



# Οδική ασφάλεια

Ενότητα 8: Αξιολόγηση επεμβάσεων

Διάλεξη 8: Αξιολόγηση επεμβάσεων

Ευτυχία Ναθαναήλ

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

# Δεδομένα

Έστω:

$X$  ατυχήματα «πριν»

$\Psi$  ατυχήματα «μετά»

**Είναι  $X=\Psi$ , και εάν ναι, αυτό οφείλεται στην επέμβαση;**



# Μέθοδοι αξιολόγησης

- Χρησιμοποίηση αριθμού ατυχημάτων «μετά» μόνο της εξεταζόμενης θέσης:

α) Ανάλυση μεμονωμένων θέσεων

β) Ανάλυση πληθυσμού θέσεων

- Χρησιμοποίηση αριθμού ατυχημάτων «πριν» και «μετά» με περιοχή ελέγχου:

α) Μεγάλη περιοχή ελέγχου

β) Μικρή περιοχή ελέγχου



# Αξιολόγηση χωρίς περιοχή ελέγχου

## Περιορισμοί:

- α) Φαινόμενο «μετανάστευσης ατυχημάτων»
- β) Φαινόμενο παλινδρόμησης περί το μέσο



# Χωρίς περιοχή ελέγχου

## Ανάλυση μεμονωμένων θέσεων

- Μέθοδος Poisson
- Μέθοδος  $\chi^2$
- Μέθοδος διαφοράς «πριν» και «μετά»



# Μέθοδος POISSON

- Ελεγχος  $X = \Psi$  ή  $X \neq \Psi$

Υπολογισμός πιθανότητας ο αριθμός των ατυχημάτων «μετά» να είναι μικρότερος από  $\Psi$

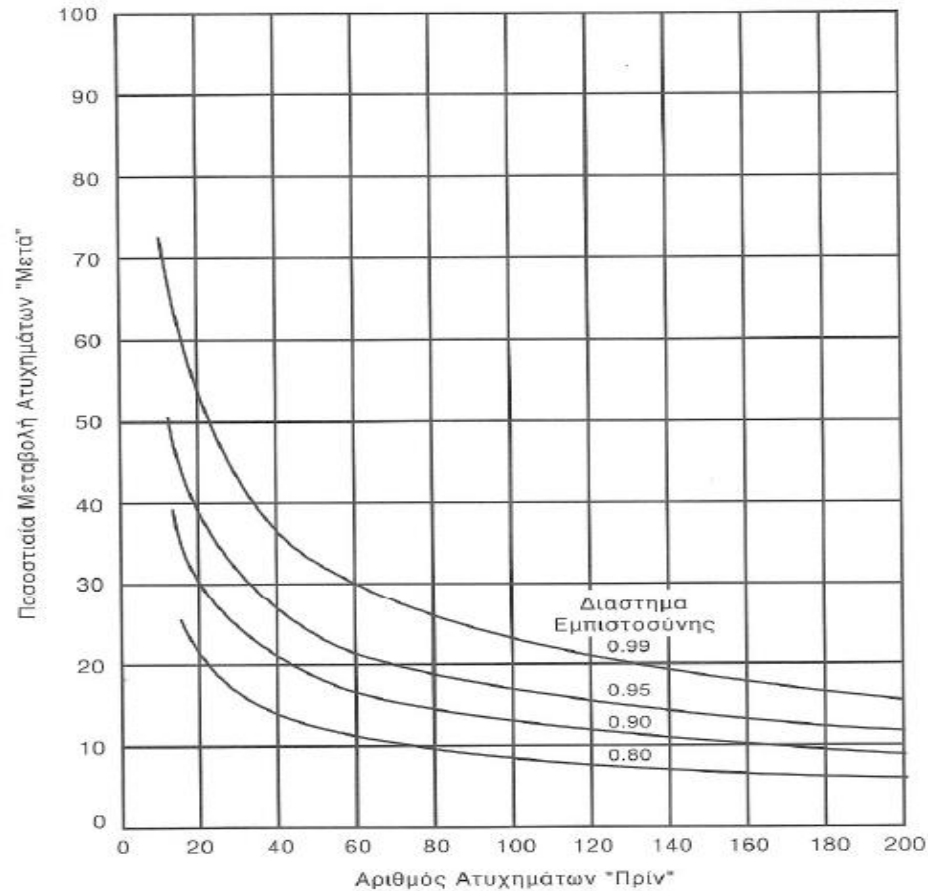
$$\alpha = \sum_{z=0}^{z=\Psi-1} \lambda^z \frac{e^{-\lambda}}{z!} \quad (8.1)$$

Υπολογισμός πιθανότητας ο αριθμός των ατυχημάτων «μετά» να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του  $\Psi$

$$\beta = \sum_{z=\Psi}^{z=\infty} \lambda^z \frac{e^{-\lambda}}{z!} \quad (8.2)$$



# Απαιτούμενη ποσοστιαία μείωση για επίπεδα εμπιστοσύνης



**Σχήμα 8.1:** Γραφικός προσδιορισμός της κρίσιμης μεταβολής του αριθμού ατυχημάτων «πριν» και «μετά» σε μια θέση



# Παράδειγμα #1

- «Πριν» – 10 ατυχήματα
- «Μετά» – 5 ατυχήματα
- **Επέμβαση:** τοποθέτηση αντιολισθητικής επίστρωσης , αμετάβλητοι άλλοι παράγοντες

**Πίνακας 8.1:** Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου που χρησιμοποιεί τη μέτρηση «πριν» ως μέσο όρο

Μέτρηση «μετά» $\Psi$	Ποσοστιαία μεταβολή από τη μέτρηση «πριν», $X=10$	Αθροιστική πιθανότητα (επίπεδο σημαντικότητας $\alpha$ )	
0	100	0.000045	
1	90	0.000499	
2	80	0.002769	$\alpha < 0.01$
3	70	0.010336	
4	60	0.29253	$\alpha < 0.05$
<b>5</b>	<b>50</b>	<b>0.067086</b>	<b><math>\alpha &lt; 0.10</math></b>
6	40	0.130142	$\alpha < 0.20$
7	30	0.220221	





# Μέθοδος $\chi^2$

Ακολουθεί κατανομή  $\chi^2$ , εφόσον:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=k} [(O_i - E_i)^2 / E_i] \quad (8.3)$$

όπου,

$\chi^2$  = η τιμή του κριτηρίου  $\chi^2$

$O_i$  = παρατηρούμενη μέτρηση στην κατηγορία  $i$

$E_i$  = θεωρητικά αναμενόμενη μέτρηση στην κατηγορία  $i$

$k$  = αριθμός διαφόρων κατηγοριών

Μηδενική υπόθεση:  $X=\Psi$ , και  $E_1=E_2=(X+\Psi)/2$

$$\chi^2 = (X - \Psi)^2 / (X + \Psi) \quad (8.4)$$



# Παράδειγμα #2

Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου  $\chi^2$

Μέτρηση «μετά» $\Psi$	Ποσοστιαία μεταβολή από τη μέτρηση «πριν», $\chi=10$	Τιμή $\chi^2$	Αθροιστική πιθανότητα (επίπεδο σημαντικότητας $\alpha$ )	
0	100	10.00	0.002	
1	90	7.36	0.007	$\alpha < 0.01$
2	80	5.33	0.021	$\alpha < 0.05$
<b>3</b>	<b>70</b>	<b>3.77</b>	<b>0.052</b>	<b><math>\alpha &lt; 0.10</math></b>
4	60	2.57	0.109	
5	50	1.67	0.196	$\alpha < 0.20$
6	40	1.00	0.317	



# Μέθοδος διαφοράς των ατυχημάτων «πριν» και «μετά» (1/2)

$$X = \sum_{i=1}^{\nu} X_i \quad (8.5) \quad \Psi = \sum_{i=1}^{\mu} \Psi_i \quad (8.6)$$

όπου,

$X_i$  = αριθμός ατυχημάτων «πριν»

$\Psi_i$  = αριθμός ατυχημάτων «μετά»

Ακολουθούν κατανομή POISSON, όπου

$$E[X] = \nu \times \alpha \quad (8.7) \quad \text{και} \quad a = E[X_i] \quad (8.8)$$

$$E[\Psi] = \mu \times \beta \quad (8.9) \quad \text{και} \quad \beta = E[\Psi_i] \quad (8.10)$$

Πιθανότητα η διαφορά τους να είναι ίση με k:

$$P(X - \Psi = k) = e^{-\nu \times \alpha - \mu \times \beta} \times (\nu \times \alpha / \mu \times \beta)^{k/2} \times \underbrace{I_{|k|} \times (2 \times \sqrt{\mu \times \nu \times \alpha \times \beta})}_{\text{Συνάρτηση Bessel}} \quad (8.11)$$

Συνάρτηση Bessel



# Μέθοδος διαφοράς των ατυχημάτων «πριν» και «μετά» (2/2)

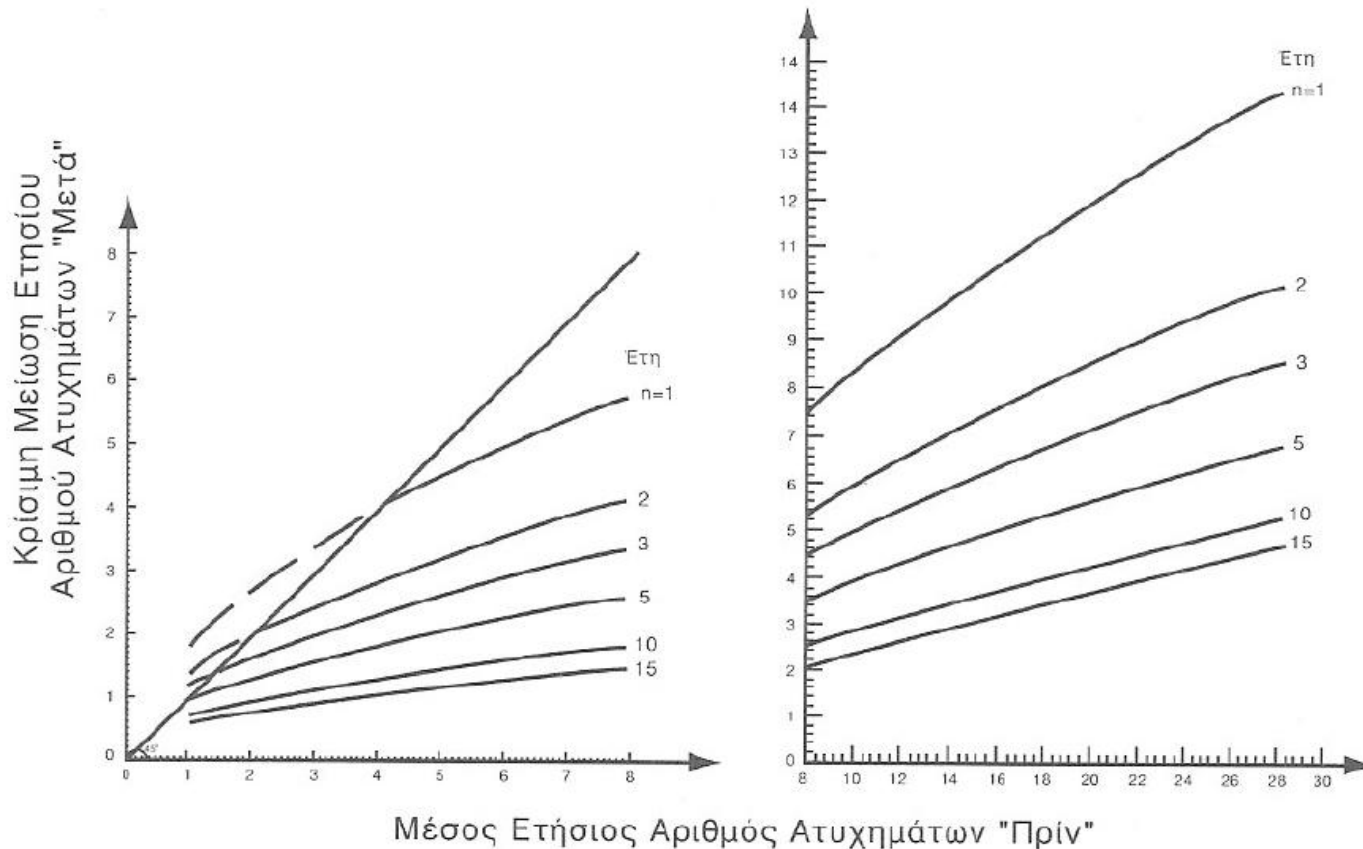
Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της διασποράς  $X-\Psi$

$$P(X - \Psi = k) = e^{-2\gamma} \times \sum_{\lambda=0}^{\infty} \frac{1}{\lambda!(\lambda + |k|)!} \gamma^{2\lambda + |k|} \quad (8.12)$$

$$\text{όπου,} \quad \gamma = \nu \times \alpha = \mu \times \beta \quad (8.13)$$

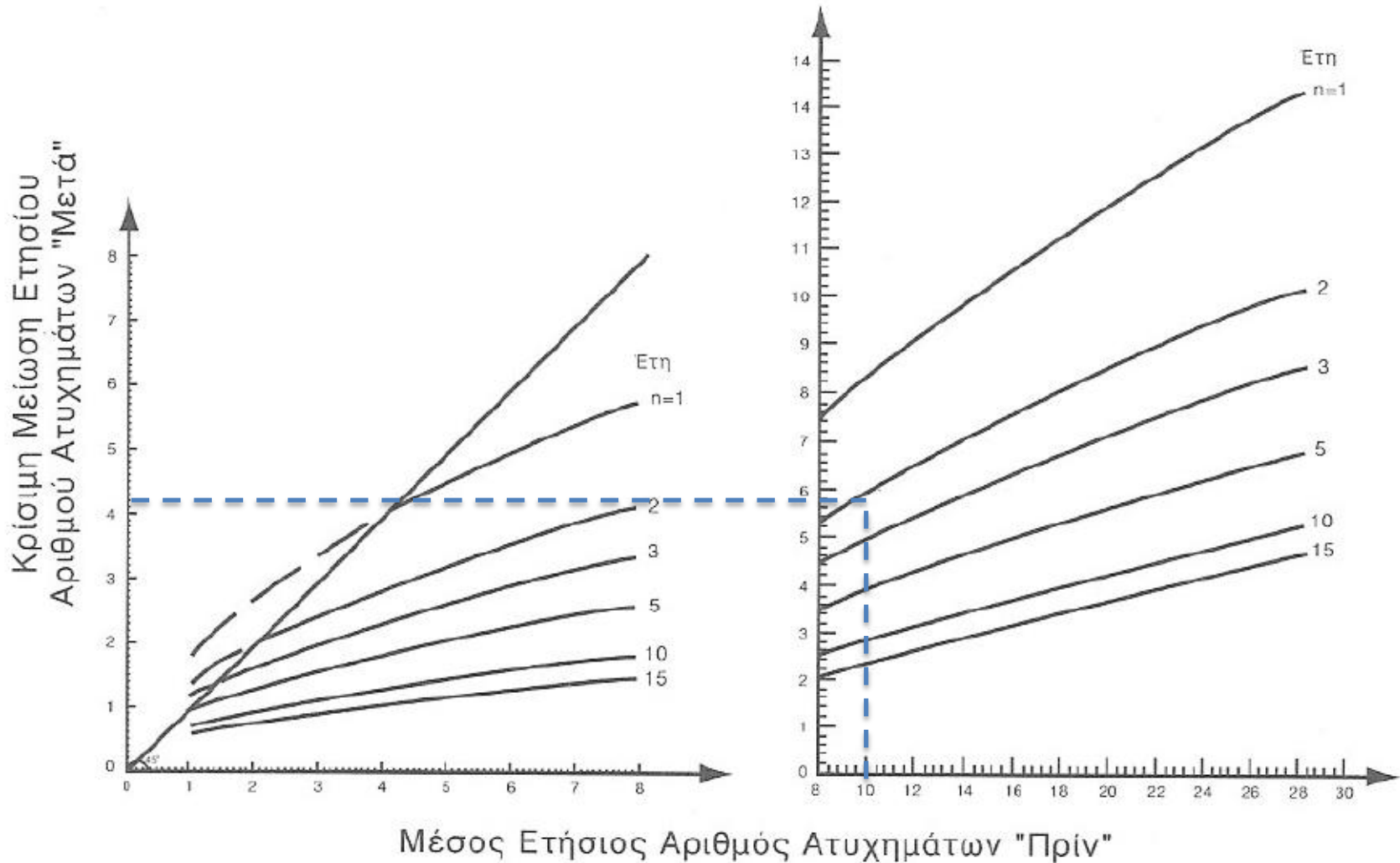


# Μείωση ετήσιου αριθμού ατυχημάτων «μετά»



**Σχήμα 8.2:** Κρίσιμη μείωση στον ετήσιο αριθμό ατυχημάτων «μετά» μιας θέσης που οριοθετεί την ύπαρξη μείωσης στην επικινδυνότητα της θέσης – Επίπεδο εμπιστοσύνης 90%

# Παράδειγμα #3



# Χωρίς περιοχή ελέγχου (συνέχεια)

## Ανάλυση πληθυσμού θέσεων

- Μέθοδος Hauer
- Μέθοδος Bayes



# Μέθοδος HAUER

- Πιθανότητα να συμβούν  $X$  ατυχήματα

$$\Pi(X / \lambda) = e^{-\lambda} \times \lambda^x / x! \quad (8.14)$$

$$\Pi(X) = \int_0^{\infty} \Pi(X / \lambda) \times d \times K(\lambda) = \int_0^{\infty} (e^{-\lambda} \times \lambda^X / X!) \times d \times k(\lambda) \quad (8.15)$$

Εκτίμηση  $\lambda$

$$T = (X + 1) \times \Pi(X + 1) / \Pi(X) \quad (8.16)$$

και

$$T = (X + 1) \times N(X + 1) / N(X) \quad (8.17)$$





# Παράδειγμα #4

Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου  $\chi^2$

$N(x)$	$x^2$	$x_\mu$	$T$
553	0	0.54	0.54
296	1	0.97	0.97
144	2	1.53	1.35
65	3	1.97	1.91
31	4	2.10	3.39
21	5	3.24	2.57
9	6	5.67	10.11
13	7	4.69	3.08
5	8	3.80	3.60
2	9	6.50	



# Μέθοδος BAYES (1/2)

Κατανομή του αναμενόμενου αριθμού ατυχημάτων

$$\phi(\lambda) = \frac{(a^\beta \times e^{-a\lambda} \times \lambda^{\beta-1})}{\Gamma(\beta)} \quad \text{-Γάμμα-} \quad (8.18)$$

Αριθμός ατυχημάτων  $X$  με αναμενόμενο αριθμό ατυχημάτων  $\lambda$

$$\Pi(X / \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^x}{X!} \quad \text{-Poisson-} \quad (8.19)$$



# Μέθοδος BAYES (2/2)

- Πιθανότητα του αριθμού ατυχημάτων «μετά»

$$\Pi(\Psi / X) = p^{\beta+X} \times q^{\Psi} \times [(\beta + x + \Psi - 1) \dots (\beta + X + 1) \times (\beta + X) / \Psi!] \quad (8.20)$$

$$\text{όπου, } p = (\alpha + 1) / (\alpha + 2) \quad (8.21)$$

$$q = 1 - p = 1 / (\alpha + 2) \quad (8.22)$$

$$E(\Psi / X) = (\beta + X) / (\alpha + 1) \quad (8.23)$$

$$Var(\Psi / X) = (\beta + X) \times (\alpha + 2) / (\alpha + 1)^2 \quad (8.24)$$



# Παράδειγμα #5

**Πίνακας 8.4:** Κατανομή συχνότητας ατυχημάτων ανά χιλιόμετρο στη διετία 1980-81 στην Εθνική Οδό μεταξύ Κατερίνης και Τεμπών

Αριθμός $X$ ατυχημάτων	0	1	2	3	4	5	6	7	8	>8
Αριθμός $N(X)$ χιλιομέτρων με $X$ ατυχήματα	7	9	7	8	4	2	1	1	1	0

$$a = \frac{E(X)}{\text{Var}(X) - E(X)} \quad (8.25)$$

$$\beta = \frac{E(X)^2}{\text{Var}(X) - E(X)} \quad (8.26)$$

$$p = (a + 1) / (a + 2) \quad (8.27)$$

$$q = 1 - p = 1 / (\alpha + 2) \quad (8.28)$$

Ισχύουν: μέσος όρος  $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{v}$  (8.29) και διακύμανση  $s^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{v-1}$  (8.30)

$$E(X) = 2.35 \quad a = 1.55$$

$$\text{Var}(X) = 3.87 \quad \beta = 3.63$$



# Παράδειγμα #5 (συνέχεια)

Πίνακας 8.5: Προβλέψεις για τα ατυχήματα της επόμενης διαιτίας (1982-83)

Αριθμός ατυχημάτων $\Psi$ στην επόμενη διαιτία	Πιθανότητα ο αριθμός ατυχημάτων να είναι μικρότερος ή ίσος του $\Psi$ στην επόμενη διαιτία
0	0.021
1	0.091
2	0.215
3	0.347
4	0.538
5	0.682
6	0.795
7	0.875
8	0.928
9	0.960
10	0.979
11	0.989
12	0.995
13	0.998
14	0.999
15	1.000



# Με περιοχή ελέγχου

1. Προσδιορισμός της περιοχής ελέγχου
  2. Επιλογή θέσεων για επεμβάσεις
- **Μεγάλη περιοχή**
  - **Μικρή περιοχή**



# Μεγάλη περιοχή ελέγχου (1/2)

- Απαλλαγή φαινομένου παλινδρόμησης περί τον μέσο  
 $X$  = ατυχήματα «πριν»  
 $\Psi$  = ατυχήματα «μετά»  
 $X_\varepsilon$  = ατυχήματα «πριν» στην περιοχή ελέγχου  
 $\Psi_\varepsilon$  = ατυχήματα «μετά» στην περιοχή ελέγχου  
 $X_\theta$  = ατυχήματα «πριν» χωρίς επεμβάσεις

$$X_\theta = \frac{X_\varepsilon \times (X + \Psi)}{(X_\varepsilon + \Psi_\varepsilon)} \quad (8.31)$$

$\Psi_\theta$  = ατυχήματα «μετά» χωρίς επεμβάσεις

$$\Psi_\theta = \frac{\Psi_\varepsilon \times (X + \Psi)}{(X_\varepsilon + \Psi_\varepsilon)} \quad (8.32)$$



# Μεγάλη περιοχή ελέγχου (2/2)

- Στατιστικός έλεγχος  $X^2$

$$X^2 = \frac{(X - X_\theta)^2}{X_\theta} + \frac{(\Psi - \Psi_\theta)^2}{\Psi_\theta} \quad (8.33)$$

$$X^2 = \frac{[\Psi - X(\Psi_\varepsilon / X_\varepsilon)]^2}{[(X + \Psi)(\Psi_\varepsilon / X_\varepsilon)]} \quad (8.34)$$





# Παράδειγμα #6

- Συνολικό τμήμα 81 χιλιόμετρα
- Επέμβαση: τοποθέτηση στηθαίου σε 7 χιλιόμετρα

Πίνακας 8.6: Αριθμός ατυχημάτων στην οδό 3 χρόνια πριν και 2 χρόνια μετά την επέμβαση

		Αριθμός ατυχημάτων	
		Πριν	Μετά
Τμήμα επέμβασης	7 χλμ.	197	101
Τμήμα ελέγχου	74 χλμ.	1856	1616

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 8.33 και 8.34 έχουμε:

$$\chi^2 = [101 - 197(1616/1856)]^2 / [(197+101)(1616/1856)]$$

$$\chi^2 = 19.17$$

$$\chi^2_{1,0.01} = 6.63$$

**Η μείωση είναι στατιστικά σημαντική**



# Παράδειγμα #7

- **Επέμβαση:** ανακατασκευή αυτοκινητόδρομου
- Στοιχεία για 3 έτη πριν την επέμβαση και για 2 έτη μετά την επέμβαση

**Πίνακας 8.7:** Αριθμός ατυχημάτων και στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου

Έτος	Αριθμός ατυχημάτων		ΜΗΚ (χιλιάδες οχήματα)	
	Σύνολο	Με παθόντες	0.9 χλμ.	4.6 χλμ.
1	177	107	27.7	19.8
2	143	86	32.0	21.3
3	205	90	34.4	22.9
4	97	60	56.6	37.0
5	170	65	60.6	39.5



# Παράδειγμα #7 (συνέχεια)

## Οχηματοχιλιόμετρα «πριν»

- 0.9 χλμ.:  $365 \times 0.9 \times (27.7 + 32.0 + 34.3) = 30.9$  εκατ. οχηματοχιλιόμετρα
- 4.6 χλμ.:  $365 \times 4.6 \times (19.8 + 21.3 + 22.9) = 107.5$  εκατ. οχηματοχιλιόμετρα

**Σύνολο 138.4 εκατ. οχηματοχιλιόμετρα**

## Οχηματοχιλιόμετρα «μετά»

- 0.9 χλμ.:  $365 \times 0.9 \times (56.6 + 60.6) = 38.5$  εκατ. οχηματοχιλιόμετρα
- 4.6 χλμ.:  $365 \times 4.6 \times (37.0 + 39.5) = 128.4$  εκατ. οχηματοχιλιόμετρα

**Σύνολο 166.9 εκατ. οχηματοχιλιόμετρα**

- Θεωρητική περιοχή ελέγχου ίδια με την περιοχή επέμβασης
- Αριθμός ατυχημάτων ανάλογος του αριθμού των οχηματοχιλιομέτρων στην περιοχή ελέγχου

$$\chi^2 = [267 - 525(166.9/138.4)]^2 / [(267 + 525)(166.9/138.4)] = 140.36$$

$$\chi^2 = [125 - 283(166.9/138.4)]^2 / [(125 + 283)(166.9/138.4)] = 95.08$$

$$\chi^2_{1,0.01} = 6.63$$

**Η μείωση είναι στατιστικά σημαντική**



# Μικρή περιοχή ελέγχου

Πίνακας 8.8: Κατάταξη δεδομένων ατυχημάτων

	Αριθμός ατυχημάτων		
	Πριν	Μετά	Σύνολο
Θέση	$X$	$\Psi$	$X+\Psi$
Περιοχή ελέγχου	$X_{\varepsilon}$	$\Psi_{\varepsilon}$	$X_{\varepsilon}+\Psi_{\varepsilon}$
Σύνολο	$X+X_{\varepsilon}$	$\Psi+\Psi_{\varepsilon}$	$X+\Psi+X_{\varepsilon}+\Psi_{\varepsilon}$

- Στατιστικός έλεγχος  $\chi^2$

$$\chi^2 = \frac{[(X\Psi_{\varepsilon} - \Psi X_{\varepsilon})^2 (X + \Psi + X_{\varepsilon} + \Psi_{\varepsilon})]}{[(X + \Psi)(\Psi + \Psi_{\varepsilon})(X_{\varepsilon} + \Psi_{\varepsilon})(X + X_{\varepsilon})]} \quad (8.35)$$



# Παράδειγμα #8

- Ισόπεδος κόμβος
- Επέμβαση: τοποθέτηση φωτεινού σηματοδότη

Πίνακας 8.9: Αριθμός ατυχημάτων

	Αριθμός ατυχημάτων		
	Πριν	Μετά	Σύνολο
Κόμβος επέμβασης	18	9	27
Άλλοι 5 κόμβοι	85	75	160
Σύνολο	103	84	187

$$\chi^2 = \frac{[(18 \times 75 - 9 \times 85)^2 / (18 + 9 + 85 + 75)]}{[(18 + 9)(9 + 75)(85 + 75)(18 + 85)]} = 1.71$$

$$\chi^2_{1,0.05} = 3.84$$

**Η μείωση δεν είναι στατιστικά σημαντική**



# Τέλος Διάλεξης της Ενότητας 8



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Σημειώματα





# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.01.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ευτυχία Ναθαναήλ 2015. «Οδική ασφάλεια. Ενότητα 8, Διάλεξη 8». Έκδοση: 1.0. Βόλος 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://eclass.uth.gr/eclass/courses/MHXC120/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- Το Σημείωμα Αναφοράς
- Το Σημείωμα Αδειοδότησης
- Τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Σχήματα:

**Σχήμα 8.1:** Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation. *Highway Safety Evaluation Procedural Guide*, 1981.

**Σχήματα 8.2-8.3:** Feller, W. *An introduction to Probability Theory and its Applications* (2<sup>nd</sup> edition), C. Griffinand Co., London, 1976.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Πίνακες:

**Πίνακες 8.1, 8.2, 8.5-8.9:** Φραντζεσκάκης Ι.Μ. και Ι. Κ. Γκόλιας, «Οδική Ασφάλεια», Β΄ έκδοση, Παπασωτηρίου 1994.

**Πίνακας 8.3:** Hauer, E. On the Estimation of the Expected Number of Accidents. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 18, No.1, 1986.

**Πίνακας 8.4:** Γκόλιας, Γ. Τεχνικές Αντιμετώπισης της Επίδρασης της Παλινδρόμησης περί τον Μέσο στα Συμπεράσματα των Μελετών Ατυχημάτων «Πριν» και «Μετά». Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, *Τεχνικά Χρονικά*, Περιοχή Α, Τομ. 8, Τευχ. 2, 1988.

