



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Συσχετίσεις Χρονοσειρών Οδικών Ατυχημάτων και Μετεωρολογικών Συνθηκών

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Β. ΜΠΙΛΙΩΝΗΣ

Επιβλέποντες: Γιώργος Γιαννής, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ
Ματθαίος Καρλαύτης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας

**Η συσχέτιση οδικών ατυχημάτων
και βασικών μετεωρολογικών συνθηκών**

Εφαρμογή:

- Ημερήσια Στοιχεία για το λεκανοπέδιο της Αθήνας
- Χρήση Γραμμικών Μοντέλων

Δομή Διπλωματικής Εργασίας

- ✓ Προσδιορισμός Προβλήματος (Στόχου)
- ✓ Βιβλιογραφική Ανασκόπηση
- ✓ Αναζήτηση Δεδομένων
- ✓ Επιλογή Μεθοδολογίας
- ✓ Ανάπτυξη Μαθηματικών Προτύπων (Στατιστική Ανάλυση)
- ✓ Περιγραφή Αποτελεσμάτων
- ✓ Συμπεράσματα
- ✓ Προτάσεις – Περαιτέρω Έρευνα

Βιβλιογραφικά Ευρήματα (1/2)

- Οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, βροχόπτωση) σχετίζονται με την οδική ασφάλεια.
- Ιδιαίτερη επιρροή στον κυκλοφοριακό φόρτο και στη συμπεριφορά των οδηγών.
- Θερμοκρασία:
 - Αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων.
 - Οι ώρες ηλιοφάνειας οδηγούν σε αύξηση των ατυχημάτων.
 - Τα οδικά ατυχήματα μειώνονται όταν αυξάνεται ο αριθμός των ημερών με θερμοκρασία υπό το μηδέν.

Βιβλιογραφικά Ευρήματα (2/2)

➤ Βροχόπτωση:

- Η αυξανόμενη καθημερινή βροχόπτωση μειώνει τη συχνότητα των ατυχημάτων
- Παρόμοιο αποτέλεσμα καταδεικνύει και η εξέταση του μηνιαίου αριθμού των ημερών με βροχόπτωση
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιρροή της βροχόπτωσης με χρονική υστέρηση



Μικρότερη η επιρροή της βροχόπτωσης δεδομένης ημέρας όταν παρατηρείται βροχόπτωση τις προηγούμενες ημέρες

➤ Αντιφατικά συμπεράσματα μεταξύ διαφορετικών ερευνών

- Διαφορές στη συχνότητα και την ένταση των καιρικών φαινομένων από τόπο σε τόπο
- Επιλεγείσα Μέθοδος Ανάλυσης

Συλλογή Στοιχείων

Οδικά Ατυχήματα

Δ.Ο.Τ.Α.
(Τροχαία)



ΕΛ.ΣΤΑΤ.
(Ελληνική Στατιστική Αρχή)



Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α.
(ΕΜΠ)

Μετεωρολογικά Στοιχεία

Σταθμοί Μέτρησης
(θερμοκρασία, ύψη βροχόπτωσης)



Ε.Μ.Υ.
(Διεύθυνση Κλιματολογίας –
Τμήμα Στατιστικής
Κλιματολογίας)

Επεξεργασία Στοιχείων

- Αναζήτηση Στοιχείων από τις πηγές τους (Σ.ΑΝ.ΤΡ.Α., Ε.Μ.Υ.)
- Δημιουργία Βάσης Δεδομένων (Αρχείο Microsoft Excel)
- Αναλυτικά ημερήσια στοιχεία για το Λεκανοπέδιο της Αθήνας:
 - Αριθμός των ατυχημάτων, των νεκρών (εντός οχήματος), των νεκρών πεζών και τραυματιών πεζών
 - Μέση θερμοκρασία (°C)
 - Ύψος βροχόπτωσης (mm)
- Περίοδος Αναφοράς από 1/1/1985 έως 31/12/2005

Μέθοδος Γραμμικής Παλινδρόμησης

- Από τις πιο διαδεδομένες στατιστικές τεχνικές

Μαθηματική Σχέση:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{1i} + \beta_2 \cdot x_{2i} + \beta_3 \cdot x_{3i} + \dots + \beta_k \cdot x_{ki} + \varepsilon_i.$$

- Οι συντελεστές των παραμέτρων εκτιμούνται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS)

Μέθοδος SURE

- Σύστημα γραμμικών εξισώσεων:

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

- Η εκτίμηση των παραμέτρων γίνεται από κοινού για όλες τις εξισώσεις του συστήματος
- Χρήση γενικευμένης μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων (GLS)
- Η μέθοδος SURE ενδείκνυται στην περίπτωση ταυτόχρονης συσχέτισης του σφάλματος (ή εξαρτημένων μεταβλητών) δύο ή περισσότερων εξισώσεων
- Αιτίες ταυτόχρονης συσχέτισης:
 - ύπαρξη κοινού παράγοντα που δεν είναι μετρήσιμος ή αγνοείται (π.χ. κυκλοφοριακός φόρτος)
 - εξέταση παρόμοιων εξαρτημένων μεταβλητών (π.χ. ατυχημάτων και νεκρών)

Η Τεχνική των Ψευδομεταβλητών (1/2)

➤ Ψευδομεταβλητές:

I. Απλές:

- Συνήθως Δυαδικής Μορφής (0/1)
- Επίδραση εποχικών παραγόντων στην εξαρτημένη μεταβλητή (π.χ. μήνας, έτος)

II. Πολλαπλασιαστικές:

- Γινόμενο μιας απλής ψευδομεταβλητής επί μια ανεξάρτητη μεταβλητή
- Συνδυαστική επιρροή εποχικού παράγοντα – ανεξάρτητης μεταβλητής (π.χ. μήνα-θερμοκρασίας) στην εξαρτημένη μεταβλητή

Η Τεχνική των Ψευδομεταβλητών (2/2)

$$y_i = \beta_0 + \gamma \cdot D_i + \beta_1 \cdot X_{1i} + \delta \cdot D_i X_i + \varepsilon_i$$

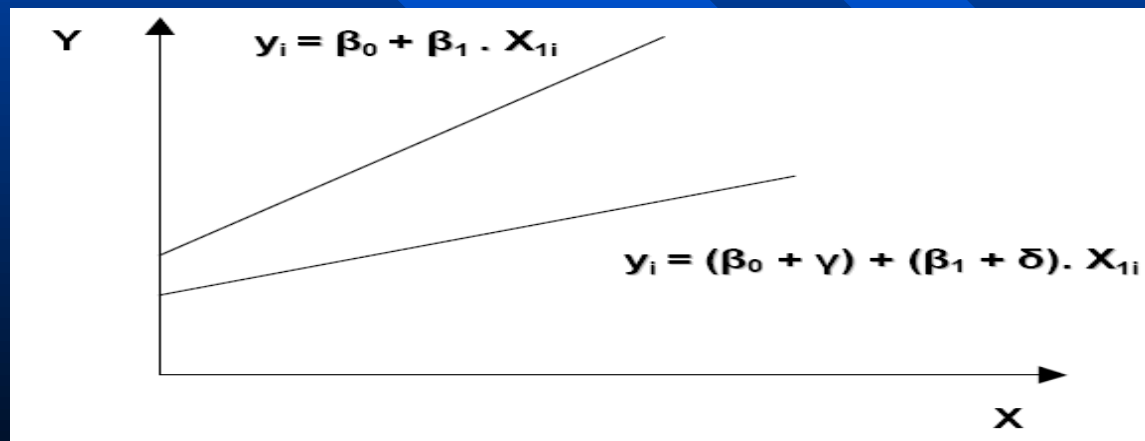
$$y_i = (\beta_0 + \gamma \cdot D_i) + (\beta_1 + \delta \cdot D_i) \cdot X_i + \varepsilon_i$$

➤ Απλές Ψευδομεταβλητές (D_i)

- ✓ Επηρεάζουν τον σταθερό όρο
- ✓ Παράλληλη Μετατόπιση της Ευθείας

➤ Πολλαπλασιαστικές Ψευδομεταβλητές (D_iX_i)

- ✓ Επηρεάζουν το συντελεστή της ανεξάρτητης μεταβλητής
- ✓ Μεταβολή της κλίσης της ευθείας



Κριτήρια Αξιολόγησης Μοντέλου

- ✓ Στατιστική αξιοπιστία των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου με t-test:

$$t = \beta_i / s.e.$$

όπου s.e.: τυπικό σφάλμα (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

- ✓ Ποιότητα Μοντέλου (συντελεστής καλής προσαρμογής R^2)
- ✓ Λογική Ερμηνεία των συντελεστών β_i της εξίσωσης
- ✓ Σφάλμα της εξίσωσης
- ✓ Κριτήριο Durbin-Watson για αυτοσυσχέτιση πρώτου βαθμού (ανάλυση χρονοσειρών)

Υπολογισμός Ελαστικότητας

- ✓ Ο βαθμός της επιρροής των μεταβλητών εκφράζεται ποσοτικά μέσω της ελαστικότητας (e_i)
- ✓ Η ελαστικότητα αντικατοπτρίζει την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής στη μεταβολή μιας (ή περισσότερων) ανεξάρτητων μεταβλητών

Ανάπτυξη Μοντέλων

➤ Εξαρτημένες Μεταβλητές

- Αριθμός των ατυχημάτων (ACCIDENT)
- Αριθμός των νεκρών εντός οχήματος (FATALITI)
- Αριθμός των νεκρών πεζών (KILLEDPE)
- Αριθμός των τραυματιών πεζών (INJUREDPE)

➤ Ανεξάρτητες Μεταβλητές

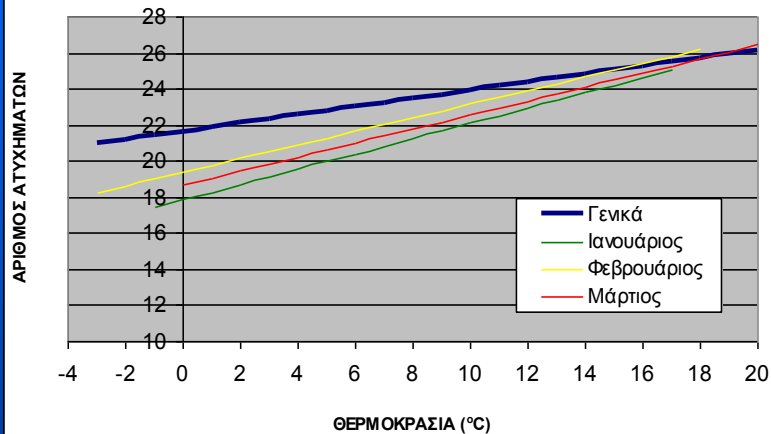
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία δεδομένης ημέρας (MEANTEMP)
- Διαφορά μέσων θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών (DIFFMT)
- Μέσο ύψος βροχόπτωσης δεδομένης ημέρας (TOTALPRE)
- Μέσο ύψος βροχόπτωσης προηγούμενης ημέρας (PRECIP_1)
- Απλές Ψευδομεταβλητές για την επιρροή των ημερών, των μηνών και των ετών (π.χ. DJAN)
- Πολλαπλασιαστικές ψευδομεταβλητές για την επιρροή μήνα-θερμοκρασίας και μήνα-βροχόπτωσης (π.χ. DJANM = DJAN*MEANTEMP)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

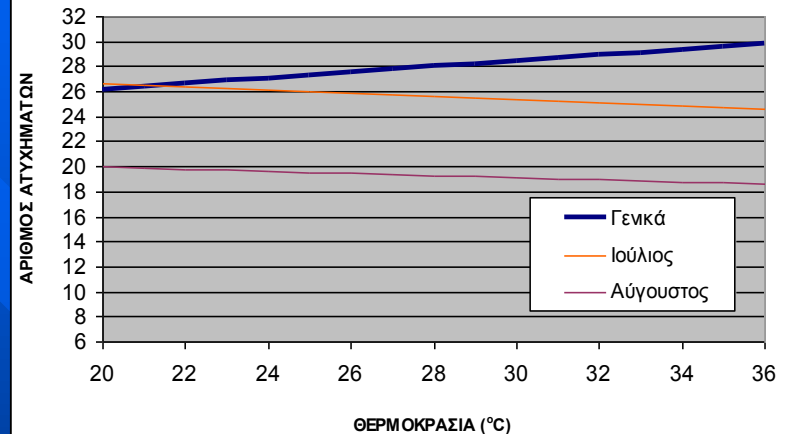
Ανεξάρτητες Μετεωρολογικές Μεταβλητές	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)		Αριθμός Νεκρών εντός οχήματος (FATALITI)		Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)		Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDP)	
	β_i	e_i	β_i	e_i	β_i	e_i	β_i	e_i
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	0,226	0,171					0,05	0,228
Διαφορά των μέσων θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών (DIFFMT)	0,099	5,824E-05	0,005	7,237E-06			0,026	1,484E-04
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-0,151	-0,009	-0,005	-0,004	-0,002	-0,002	-0,02	-0,006
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (PRECIP_1)	-0,096	-0,005	-0,006	-0,005			-0,019	-0,006
R^2	0,315		0,026		0,010		0,184	

Διαγράμματα Ευαισθησίας – Επιρροή Θερμοκρασίας

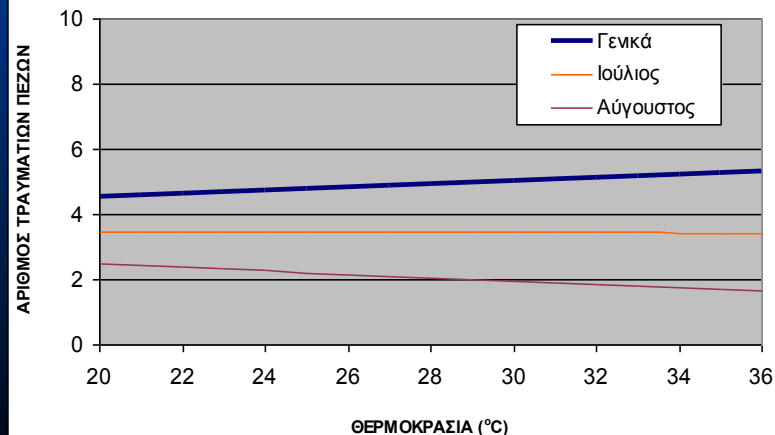
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
(Χειμερινοί Μήνες)



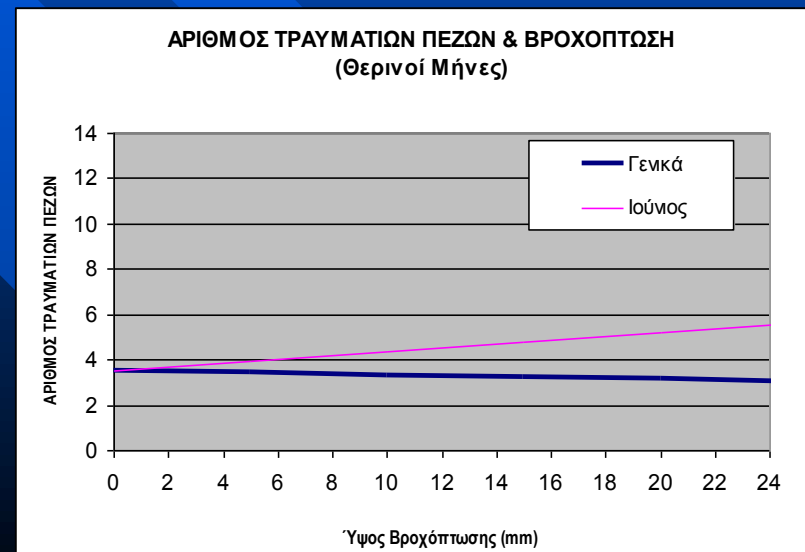
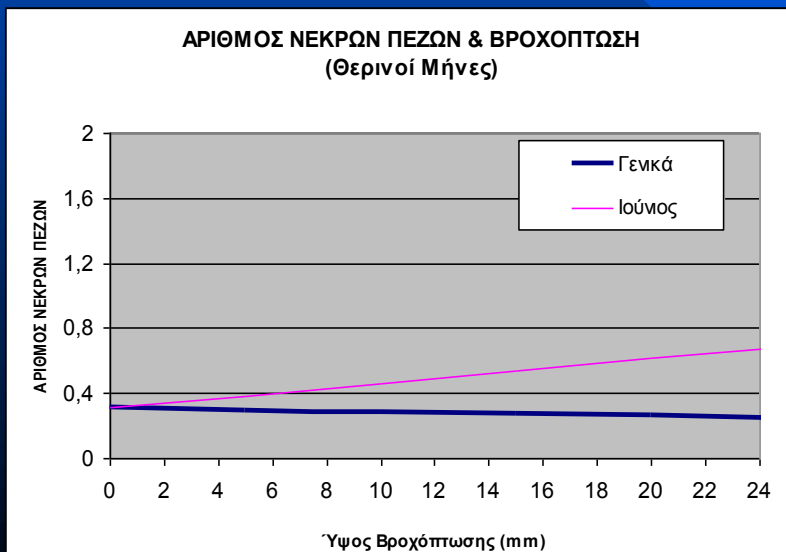
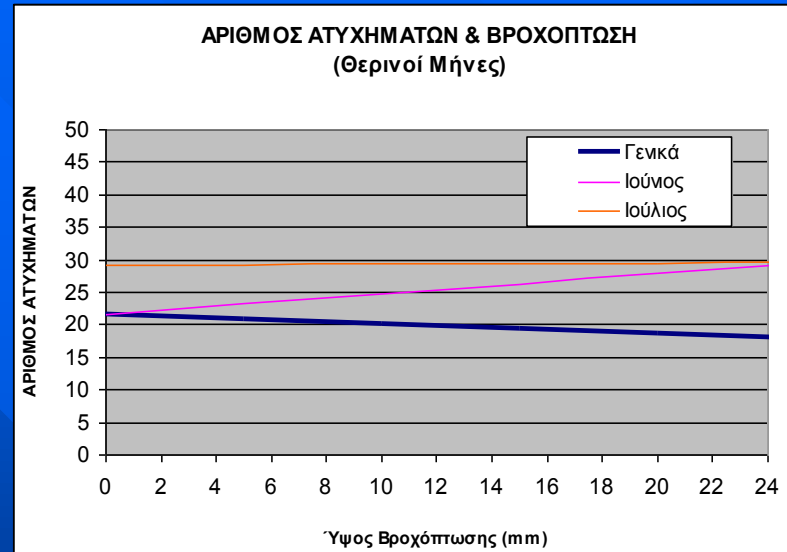
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
(Θερινοί Μήνες)



ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΩΝ ΠΕΖΩΝ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
(Θερινοί Μήνες)



Διαγράμματα Ευαισθησίας – Επιρροή Βροχόπτωσης



Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων

Ανεξάρτητες Μετεωρολογικές Μεταβλητές	Αριθμός Ατυχημάτων (ACCIDENT)	Αριθμός Νεκρών (FATALITI)	Αριθμός Νεκρών Πεζών (KILLEDPE)	Αριθμός Τραυματιών Πεζών (INJUREDPE)
Μέση θερμοκρασία (MEANTEMP)	+			+
Διαφορά μέσων θερμοκρασιών δύο διαδοχικών ημερών (DIFFMT)	+	+		+
Ύψος Βροχόπτωσης (TOTALPRE)	-	-	-	-
Ύψος Βροχόπτωσης Προηγούμενης Ημέρας (TOTALPRE)	-	-		-

Συμπεράσματα (1/2)

- Αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων, των νεκρών (γενικά) και των τραυματιών πεζών
- Αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, των νεκρών (γενικά) και των τραυματιών πεζών
- Η επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών της προηγούμενης ημέρας είναι στατιστικά σημαντική
- Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης εντός συγκεκριμένων μηνών παρατηρήθηκε ότι έχουν επιρροή στο υπό εξέταση φαινόμενο

Συμπεράσματα (2/2)

- Για τον αριθμό των ατυχημάτων:
 - Αύξηση της θερμοκρασίας γενικά προκαλεί αύξηση των ατυχημάτων
 - Αύξηση του ύψους βροχόπτωσης προκαλεί μείωση των ατυχημάτων
 - Η παραπάνω επιρροή όμως αντιστρέφεται τους θερινούς μήνες.
- Για τον αριθμό των νεκρών (εντός οχήματος):
 - Αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαδοχικών ημερών οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των νεκρών
 - Αύξηση του ύψους βροχόπτωσης οδηγεί σε μείωση του αριθμού των νεκρών
- Παρόμοια συμπεράσματα εξάγονται και για τους αριθμούς των πεζών (νεκροί, τραυματίες)

Προτάσεις

- Λήψη Μέτρων Βελτίωσης της οδικής ασφάλειας (καθορισμός μεταβλητών ορίων ταχύτητας, εντατικοποίηση της αστυνόμευσης, χρήση φωτεινών πινακίδων πληροφόρησης)
- Σωστή κατασκευή και επαρκής συντήρηση των οδών (έμφαση στο δίκτυο αποστράγγισης)
- Επένδυση στη σωστή εκπαίδευση και εξέταση των υποψηφίων οδηγών (μαθήματα υπό διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες, χρήση προσομοιωτών)
- Εκστρατείες ενημέρωσης των χρηστών της οδού για τη σωστή κυκλοφορία (π.χ. οδήγηση) υπό τις διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες

Περαιτέρω Έρευνα

- Χρήσιμο να συμπεριληφθούν στη μελέτη και άλλες παράμετροι (πραγματικά στοιχεία κυκλοφορίας, επιπλέον μετεωρολογικές μεταβλητές, όπως χιόνι, άνεμος, ομίχλη)
- Εφαρμογή και άλλων μεθόδων στατιστικής ανάλυσης (οικογένεια μοντέλων Poisson, πολυεπίπεδη ανάλυση μεταβλητών)
- Επιβεβλημένο να διεξαχθούν παρόμοιες έρευνες και σε άλλες περιοχές και οδικά δίκτυα της χώρας.
- Χρήση προσομοιωτών οδήγησης (πιο συστηματική διερεύνηση της μεταβολής της οδηγικής συμπεριφοράς για τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες)



Σας Ευχαριστώ Πολύ



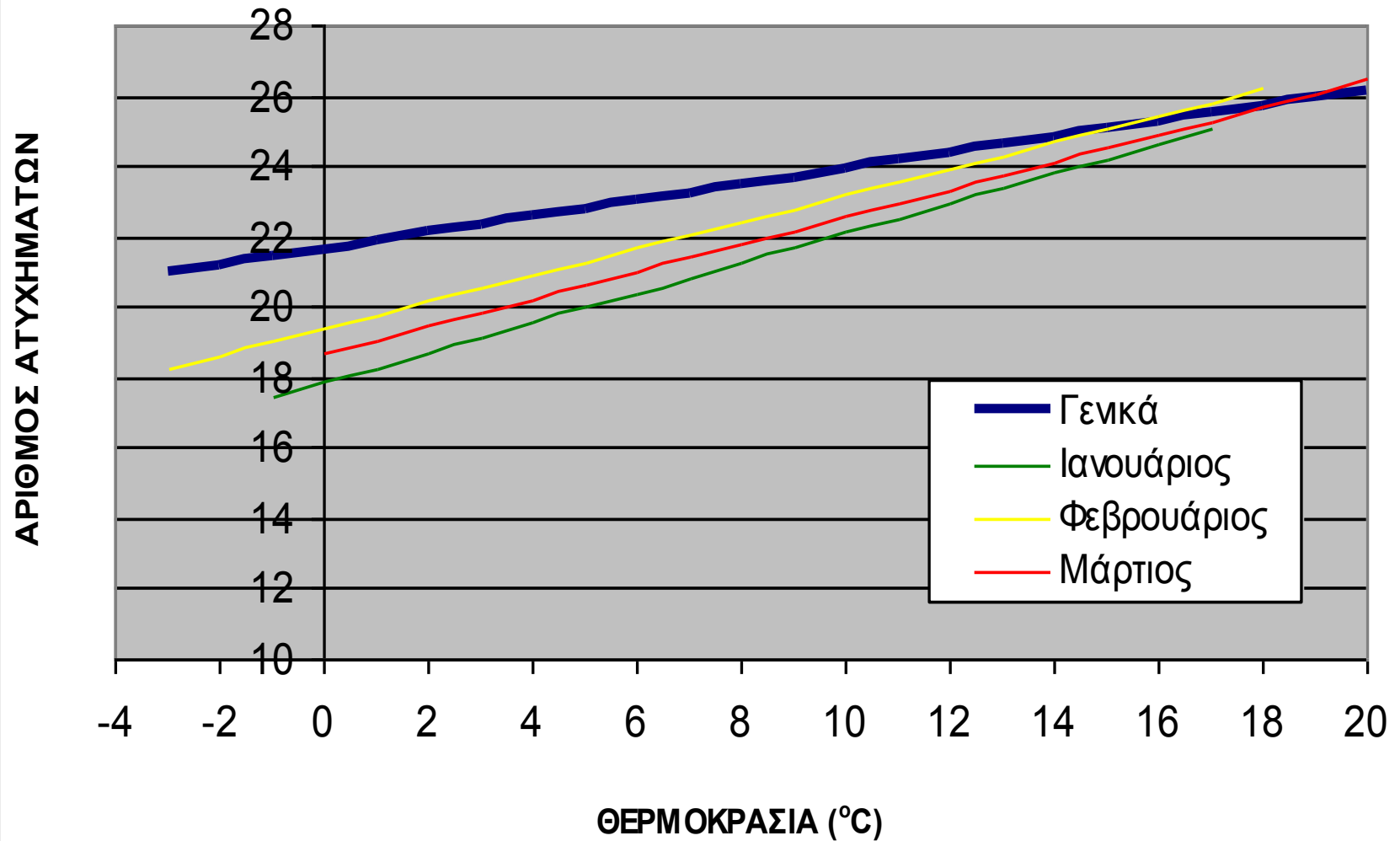
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Συσχετίσεις Χρονοσειρών Οδικών Ατυχημάτων και Μετεωρολογικών Συνθηκών

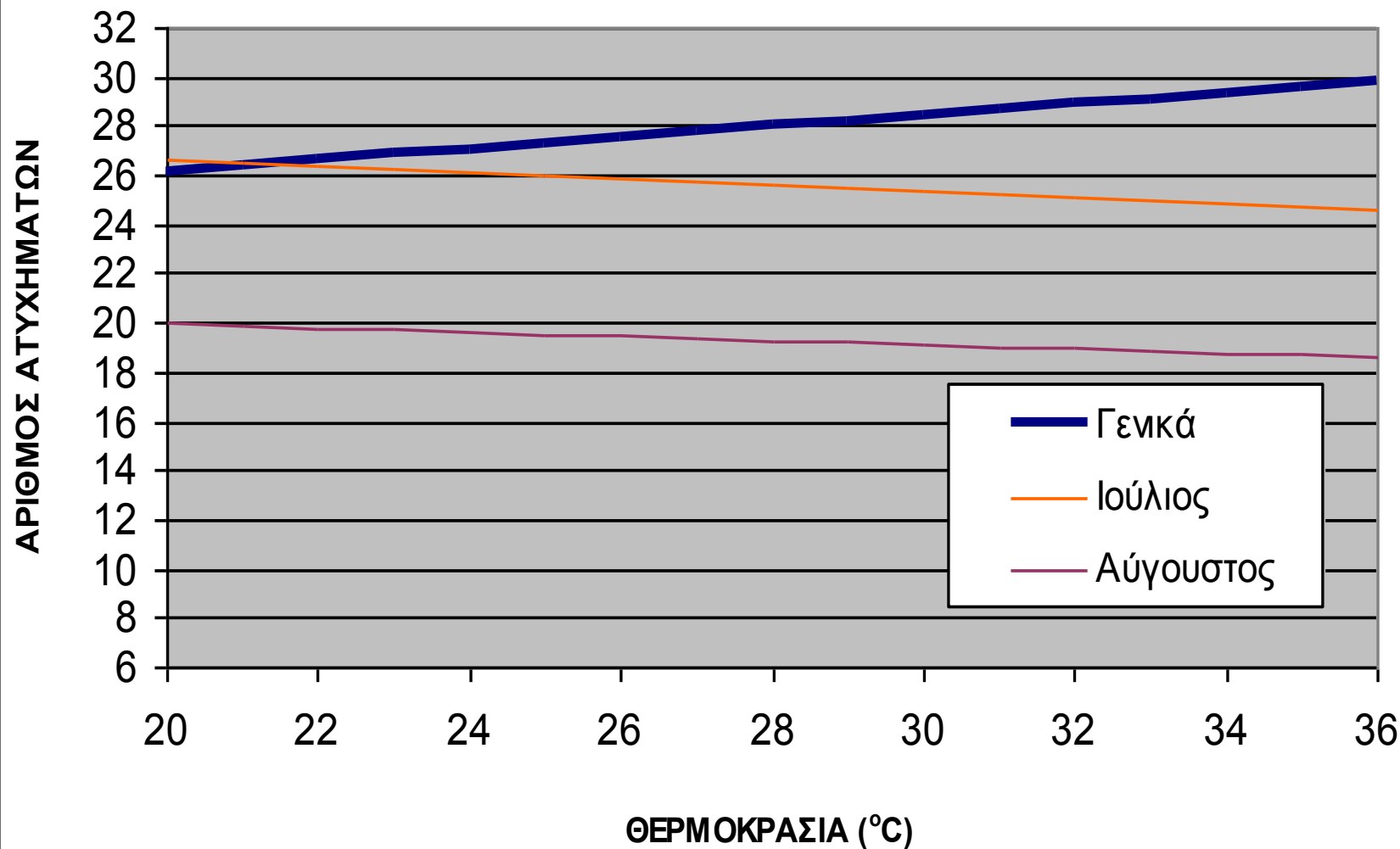
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Β. ΜΠΙΛΙΩΝΗΣ

Επιβλέποντες: Γιώργος Γιαννής, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ
Ματθαίος Καρλαύτης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (Χειμερινοί Μήνες)



ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ & ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (Θερινοί Μήνες)



ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ & ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (Θερινοί Μήνες)

