2007) με το πακέτο `dispmod`. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν διαφορετικές στατιστικές κατανομές (Poisson, quasi-Poisson) για την εκτίμηση γενικευμένων γραμμικών προτύπων.

Στο τελικό μαθηματικό πρότυπο περιέχονται οι εξής μεταβλητές, οι οποίες έχουν κωδικοποιηθεί ως παράγοντες (factors), δηλαδή διακριτές μεταβλητές με τιμές 0/1 (για τις τρεις περιπτώσεις) ή 1, 2, 3, ή 4 (για την τελευταία):

- Εντός/εκτός κατοικημένης περιοχής: τα οδικά τμήματα που βρίσκονται εντός κατοικημένης περιοχής χρησιμοποιούνται ως επίπεδο αναφοράς, δηλαδή έχουν τιμή της παραμέτρου ίση με 0, ενώ τα οδικά τμήματα εκτός κατοικημένης περιοχής έχουν τιμή 1.
- Καιρικές συνθήκες: οι καλές καιρικές συνθήκες θεωρούνται ως επίπεδο αναφοράς (τιμή παραμέτρου ίση με 0), ενώ η βροχή παίρνει τιμή 1
- Αριθμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας (μία/δύο): οδοί διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται ως επίπεδο αναφοράς (τιμή ίση με 0), ενώ για οδούς με αποκλειστική κίνηση κατά τη μία κατεύθυνση κυκλοφορίας χρησιμοποιείται η τιμή 1.
- Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση: χρησιμοποιείται η μία λωρίδα/κατεύθυνση ως επίπεδο αναφοράς (τιμή 1), τα τμήματα με 2 ή 3 λωρίδες

κυκλοφορίας κωδικοποιούνται με την τιμή 2 ή 3 αντίστοιχα, ενώ τα τμήματα με τέσσερις ή περισσότερες λωρίδες ανά κατεύθυνση έχουν ομαδοποιηθεί (τιμή 4).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προτύπου με χρήση της κατανομής Poisson. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι όλες οι παράμετροι είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Μάλιστα, οι τιμές του τυπικού σφάλματος φαίνονται εξαιρετικά χαμηλές. Αν και η κατανομή Poisson γενικά προτείνεται ως κατάλληλη για χρήση σε δεδομένα οδικής ασφάλειας, στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι δεν πληρούνται πλήρως οι προϋποθέσεις, με αποτέλεσμα το πρότυπο που προκύπτει να μη είναι κατάλληλο. Μια υπόθεση του μαθηματικού προτύπου Poisson είναι ότι η διασπορά ισούται με 1. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όμως, υπολογίζοντας τη διασπορά από το λόγο της τελικής απόκλισης προς τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας προκύπτει ότι η τιμή αυτή είναι ίση με $75770/109=69.5$. Άρα, παρατηρείται σημαντική υπέρ-διασπορά (overdispersion) στα δεδομένα, η οποία δεν μπορεί να περιγραφεί αποτελεσματικά από το πρότυπο. Ένα τυπικό σύμπτωμα στην περίπτωση αυτή είναι η υποεκτίμηση των τυπικών σφαλμάτων και συνεπώς η πιθανή υπερεκτίμηση της στατιστικής σημαντικότητας των παραμέτρων.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εκτίμησης προτύπου με κατανομή Poisson

	Εκτίμηση παραμέτρου	Τυπικό σφάλμα	Τιμή z
Σταθερά	9.195	0.005	1814.27
Εκτός κατοικημένης περιοχής	-0.775	0.007	-110.79
Βροχή	-2.347	0.012	-203.46
Δρόμος μονής κατεύθυνσης	-1.666	0.009	-187.81
2 λωρίδες ανά κατεύθυνση	-0.718	0.007	-97.45
3 λωρίδες ανα κατεύθυνση	-1.827	0.011	-161.24
4+ λωρίδες ανά κατεύθυνση	-4.019	0.022	-186.19
Απόκλιση αναφοράς (Null deviance)		322295	(115 βαθ.ελ.)
Τελική απόκλιση (Residual deviance)		75770	(109 βαθ.ελ.)
AIC		76461	

Η κατανομή quasi-Poisson είναι μια παραλλαγή της κατανομής Poisson, στην οποία η τιμή της διασποράς δεν περιορίζεται να είναι ίση με το 1. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του ίδιου προτύπου αλλά με υπόθεση στατιστικής κατανομής quasi-Poisson. Φαίνεται ότι ο λόγος της τελικής απόκλισης προς τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας είναι πιο κοντά στη μονάδα, αν και πάλι απέχει αρκετά ($78.1/108=0.72$). Οι εκτιμημένες τιμές των παραμέτρων δεν είναι γενικά ιδιαίτερα διαφορετικές από τις τιμές που προέκυψαν από το πρότυπο με χρήση κατανομής Poisson (Πίνακας 1), αλλά το τυπικό σφάλμα και συνεπώς η στατιστική σημαντικότητα είναι πολύ διαφορετικά. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όλες οι παράμετροι παραμένουν στατιστικά σημαντικές, αλλά η υπό-εκτίμηση του τυπικού σφάλματος στην εφαρμογή του προτύπου Poisson θα μπορούσε υπό άλλες συνθήκες να οδηγήσει στην αποδοχή μη σημαντικών παραμέτρων ως στατιστικά σημαντικές.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα εκτίμησης προτύπου με κατανομή quasi-Poisson

	Εκτίμηση παραμέτρου	Τυπικό σφάλμα	Τιμή z
Σταθερά	9.7895	0.3587	27.295
Εκτός κατοικημένης περιοχής	-1.7177	0.2587	-6.64
Βροχή	-2.3808	0.2546	-9.351
Δρόμος μονής κατεύθυνσης	-1.7522	0.253	-6.927
2 λωρίδες ανά κατεύθυνση	-0.9062	0.3872	-2.341
3 λωρίδες ανά κατεύθυνση	-2.3968	0.3888	-6.165
4+ λωρίδες ανά κατεύθυνση	-4.1847	0.3474	-12.045

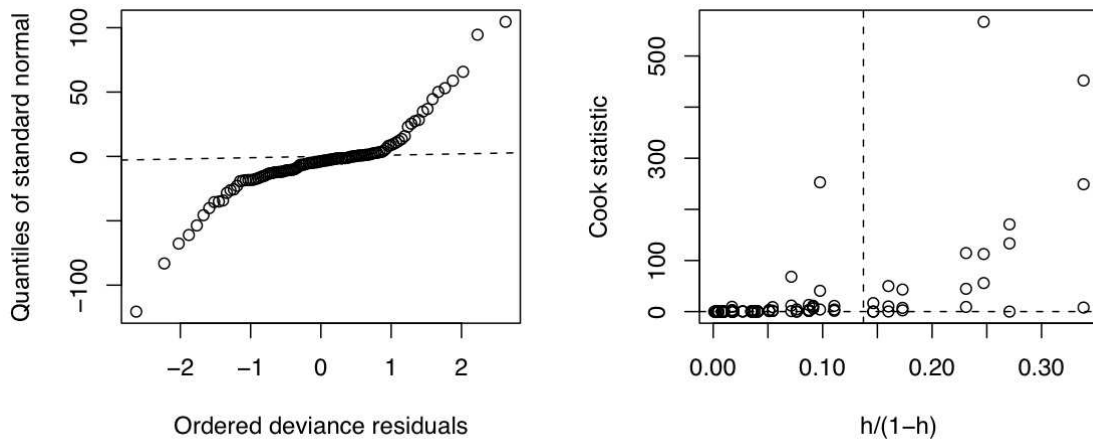
Απόκλιση αναφοράς (Null deviance)	305.756	(115 βαθ.ελ.)
Τελική απόκλιση (Residual deviance)	78.196	(109 βαθ.ελ.)
AIC	101.81	

Στα Σχήματα 1 και 2 φαίνονται κάποια βασικά διαγνωστικά μεγέθη σχετικά με τα αποτελέσματα των μαθηματικών προτύπων που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Στο αριστερό μέρος κάθε σχήματος παρουσιάζεται ένα σχήμα quantile-quantile (QQ) (normal scores plot) των κανονικοποιημένων κατάλοιπων του προτύπου. Ο άξονας των χ αντιστοιχεί στα κανονικοποιημένα κατάλοιπα, ενώ ο άξονας των ψ αντιστοιχεί στη κανονική κατανομή. Η διακεκομμένη διαγώνια γραμμή είναι η αναμενόμενη ευθεία, πάνω στην οποία θα έπρεπε να βρίσκονται όλες οι παρατηρήσεις, αν τα κατάλοιπα ακολουθούσαν την κανονική κατανομή. Όπως φαίνεται από το αντίστοιχο τμήμα του σχήματος 1, στην περίπτωση της κατανομής Poisson, η κατανομή των στοιχείων αυτών απέχει πολύ από την κανονική, παραβιάζοντας έτσι μία από τις βασικές υποθέσεις της γραμμικής παλινδρόμησης. Παρατηρώντας κανείς το αντίστοιχο μέρος του σχήματος 2, προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση με τη χρήση της κατανομής quasi-Poisson, αν και – όπως φάνηκε και από την τιμή της διασποράς, η οποία δεν ισούται ακριβώς με 1 - δεν υπάρχει πλήρης ταύτιση.

Στο αριστερό μέρος των σχημάτων 1 και 2 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα των στατιστικών του Cook έναντι των κανονικοποιημένων επιρροών (leverage) των παρατηρήσεων. Η τυποποιημένη επιρροή της παρατήρησης x_i μπορεί να υπολογιστεί ως εξής (Belsley et al., 1980):

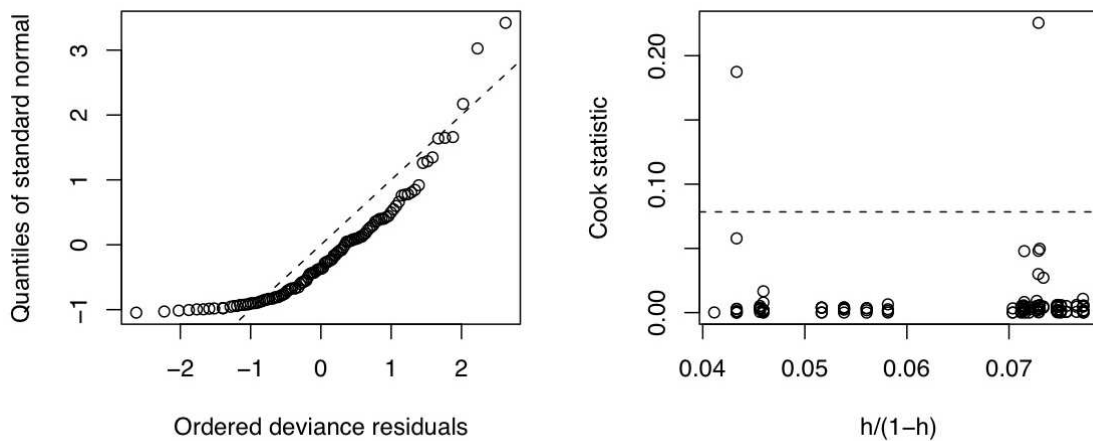
$$h_i = \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{(n-1)s_x^2} \quad (2)$$

όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων, η οριζόντια γραμμή πάνω από ένα στοιχείο υποδηλώνει την εκτιμώμενη τιμή, και s_x είναι το τυπικό σφάλμα. Σε κάθε διάγραμμα υπάρχουν δυο διακεκομμένες γραμμές. Η οριζόντια γραμμή είναι στο σημείο $8/(n-2p)$, όπου n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων και p είναι ο αριθμός των παραμέτρων που εκτιμούνται. Παρατηρήσεις πάνω από τη γραμμή αυτή μπορεί να είναι παρατηρήσεις με υψηλή επιρροή στο πρότυπο. Η κατακόρυφη γραμμή βρίσκεται στο σημείο $2p/(n-2p)$ και σημεία που βρίσκονται αριστερά της γραμμής αυτής έχουν υψηλή επιρροή σε σχέση με τη διακύμανση των κατάλοιπων στο σημείο αυτό. Στην περίπτωση που κανένα σημείο δεν βρίσκεται πάνω από την οριζόντια γραμμή ή δεξιά από την κατακόρυφη, τότε αυτές δεν εμφανίζονται (όπως στην περίπτωση της κατακόρυφης γραμμής στο πρότυπο quasi-Poisson).



Σχήμα 1. Διαγνωστικά σχήματα προτύπου με κατανομή Poisson

Ο αριθμός των παρατηρήσεων με υψηλή επιρροή (leverage) είναι η ένωση των σημείων που βρίσκονται πάνω από την οριζόντια και δεξιά από την κατακόρυφη γραμμή. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 1, πολλές παρατηρήσεις έχουν υψηλή επιρροή, ενώ από το δεξιό διάγραμμα στο Σχήμα 2 προκύπτει ότι στην περίπτωση του προτύπου quasi-Poisson μόνο 2 παρατηρήσεις έχουν υψηλή επιρροή. Από τις παρατηρήσεις αυτές ενισχύεται το συμπέρασμα ότι το πρότυπο με χρήση της κατανομής quasi-Poisson είναι πιο κατάλληλο για την εφαρμογή αυτή.



Σχήμα 2. Διαγνωστικά σχήματα προτύπου με κατανομή quasi-Poisson

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

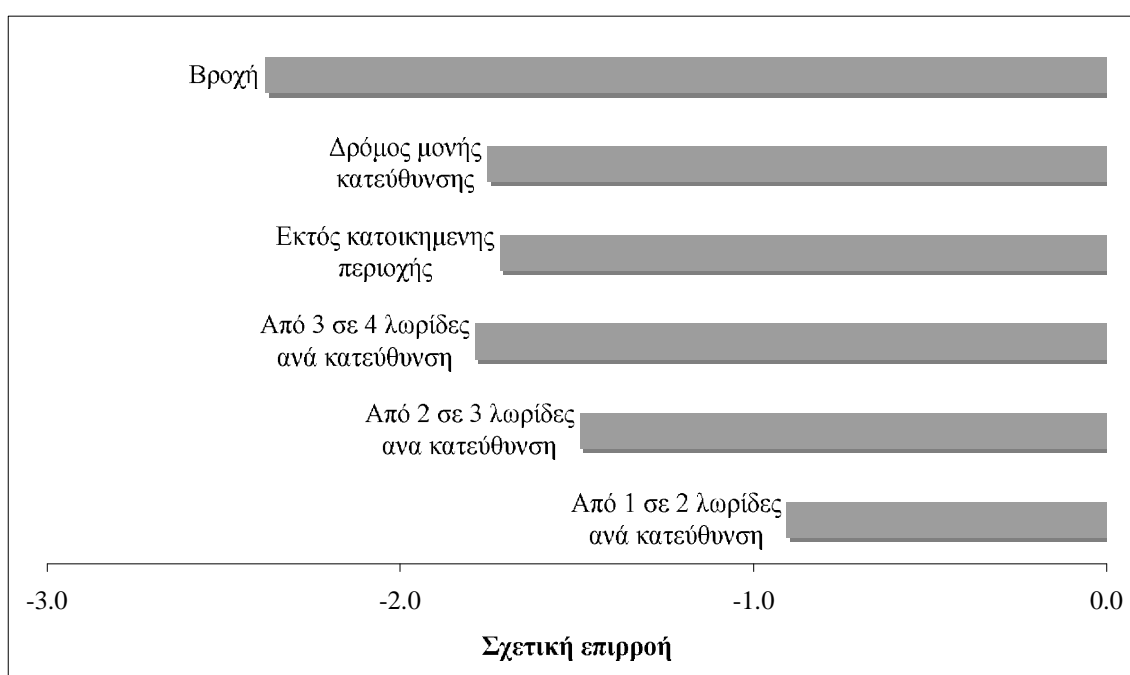
Το μαθηματικό πρότυπο που εκτιμήθηκε δίνει εκτιμήσεις για ορισμένες παραμέτρους που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια. Μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες χρήσεις τέτοιων προτύπων είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την σχετική επιρροή των διαφόρων παραμέτρων στην εξαρτημένη μεταβλητή, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση της έννοιας της ελαστικότητας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όμως, όλες οι ανεξάρτητες παράμετροι είναι διακριτές, και μάλιστα παράγοντες. Συνεπώς, η έννοια της ελαστικότητας (η οποία διατυπώνεται συνοπτικά ως ο λόγος της % αλλαγής

στο αποτέλεσμα προς την % αλλαγή στην αιτία) δεν μπορεί να οριστεί. Επειδή όμως οι κατηγορικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση του μαθηματικού προτύπου ορίζονται σε ακέραιες τιμές, όπου η τιμή που χρησιμοποιείται στο πρότυπο έχει σταθερή διαφορά από την τιμή αναφοράς (η διαφορά αυτή είναι πάντα ίση με τη μονάδα), τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση σύγκριση τους η τιμή των παραμέτρων που έχουν εκτιμηθεί. Οι τιμές αυτές δεν έχουν κάποια εύκολα αντιληπτή φυσική σημασία (σε αντίθεση με την ελαστικότητα), αλλά επιτρέπουν τη σύγκριση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 3.

Οι τιμές όλων των παραμέτρων είναι αρνητικές, υποδηλώνοντας ότι οδηγούν σε μείωση των ατυχημάτων. Η μείωση του αριθμού των ατυχημάτων λόγω της βροχής μπορεί να εξηγηθεί από το χαμηλότερο φόρτο και τις χαμηλότερες ταχύτητες που παρατηρούνται όταν ο καιρός δεν είναι καλός. Ασφαλώς, υπάρχει ο αντίλογος της αυξημένης ολισθηρότητας του οδοστρώματος, καθώς και της πιθανά μειωμένης ορατότητας υπό συνθήκες βροχής, αλλά σε ένα βαθμό αυτές οι συνθήκες μπορεί να αναιρούνται από την αυξημένη εγρήγορση και προσοχή των οδηγών.

Οδοί μονής κατεύθυνσης παρουσιάζουν *ceteris paribus* μικρότερο αριθμό ατυχημάτων από αντίστοιχες οδούς διπλής κατεύθυνσης, καθώς πολλοί τύποι ατυχημάτων (όπως μετωπικές συγκρούσεις) πρακτικά εκμηδενίζονται. Επίσης, οδοί εκτός κατοικημένων περιοχών παρουσιάζουν μικρότερο αριθμό ατυχημάτων καθώς εκεί υπάρχουν λιγότερες αλληλεπιδράσεις με πεζούς και εισερχόμενα/εξερχόμενα οχήματα.

Η αύξηση του αριθμού των λωρίδων ανά κατεύθυνση οδηγεί επίσης σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων. Η επιρροή αυτή οφείλεται τόσο στην μεγαλύτερη ευελιξία που προσφέρει μια οδός με περισσότερες λωρίδες κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι πιθανές εμπλοκές. Επίσης, περισσότερες λωρίδες κυκλοφορίας υποδηλώνουν τυπικά και υψηλότερη κατηγορία οδού, γεγονός που συχνά υποδηλώνει και καλύτερη υποδομή ασφαλείας. Καθώς στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται η οριακή σχετική επιρροή (δηλαδή η μεταβολή της σχετικής επιρροής όταν προστίθεται μια λωρίδα κυκλοφορίας) προκύπτει ότι η επιρροή αυτή γίνεται μεγαλύτερη όσο περισσότερες λωρίδες έχει η οδός.



Σχήμα 3. Σχετική επιρροή παραμέτρων στην οδική ασφάλεια

Με βάση τη μεθοδολογία αυτή, και χρησιμοποιώντας πιο αναλυτικά δεδομένα σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, θα επιδιωχθεί σε μελλοντική έρευνα η συσχέτιση περισσότερων χαρακτηριστικών της οδού και της κυκλοφορίας με το επίπεδο οδικής ασφάλειας στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα. Παραδείγματα τέτοιων χαρακτηριστικών αποτελούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, όπως η κλίση και η καμπυλότητα, καθώς και η ύπαρξη διαγράμμισης και κατάλληλης σήμανσης. Η εκτίμηση της σχετικής επιρροής των διαφόρων χαρακτηριστικών της οδού στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας μπορεί να αξιοποιηθεί και σε αναλύσεις αναμενόμενου κόστους/ωφέλειας εναλλακτικών επεμβάσεων σε χαρακτηριστικά της οδού με στόχο τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Belsley, D., Kuh, E., and Welsch, R. (1980). *Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*. John Wiley and Sons, New York.
- Dobson, A.J. (1990), *An Introduction to Generalized Linear Models*. Second edition, Chapman and Hall, London.
- Gill, J. (2000), *Generalized Linear Models: A Unified Approach*, Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-134, Thousand Oaks, CA: Sage.
- HCM (2000). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Lord, D., S. P. Washington, and J. N. Ivan (2005). Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis and Prevention* 37, pp. 35-46.
- Maher M.J. and I. Summersgill (1996). A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. *Accident Analysis and Prevention* 28(3), pp. 281-296.
- Maycock, G., and Hall, R. D. (1984). "Accidents at 4-Arm Roundabouts." TRRL Laboratory Report 1120, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK.
- McCullagh, P. and Nelder, J.A. (1989), *Generalized Linear Models*. Second edition. Chapman Hall, New York.
- Miaou, S. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Nicholson, A., and Y-D. Wong (1993). Are accidents Poisson distributed? A statistical test. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 25, Issue 1, February 1993, Pages 91-97
- R Development Core Team (2007). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL (<http://www.R-project.org>).
- Wood, G.R. (2002). Generalized Linear Accident Models and Goodness of Fit Testing. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 34, pp. 417-427.
- Yannis, G., C. Antoniou and E. Papadimitriou. Road casualties and enforcement: Distributional assumptions of serially correlated count data. *Traffic Injury Prevention*, 8:3, pp. 300 - 308, 2007.