

**ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΒΛΑΒΗΣ  
ΜΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ  
ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ  
ΕΛΛΗΝΙΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ**

**Τελική Έκθεση**

**ΟΕ ΤΕΕ /ΤΚΜ**

<b>Κάππος Ανδρέας</b>	<b>ΠΜ, Καθηγητής ΑΠΘ</b>
<b>Λεκίδης Βασίλειος</b>	<b>ΠΜ, Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ</b>
<b>Μουστεράκη Κλαίρη</b>	<b>ΠΜ, ΥΑΣΒΕ (β' φάση)</b>
<b>Σαλονικιός Θωμάς</b>	<b>ΠΜ, Εντεταλμένος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ</b>
<b>Αντωνιάδης Κωνσταντίνος</b>	<b>ΠΜ, Διδάκτορας ΑΠΘ</b>
<b>Παρασκευόπουλος Ηλίας</b>	<b>ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορας ΑΠΘ</b>

**Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2005**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
2.ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΥΑ 5172/ΑΖ5β/18.10.99) .	6
3.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ .....	10
3.1.Στατιστικό δείγμα .....	10
3.2.Έντυπα συλλογής στοιχείων .....	10
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	13
4.1.Τυπολογία βλαβών .....	13
4.2.Μέθοδοι επισκευής – ενίσχυσης .....	13
4.3.Συσχέτιση δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας .....	14
5.ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ .....	15
5.1.Μελέτες πάνω στη σχέση δομικού – οικονομικού δείκτη βλάβης .....	15
5.2. Πρόταση αναλυτικών μοντέλων με βάση τα στοιχεία της παρούσα έκθεσης ..	19
6.ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	45
6.1.Σύγκριση μεθόδων επισκευής .....	45
6.2.Αξιολόγηση διαγραμμάτων .....	45
6.2.1.Δείγμα κτιρίων με βλάβες από την Αθήνα .....	45
6.2.2.Δείγμα κτιρίων με βλάβες από την Θεσσαλονίκη .....	46
6.2.3.Κτίρια με βλάβες από την Θεσσαλονίκη, την Αθήνα και συνολικά .....	46
7.ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ .....	47
7.1.Περιοχή Άνω Λιόσια – Αχαρνές .....	47
7.2.Περιοχή Θεσσαλονίκης .....	48
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	49
9. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	51
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ .....	51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα Πολεοδομικά Συγκροτήματα, οι οικονομικές απώλειες λόγω ισχυρών σεισμών αποδίδονται σε μια ομάδα παραγόντων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι η άρση ερειπίων, η αναζήτηση επιζώντων, η στέγαση, η διατροφή και η περίθαλψη σεισμοπλήκτων, η επισκευή – ενίσχυση κατασκευών και τεχνικών έργων και η μείωση της οικονομικής και εμπορικής δραστηριότητας. Αντικείμενο της παρούσας Ομάδας Εργασίας είναι να αξιοποιήσει τα αρχεία δημόσιων υπηρεσιών προκειμένου να προκύψουν στοιχεία συσχέτισης της δομικής βλάβης κτιρίων και της οικονομικής απώλειας (δαπάνη επισκευής – ενίσχυσης ή ανακατασκευής). Τα δύο μεγαλύτερα πολεοδομικά συγκροτήματα της Χώρας (Θεσσαλονίκη, Αθήνα) έχουν δεχθεί από ένα ισχυρό σεισμό τα τελευταία χρόνια. Για την επισκευή, ενίσχυση και ανακατασκευή των κτιρίων στα οποία εμφανίστηκαν βλάβες, για αυτούς τους σεισμούς, συστάθηκαν δημόσιες υπηρεσίες (Υ.Α.Σ.Β.Ε.) ή ενεργοποιήθηκαν και επεκτάθηκαν υφιστάμενες (Τ.Α.Σ.) προκειμένου να ελεγχθεί η επιστημονική τεκμηρίωση των προτεινόμενων επεμβάσεων και να γίνει διαχείριση της κρατικής οικονομικής αρωγής (άτοκα ή χαμηλότοκα δάνεια). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία αρχείων, σε αυτές τις υπηρεσίες, από όπου ήταν δυνατό να αντληθούν αξιόπιστα και αξιοποιήσιμα αποτελέσματα. Στην πρώτη φάση συλλέχθηκαν στοιχεία από τα Τ.Α.Σ. Άνω Λιοσίων και Αχαρνών στην Αθήνα. Από την αποδελτίωση των στοιχείων αυτών προέκυψαν τα αριθμητικά μοντέλα συσχέτισης της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης με τον λόγο του κόστους επισκευής προς το κόστος ανακατασκευής. Η ίδια μεθοδολογία εφαρμόζεται για κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 και προκύπτουν τα αντίστοιχα αναλυτικά μοντέλα. Τέλος σε συγκριτικά διαγράμματα δίνονται οι παραπάνω καμπύλες για τα κτίρια της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και συνολικά για τα κτίρια Αθήνας και Θεσσαλονίκης.

Με τα αποτελέσματα που προκύπτουν επιτρέπεται η εκτίμηση της αναμενόμενης απώλειας με βάση πραγματικά στοιχεία βλαβών και επισκευών από προηγούμενους ελληνικούς σεισμούς, και είναι δυνατός ο καλύτερος προγραμματισμός των αναγκαίων ενεργειών και η λήψη μέτρων από την Πολιτεία, με στόχο πάντα τη μείωση των αναμενόμενων απωλειών, αλλά και την αποτελεσματικότερη και πιο τεκμηριωμένη παρέμβαση στο επίκαιρο πρόβλημα της σεισμικής ασφάλισης. Μέσω της συσχέτισης των παραπάνω δύο παραμέτρων και με βάση τη μεθοδολογία της τρωτότητας, είναι δυνατή η θέσπιση συνοπτικής διαδικασίας έτσι ώστε να είναι δυνατή μια ταχεία και τυποποιημένη, αναπόφευκτα προσεγγιστική, αλλά ορθολογιστική και με κοινά βασικά κριτήρια προεκτίμηση του κόστους αποκατάστασης σεισμοπλήκτων κτιρίων (κυρίως των ασφαλισμένων) ως ποσοστό του κόστους ανακατασκευής τους. Βασικός στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να προκύπτει από την προεκτίμηση ένα ποσό αποζημίωσης που να είναι ορθολογικό και αποδεκτό από τους ιδιοκτήτες του ασφαλισμένου κτιρίου, χωρίς βεβαίως να είναι υψηλότερο από το πραγματικό κόστος των απαιτούμενων επεμβάσεων. Εξάλλου, στο σχέδιο Ξενοκράτης και στο κεφάλαιο της ετοιμασίας των υλικών και εξοπλισμού, μπορεί να γίνει συσχέτιση των αναμενόμενων απωλειών και της ποσότητας και κατανομής του εξοπλισμού για επιτυχέστερη αντιμετώπιση των καταστροφών. Αλλά και στις μετασεισμικές επεμβάσεις είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η σχέση μεταξύ δομικής και οικονομικής απώλειας προκειμένου να καταστεί δυνατή μια ρεαλιστική εκτίμηση της χρηματοδότησης για αποκατάσταση των βλαβέντων κτιρίων.

Η παρούσα ομάδα εργασίας (ΟΕ) που συστάθηκε από το ΤΕΕ Τμ. Κεν. Μακεδονίας έχει μέλη τους

Κάππο Ανδρέα	ΠΜ, Καθηγητή ΑΠΘ
Λεκίδη Βασίλειο	ΠΜ, Κύριο Ερευνητή ΙΤΣΑΚ
Μουστεράκη Κλαίρη	ΠΜ, ΥΑΣΒΕ (β φάση)
Σαλονικιό Θωμά	ΠΜ, Εντεταλμένο Ερευνητή ΙΤΣΑΚ
Αντωνιάδη Κωνσταντίνο	ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορα ΑΠΘ
Παρασκευόπουλο Ηλία	ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορα ΑΠΘ

Μετά τον σεισμό της Πάρνηθας εισήχθη (με την τροποποίηση της ΥΑ5172/ΑΖ5β/18.10.99) ένα ορθολογικό και σχετικά λεπτομερές σύστημα αξιολόγησης και χαρακτηρισμού των σεισμικών βλαβών, το οποίο εφαρμόστηκε πλέον κατά το δευτεροβάθμιο έλεγχο και στις μελέτες επισκευής – ενίσχυσης κτιρίων στην Αθήνα. Σε αυτή την δεύτερη φάση τα μέλη της Ομάδας Εργασίας χρησιμοποιούν την μεθοδολογία της παραπάνω Υπουργικής Απόφασης και την εφαρμόζουν σε κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Θεσσαλονίκης. Αξιοποιείται η περιγραφή των βλαβών στις τεχνικές εκθέσεις και η επισήμανσή τους στα σχέδια των ορόφων για την συμπλήρωση των εντύπων. Με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων αυτών προκύπτουν τα απλοποιημένα μοντέλα συσχέτισης δομικής βλάβης και αντίστοιχης οικονομικής απώλειας (δαπάνης επισκευής ή ανακατασκευής). Κρίσιμη εν προκειμένω είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου (μοντέλου) βάσει ενός σχετικά απλού τρόπου αξιολόγησης και περιγραφής της δομικής βλάβης (π.χ. εξετάζοντας μόνο τα στοιχεία του κρισιμότερου ορόφου ή και τις εξωτερικές όψεις του κτιρίου). Δεδομένου ότι τα διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία από ελληνικούς σεισμούς δεν είναι ιδιαίτερα πολλά (αναφερόμαστε σε στοιχεία επαρκή για τους προαναφερθέντες σκοπούς), ήταν ιδιαίτερα σημαντικό να αξιοποιηθούν και τα στοιχεία που προέκυψαν από τον παλαιότερο σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978). Τα στοιχεία αυτά συνδυάζουν το κόστος επισκευής με έναν απλούστερο χαρακτηρισμό της βλάβης (πράσινο-κίτρινο-κόκκινο), ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί στους περισσότερους ελληνικούς σεισμούς.

Η συνολική διάρκεια δουλειάς της ΟΕ ήταν διαρθρωμένη χρονικά σε δύο φάσεις, ως εξής:

*1<sup>η</sup> Φάση:*

- Βιβλιογραφική τεκμηρίωση
- Συλλογή στοιχείων από τον σεισμό της Πάρνηθας (1999)
- Ανάπτυξη μοντέλων με βάση το δευτεροβάθμιο χαρακτηρισμό του βαθμού βλάβης
- Υποβολή έκθεσης προόδου 1<sup>ης</sup> φάσης

*2<sup>η</sup> Φάση:*

- Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων από το σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978)
- Συγκριτική μελέτη συσχέτισης βαθμού βλάβης με το κόστος επισκευής για την Αθήνα, για την Θεσσαλονίκη και συνολικά για Αθήνα και Θεσσαλονίκη

- Οικονομικές εκτιμήσεις για Αθήνα και Θεσσαλονίκη
- Σύνταξη τελικής έκθεσης.

Ειδικότερα, το κύριο αντικείμενο της πρώτης φάσης δουλειάς της ΟΕ αυτής ήταν η συλλογή στοιχείων βλαβών και επισκευών για κτίρια που επλήγησαν από το σεισμό της Πάρνηθας (7-9-1999), με έμφαση στη συσχέτιση του βαθμού βλάβης στα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία των κτιρίων με το αντίστοιχο κόστος επισκευής. Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν από τα ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών (Μενιδίου). Η τεχνική έκθεση με τα αποτελέσματα της 1<sup>ης</sup> φάσης έχει υποβληθεί στο ΤΕΕ/ΤΚΜ την άνοιξη του 2003. Στην δεύτερη φάση έγινε παρόμοια δουλειά για κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978.

Για τον υπολογισμό της δομικής βλάβης τα μέλη της ΟΕ βασίστηκαν στη μεθοδολογία υπολογισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας στοιχείου και στάθμης (ορόφου) που προτείνεται στην Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99. Προφανώς, επειδή την περίοδο σύνταξης των μελετών δεν υπήρχε η παραπάνω Υπουργική Απόφαση τα μέλη της Ομάδας Εργασίας έκαναν τους υπολογισμούς επί τόπου (στην ΥΑΣΒΕ) την στιγμή που ανοιγόταν ο φάκελος. Οι οικονομικές απώλειες για κάθε κτίριο προέκυψαν από τον συνολικό προϋπολογισμό των εργασιών αποκατάστασης – ανακατασκευής που υπολογίσθηκαν από τον υπεύθυνο μηχανικό και συνοδεύει τον αντίστοιχο φάκελο κάθε κτιρίου που είχε βλάβες.

## 2. ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΥΑ 5172/ΑΖ5β/18.10.99)

Ο υπολογισμός της απομένουσας φέρουσας ικανότητας κτιρίου γίνεται με βάση την Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99. Σύμφωνα με αυτή καθορίζονται οι διαδικασίες αποτίμησης των κτιρίων με βλάβες προκειμένου να προκύψουν οι απαιτούμενες επεμβάσεις για την αποκατάστασή τους. Ειδικότερα καθορίζονται κριτήρια κατάταξης των κτιρίων με βάση την επιρροή των βλαβών στη γενική ευστάθεια του κτιρίου. Στην περίπτωση που οι βλάβες περιορίζονται στις πλάκες και τις δοκούς (ελαφρές ή σοβαρές βλάβες), στο 30% των κατακόρυφων στοιχείων (ελαφρές βλάβες) και στους τοίχους πλήρωσης (ελαφρές ή βαριές), θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται η γενική ευστάθεια του κτιρίου. Σε οποιαδήποτε άλλη δυσμενέστερη περίπτωση βλαβών θεωρείται ότι επηρεάζεται η γενική ευστάθεια του κτιρίου. Ερευνάται κατά πόσο οι βλάβες υποδηλώνουν:

- ότι υπάρχει πρόβλημα στη σύνθεση και σχεδιασμό του φορέα.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα του εδάφους θεμελίωσης.
- ότι υπάρχει κάποιο σφάλμα στον υπολογισμό του φορέα (αρχική μελέτη).
- ότι υπάρχει κάποιο σοβαρό πρόβλημα λόγω μη τήρησης της αρχικής μελέτης.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την αντοχή του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση που η κατάταξη του κτιρίου δεν είναι δυνατή από την παρατήρηση των βλαβών, εκτιμάται η απομένουσα φέρουσα ικανότητα και η αντίστοιχη απώλεια στην κρίσιμη στάθμη. Θεωρείται ότι έχει επηρεασθεί η γενική ευστάθεια του κτιρίου όταν η απώλεια φέρουσας ικανότητας του κτιρίου, στην κρίσιμη στάθμη, είναι μεγαλύτερη ή ίση του 10% για κτίρια μικρής ηλικίας και του 15% για κτίρια μεγάλης ηλικίας. Μικρής ηλικίας είναι τα κτίρια ηλικίας μέχρι 25ετών και μεγάλης ηλικίας τα κτίρια πάνω από 30ετών (για ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή). Οι παραπάνω ηλικίες για τα κτίρια της Θεσσαλονίκης λαμβάνονται από το 1978 και πριν.

Πίνακας 1. Απομένουσα Φέρουσα Ικανότητα (Φ.Ι.) Στοιχείου ( $\phi_i$ ) ως ποσοστό της αρχικής Φ.Ι.

ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΤΥΠΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ			
	«Α»	«Β»	«Γ»	«Δ»
ΜΙΚΡΗ ΗΛΙΚΙΑ	0.95	0.75	0.45	0.15
ΜΕΓΑΛΗ ΗΛΙΚΙΑ	0.80	0.60	0.30	0

Μικρή ηλικία  $\leq 25$  ετών, μεγάλη ηλικία  $\geq 30$  ετών (ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή)

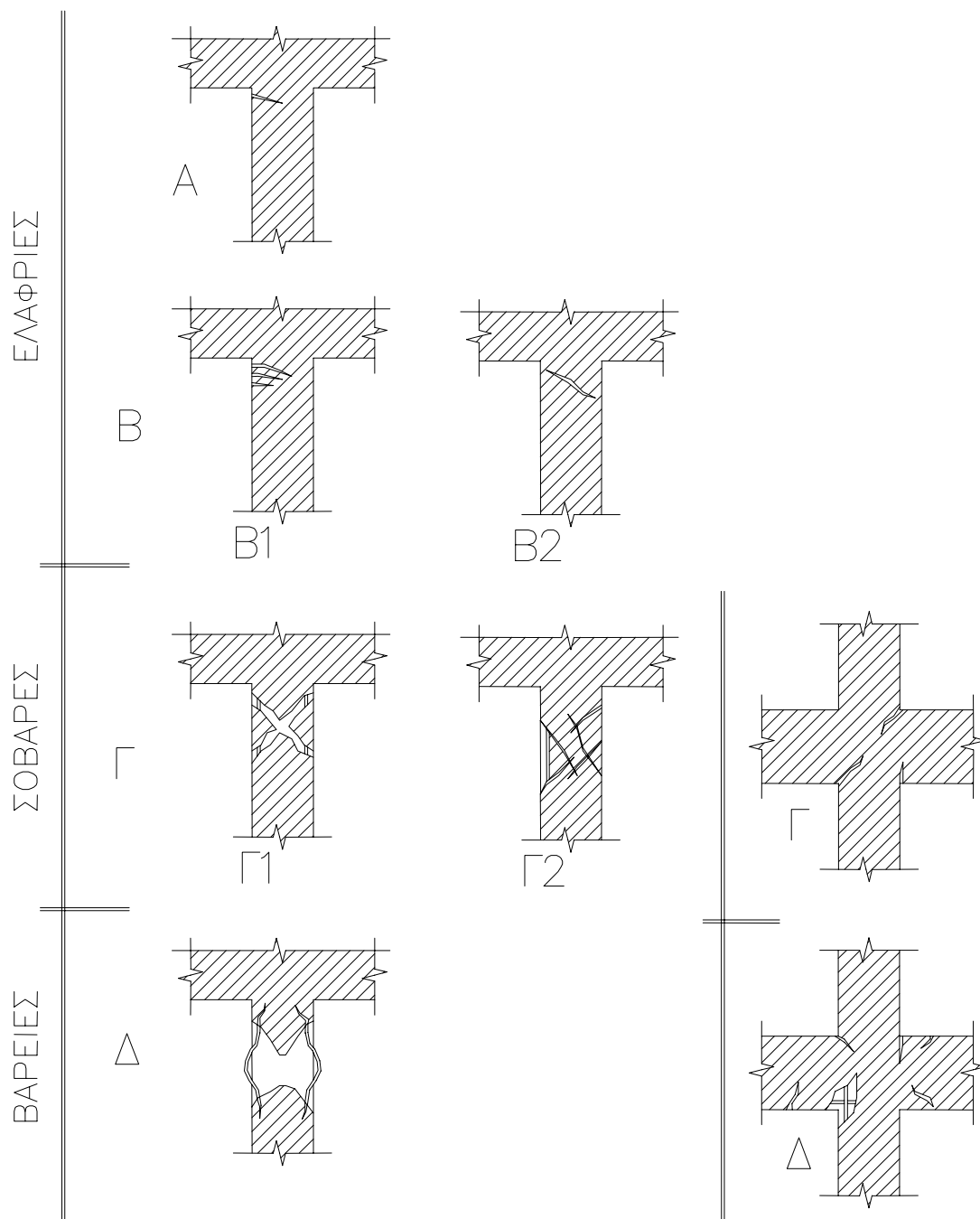
Κακή κατάσταση ή κακή κατασκευή στοιχείου μείωση  $\phi_i$  κατά 5%

Κακή κατάσταση **και** κακή κατασκευή στοιχείου μείωση  $\phi_i$  κατά 15%

Ειδικότερα για τις βλάβες που αναπτύσσονται στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία αυτές λαμβάνουν τον χαρακτηρισμό από «Α» έως «Δ» ανάλογα με τον τύπο τους και το μέγεθός τους, σύμφωνα με το σχήμα 1. Έτσι στην περίπτωση που εμφανίζεται καμπτική ρηγματώση στο υποστύλωμα η οποία εκδηλώνεται με ένα ρήγμα θεωρείται ότι έχει αναπτυχθεί ελαφριά βλάβη και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Α». Στην περίπτωση που αναπτύσσονται περισσότερα

από ένα καμπτικά ρήγματα στο υποστύλωμα ή διατμητικό ρήγμα σε μία διεύθυνση, θεωρείται ότι οι βλάβες είναι ελαφριές και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Β» (B1 ή B2 σύμφωνα με το σχήμα). Στην περίπτωση που αναπτύσσονται διαγώνια ρήγματα στο υποστύλωμα και στις δύο διευθύνσεις, οι βλάβες θεωρείται ότι είναι σοβαρές και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Γ» (Γ1 ή Γ2 σύμφωνα με το σχήμα). Στην περίπτωση που υπάρχουν διαγώνια ρήγματα, το ρηγματωμένο σκυρόδεμα έχει συντριβεί και έχουν λυγίσει οι διαμήκεις ράβδοι του οπλισμού οι βλάβες θεωρείται ότι είναι βαριές και χαρακτηρίζονται ως βαθμού «Δ». Ανάλογα με τον χαρακτηρισμό των βλαβών από «Α» έως «Δ», την ηλικία και την ποιότητα κατασκευής του δομικού στοιχείου προκύπτει από τον πίνακα 1 η απομένουσα φέρουσα ικανότητά του. Για τις επεμβάσεις καθορίζονται οι βασικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες το κτίριο αντιμετωπίζεται συνολικά, αποφεύγεται η απότομη μεταβολή της αντοχής και ακαμψίας μεταξύ των ορόφων, προσδιορίζονται και “θεραπεύονται” τα ενδογενή αίτια βλάβης, χρησιμοποιούνται μέθοδοι και υλικά επισκευής με ευκολία εφαρμογής, τα οποία εύκολα ελέγχονται ποιοτικά. Ο τελικός έλεγχος αντοχής γίνεται για όλα τα δομικά στοιχεία, τόσο για τα μη όσο και για τα επισκευασμένα / ενισχυόμενα δομικά στοιχεία.

## ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ



**Σχήμα 1.** Τυπικοί βαθμοί βλάβης



**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ**

**ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ Ο/Σ**

**ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ Φ/Τ**

**A. ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**

$\varphi_{στ} < 10\% \varphi_{αρχ}$  (μικρή ηλικία  $\leq 25$ έτη)  
 $\varphi_{στ} < 15\% \varphi_{αρχ}$  (μεγάλη ηλικία  $\geq 30$ έτη)

$\varphi_{στ} < 10\% \varphi_{αρχ}$  (μικρή ηλικία  $\leq 50$ έτη)  
 $\varphi_{στ} < 15\% \varphi_{αρχ}$  (μεγάλη ηλικία  $\geq 75$ έτη)

**B. ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**

$\varphi_{στ} > 10\% \varphi_{αρχ}$  (μικρή ηλικία  $\leq 25$ έτη)  
 $\varphi_{στ} > 15\% \varphi_{αρχ}$  (μεγάλη ηλικία  $\geq 30$ έτη)

$\varphi_{στ} > 10\% \varphi_{αρχ}$  (μικρή ηλικία  $\leq 50$ έτη)  
 $\varphi_{στ} > 15\% \varphi_{αρχ}$  (μεγάλη ηλικία  $\geq 75$ έτη)

**ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΒΛΑΒΩΝ**

- \* ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ (Α, Β, Γ, Δ)
- \* ΚΟΜΒΟΙ (Γ, Δ)
- \* ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ [(Α, Β)  $\Rightarrow$  Γ, (Γ, Δ)  $\Rightarrow$  Δ]

- \* ΦΕΡΟΥΣΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΙΣ (Α, Β, Γ, Δ)

**ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ**

$$\varphi_i = f \left( \begin{array}{c} \text{τυπικός βαθμός βλάβης} \\ \text{ηλικία} \\ \text{κακοτεχνίες, φυσική φθορά} \end{array} \right)$$

$$\varphi_i = f \left( \begin{array}{c} \text{τυπικός βαθμός βλάβης} \\ \text{ηλικία} \end{array} \right)$$

**ΑΠΩΛΕΙΑ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ**

$$\alpha_i = 1 - \varphi_i$$

$$\alpha_i = 1 - \varphi_i$$

**ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΑΘΜΗΣ**

$$\varphi_{στ} \equiv \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} \quad 1 \geq \varphi_i \geq 0$$

$$\varphi_x \equiv \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad 1 \geq \varphi_x \geq 0.25$$

**ΑΠΩΛΕΙΑ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ**

$$\alpha_{στ} = 1 - \varphi_{στ}$$

Ανά διεύθυνση  $\alpha_{\chi} = 1 - \varphi_{\chi}$

### 3. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

#### 3.1. Στατιστικό δείγμα

Για την πραγματοποίηση της έρευνας και τη συλλογή των στοιχείων που αφορούσαν την απώλεια φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης και την οικονομική απώλεια χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία της ΥΑΣΒΕ. Ανοίχθηκαν περίπου 500 φάκελοι κτιρίων με βλάβες. Επαρκή στοιχεία για την συμπλήρωση των εντύπων βρέθηκαν τελικώς σε 98 φακέλους. Τονίζεται στο σημείο αυτό ότι οι υπολογισμοί σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99 έγιναν επί τόπου στην ΥΑΣΒΕ την στιγμή που ανοιγόταν ο φάκελος από τα μέλη της Ομάδας Εργασίας. Λόγω των ελλειπέστερων στοιχείων των Φακέλων της ΥΑΣΒΕ συγκριτικά με τους (πολύ μεταγενέστερους) φακέλους στα ΤΑΣ της Αθήνας το στατιστικό δείγμα περιορίστηκε όπως προαναφέρθηκε στα 98 έντυπα. Για τη συλλογή των στοιχείων συντάχθηκε ειδικό έντυπο (σελίδα 11 της παρούσας έκθεσης), στα πλαίσια της ομάδας εργασίας, ελαφρώς τροποποιημένο σε σχέση με το αντίστοιχο έντυπο που χρησιμοποιήθηκε στην Αθήνα (παράρτημα Α). Η τροποποίηση αφορούσε την αφαίρεση της παραγράφου, η οποία περιέγραφε, με βάση ποιόν κανονισμό έγινε η μελέτη επισκευής ή ενίσχυσης καθώς, σε αντίθεση με την Αθήνα, στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης δεν υπήρχε η δυνατότητα επιλογής άλλου κανονισμού, εκτός από τον ισχύοντα.

#### 3.2. Έντυπα συλλογής στοιχείων

Στα έντυπα συλλογής στοιχείων συμπληρώθηκαν πληροφορίες σχετικά με το κάθε κτίριο στο οποίο παρουσιάσθηκαν βλάβες και έγιναν επισκευές και ενισχύσεις. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Ο αριθμός φακέλου που δόθηκε σε κάθε περίπτωση από την ΥΑΣΒΕ. Αυτό το στοιχείο θεωρήθηκε απαραίτητο προκειμένου να είναι δυνατό να προσδιορισθεί ο συγκεκριμένος φάκελος στην περίπτωση που χρειασθεί να γίνει συμπληρωματική εξέταση του φακέλου (από την ΟΕ).
- Η χρονολογία μελέτης και κατασκευής του κτιρίου προκειμένου να προκύψει αφενός μεν ο κανονισμός με βάση τον οποίο έγινε η στατική του μελέτη, αφετέρου δε η ηλικία του κτιρίου.
- Το εμβαδό κάθε ορόφου του κτιρίου (χωρίς τους εξώστες) καθώς και της θεμελίωσης. Επίσης αναφέρεται ποιες ήταν οι στάθμες με τις περισσότερες βλάβες (κρίσιμες στάθμες). Τα στοιχεία του εμβαδού των ορόφων κρίθηκαν απαραίτητα προκειμένου να προκύψει το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά μονάδα επιφανείας.
- Το πλήθος και ο τύπος (υποστυλώματα και τοιχώματα κατά X ή Y) των κατακόρυφων δομικών στοιχείων της κρίσιμης στάθμης.
- Ο τύπος των στοιχείων με βλάβες στην κρίσιμη στάθμη. Είναι πιθανό σε μερικά κτίρια να αναπτύσσονται βλάβες κυρίως σε δοκούς και όχι σε υποστυλώματα. Καθώς ο υπολογισμός της απομένουσας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης βασίζεται στις βλάβες που ανέπτυξαν τα υποστυλώματα είναι δυνατό να δημιουργούνται σημαντικές αποκλίσεις (προς τα επάνω) στο κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο κατά τη συγκέντρωση των βλαβών κυρίως στις δοκούς.

- Οι στάθμες με βλάβες (πλήθος, θέση), στις οποίες έγιναν επεμβάσεις (θεωρώντας και τη θεμελίωση στην περίπτωση που έγιναν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση).
- Ο δείκτης βλάβης του κρίσιμου ορόφου.
- Το συνολικό κόστος των επεμβάσεων
- Συνοπτική περιγραφή βλαβών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο υπολογισμός της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης δεν υπήρχε. Για τον λόγο αυτό οι υπολογισμοί έγιναν από τα μέλη της Ο.Ε. που έκαναν την αποτίμηση και το χαρακτηρισμό των βλαβών με βάση την τεχνική έκθεση του υπεύθυνου μηχανικού, το φωτογραφικό υλικό και την αποτύπωση των βλαβών σε σχέδια.

Το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο προκύπτει από το λόγο του συνολικού κόστους των επεμβάσεων προς το συνολικό εμβαδό των σταθμών με βλάβες όπου έγιναν επεμβάσεις (συνυπολογίζοντας και τη θεμελίωση στις περιπτώσεις που έγιναν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση) και των σταθμών για τις οποίες προέκυψε υπολογιστικά ότι έπρεπε να γίνει ενίσχυση.

Τα έντυπα που συμπληρώθηκαν παρουσιάζονται στο παράρτημα Β αυτού του τεύχους. Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη συσχέτιση της απώλειας της φέρουσας ικανότητας και του κόστους επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο και για τις μεθόδους επισκευής που εφαρμόστηκαν.

## Δείγμα εντύπου για Θεσσαλονίκη

### ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΦΑΚΕΛΟ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Αρ. εντύπου  Αρ. φακέλου

A. Διεύθυνση κτιρίου (Οδός, αριθμός εισόδου)

Χρονολογία αρχικής μελέτης:  Δεν βρέθηκε μελέτη:

Χρονολογία κατασκευής:

Εμβαδό κάτοψης ορόφων (αν είναι δυνατόν χωρίς εξώστες):

Υπογείου:  Ισόγειο:  Pilotis:  1ος : 3ος

Πλήθος σταθμών (Θεμ.):  Κρίσιμος όροφος:

Πλήθος κατακόρυφων στοιχείων κάθε στάθμης (X παράλληλα με την είσοδο):

Υποστυλώματα :  Τοιχώματα X:

Τοιχώματα Y:  Τοιχώματα λοξά:

Τύπος κατακόρυφων στοιχείων με βλάβες στο κρίσιμο όροφο:

Στοιχεία πλήρωσης:  Υποστυλώματα:  Δοκοί:

Τοιχώματα:  Κόμβοι:

Πλήθος σταθμών με βλάβες όπου έγιναν επεμβάσεις:

Στάθμες στις οποίες έγιναν επεμβάσεις:

B. Δείκτης βλάβης κρίσιμου ορόφου:

Κόστος επεμβάσεων:

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΖΗΜΙΩΝ

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

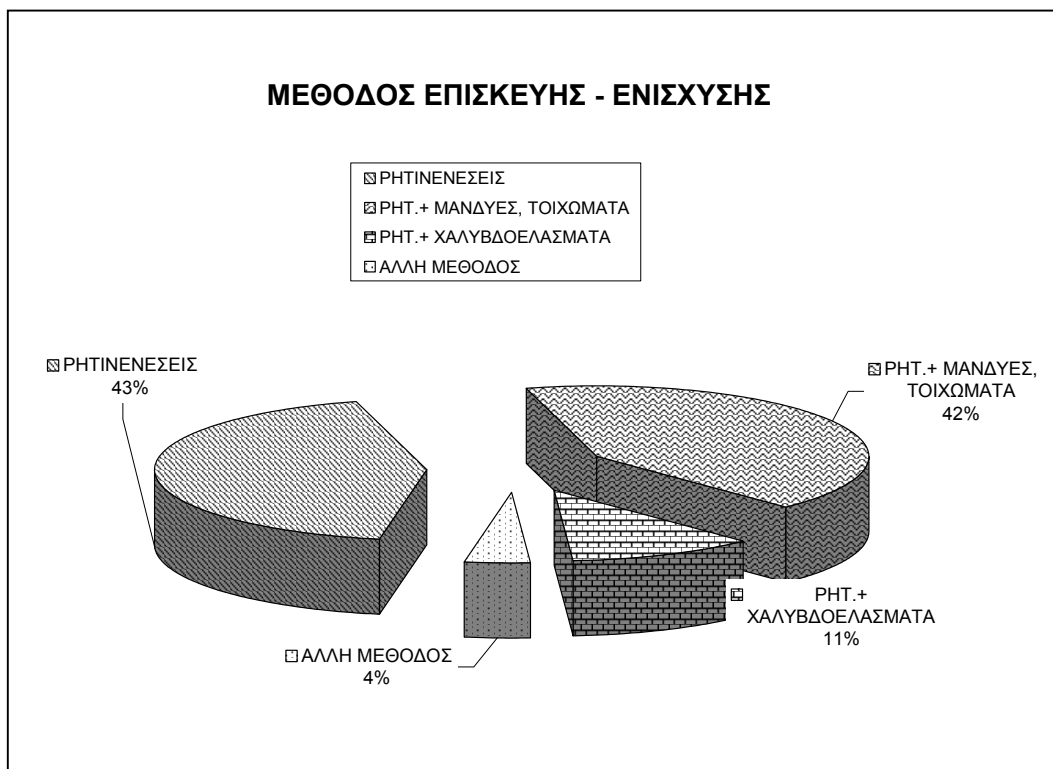
### 4.1. Τυπολογία βλαβών

Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στα έντυπα, προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των βλαβών και τον τύπο των δομικών στοιχείων στα οποία αυτές συγκεντρώθηκαν. Οι περιπτώσεις κατά τις οποίες οι βλάβες επηρέαζαν την γενική ευστάθεια του κτιρίου ήταν σημαντικά περιορισμένες για την Θεσσαλονίκη σε σχέση με τα αντίστοιχα κτίρια στην Αθήνα. Οι βλάβες που παρατηρήθηκαν ήταν τόσο διατμητικού τύπου όσο και καμπτικού τύπου. Στα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν με κίτρινο χρώμα υπήρχαν περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν διατμητικά ρήγματα μιας διεύθυνσης. Επίσης υπήρξαν περιπτώσεις που εμφανίστηκαν ρηγματώσεις σε αρμούς διακοπής σκυροδέτησης τοιχωμάτων. Πολύ λίγες ήταν οι περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκε λυγισμός των διαμήκων ράβδων. Επίσης υπήρξαν περιπτώσεις κτιρίων όπου παρουσιάστηκαν βλάβες σε δοκούς στον κρίσιμο όροφο και στους υπόλοιπους ορόφους καθώς και βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης, οι οποίες κυμαίνονταν από ελαφριές (επισκευάσιμες) έως βαριές. Στην τελευταία περίπτωση παρατηρήθηκε συντριβή των τούβλων και μερικές ή ολικές καταρρεύσεις τοιχοπληρώσεων. Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι η χρήση των τοιχωμάτων στους πυρήνες των κλιμακοστασίων υπήρξε ευεργετική για την καλή απόκριση των κτιρίων κατά την σεισμική διέγερση στη Θεσσαλονίκη (βλ. και Penelis & Karpos, 1997). Αντιθέτως η κατασκευή των κλιμακοστασίων στην Αθήνα γινόταν με γραμμικά δομικά στοιχεία και οπτοπλινθοδομές πλήρωσης χωρίς την κατασκευή πυρήνων τοιχωμάτων Ο/Σ. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν βλάβες και στις πλάκες των ορόφων.

Στα κτίρια όπου οι βλάβες στον φέροντα οργανισμό ήταν από ανύπαρκτες έως πολύ μικρές, θεωρείτο ότι δεν επηρεαζόταν η γενική ευστάθειά τους και προτεινόταν μέθοδος επισκευής χωρίς την εκτέλεση υπολογισμών. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις υπήρχαν βλάβες σημαντικές στις τοιχοποιίες πλήρωσης.

### 4.2. Μέθοδοι επισκευής – ενίσχυσης

Για την επισκευή και ενίσχυση των κτιρίων της Θεσσαλονίκης που παρουσίασαν βλάβες εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές. Κυρίως χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος επισκευής με ρητινενέσεις και ενίσχυσης με προσθήκη οπλισμών και κατασκευή μανδύων σκυροδέματος. Οι μανδύες που κατασκευάστηκαν ήταν από έγχυτο σκυρόδεμα. Αυτοί εφαρμόστηκαν σχεδόν σε όλο το ύψος του κρίσιμου ορόφου και στα στοιχεία του υπερκείμενου ορόφου στα οποία είτε σημειώθηκε βλάβη, είτε προέκυπτε από τους υπολογισμούς ότι έπρεπε να ενισχυθούν. Επίσης εφαρμόστηκε και η μέθοδος των χαλυβδοελασμάτων σε συνδυασμό με την πλήρωση ρωγμών με ρητίνες. Στο διάγραμμα του σχήματος 2 παρουσιάζονται οι μέθοδοι επισκευής που εφαρμόστηκαν ως ποσοστό των 98 περιπτώσεων που ελέγχθηκαν. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε αφορά κτίρια με βλάβες στον φέροντα οργανισμό και στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Όπως προκύπτει, στην πλειοψηφία των κτιρίων εφαρμόστηκε η μέθοδος επισκευής με ρητινενέσεις και ενίσχυσης με μανδύες έγχυτου σκυροδέματος (είτε περιμετρικά του υποστυλώματος είτε μετατρέποντας το υποστύλωμα σε τοίχωμα) σε ποσοστό 42%. Στο 43% των περιπτώσεων εφαρμόστηκαν μόνο ρητινενέσεις, σε ποσοστό 11% εφαρμόστηκαν ρητινενέσεις με χαλυβδοελάσματα ενώ στο 4% των περιπτώσεων χρησιμοποιήθηκε μεικτή μέθοδος.



**Σχήμα 2.** Τύποι επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στα κτίρια της Θεσσαλονίκης

### 4.3. Συσχέτιση δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας

Από τα έντυπα που συμπληρώθηκαν προέκυψαν τα στοιχεία συσχέτισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας κρίσιμης στάθμης (δομική βλάβη) με το κόστος επισκευής ανά τετραγωνικό μέτρο επισκευασμένης – ενισχυμένης επιφάνειας (οικονομική απώλεια). Ο υπολογισμός της δομικής βλάβης, στον κρίσιμο όροφο, έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία της Υπουργικής Απόφαση που περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο της έκθεσης. Η οικονομική απώλεια σε κάθε κτίριο προέκυψε ως ο λόγος του συνολικού προϋπολογισμού των επεμβάσεων προς το εμβαδό των σταθμών όπου έγιναν επεμβάσεις (συνυπολογίζοντας και τη θεμελίωση όταν γινόταν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση). Στα διαγράμματα συσχέτισης του δείκτη βλάβης και της οικονομικής απώλειας (που παρουσιάζονται παρακάτω) για μικρή απώλεια της φέρουσας ικανότητας (μικρή δομική βλάβη – χαρακτηρισμός με πράσινο χρώμα) έως μηδενική, οι οικονομικές απώλειες δεν μηδενίζονται καθώς υπάρχουν περιπτώσεις χωρίς βλάβες στον φέροντα οργανισμό, αλλά με βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης. Επίσης για υψηλές τιμές της δομικής βλάβης η οικονομική απώλεια είναι πολύ υψηλή και προκύπτει ίση με το κόστος ανακατασκευής κτιρίου όγκου ίσου με αυτόν του κτιρίου που κατεδαφίστηκε. Η καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων στην περιοχή της μικρής δομικής βλάβης έχει μικρή κλίση η οποία αυξάνει στην περιοχή της μέσης δομικής βλάβης. Η αύξηση στην περιοχή της υψηλής δομικής βλάβης είναι αρκετά μεγαλύτερη. Η κλίση της καμπύλης σε αυτή την περιοχή αυξάνει σημαντικά, δηλώνοντας την αντίστοιχη μεταβολή της οικονομικής απώλειας με την αύξηση της δομικής βλάβης. Ως τεταγμένη, στα διαγράμματα αυτά, χρησιμοποιήθηκε η απώλεια φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης ενώ ως τεταγμένη χρησιμοποιήθηκε ο λόγος του κόστους επισκευής προς το μέσο κόστος ανακατασκευής (6560δρχ).

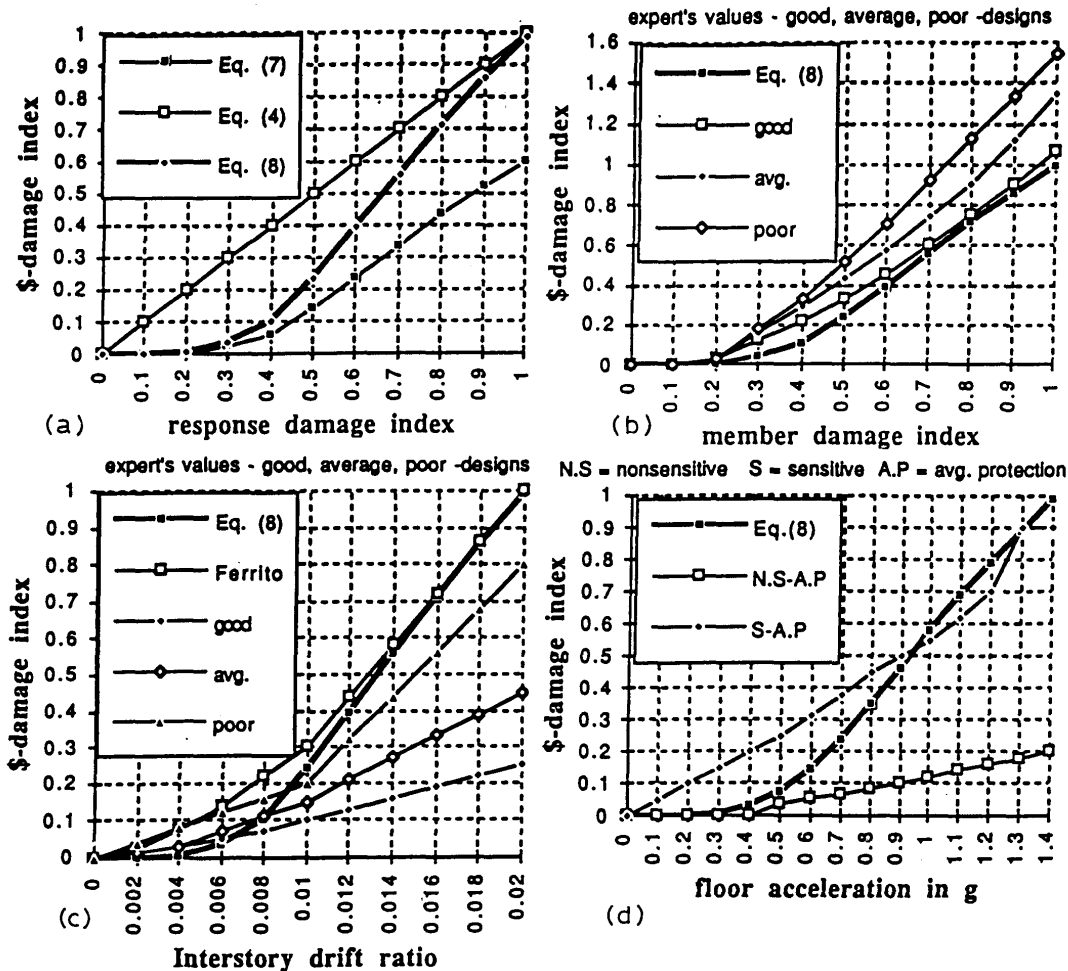
## 5. ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

### 5. 1 Μελέτες πάνω στη σχέση δομικού – οικονομικού δείκτη βλάβης

Ο συνδεδειγμένος κρίκος μεταξύ δομικής τρωτότητας και διακινδύνευσης είναι η έκφραση του δομικού δείκτη βλάβης σε όρους απωλειών (δραχμικών, με έμμεση συνεκτίμηση παραγόντων όπως η απώλεια ζωής), ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της διακινδύνευσης για κάθε επιμέρους στοιχείο που εκτίθεται στο σεισμικό κίνδυνο. Ο καθορισμός αυτού του συνδεδειγμένου κρίκου αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα βήματα στην αναλυτική εκτίμηση της διακινδύνευσης.

Μια σειρά από διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του αναλυτικά υπολογιζόμενου δομικού δείκτη βλάβης σε οικονομικό δείκτη βλάβης, δηλ. σε απώλειες, εκφρασμένες είτε απευθείας σε χρήμα ή σε λόγους κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής.

- 1) Στη δυσμενέστερη περίπτωση που δεν διατίθενται καθόλου σχετικά στοιχεία, μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι ο οικονομικός δείκτης βλάβης, δηλ. η απώλεια ( $C$ ), ισούται προς το δομικό δείκτη βλάβης, ήτοι  $C=d$ . Αυτό οδηγεί συνήθως σε υπερεκτίμηση των απωλειών για χαμηλές τιμές του  $d$  και υποεκτίμηση των απωλειών για υψηλές τιμές του  $d$ , δεδομένου ότι το κόστος επισκευής μπορεί να φθάσει το κόστος ανακατασκευής ενώ η κατασκευή δεν έχει ακόμη καταρρεύσει (δηλ.  $C=1$  για  $d<1$ ).
- 2) Για πολλούς τύπους δομικών στοιχείων διατίθενται σήμερα πειραματικά αποτελέσματα από δοκιμές σε μονότονη και σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συσχέτισμό του βαθμού βλάβης με τις απώλειες, εφόσον βεβαίως γίνουν οι κατάλληλες παραδοχές. Για παράδειγμα, οι Gunturi & Shah (1992) μετεπεξεργάστηκαν δεδομένα από 403 δοκιμια στοιχεία Ο/Σ που είχαν αρχικά συλλέξει οι Park et al. (1985), κάνοντας τις παραδοχές ότι  $C=0$  όταν η πιθανότητα αστοχίας του δοκιμίου είναι μηδενική και  $C=1$  όταν η πιθανότητα αστοχίας είναι 1, καθώς και ότι η κατανομή της πιθανότητας αστοχίας είναι κανονική λογαριθμική. Με τις παραδοχές αυτές κατέληξαν στην καμπύλη (7) του Σχήματος 3(α), η οποία κατόπιν μετατοπίστηκε (λίγο-πολύ αυθαίρετα) προς τα πάνω (καμπύλη (8) του σχήματος) ώστε να προκύψει μια πιο ρεαλιστική σχέση  $d$  και  $C$ . Ακόμη και μετά απ' αυτή την προσαρμογή, η παραδοχή  $C=1$  για  $d=1$  μπορεί να είναι υπερσυντηρητική, όπως ήδη αναφέρθηκε.
- 3) Μια άλλη προσέγγιση βασίζεται στην «έμπειρη γνώση» (expert knowledge), όπου ζητείται από έναν αριθμό ειδικών επί του θέματος να δώσουν, συνήθως με ανεπίσημο τρόπο (συμπλήρωση ερωτηματολογίου ή συνέντευξη), την εκτίμησή τους σχετικά με το πρόβλημα που τους τίθεται, εν προκειμένω τη σχέση μεταξύ δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης. Παραδείγματα εφαρμογής μεθόδων έμπειρης γνώσης στον προσδιορισμό της σχέσης δείκτη βλάβης σε δομικά στοιχεία και σε αρχιτεκτονικά στοιχεία, και απωλειών, δίνονται στα σχήματα 3(β) και 3(γ) (Gunturi & Shah 1992). Οι πολύ χαμηλές τιμές απωλειών που αντιστοιχούν σε τιμές σχετικών βελών ορόφων γύρω στο 2% (Σχ. 3γ) για αρχιτεκτονικά στοιχεία καλής και μέσης ποιότητας, δεν φαίνονται κατάλληλες για την περίπτωση των τυπικών διαχωριστικών στοιχείων στην Ελλάδα και τη Ν. Ευρώπη, που είναι οι τοίχοι από οπτοπλινθοδομή.



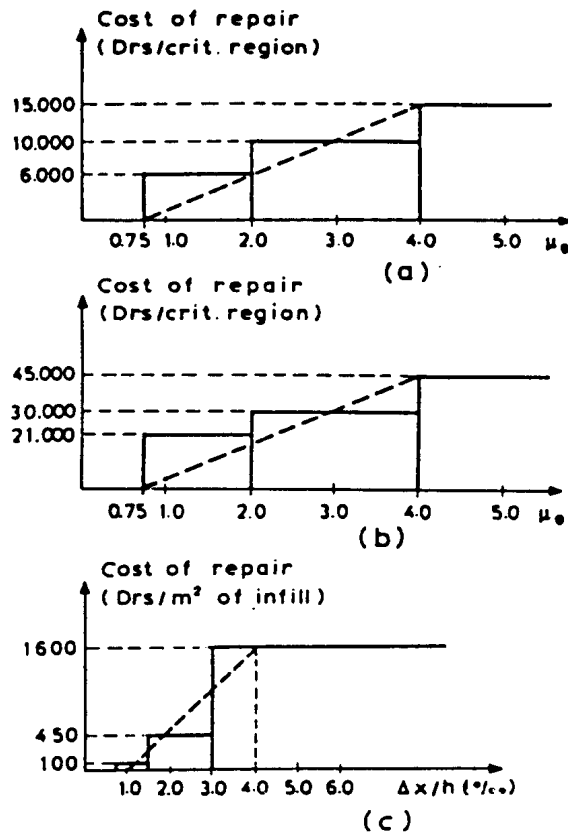
Σχήμα 3: Συσχέτιση δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης:

- (a) Γενική σχέση, (b) Βλάβη σε δομικά στοιχεία, (c) Βλάβη σε αρχιτεκτονικά στοιχεία,  
 (d) Βλάβη στο περιεχόμενο του κτιρίου.

4) Για φέροντα και μη-φέροντα στοιχεία για τα οποία έχουν καθιερωθεί σαφείς διαδικασίες επισκευής στη διάρκεια προηγούμενων σεισμών, η σχέση  $d - C$  μπορεί να προσδιοριστεί αναφορικά με το κόστος κάθε τεχνικής επισκευής ανηγμένο στις διαστάσεις των στοιχείων ή, βολικότερα, στον όγκο της κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση προτάθηκε από την ομάδα του ΑΠΘ (Karros et al. 1991) που χρησιμοποίησε στοιχεία από τις επεμβάσεις σε κτίρια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978) για να αναπτύξει καταρχήν μοντέλα όπως αυτά του Σχήματος 4 για τα στοιχεία Ο/Σ και για τις τοιχοπληρώσεις. Οι δραχμικές τιμές του σχήματος αναφέρονται σε δεδομένα 1978 (τότε ισοτιμία: 1\$=36δρχ.). Τα τρία επίπεδα στα δύο πρώτα μοντέλα του σχήματος αντιστοιχούν σε τρεις τυπικές μεθόδους επισκευής στοιχείων Ο/Σ, συγκεκριμένα τη σφράγιση των ρωγμών με εποξειδικές ρητίνες, την τοποθέτηση μεταλλικών ελασμάτων, και το μανδύα Ο/Σ. Οι αντίστοιχες τεχνικές για τις τοιχοπληρώσεις είναι αποκατάσταση του επιχρίσματος, τοποθέτηση συρμάτινου πλέγματος, και ανακατασκευή της τοιχοπλήρωσης. Η γραμμικοποίηση των κλιμακωτής μορφής σχέσεων (βλ. Σχ. 4) μειώνει τις αβεβαιότητες που συνδέονται με τον ορισμό των ορίων της παραμέτρου βλάβης

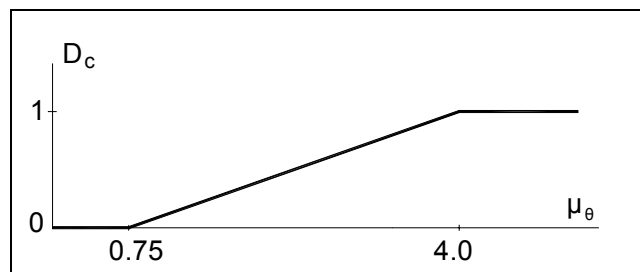


(πλαστιμότητα  $\mu_\theta$  ή σχετικό βέλος  $\Delta x/h$ ) που αντιστοιχούν σε κάθε τεχνική και οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα (Kappos et al. 1991).



**Σχήμα 4:** Μοντέλα συσχέτισης παραμέτρου βλάβης και κόστους επισκευής ανά τύπο στοιχείου (a) Δοκοί και υποστυλώματα Ο/Σ, (b) τοιχώματα Ο/Σ, (c) Τοιχοπληρώσεις από οπτοπλινθοδομή.

Σε νεότερη μελέτη της ομάδας του ΑΠΘ (Kappos et al. 1998) τα μοντέλα του σχήματος 4 εκφράστηκαν σε αδιάστατη μορφή, με τεταγμένη το λόγο του κόστους επισκευής προς το κόστος της ακριβότερης τεχνικής (π.χ. μανδύα Ο/Σ), άρα τιμές μεταξύ 0 και 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



**Σχήμα 5:** Μοντέλο συσχέτισης απαιτούμενης πλαστιμότητας στοιχείου Ο/Σ προς κόστος επισκευής (ανηγμένο ως προς το κόστος του μανδύα).

Ο τελικός συσχετισμός κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής γίνεται στην περίπτωση αυτή με εμπειρικές σχέσεις που βαθμονομήθηκαν βάσει των στατιστικών στοιχείων από το σεισμό της Θεσσαλονίκης, π.χ. για ψηλά κτίρια Ο/Σ (8-10 ορόφους) η σχέση που προέκυψε για το λόγο κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής ήταν

$$C = 0.30D_c + 0.08D_p \quad (1)$$

όπου  $D_c$  ο συνολικός οικονομικός δείκτης βλάβης (ως ποσοστό της ακριβότερης τεχνικής επισκευής) για όλα τα στοιχεία Ο/Σ και  $D_p$  ο αντίστοιχος δείκτης για τις τοιχοπληρώσεις. Επισημαίνεται ότι, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία κόστους για την Ελλάδα, ακόμη και αν οι δείκτες  $D_{cg}$  και  $D_{pg}$  είναι μονάδα (δηλ. επισκευή όλων των στοιχείων Ο/Σ με μανδύα και ανακατασκευή όλων των τοιχοπληρώσεων) το κόστος αποκατάστασης δεν ξεπερνά το 0.38 του κόστους ανακατασκευής, μ' άλλα λόγια η επισκευή, εφόσον είναι εφικτή, έχει πάντα χαμηλότερο κόστος από την ανακατασκευή, εκτός εάν ληφθεί υπόψη η μείωση της αξίας του κτιρίου λόγω παλαιότητας. Το συμπέρασμα αυτό δεν μπορεί προφανώς να γενικευθεί χωρίς περαιτέρω έρευνα.

Κρίσιμο στοιχείο σε σχέση με το αντικείμενο της Ομάδας Μελέτης (ΟΜ) είναι η αναγωγή του προβλήματος στην κλίμακα του (συνόλου του) κτιρίου, εκτός και αν προτιμηθεί η λογική της λεπτομερούς εξέτασης σε επίπεδο κρίσιμου ορόφου, για τα στοιχεία του οποίου θα εφαρμοστούν μοντέλα του τύπου των σχημάτων 3-5, ενώ για τους λοιπούς ορόφους θα γίνει χονδρική (και συγκριτική ως προς τον κρίσιμο) αποτίμηση του βαθμού βλάβης. Στην κατεύθυνση της λογικής του δείκτη κτιρίου, χρήσιμη είναι η σχέση που προέκυψε με βάση παλιότερα στοιχεία από τον Ελληνικό χώρο (Χρονόπουλος 1984)

$$C = \alpha \cdot D \cdot \beta \quad (2)$$

όπου  $D$  ο συνολικός βαθμός βλάβης του κτιρίου,  $\alpha=1$  για νέα κτίρια και 0.75-0.8 για παλιά, ενώ  $\beta=1.5-2.0$  για νέα κτίρια και 2.0-2.5 για παλιά. Σημειώνεται ότι για  $\beta=2$ , το κόστος ανακατασκευής γίνεται μονάδα όταν  $D=0.5$  για νέα κτίρια και όταν  $D=0.67$  για παλιά. Εξάλλου, χρήσιμα στοιχεία για το συσχετισμό του κόστους επισκευής με το χαρακτηρισμό του βαθμού βλάβης όπως αυτός γίνεται στα δελτία αυτοψίας (6 βαθμοί συνολικά, Β1 ως Β6) προέκυψαν από το σεισμό του Αιγίου (Καρέλα κ.ά. 1999).

Ο συνολικός βαθμός βλάβης  $D$  του κτιρίου μπορεί να εκτιμηθεί με σειρά διαφορετικών προσεγγίσεων. Στην ιδανικότερη περίπτωση που διατίθενται οι δείκτες βλάβης  $d_i$  για όλα τα στοιχεία του κτιρίου, ο συνολικός δείκτης δίνεται από τη σχέση

$$D = \sum_i \lambda_i d_i \quad (3)$$

όπου ο συντελεστής βαρύτητας  $\lambda_i$  για κάθε στοιχείο μπορεί να υπολογιστεί με βάση το ποσοστό της ενέργειας που αποσβένει (Park et al. 1985), το ποσοστό του συνολικού αξονικού φορτίου που φέρει (για κατακόρυφα στοιχεία), ή ακόμη και με βάση την (ανηγμένη) διατομή του.

Σημαντικά προβλήματα που πρέπει να επισημανθούν είναι:

- Η ενγένει ανεπαρκής βαθμονόμηση, κυρίως των συνολικών δεικτών  $D$
- Η μεγάλη διασπορά και η ενίοτε μη-ομαλή μορφή της καμπύλης συσχέτισης  $C-d$  (ή  $C-D$ )
- Η ποικιλία των δομικών δεικτών που έχουν χρησιμοποιηθεί (για τους δείκτες βλάβης του δελτίου δευτεροβάθμιας αυτοψίας δεν υπάρχει, ουσιαστικά, βαθμονόμηση).

Η μέγιστη τιμή του οικονομικού δείκτη βλάβης είναι ίση με τη μονάδα ( $\max D=1$ ) και αντιστοιχεί στην περίπτωση κατά την οποία όλα τα δομικά στοιχεία έχουν υποστεί σοβαρές βλάβες και χρήζουν επισκευής με την εφαρμογή των ακριβότερων τεχνικών ενίσχυσης

(δηλαδή για όλα τα στοιχεία έχει προκύψει  $\mu_0 \geq 4.0$ ). Αν τώρα η συνολική αξία του φέροντα οργανισμού ενός κτιρίου, στην περίπτωση κατά την οποία κριθεί αναγκαία η κατεδάφιση και η επανακατασκευή του είναι  $C_{tot}$ , και το συνολικό κόστος επισκευής των τμημάτων του που χρήζουν επέμβασης είναι  $C_c$ , τότε ο οικονομικός δείκτης επισκευών ολόκληρου του φέροντα οργανισμού θα είναι:

$$G_c = D \frac{C_c}{C_{tot}} \quad (4)$$

## 5.2 Πρόταση αναλυτικών μοντέλων με βάση τα στοιχεία της παρούσα έκθεσης

Στόχος της ΟΕ ήταν ο προσδιορισμός κατάλληλων εμπειρικών σχέσεων που να δίνουν τη συσχέτιση της δομικής βλάβης (απώλεια φέρουσας ικανότητας κρίσιμης στάθμης σύμφωνα με την προαναφερθείσα Υπουργική Απόφαση) με τις αναμενόμενες οικονομικές απώλειες (συνολικό κόστος επισκευής – ενίσχυσης ανηγμένο στο εμβαδό των σταθμών που παρουσίασαν βλάβες). Ως τεταγμένη λαμβάνεται η οικονομική απώλεια ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας διαιρεμένη με το μέσο συμβατικό κόστος ανακατασκευής ανά μονάδα επιφάνειας. Το συμβατικό αυτό κόστος λήφθηκε από το μέσο κόστος ανακατασκευής για την Θεσσαλονίκη, τα έτη κοντά στην περίοδο του σεισμού, και είναι ίσο με **6560 δρχ/m<sup>2</sup>**.

Ο συσχετισμός γίνεται τόσο με τη θεώρηση των δειγμάτων χωριστά για κάθε περιοχή που εξετάστηκε (Θεσσαλονίκη, Αθήνα) όσο και με την ταυτόχρονη θεώρησή τους σε ένα διάγραμμα. Για κάθε περίπτωση γίνεται προσέγγιση μέσω της καμπύλης ελαχίστων τετραγώνων. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζεται ως πολυωνυμική πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού. Επίσης παρουσιάζονται προσαρμογές στα στοιχεία που συλλέχθηκαν εκθετικής καμπύλης, καθώς και καμπύλης σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (μια καμπύλη που χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα σεισμικών βλαβών – τρωτότητας, CDF, πίνακας 2). Είναι προφανές ότι τα διαγράμματα για το σύνολο του δείγματος επηρεάζονται (ιδιαίτερα στην περιοχή των υψηλών δεικτών  $\phi$ ) κυρίως από τα κτίρια της Αθήνας, για τα οποία τα δείγμα ήταν σημαντικά μεγαλύτερο (υπερδιπλάσιο, ως σύνολο, συντριπτικά μεγαλύτερο για τα κτίρια με υψηλό  $\phi$ ).

Τα μοντέλα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα καθώς και στα διαγράμματα που ακολουθούν (διαγράμματα 1 έως 24).

**Πίνακας 2.** Αναλυτικά μοντέλα συσχέτισης δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας επιφανείας, όπου έγιναν επεμβάσεις, ανηγμένης στο συμβατικό κόστος ανακατασκευής (360.48ευρώ/m<sup>2</sup> για Αθήνα και 6560δρχ/ m<sup>2</sup> για Θεσσαλονίκη)

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	ΕΞΙΣΩΣΗ	ΣΥΝΤ. ΣΥΣΧ.
<b>ΑΘΗΝΑ (ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ &amp; ΑΧΑΡΝΕΣ)</b>	Πολυων. 1 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9335x+0.0312$	$R^2 = 0.8165$
	Πολυων. 2 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9531x^2+0.0723x+0.115$	$R^2 = 0.8799$
	Πολυων. 3 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.5335x^3+0.2351x^2+0.2927x+0.1082$	$R^2 = 0.8809$
	Εκθετική	$y=0.0938e^{2.5895x}$	$R^2 = 0.7604$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+\text{Erf} [0.7310(1.4556+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4556 , stdev = 0.9673	
<b>ΘΕΣΣΑΛΟ-ΝΙΚΗ</b>	Πολυων. 1 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9023x+0.1483$	$R^2 = 0.7574$
	Πολυων. 2 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.0944x^2+0.812x+0.1531$	$R^2 = 0.7577$
	Πολυων. 3 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=-1.1986x^3+1.4521x^2+0.5919x+0.158$	$R^2 = 0.7590$
	Εκθετική	$y=0.1328e^{2.2665x}$	$R^2 = 0.3310$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+\text{Erf} [0.7298(1.7123+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.7123 , stdev = 0.9689	
<b>ΑΘΗΝΑ &amp; ΘΕΣΣΑΛΟ-ΝΙΚΗ</b>	Πολυων. 1 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.8763x+0.0827$	$R^2 = 0.7834$
	Πολυων. 2 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.9485x^2+0.0291x+0.1501$	$R^2 = 0.8426$
	Πολυων. 3 <sup>ου</sup> βαθμου	$y=0.8725x^3-0.2178x^2+0.3806x+0.1385$	$R^2 = 0.8453$
	Εκθετική	$y=0.1092e^{2.39125x}$	$R^2 = 0.6129$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+\text{Erf} [0.7251(1.5357+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.5357 , stdev = 0.9751	

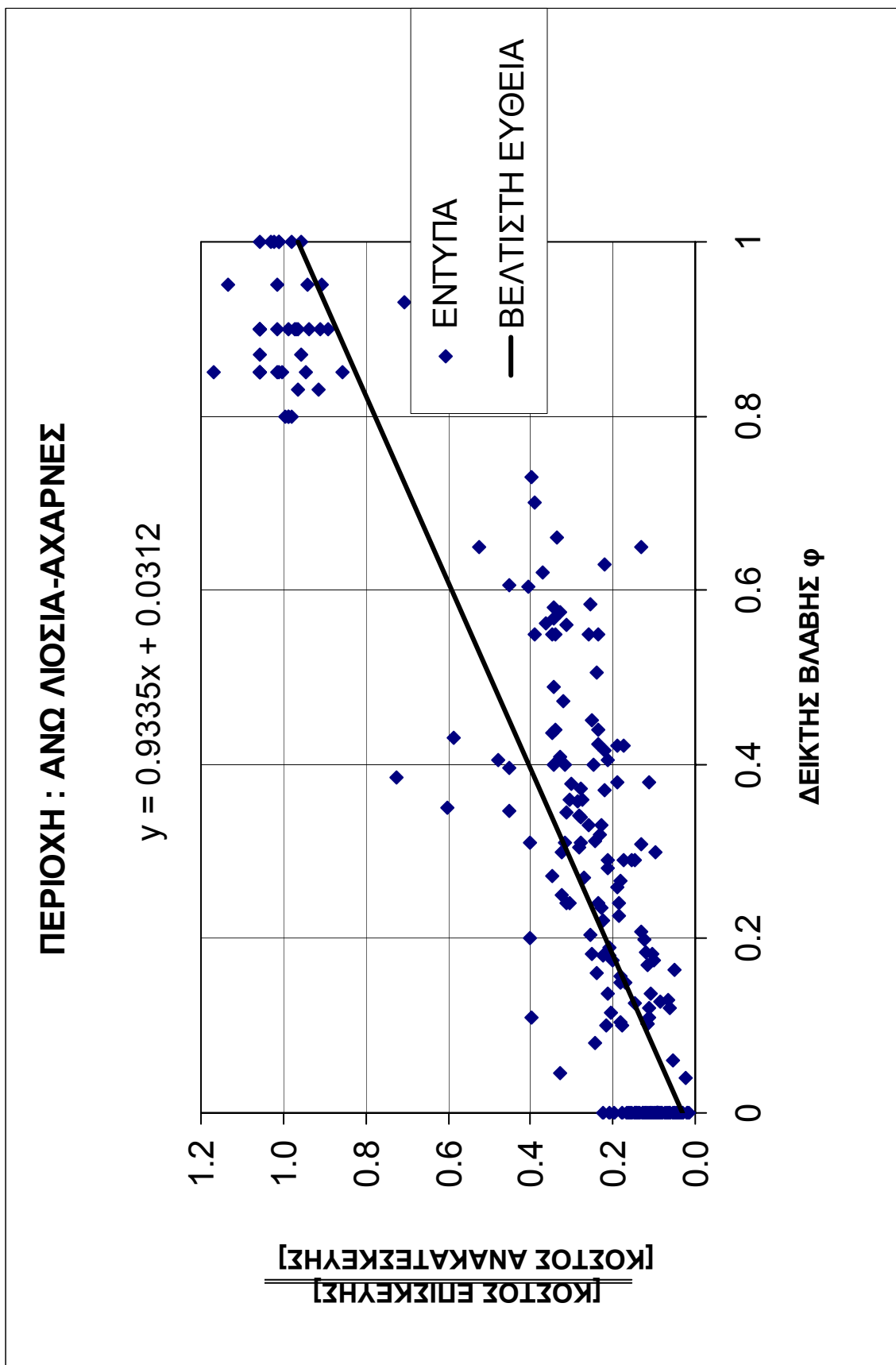
Όπου:

$R^2$ : Συντελεστής συσχέτισης

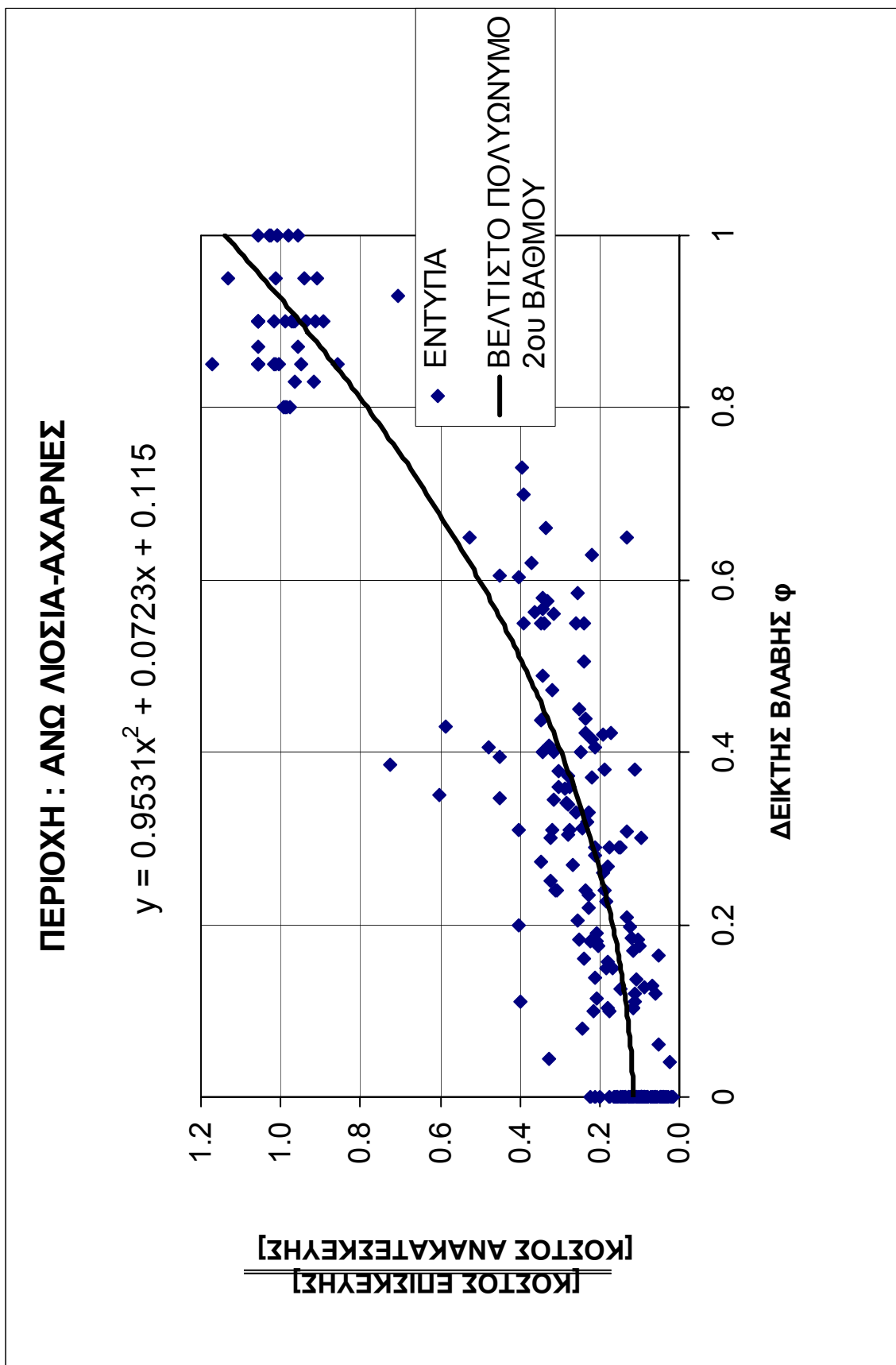
Erf: Error Function, Συνάρτηση λάθους

mean: Μέση τιμή

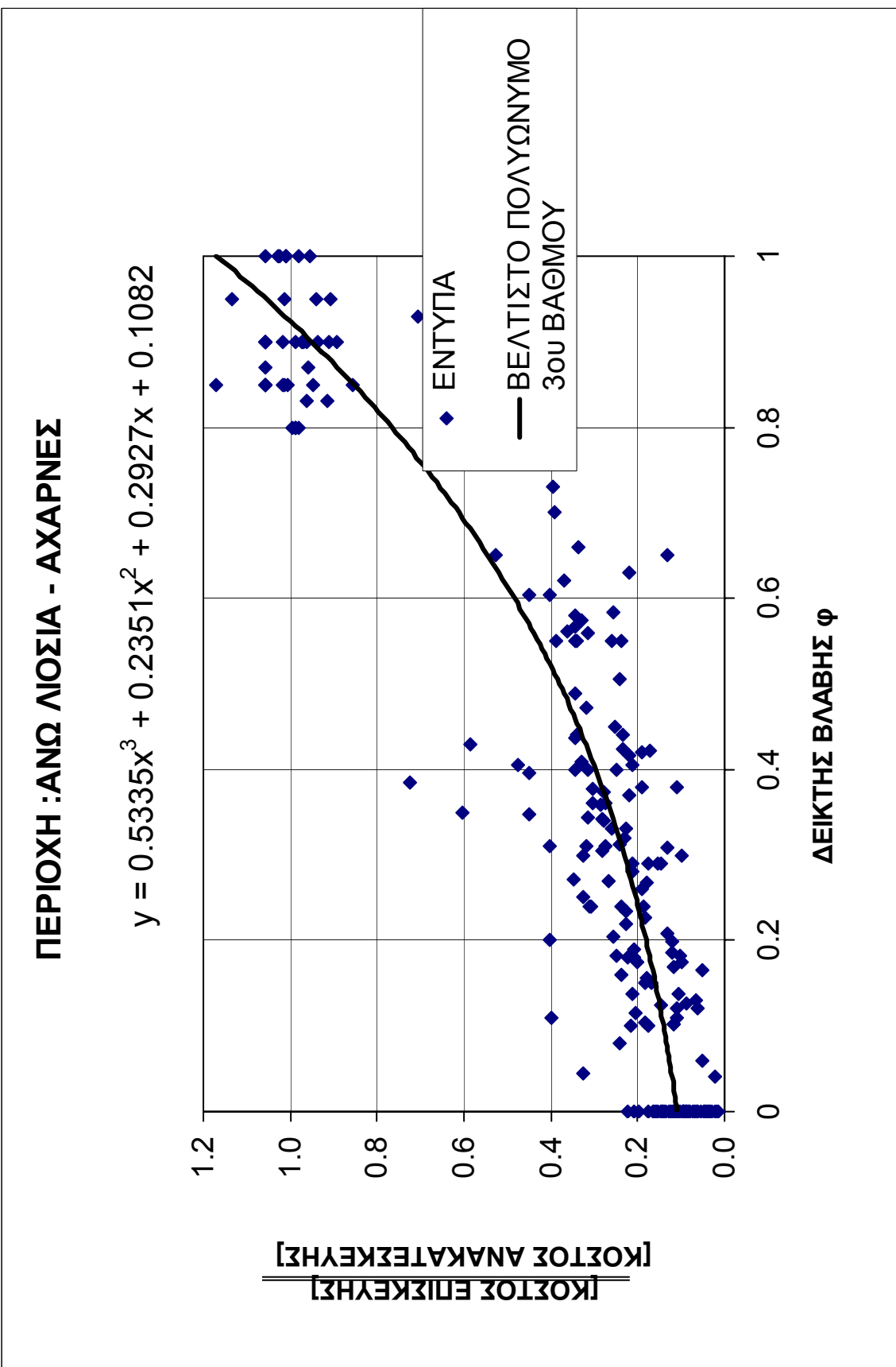
stdev: Τυπική απόκλιση



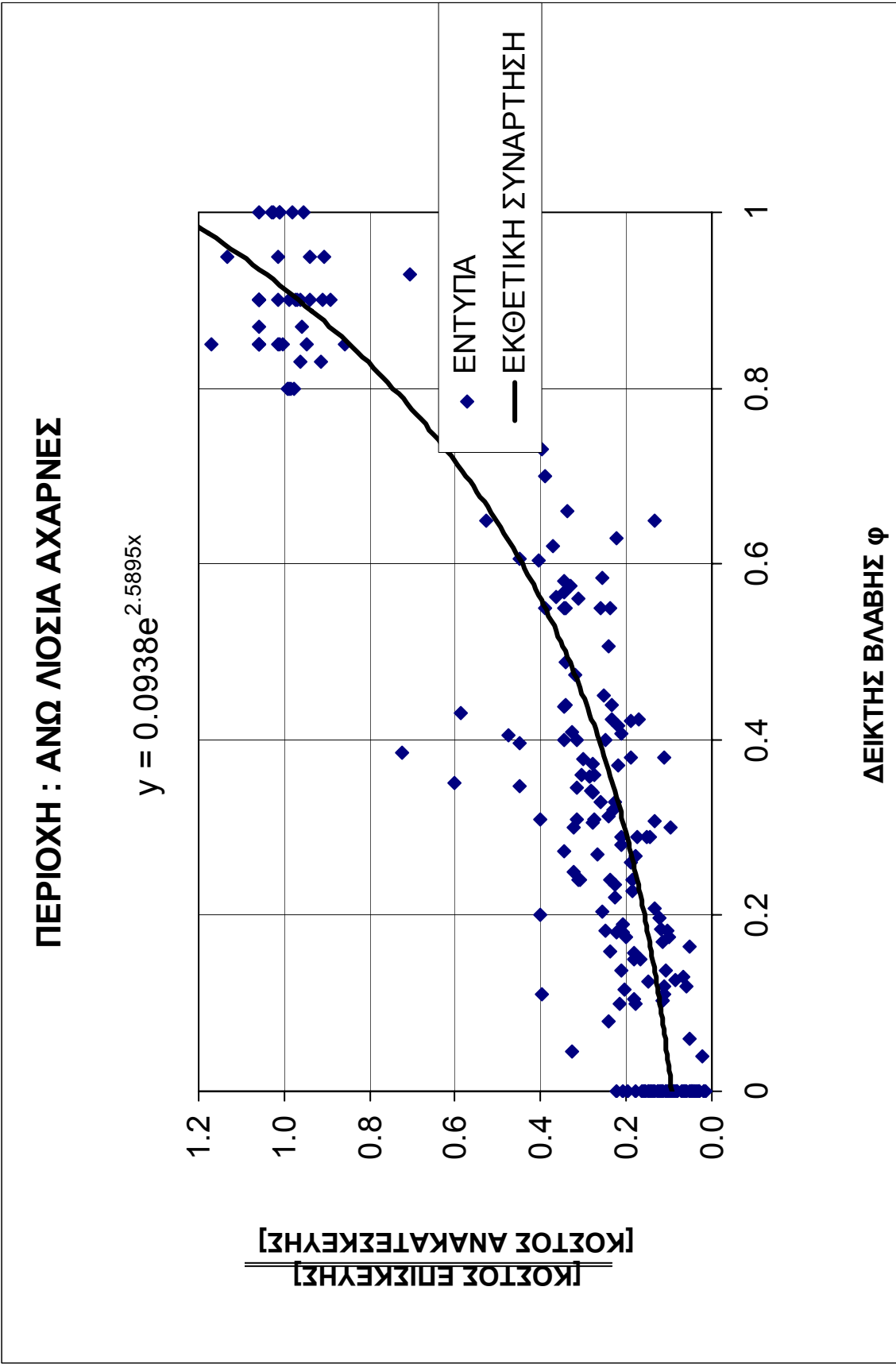
**Διάγραμμα 1:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1<sup>ου</sup> βαθμού)



**Διάγραμμα 2:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2<sup>ου</sup> βαθμού)

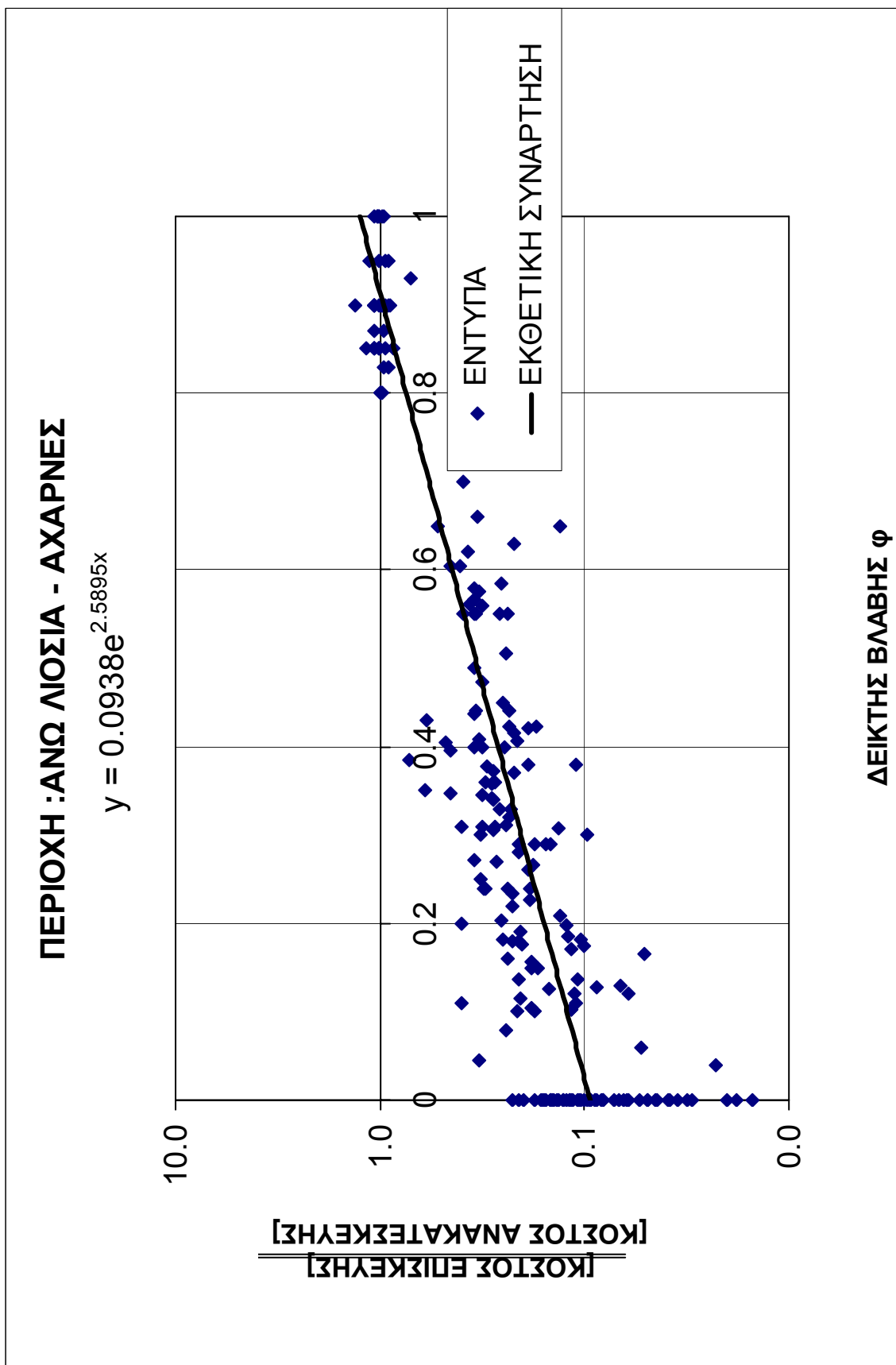


**Διάγραμμα 3:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3<sup>ου</sup> βαθμού)

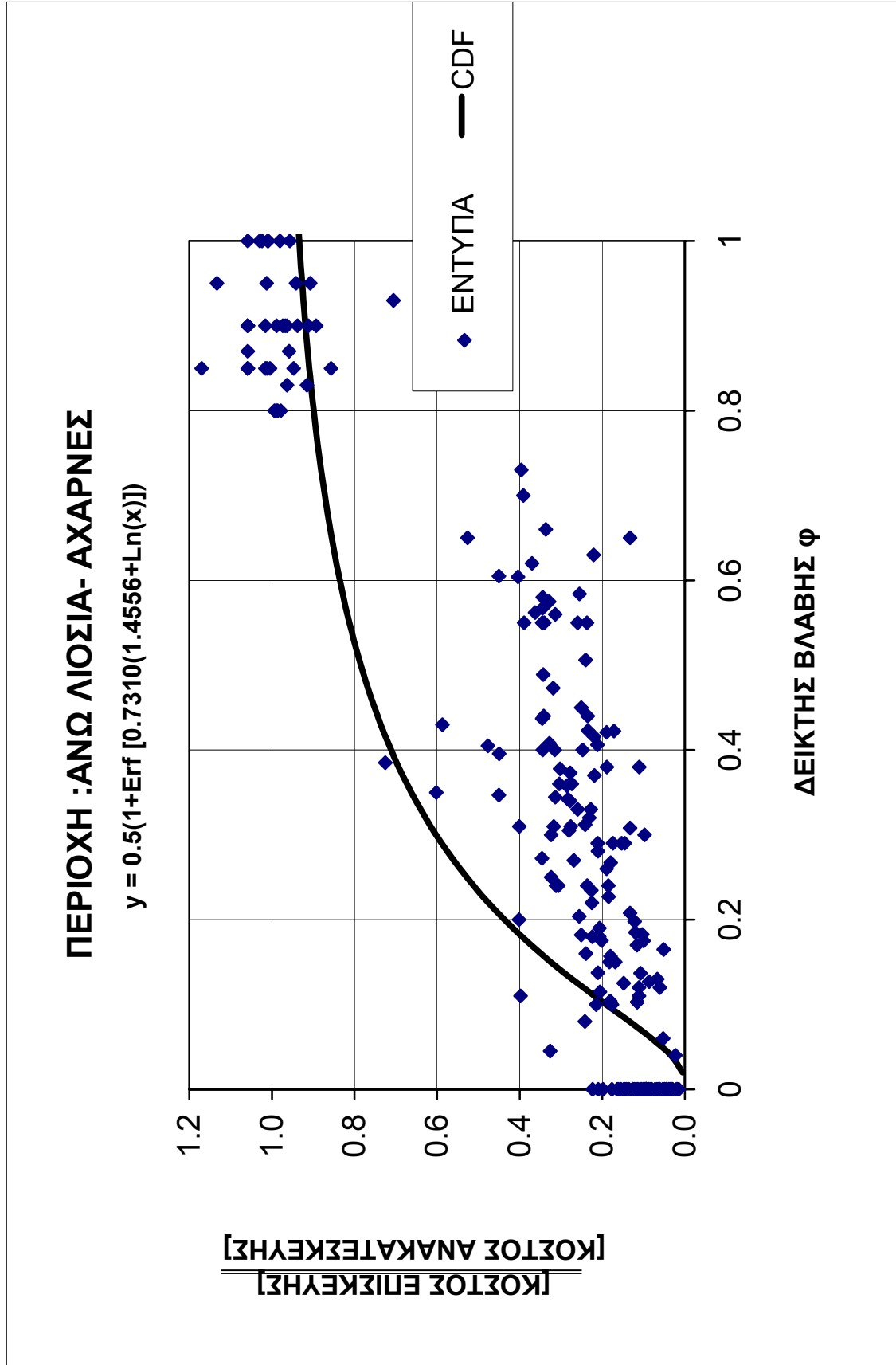


**Διάγραμμα 4:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)

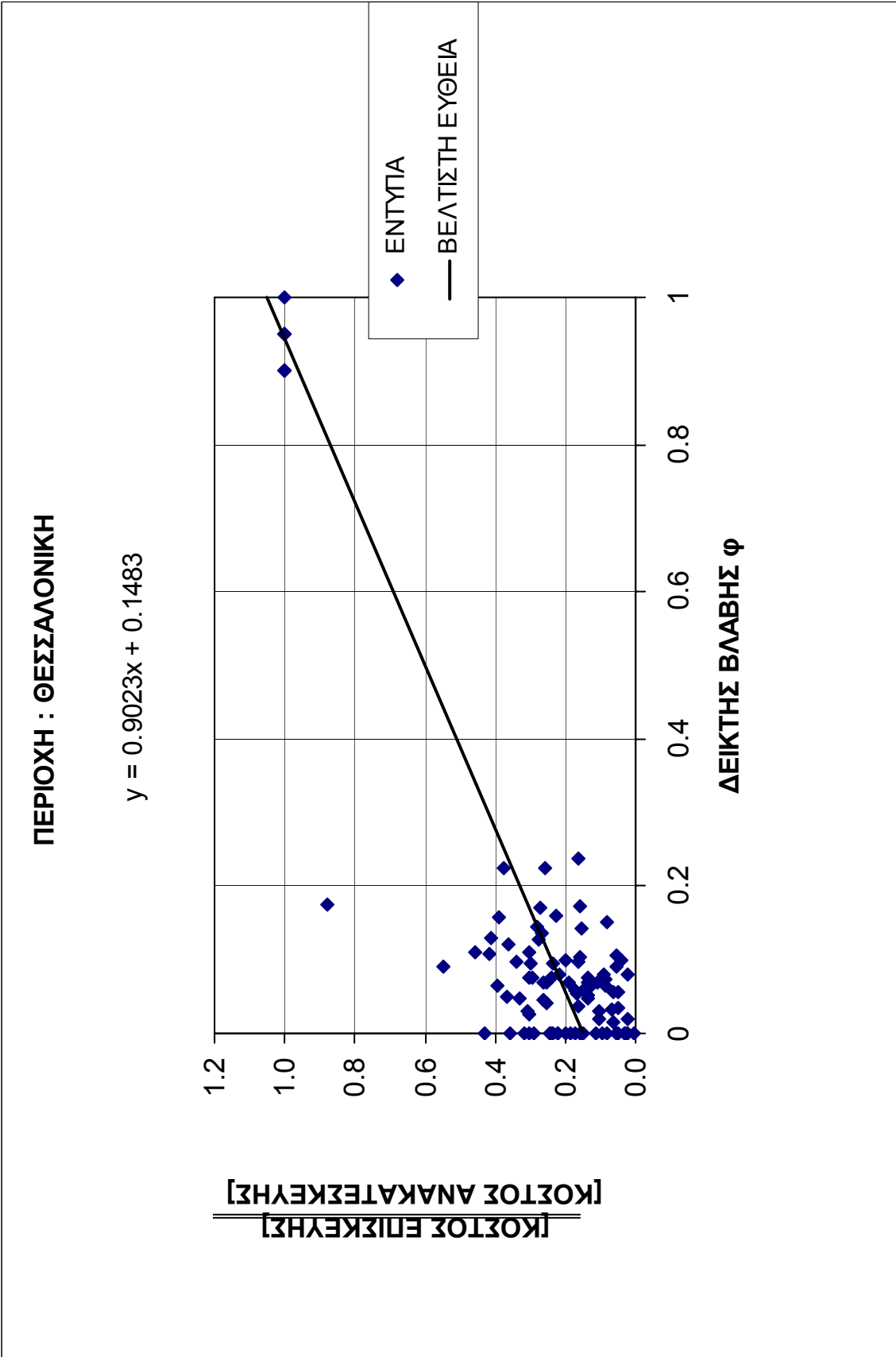




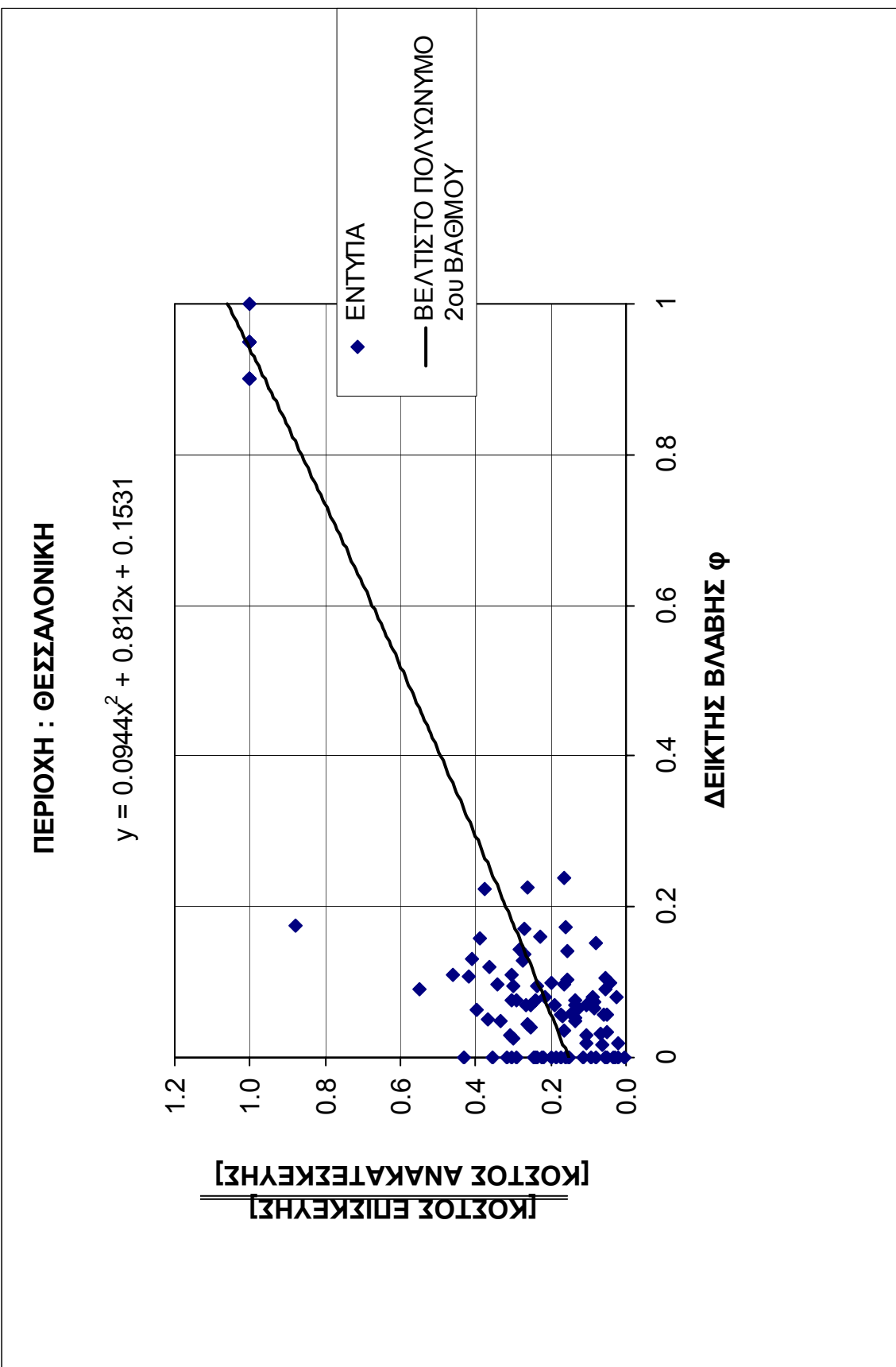
**Διάγραμμα 5:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Y με λογαριθμική κλίμακα )



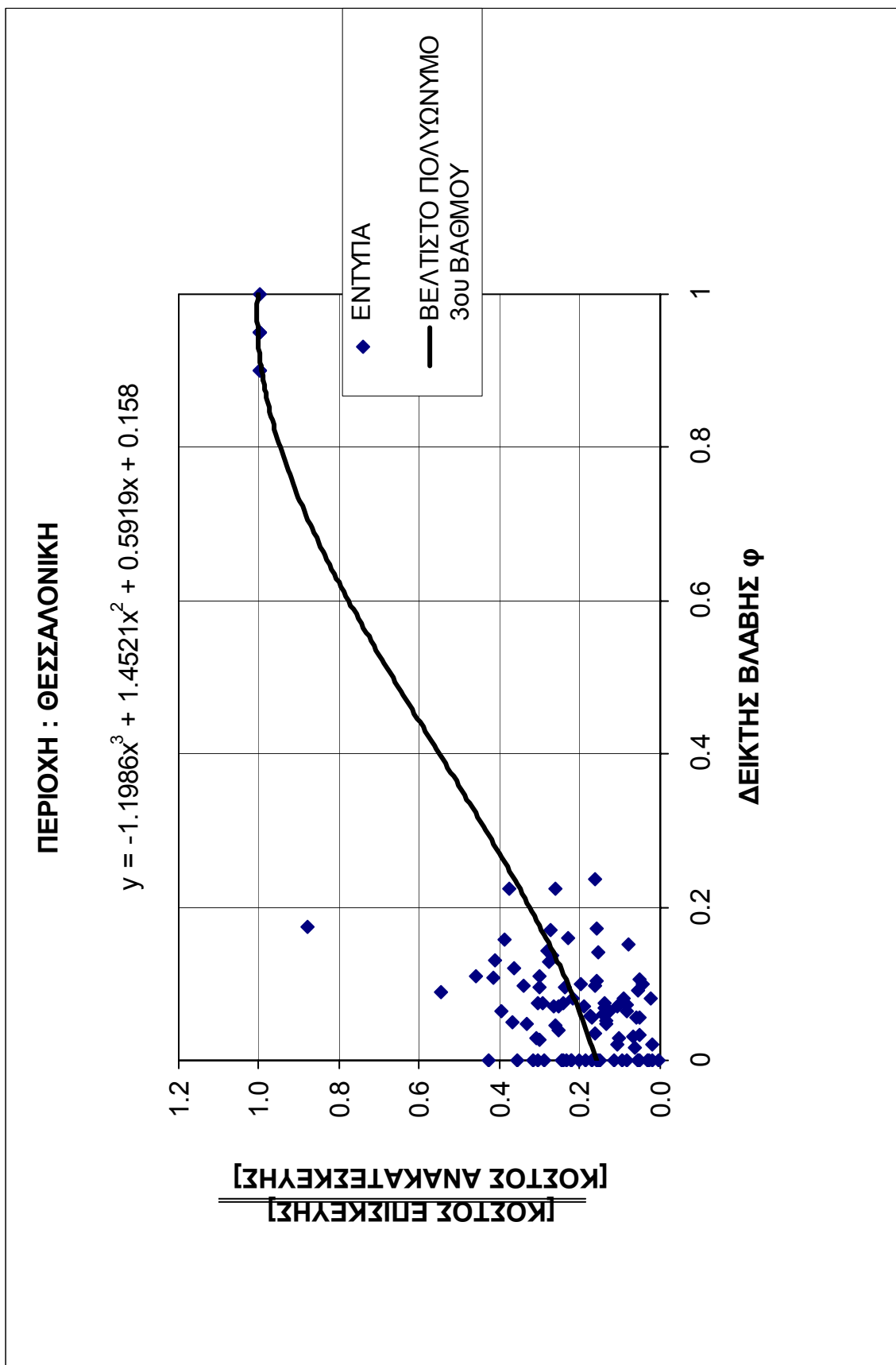
**Διάγραμμα 6:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)



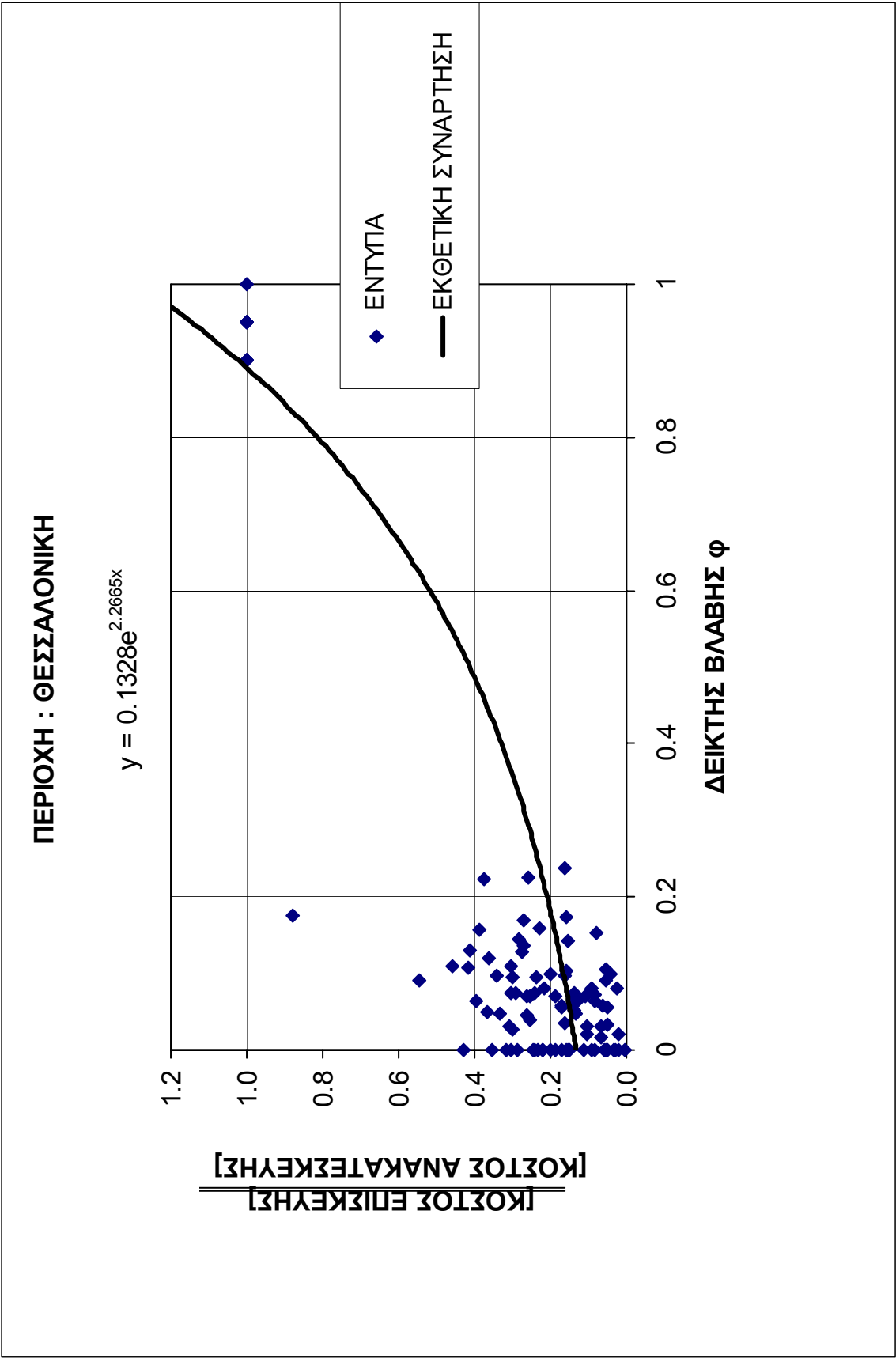
**Διάγραμμα 7:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1<sup>ου</sup> βαθμού)



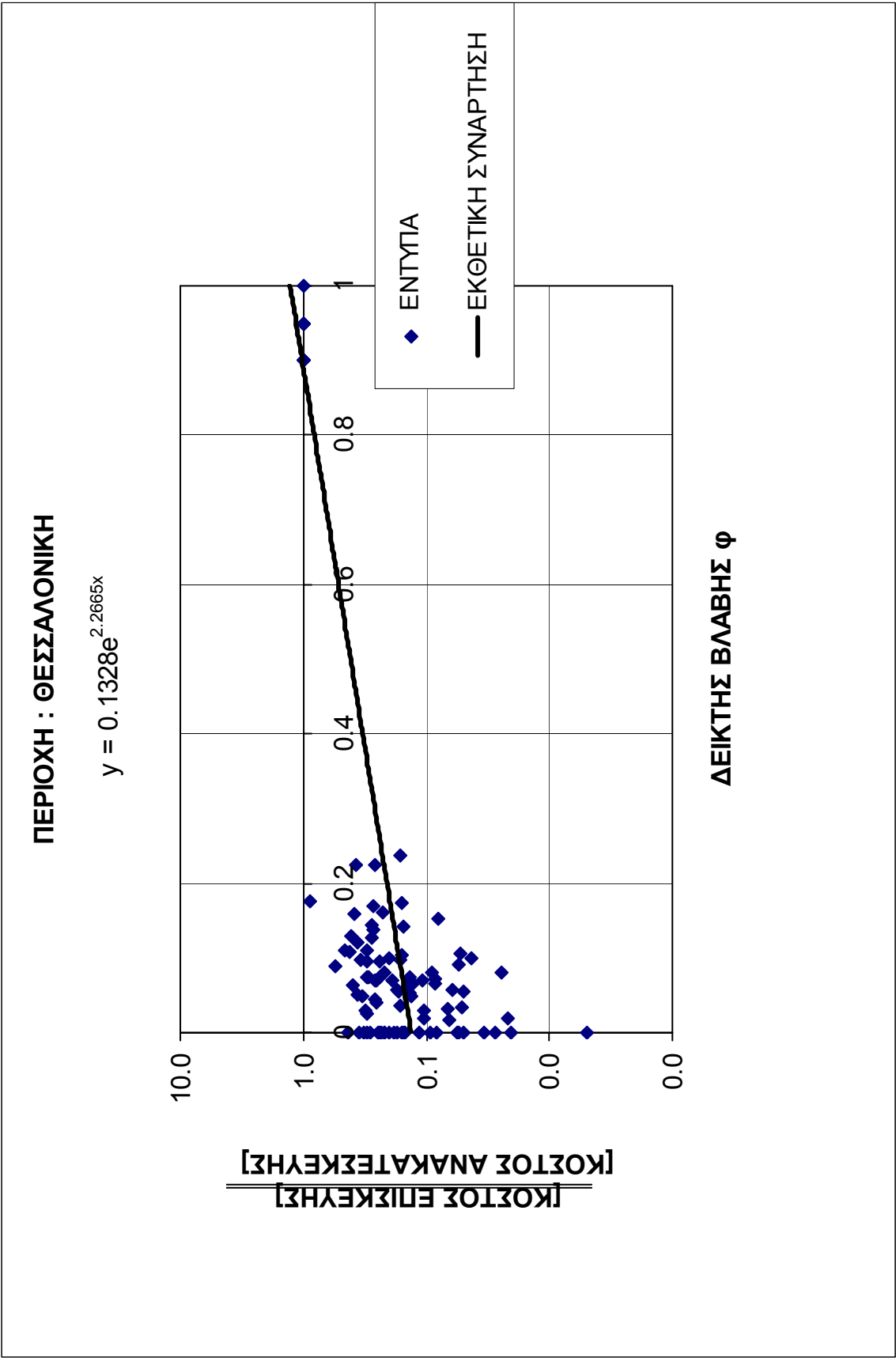
**Διάγραμμα 8:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2<sup>ου</sup> βαθμού)



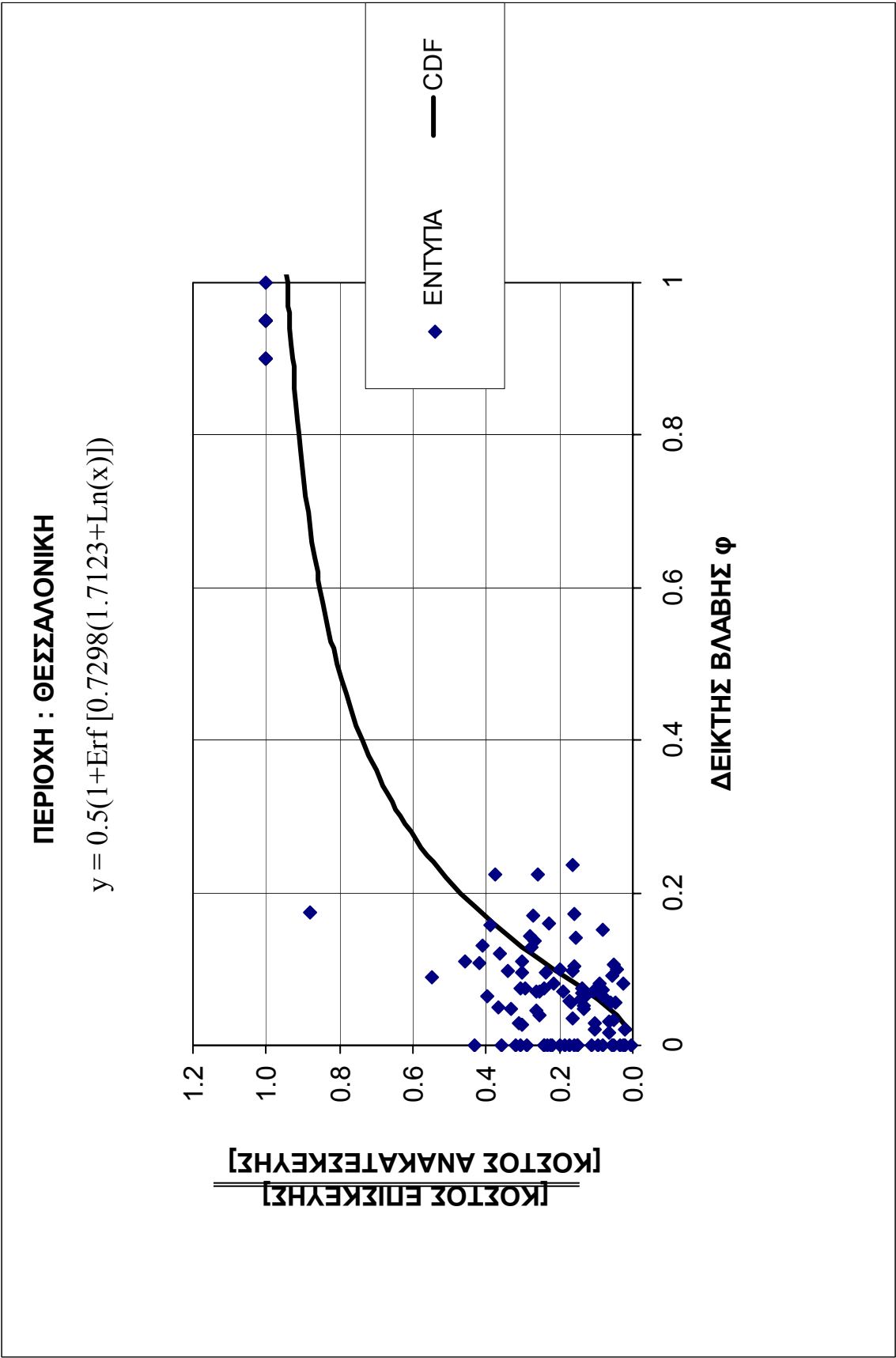
**Διάγραμμα 9:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3<sup>ου</sup> βαθμού)



**Διάγραμμα 10:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)

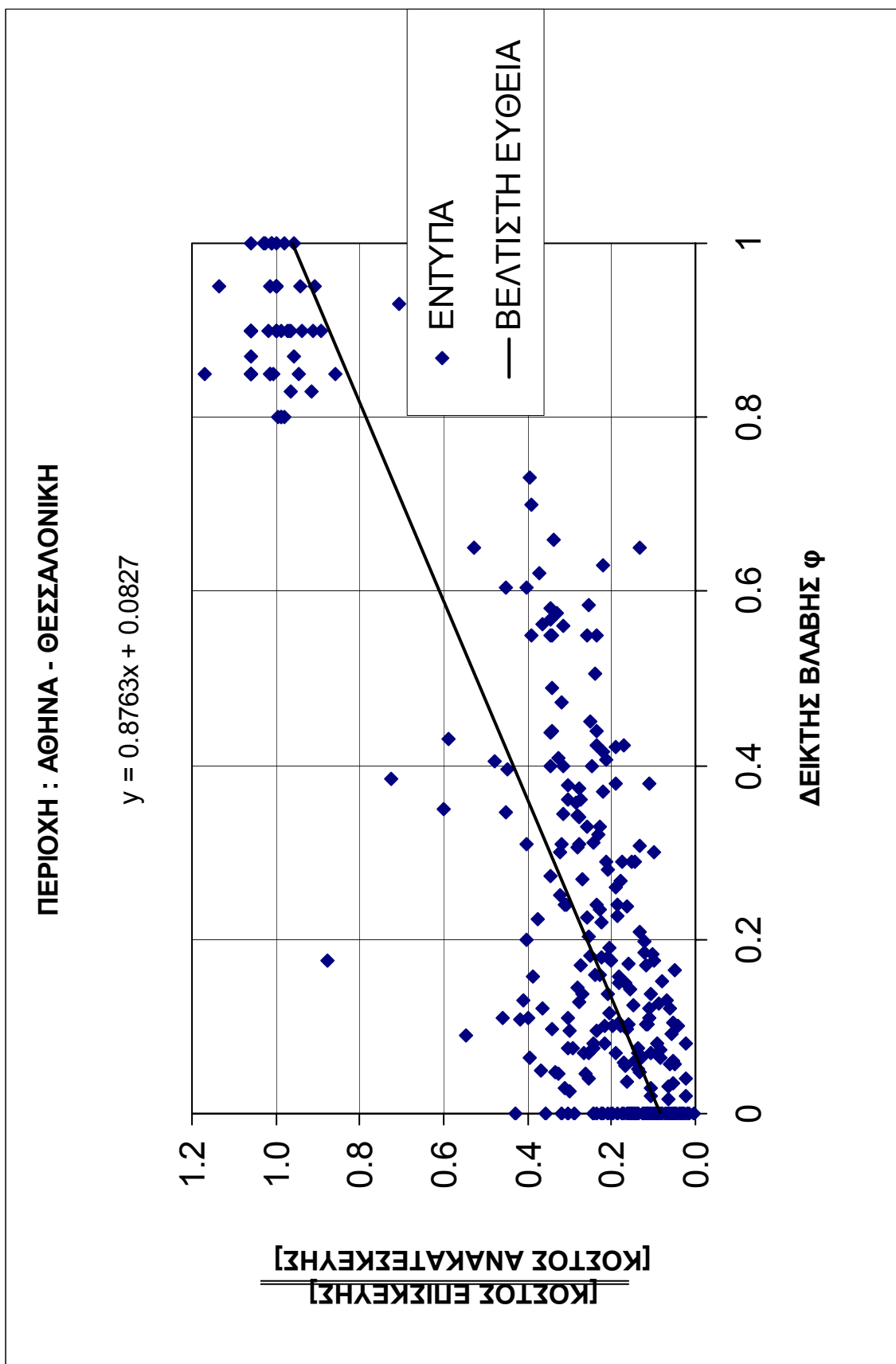


**Διάγραμμα 11:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Y με λογαριθμική κλίμακα )

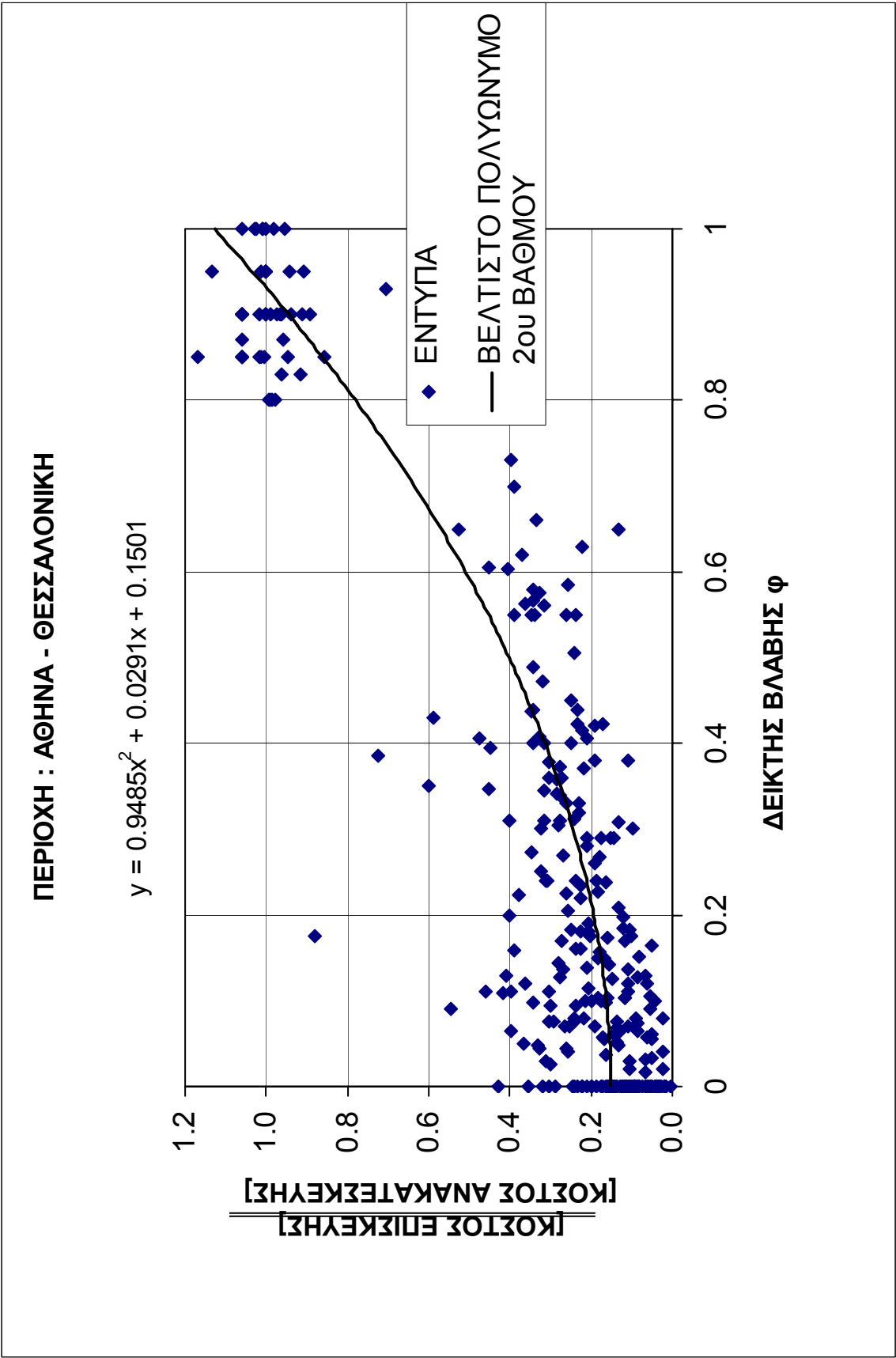


**Διάγραμμα 12:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)

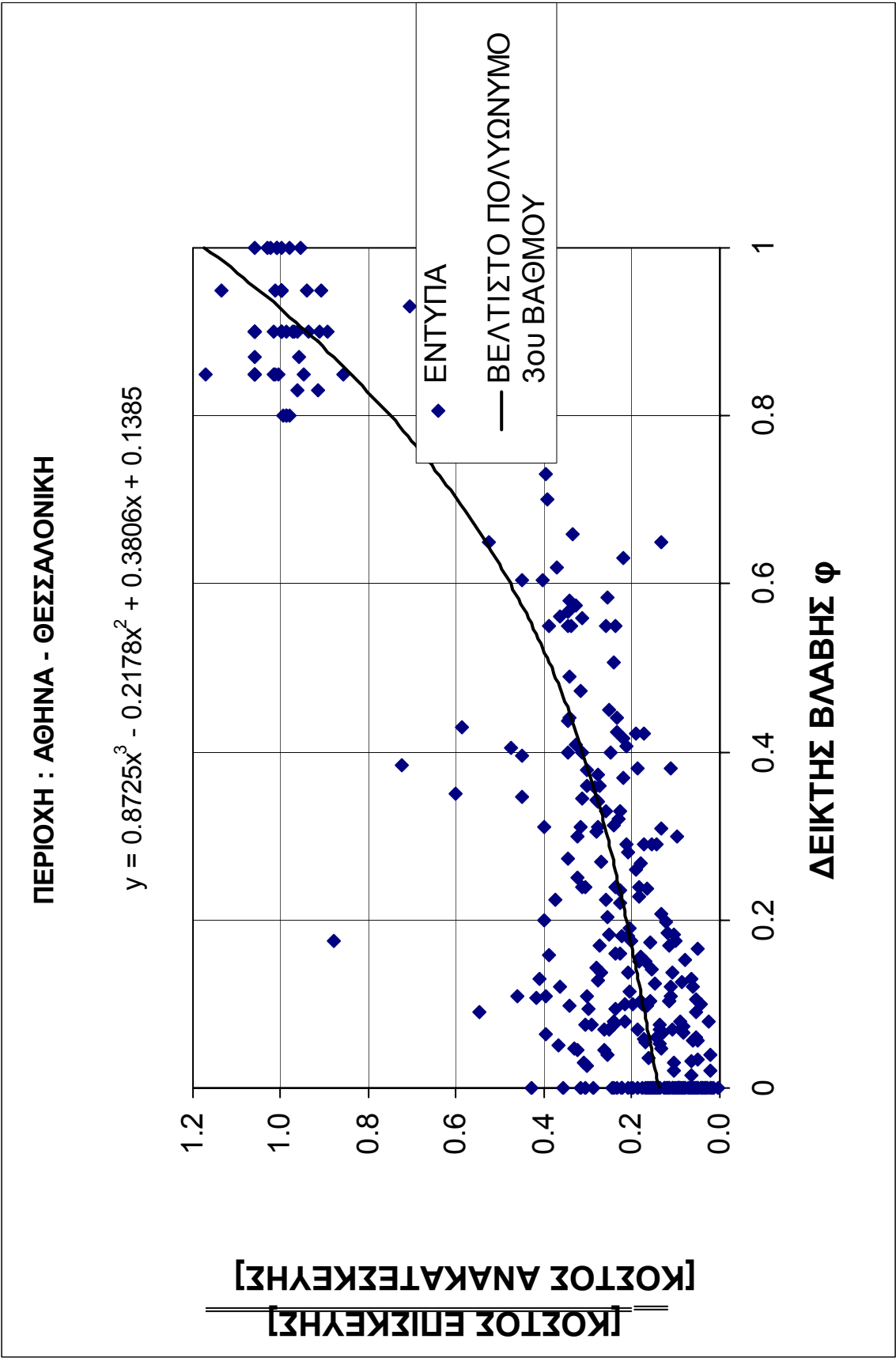




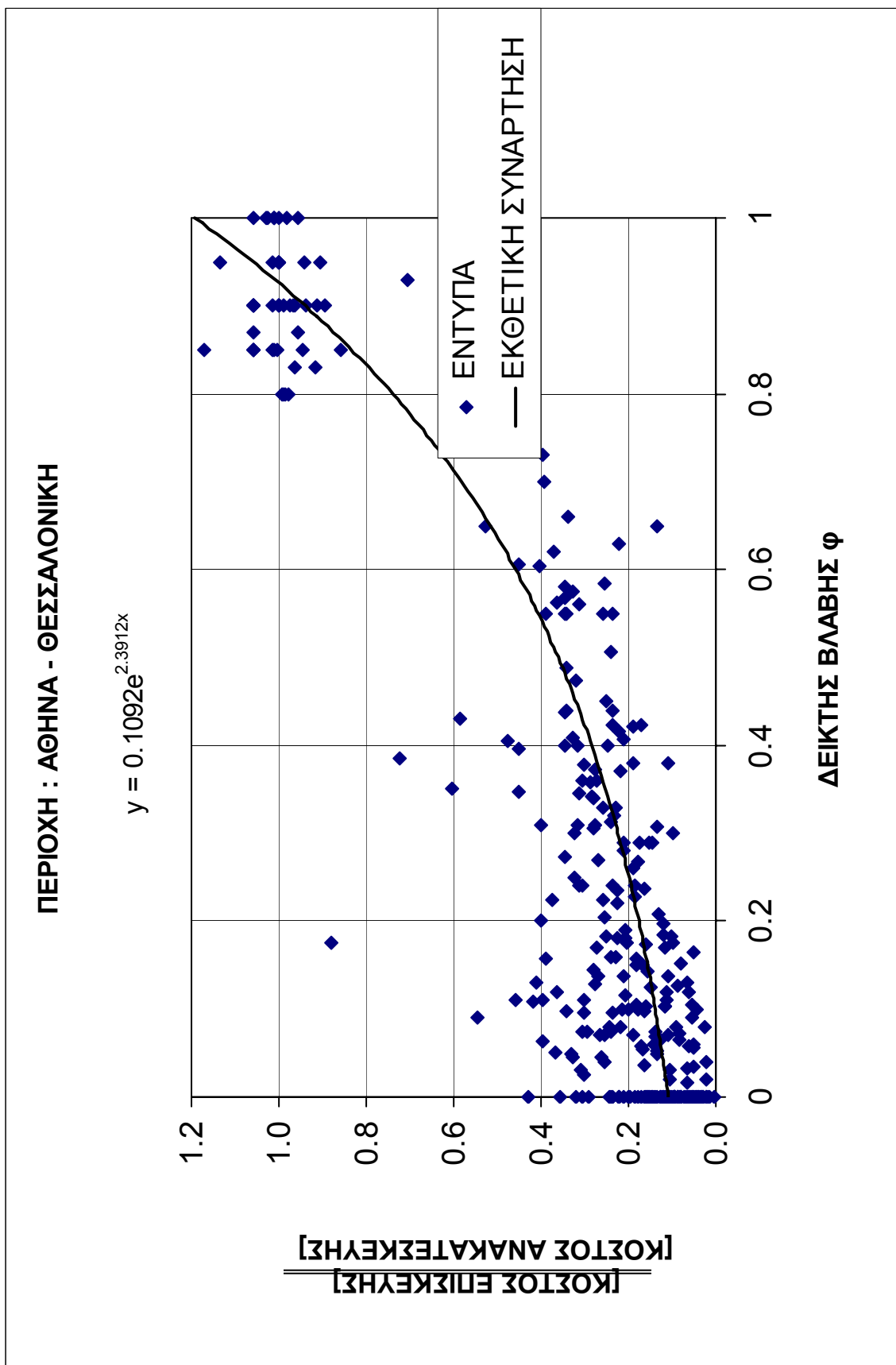
**Διάγραμμα 13:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1<sup>ου</sup> βαθμού)



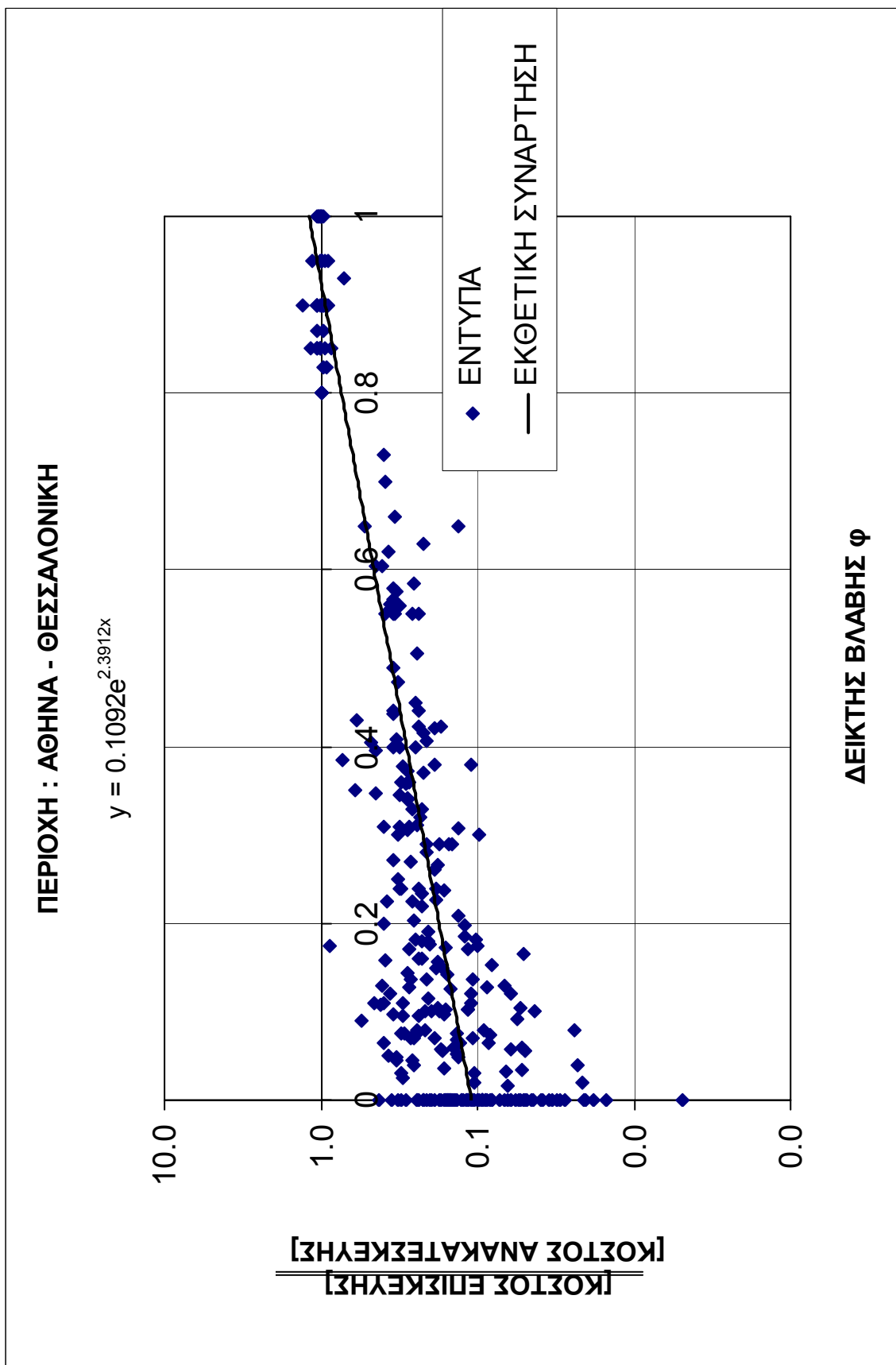
**Διάγραμμα 14:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2<sup>ου</sup> βαθμού)



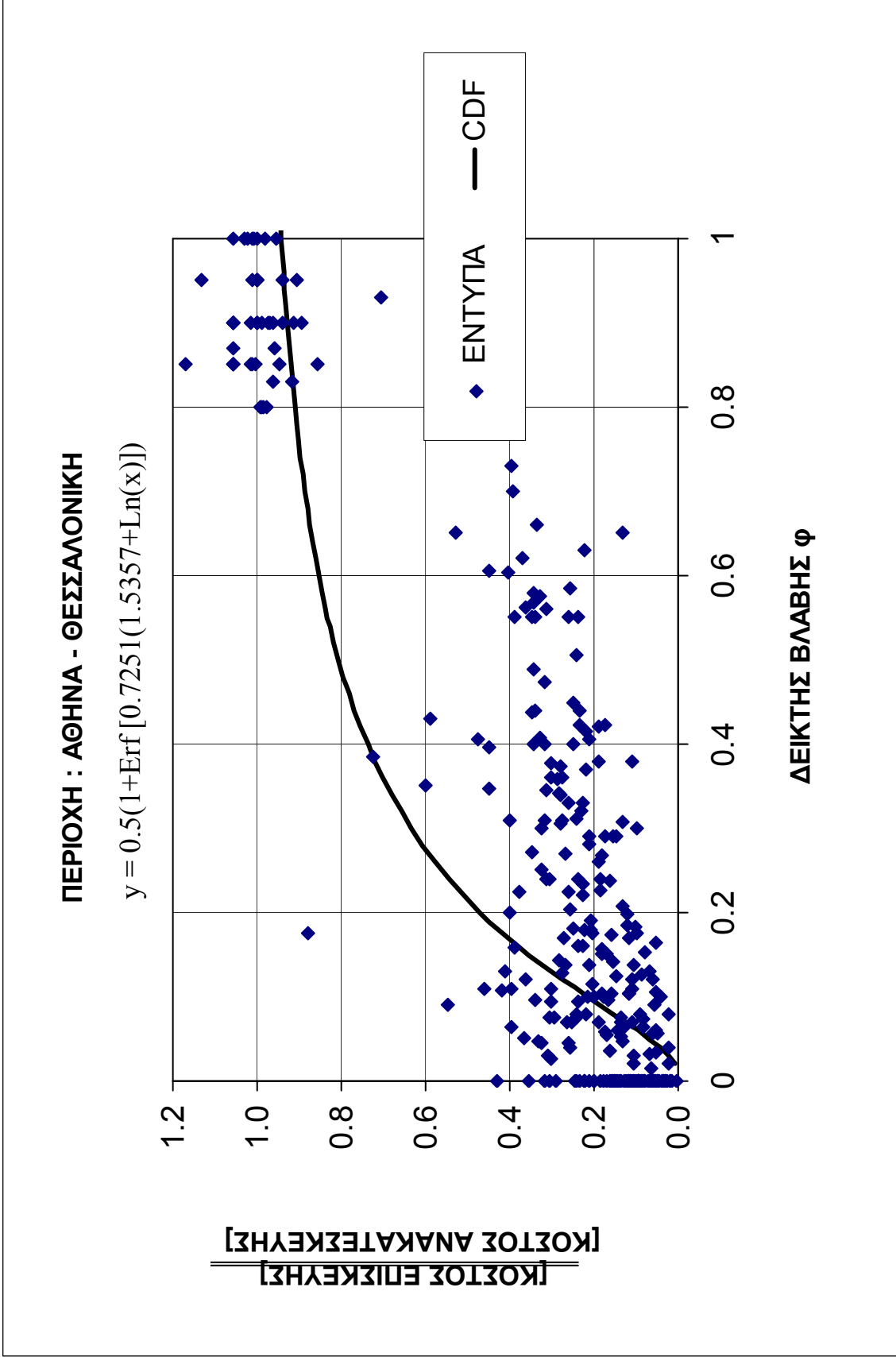
**Διάγραμμα 15:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3<sup>ου</sup> βαθμού)



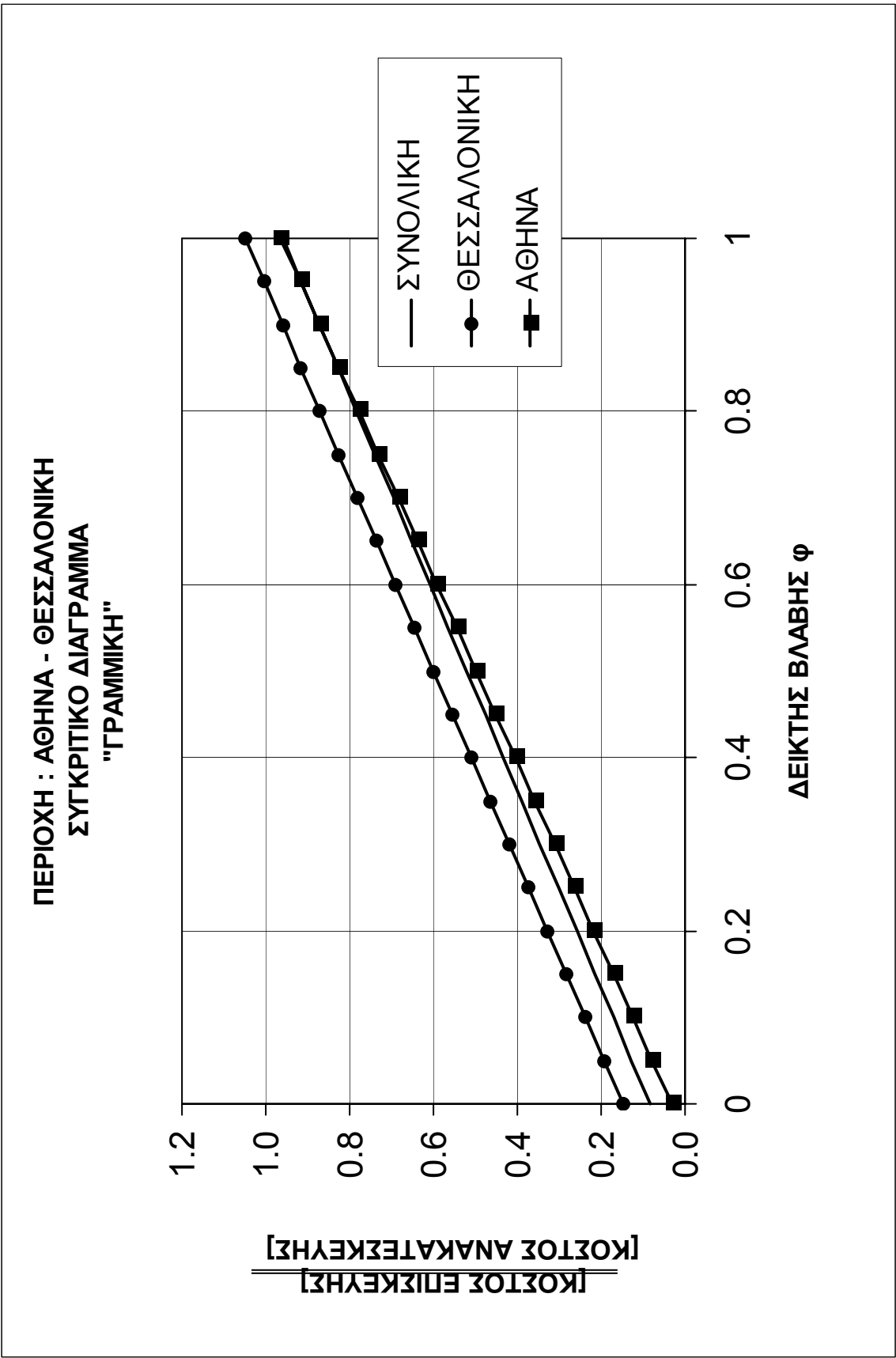
**Διάγραμμα 16:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)



**Διάγραμμα 17:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Y με λογαριθμική κλίμακα )

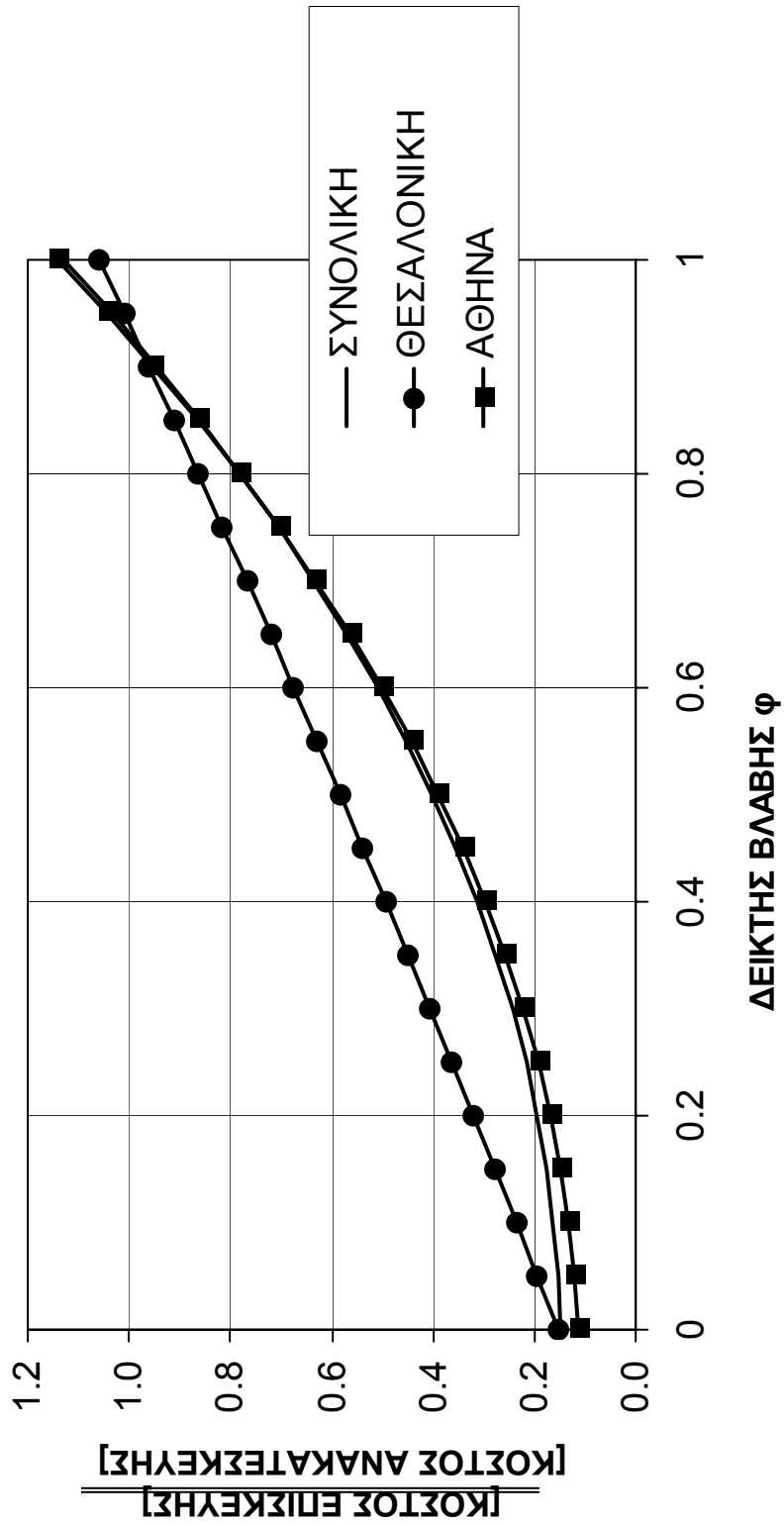


**Διάγραμμα 18:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)



**Διάγραμμα 19:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1<sup>ου</sup> βαθμού)

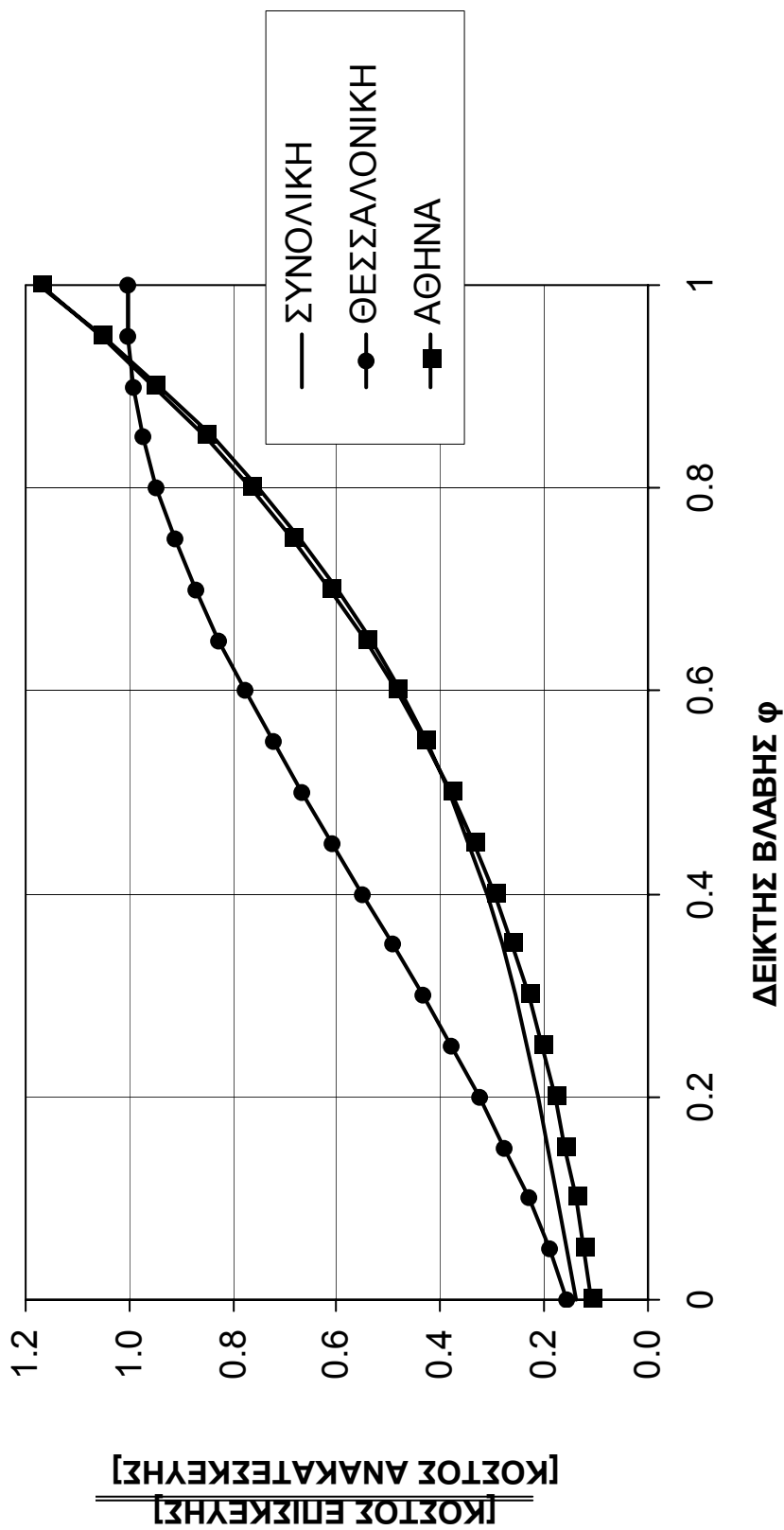
ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΘΗΝΑ - ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ  
 "ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ 2ου ΒΑΘΜΟΥ"



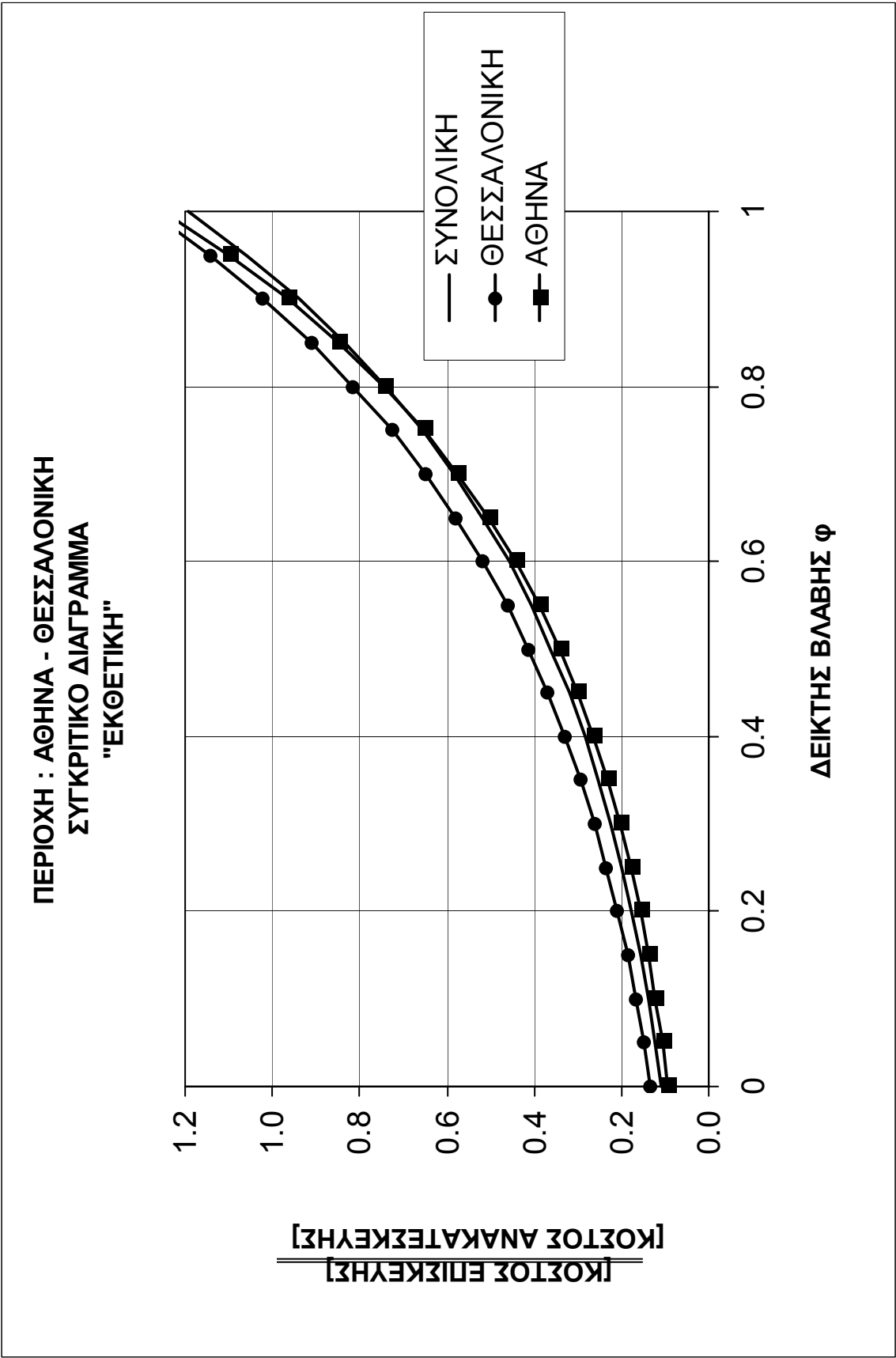
Διάγραμμα 20: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2<sup>ου</sup> βαθμού)



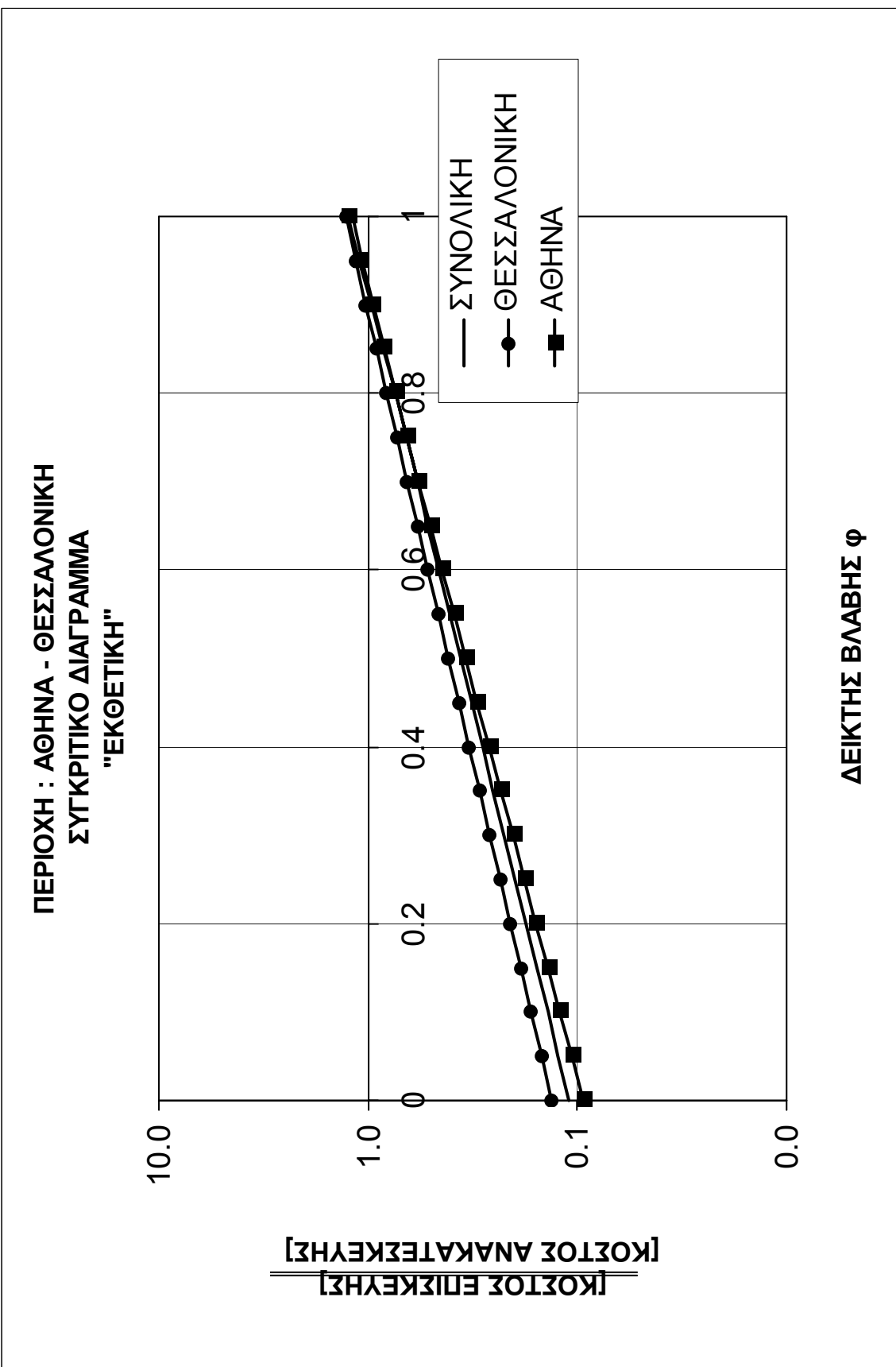
ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΘΗΝΑ - ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ  
 "ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ 3ου ΒΑΘΜΟΥ"



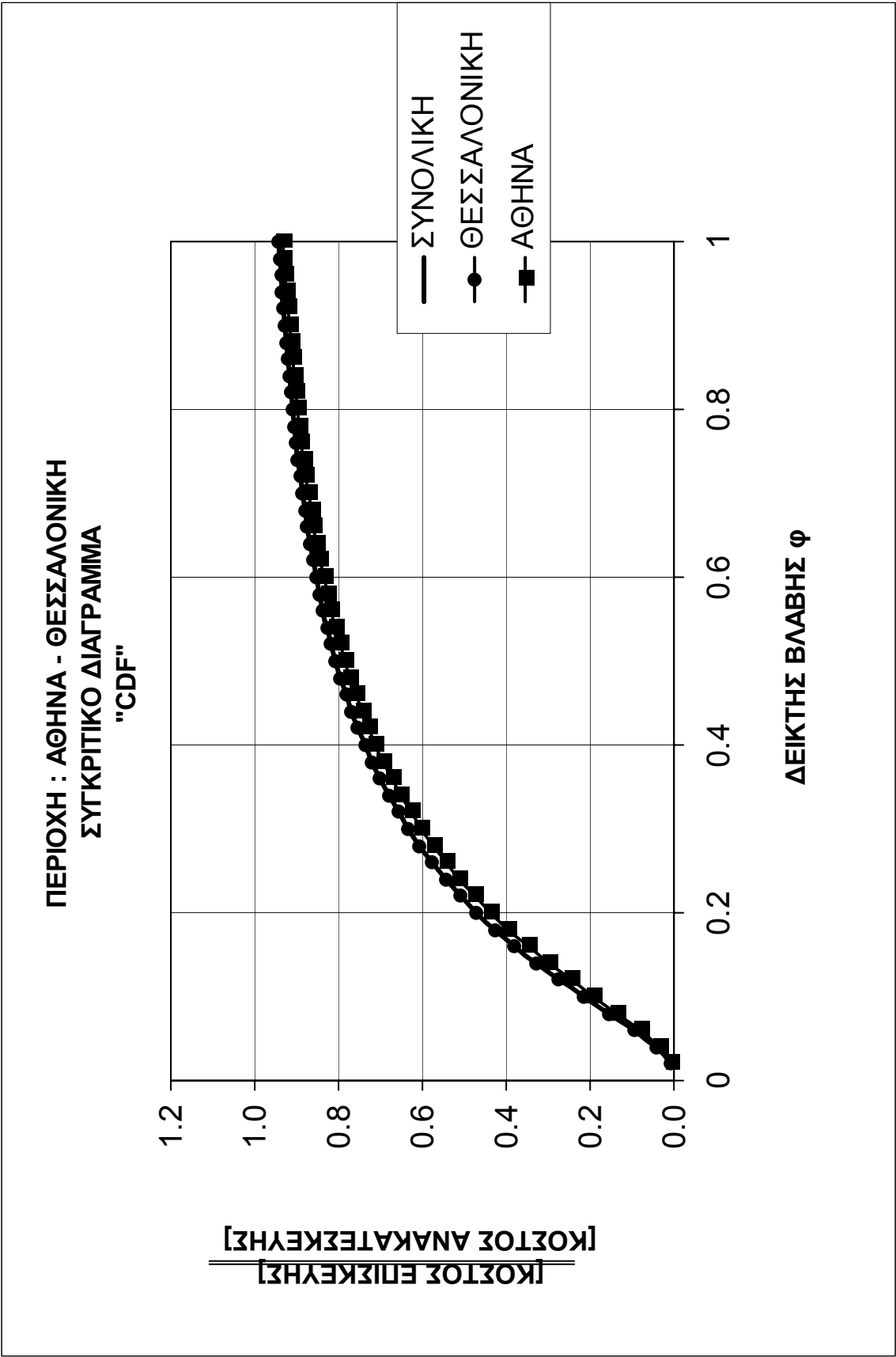
Διάγραμμα 21: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3<sup>ου</sup> βαθμού)



**Διάγραμμα 22:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)



**Διάγραμμα 23:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Υ με λογαριθμική κλίμακα )



**Διάγραμμα 24:** Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)

## 6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 6.1. Σύγκριση μεθόδων επισκευής

Για τις μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν στα κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Ειδικότερα οι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν κατά περίπτωση παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν κατά περίπτωση για τα φέροντα στοιχεία και αντίστοιχα ποσοστά.

Μέθ. Επισκευής & Ενίσχυσης	Σεισμός Αθήνας	Σεισμός Θεσσαλονίκης
Μανδ. ή Τοιχώμ. + Ρητινενέσεις	72%	42%
Μανδύες + Ρητινεν. + Τοιχώματα	20%	Εκτός δείγματος
Ρητινενέσεις	Εκτός δείγματος	43%
Σύνθετα Υλικά	5%	0%
Μεταλλικά Ελάσματα + Ρητινεν.	3%	11%
Άλλη ή Μεικτή Μέθοδος	Εκτός δείγματος	4%

Από τον πίνακα 3 προκύπτει ότι στα κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Αθήνας εφαρμόστηκαν ενισχύσεις (σε ποσοστό  $72\%+20\%=92\%$ ) προκειμένου να προσαρμοσθεί η αντοχή του κτιρίου σε κάποιον από τους πρόσφατους κανονισμούς. Στα κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Θεσσαλονίκης δεν εφαρμόστηκε κάτι αντίστοιχο σε παρόμοιο αριθμό περιπτώσεων (μόνο στο 42%) καθώς ο ισχύων κανονισμός ήταν το Βασιλικό Διάταγμα του 1959 και η επικρατούσα τότε άποψη ήταν ότι η συμπεριφορά των κτιρίων της Θεσσαλονίκης ήταν εν γένει ικανοποιητική (για το συγκεκριμένο σεισμό), άλλωστε το συνολικό κόστος των επεμβάσεων ήταν της τάξεως του 1% του αντίστοιχου κόστους ανακατασκευής (Penelis & Karros 1997). Επίσης, όπως προκύπτει από τον πίνακα, σε περιπτώσεις που ο βαθμός βλάβης ήταν χαμηλός (ρηγματώση τοιχοποιιών), για τα κτίρια της Θεσσαλονίκης δεν γινόνταν ενίσχυση αλλά μόνο επισκευή, καθώς το κτίριο θεωρείτο ότι είχε αποδείξει την ικανότητά του να ανθίσταται σε ισχυρό σεισμό. Αυτή είναι μία από τις θεμελιώδεις αρχές της φιλοσοφίας των μετασεισμικών επεμβάσεων η οποία εφαρμόστηκε στην Θεσσαλονίκη. Επίσης στα κτίρια της Αθήνας, η επισκευή με μεταλλικά ελάσματα ήταν σαφώς περιορισμένη σε σχέση με τα κτίρια της Θεσσαλονίκης, λόγω κυρίως της υποκατάστασης της με τη μέθοδο επισκευής με σύνθετα υλικά η οποία, πάντως, ενώ είναι σύγχρονη, είχε περιορισμένη εφαρμογή (5% των περιπτώσεων).

### 6.2. Αξιολόγηση διαγραμμάτων

#### 6.2.1. Δείγμα κτιρίων με βλάβες από την Αθήνα

Τα αποτελέσματα από την αποδελτίωση των εντύπων που συμπληρώθηκαν για τα κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Αθήνας και η αξιολόγησή τους, παρουσιάστηκαν στην έκθεση

της πρώτης της πρώτης φάσης (ενδεικτικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα 1-6) και στο δεύτερο συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής (Κάππος κ.ά., 2003).

### *6.2.2. Δείγμα κτιρίων με βλάβες από την Θεσσαλονίκη*

Στην περίπτωση αυτή το στατιστικό δείγμα δίνει αναλυτικά μοντέλα με παρόμοια μορφή με αυτή της Αθήνας. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι (για τους 500 φακέλους που ανοίχθηκαν) δεν βρέθηκαν περιπτώσεις κτιρίων με δείκτη βλάβης του φέροντα οργανισμού ( $\phi$ ) πάνω από 25%. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε τρεις παράγοντες:

- Στη σαφώς υψηλότερη στάθμη της σεισμικής δράσης στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού της Πάρνηθας, σε σχέση με εκείνον της Βόλβης. Ενδεικτικώς αναφέρεται ότι στο μοναδικό διαθέσιμο επιταχυνσιογράφημα από το σεισμό της Βόλβης η μέγιστη επιτάχυνση ήταν 0.14g, ενώ οι εκτός της πλειόσειστης περιοχής του σεισμού της Πάρνηθας καταγραφές έφθαναν περίπου το 0.4g (και στην πλειόσειστη περιοχή σίγουρα το ξεπερνούσαν, βλ. και Λεκίδη κ.ά. 2004).
- Στην εν γένει καλύτερη απόκριση των κτιρίων της Θεσσαλονίκης (από εκείνα στο Μενίδι και στα Άνω Λιόσια) κατά την ισχυρή σεισμική κίνηση λόγω της ύπαρξης των πυρήνων τοιχωμάτων στα κλιμακοστάσια και στην ενδοσιμότητα των θεμελιώσεων οι οποίες ήταν γενικώς λιγότερο άκαμπτες στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης από ότι στην περίπτωση της Αθήνας.
- Στη βελτίωση της τεχνογνωσίας των μεθόδων επισκευών και ενισχύσεων καθώς και στην βελτίωση των διαθέσιμων υπολογιστικών μέσων που επιτεύχθηκε κατά το διάστημα της εικοσαετίας που μεσολάβησε μεταξύ των δύο σεισμικών συμβάντων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή η τεκμηριωμένη επισκευή και ενίσχυση κτιρίων με δείκτη βλάβης φέροντα οργανισμού ( $\phi$ ) μέχρι 70% στα κτίρια της Αθήνας. Για τα κτίρια της Θεσσαλονίκης, ενδέχεται να γινόνταν ανακατασκευή στις περιπτώσεις που ο δείκτης βλάβης του φέροντα οργανισμού ( $\phi$ ) ήταν πάνω από 30% (οι οποίες λόγω της πρώτης εκδοχής πρέπει να ήταν λίγες).

Λόγω της έλλειψης δείγματος κτιρίων στην περιοχή δείκτη βλάβης φέροντα οργανισμού ( $\phi$ ) 0.3 – 0.85 τα αναλυτικά μοντέλα συσχέτισης του λόγου κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής, με τον δείκτη βλάβης, προσεγγίζουν την ευθεία πρώτου βαθμού στις περισσότερες περιπτώσεις (διαγράμματα 7-12). Προκειμένου να προκύψουν αναλυτικές σχέσεις οι οποίες να δίνουν την παραπάνω συσχέτιση για το σύνολο του δείγματος που καταγράφηκε έγιναν και συνολικά διαγράμματα για Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Από την σύγκριση όλων των διαγραμμάτων προέκυψαν χρήσιμα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

### *6.2.3. Κτίρια με βλάβες από την Θεσσαλονίκη, την Αθήνα και συνολικά*

Προκειμένου να ληφθούν υπόψη παράμετροι που αφορούν την ενδεχομένως καλύτερη απόκριση των κτιρίων της Θεσσαλονίκης από εκείνα στο Μενίδι και τα Άνω Λιόσια (για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω), αλλά και των σύγχρονων δυνατοτήτων των μεθόδων επισκευής – ενίσχυσης και υπολογιστικής τεκμηρίωσης, έγιναν διαγράμματα συσχέτισης του λόγου κόστους επισκευής προς το κόστος ανακατασκευής με τον δείκτη βλάβης για όλες τις περιπτώσεις κτιρίων που καταγράφηκαν στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη (διαγράμματα 13-18). Επίσης σε συγκριτικά διαγράμματα παρουσιάστηκαν οι καμπύλες των αναλυτικών

μοντέλων για την Αθήνα, την Θεσσαλονίκη και για το σύνολο των δύο περιπτώσεων (διαγράμματα 19-24).

Από την σύγκριση των καμπυλών των τριών αυτών περιπτώσεων προκύπτει ότι γενικά για τα κτίρια της Θεσσαλονίκης ο λόγος κόστους επισκευής προς το κόστος ανακατασκευής είναι υψηλότερος. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι για την περίπτωση της Θεσσαλονίκης το κλάσμα αυτό έχει υψηλότερο αριθμητή και μικρότερο παρονομαστή από το αντίστοιχο κλάσμα της Αθήνας (αν αναχθούν και οι δύο σε σταθερές τιμές). Αν γίνει ανάλυση του κλάσματος αυτού προκύπτει ότι ο αριθμητής (κόστος επισκευών) είναι φυσικό να είναι υψηλότερο το 1978 καθώς η τεχνογνωσία των επισκευών και η ανάπτυξη των αντίστοιχων μεθόδων ήταν περιορισμένη σε σχέση με το 1999. Επίσης ο παρονομαστής αυτού του λόγου (κόστος ανακατασκευής) το 1978 ήταν σαφώς χαμηλότερος σε σχέση με το 1999 λόγω των υψηλότερων απαιτήσεων του επιπέδου διαβίωσης τα τελευταία χρόνια (πέρα από την οποιαδήποτε αναγωγή σε κοινή βάση). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο κόστος επισκευής συμπεριλαμβάνονται και πολλές δευτερεύουσες εργασίες όπως επανακατασκευή τοιχοποιιών (σκέτο τούβλο το 1978, έναντι θερμομονωμένων τοιχοποιιών το 1999), δάπεδα (μωσαϊκό το 1978, έναντι πλακιδίων ή παρκέ το 1999), χρωματισμοί (ασβεστόχρωμα το 1978, έναντι σύγχρονων χρωματισμών το 1999) κ.ά. Ικανοποιητική προσέγγιση της σχέσης μεταξύ του λόγου κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής ( $y$ ) με τον δείκτη βλάβης  $\varphi$  ( $x$ ), συνολικά για ολόκληρο το στατιστικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε με τα επιμέρους μοντέλα της Θεσσαλονίκης και της Αθήνας δίνουν οι πολυωνυμικές συναρτήσεις  $2^{\text{ου}}$  και  $3^{\text{ου}}$  βαθμού (οι οποίες έχουν τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης):

$$y=0.9485x^2+0.0291x+0.1501 \quad (1)$$

$$y=0.8725x^3-0.2178x^2+0.3806x+0.1385 \quad (2)$$

## 7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

### 7.1. Περιοχή Άνω Λιόσια - Αχαρνές

Από την αναλυτική εκτίμηση τρωτότητας που έγινε στην πλειόσειστη περιοχή της Αθήνας προσεγγίστηκε με βάση το προτεινόμενο μοντέλο το κόστος επισκευής, ενίσχυσης και ανακατασκευής που απαιτείται για την περιοχή (Λεκίδης κ.α. 2004). Ο πραγματικός υπολογισμός του συνολικού κόστους αποκατάστασης των βλαβέντων κτιρίων έγινε χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές αποκατάστασης ανά τετραγωνικό μέτρο, όπως προέκυψε από τα διαγράμματα που παρουσιάζονται (διαγράμματα 1-6). Ειδικότερα ελέγχθηκαν 116 περιπτώσεις κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με βλάβη στην περιοχή Άνω Λιοσίων, από τα οποία 64 είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα, 20 με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευαστούν, ενώ 32 είχαν από μηδενικές έως ελαφρές και επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό και είχαν χαρακτηριστεί με πράσινο χρώμα. Στην περιοχή του Δήμου Αχαρνών ελέγχθηκαν 100 περιπτώσεις κτιρίων με βλάβες, από τα οποία τα 54 είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα, τα 22 με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν, ενώ 24 είχαν από μηδενικές έως ελαφρές και επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό. Σε αυτά τα 24 κτίρια, εμφανίστηκαν κυρίως βλάβες στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Το χρώμα χαρακτηρισμού των κτιρίων αναφέρεται στον

χαρακτηρισμό της επιτροπής δευτεροβάθμιου ελέγχου για τα κίτρινα και τα κόκκινα. Από την έρευνα προέκυψαν τιμές αποκατάστασης ανά τετραγωνικό μέτρο που αντιστοιχούσαν στα ποσά των 35,5€, 92,4€ και 361,1€ ανά τετραγωνικό μέτρο για τα «πράσινα», «κίτρινα» και «κόκκινα» κτίρια αντίστοιχα. Από στατιστική διερεύνηση που έγινε στην περιοχή Άνω Λιοσίων και Αχαρνών, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος (Λεκίδης κ.ά. 2004) για την εκτίμηση τρωτότητας, συλλέχθηκαν στοιχεία για 988 κτίρια. Έτσι, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές αποκατάστασης στα 988 κτίρια του αντιπροσωπευτικού δείγματος, για 407 κτίρια του δείγματος που είχαν χαρακτηριστεί «πράσινα» θεωρήθηκε μέση τιμή κόστους αποκατάστασης ίση με 35,5€ ανά τετραγωνικό μέτρο, για 351 κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί «κίτρινα» θεωρήθηκε μέση τιμή κόστους αποκατάστασης ίση με 92,4€ ανά τετραγωνικό μέτρο ενώ για 230 κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί «κόκκινα» θεωρήθηκε μέση τιμή κόστους αποκατάστασης ίση με 361,1€ ανά τετραγωνικό μέτρο. Οι τιμές αυτές πολλαπλασιάστηκαν επί τα αντίστοιχα τετραγωνικά κάθε κτιρίου, και ξεχωριστά για κάθε κατηγορία βλάβης, για να προκύψει στο τέλος το πραγματικό κόστος επισκευής για το σύνολο του δείγματος. Συγκεκριμένα τα κόστη αυτά ανέρχονται στο ποσό των 1,18 εκατ. € για τα «πράσινα», 4,39 εκατ. € για τα «κίτρινα», 5,57 εκατ. € για τα «κόκκινα» και συνολικά για όλες τις κατηγορίες στο ποσό των 11,14 εκατ. €, το οποίο θεωρείται το πραγματικό κόστος αποκατάστασης. Για την εκτίμηση του αντίστοιχου κόστους, με βάση τα αναλυτικά μοντέλα αποτίμησης τρωτότητας, πρέπει κατ' αρχάς να διαχωριστεί το δείγμα των 988 κτιρίων σε κατηγορίες αντίστοιχες με αυτές για τις οποίες έγιναν οι αναλύσεις. Για το λόγο αυτόν, τα κτίρια του δείγματος κατατάχθηκαν με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

*α. Ως προς το χρόνο κατασκευής των κτιρίων*

*β. Ως προς το ύψος και το είδος του φέροντος οργανισμού*

Από τη σύγκριση των τιμών των συνολικών ποσών, για κάθε περίπτωση σεισμικής διέγερσης, προκύπτει ότι το πλησιέστερο στο 'πραγματικό' κόστος αποκατάστασης (11,14 εκατ. €) είναι το αναλυτικά εκτιμηθέν συνολικό κόστος που προκύπτει με την θεώρηση της συνθετικής σεισμικής διέγερσης με βάση τη μέθοδο σημειακού ρήγματος (PSM), και το οποίο ανέρχεται στο ποσό των 15,51 εκατ. €. Η τιμή αυτή παρουσιάζει απόκλιση από την 'πραγματική' τιμή αποκατάστασης κατά 28 %, η οποία κρίνεται ικανοποιητική για μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης (Λεκίδης κ.α. 2004). Η μέθοδος του σημειακού ρήγματος (PSM) αναφέρεται σε μέθοδο εκτίμησης της ισχυρής κίνησης στο κοντινό πεδίο.

## **7.2. Περιοχή Θεσσαλονίκης**

Για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της παρούσας ομάδας εργασίας και των διαθέσιμων στοιχείων της ΥΑΣΒΕ γίνονται υπολογισμοί προκειμένου να προσδιοριστεί το μέσο εμβαδό της επιφάνειας που προκύπτει ότι επισκευάστηκε ανά κτίριο με βλάβες. Σύμφωνα με το αρχείο της ΥΑΣΒΕ το συνολικό χρηματικό ποσό που απαιτήθηκε για τις επισκευές και τις ανακατασκευές για τα κτίρια της Θεσσαλονίκης ήταν 5.02 δις δρχ. (14,73 εκατ. €). Επίσης από στοιχεία της ΥΑΣΒΕ προέκυψε ότι το 19% των κτιρίων για τα οποία κατατέθηκε φάκελος ανακατασκευάστηκε. Στο ποσοστό αυτό περιλαμβάνονται τόσο κτίρια από Ο/Σ όσο και από τοιχοποιία και καταρχήν φαίνεται ως υψηλό. Η τιμή αυτή, αυτή όμως αιτιολογείται από το γεγονός ότι επιχορηγούνταν η ανακατασκευή κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία στην



περίπτωση που αποδεικνύονταν (λογιστικώς) η αδυναμία του κτιρίου να φέρει τα κατακόρυφα και σεισμικά φορτία με ασφάλεια (σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό). Ήτοι οι βλάβες από το σεισμό της Θεσσαλονίκης αποτέλεσε μια καλή ευκαιρία, στους ιδιοκτήτες παλαιών κτιρίων από τοιχοποιία, για ανακατασκευή τους (με Ο/Σ) υπό πολύ ευνοϊκούς οικονομικούς όρους (δάνεια). Από τα κτίρια που ελέγχθηκαν κατά την εκπόνηση ερευνητικού προγράμματος (Πενέλης κ.ά. 1986) προέκυψε ότι στο 22.9% των κτιρίων με φέροντα οργανισμό από Ο/Σ, έγιναν επεμβάσεις ή ανακατασκευάστηκαν, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στα κτίρια από Φέρουσα Τοιχοποιία ήταν 22.6%. Από την αποδελτίωση των εντύπων που συμπληρώθηκαν, στα πλαίσια αυτής της Ομάδος Εργασίας, στο 13% των κτιρίων με βλάβες το κόστος επισκευής ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας με βλάβες ήταν (κατά μέση τιμή) το 40% του κόστους ανακατασκευής, στο 30% των κτιρίων με βλάβες το κόστος επισκευής ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας με βλάβες ήταν (κατά μέση τιμή) το 25% του κόστους ανακατασκευής και στο 38% των κτιρίων με βλάβες το κόστος επισκευής ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας με βλάβες ήταν (κατά μέση τιμή) το 10% του κόστους ανακατασκευής. Τα ποσοστά αυτά αφορούν τα κτίρια του στατιστικού δείγματος που θεωρήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Ομάδας Εργασίας. Με την κατάστρωση κατάλληλης εξίσωσης προσδιορίζεται το μέσο εμβαδό της επιφάνειας στο οποίο έγιναν επεμβάσεις ή ανακατασκευάστηκε ανά κτίριο με βλάβες. Σύμφωνα με στοιχεία της ΥΑΣΒΕ υπήρξαν 11680 κτίρια με βλάβες ή ανακατασκευές στην Θεσσαλονίκη. Για κόστος ανακατασκευής ανά τετραγωνικό μέτρο 6560δρχ το μέσο εμβαδό επιφανείας με βλάβες ή ανακατασκευή ανά κτίριο με βλάβες προκύπτει:

$$E = \frac{5019900000\delta\rho\chi}{(0.38 \times 0.1 + 0.3 \times 0.25 + 0.13 \times 0.4 + 0.19 \times 1.00) \times 6560 \frac{\delta\rho\chi}{\tau.\mu.} \times 11680 \kappa\tau\iota\rho.} = 185 \frac{\tau.\mu.}{\kappa\tau\iota\rho.} \quad (3)$$

Όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς το μέσο εμβαδό της επιφάνειας στο οποίο έγιναν επεμβάσεις ή ανακατασκευάστηκε ανά κτίριο με βλάβες ήταν 185τ.μ./κτίριο, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί είτε σε μία στάθμη είτε σε δύο στάθμες των 93τ.μ./κτίριο.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσω της μεθοδολογίας που προτείνεται στην Υ.Α. 5172/Α25β/18.10.1999 παρέχεται μια απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης κτιρίων στα οποία έχουν αναπτυχθεί βλάβες από σεισμό. Με την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας προέκυψαν τα στοιχεία που συνθέτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν επιστημονικά αποδεκτή μορφή. Η διασπορά που παρατηρείται οφείλεται σε παράγοντες όπως:

- Το εάν έγινε μόνο επισκευή, ή επισκευή και ενίσχυση.
- Το εάν έγινε ενίσχυση και στη θεμελίωση.
- Ο βαθμός βλάβης των τοιχοποιιών.
- Η μέθοδος επισκευής που εφαρμόστηκε

Από τις μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν προκύπτει ότι εφαρμόστηκαν κυρίως οι παραδοσιακές μέθοδοι των ρητινενέσεων και των μανδυών, έναντι των μεθόδων με

σύνθετα υλικά και μεταλλικά ελάσματα. Προφανώς αυτό οφείλεται αφενός μεν στο γεγονός ότι οι δύο τελευταίες μέθοδοι είναι σχετικά καινούριες και άρα λιγότερο γνωστές στους ιδιώτες, αφετέρου δε υπάρχει μεγαλύτερη προσφορά (στην τεχνική αγορά) σε συνεργεία επισκευής και ενίσχυσης με την «παραδοσιακή» μέθοδο των ρητινών και μανδυών. Από την ανασκόπηση των επεμβάσεων που έγιναν στην Αθήνα, τα σύνθετα υλικά αντικατέστησαν κυρίως ένα ποσοστό των επεμβάσεων που γινόταν με μεταλλικά ελάσματα, σύμφωνα με τα στοιχεία του τύπου επεμβάσεων της Θεσσαλονίκης. Επίσης ο βαθμός ενίσχυσης που θα εφαρμοσθεί σε κτίριο με βλάβες από σεισμό είναι συνάρτηση των κανονισμών που ίσχυσαν τα τελευταία χρόνια και της αντίστοιχης τεχνογνωσίας που υπάρχει. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί σε υπό ανάπτυξη σεισμογενείς χώρες.

Το ποσοστό των ανακατασκευών για τα κτίρια με βλάβες στην Αθήνα ήταν χαμηλότερο από το αντίστοιχο ποσοστό της Θεσσαλονίκης λόγω των δυνατοτήτων που υπάρχουν σήμερα σε επίπεδο τεχνογνωσίας και υπολογισμών (στα πλαίσια μελέτης επεμβάσεως).

Ο λόγος του κόστους επισκευής προς το κόστος ανακατασκευής για την Θεσσαλονίκη ήταν γενικά υψηλότερος αφενός λόγω του υψηλού κόστους επισκευής και αφετέρου λόγω της χαμηλής ποιότητας της ανακατασκευής στα τέλη της δεκαετίας του 70.

Από τα πολυωνμικά μοντέλα που προσδιορίστηκαν η καμπύλη πρώτου βαθμού έχει σημαντικές αποκλίσεις σε διάφορες περιοχές της. Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης η καμπύλη αυτή έχει ικανοποιητική σύμπτωση. Οι πολυωνμικές καμπύλες δευτέρου και τρίτου βαθμού διέρχονται από τα σημεία του δείγματος παρουσιάζοντας μικρότερες αποκλίσεις για την περιοχή της Αθήνας ενώ η καμπύλη τρίτου βαθμού έχει σημαντικές αποκλίσεις στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης.

Ικανοποιητική προσέγγιση της σχέσης μεταξύ του λόγου κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής ( $y$ ) με τον δείκτη βλάβης  $\phi$  ( $x$ ), συνολικά για ολόκληρο το στατιστικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε, με τα επιμέρους μοντέλα της Θεσσαλονίκης και της Αθήνας δίνουν οι πολυωνμικές συναρτήσεις 2<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> βαθμού:

$$y=0.9485x^2+0.0291x+0.1501$$

$$y=0.8725x^3-0.2178x^2+0.3806x+0.1385$$

Κατάλληλης μορφής είναι και η καμπύλη της σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (CDF), η οποία μάλιστα παρουσιάζει μηδενική τιμή απώλειας (κόστους επέμβασης) για  $D=0$  (μηδενική δομική βλάβη), άρα προσφέρεται περισσότερο για πρακτική εφαρμογή (δεν χρειάζεται δηλαδή πρόσθετος δείκτης περιγραφής της βλάβης στις τοιχοπληρώσεις). Στην καμπύλη αυτή, ωστόσο, παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις κατά την προσαρμογή στα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

Από τις οικονομικές εκτιμήσεις που έγιναν στη μελέτη τρωτότητας της Αθήνας και στην παρούσα έκθεση προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και δίνονται είναι αξιοποιήσιμα και δίνουν ορθολογικά και ρεαλιστικά αποτελέσματα.

## 9. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συλλογή των στοιχείων έγινε από τα αρχεία των ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών και από το αρχείο της ΥΑΣΒΕ. Εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας στους διευθυντές και το προσωπικό αυτών των υπηρεσιών για τη συμβολή τους στην επιτυχία του έργου της Ομάδας Εργασίας.

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- Gunturi, S.K.V. and H.C. Shah 1992. Building Specific Damage Estimation. *Proceedings of 10th World Conf. on Earthq. Engng.* (July 1992, Madrid, Spain) Balkema, Rotterdam, Vol. 10, 6001-6006.
- Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and Penelis, G.G. (1991), “Analytical Prediction of the Response of Structures to Future Earthquakes”, *European Earthquake Engineering*, Vol. 5, No. 1, 1991, 10-21.
- Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and Pitilakis, K., 1998. Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment. *Natural Hazards*, 17(2): 177-192.
- Park, Y-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K. (1985) “Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings”, *J. Str. Eng.*, ASCE, V. 111, No. 4, pp. 740-757.
- Park, Y-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K. (1987) “Damage-limiting aseismic design of buildings”, *Earthquake Spectra*, V. 3, No. 1, 1-25.
- Penelis G.G. and A.J. Kappos (1997), “Earthquake-resistant Concrete Structures”, E & FN SPON (Chapman & Hall), London.
- A. Ι. Κάππος, Β. Α. Λεκίδης, Θ. Ν. Σαλονικιός, Κ. Κ. Αντωνιάδης, Η. Α. Παρασκευόπουλος, (2003), “Συσχέτιση της δομικής βλάβης κτιρίων Ο/Σ με οικονομικές απώλειες: Βαθμονόμηση βάσει δοδομένων από το σεισμό της Αθήνας (7-9-1999)”, 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, τόμος Α, σελ. 484 -495.
- Καρέλα, Ν.Π., Δρίτσος, Σ.Η. κ.ά. (1999) Μετασεισμικές επεμβάσεις αποκατάστασης κτιρίων στην πόλη του Αγίου, 13ο Ελλ. Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο, Οκτ. 1998, τ. Ι, σελ. 508-517.
- Χρονόπουλος, Μ.Π. (1984), “Βλάβες και κόστος επεμβάσεων”, *Πρακτ. Συνεδ. Σεισμοί και Κατασκευές* (Αθήνα), 459-469.
- Λεκίδης Β., Καρακώστας Χ., Σους Ι., Αναστασιάδης Α., Κλήμης Ν., Θεοδουλίδης Ν., Μάργαρης Β., Κάππος Α., Παναγόπουλος Γ., Πενέλης Γρ., Παναγιωτόπουλος Χ., Παπαδόπουλος Η. (2004), “Ο σεισμός της Αθήνας της 7-9-99: Εκτίμηση της Τρωτότητας στην πλειόσειστη περιοχή και σύγκριση της με την πραγματική κατανομή των βλαβών των κατασκευών από το σεισμό”, Ερευνητικό πρόγραμμα που χρηματοδοτήθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π, Θεσσαλονίκη, βιβλιοθήκη ΙΤΣΑΚ.
- Α.Π.Θ, Υ.Α.Σ.Β.Ε., Ο.Α.Σ.Π. (1986), “Στατιστική αξιολόγηση των ζημιών που προκλήθηκαν από τον σεισμό της 20-6-1978 στα κτίρια της Θεσσαλονίκης”. Συντονισμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα που χρηματοδοτήθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π.