

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΣΑΦΕΙΑΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ

Ζάννου Δέσποινα*, Χατζηχρήστος Θωμάς

Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε., Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού.

Τηλ. 0107495214, Fax 0107495212, email: vzannos@tee.gr, Τηλ. 0106447306, Fax 0107722748, email: thomasx@survey.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σεισμικές επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον αποτιμώνται συνήθως με όρους σεισμικής διακινδύνευσης για ορισμένο χρόνο και εκφράζονται σε όρους αναμενόμενων απωλειών από σεισμό. Ένας από τους κύριους άξονες μελέτης και έρευνας, ώστε να αναπτυχθούν μεθοδολογίες εκτίμησης απωλειών από σεισμό, είναι η δημιουργία σεισμικών σεναρίων, που σχετίζεται άμεσα με την εκτίμηση των **αναμενόμενων βλαβών στις κατασκευές**. Προκειμένου να γίνει αυτό, απαιτείται η απογραφή των στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος και η **αποτίμηση της τρωτότητας των κτιρίων**. Η εργασία προτείνει μια μεθοδολογία **εκτίμησης της τρωτότητας του κάθε τύπου κτιρίου**, ανάλογα με τους Κανονισμούς (κριτήρια), που δείπταν τη μελέτη και κατασκευή του, κάνοντας χρήση των ισχυρών εργαλείων των ΓΣΠ και της μεθόδου της Λογικής της Ασάφειας, παρουσιάζοντας έτσι μια προσέγγιση χωρικά εκφρασμένων και πρακτικά αξιοποιήσιμων αποτελεσμάτων. Η μεθοδολογία που διατυπώνεται έχει ως απώτερο στόχο την **υιοθέτηση προτεραιοτήτων σε επίπεδο χωρικών ενοτήτων**, για την εν συνεχεία αναλυτικότερη και ακριβέστερη εξέταση της σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων από τους ειδικούς μηχανικούς και τελικό στόχο τη λήψη απόφασης ως προς την ανάγκη ή όχι της ενίσχυσης τους.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Λογική της Ασάφειας, Εκτίμηση Βλαβών, Τρωτότητα Κτιρίων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με βασική επιδίωξη την επέκταση της αντισεισμικής προστασίας, όχι μόνο στα νέα κτίρια που μελετώνται και κατασκευάζονται με σύγχρονες προδιαγραφές αλλά και στα υπάρχοντα κτίρια, γίνεται μια προσπάθεια στον Ελλαδικό χώρο, ιδιαίτερα μετά τον καταστροφικό σεισμό του Σεπτεμβρίου του 1999, διαμόρφωσης θέσεων του επιστημονικού κόσμου για τη σεισμική ασφάλεια των κτιρίων. Η σεισμική δράση που αναμένεται πιθανά σε μια δεδομένη περιοχή της χώρας, είναι από τα πιο αβέβαια μεγέθη ανάμεσα σε όσα απειλούν τη συγκεκριμένη περιοχή. Η σεισμική δράση (η «ένταση» του σεισμού), εξαρτάται από ποικίλα στοιχεία τα οποία δεν μπορούν εύκολα να προεκτιμηθούν (προέλευση, μέγεθος, βάθος, περιεχόμενο συχνότητων, διάρκεια).

Μία από τις βασικές συνιστώσες του ζητήματος της αντισεισμικής προστασίας, είναι η αποτίμηση της συνολικής Διακινδύνευσης των κτιρίων, για την οποία απαιτούνται δύο τουλάχιστον βασικές ενέργειες:

1. Η καταγραφή των δεδομένων δομικού πλούτου.
2. Η εκτίμηση της Σεισμικής Τρωτότητας του κάθε τύπου κτιρίου. Ο όρος «Τρωτότητα Κτιρίου» αναφέρεται στο μέγεθος που αντιπροσωπεύει την τάση ενός κτιρίου να πάθει βλάβη από σεισμό.

Έτσι είναι δυνατό σε δεύτερο στάδιο, τα αποτελέσματα εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας, να μετατραπούν σε όρους διακινδύνευσης, δηλαδή σε κόστος (επισκευής, ανακατασκευής, διακοπής λειτουργίας, θανάτων τραυματισμών κ.α.), ανά μονάδα επιφάνειας.

Διάφορες κατηγοριοποιήσεις έχουν προταθεί για την κατάταξη των μεθόδων και τεχνικών αποτίμησης της τρωτότητας. Σύμφωνα με μια από τις καθιερωμένες, (Scawthorn, 1986) κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες, κατά σειρά αύξουσας απαιτούμενης προσπάθειας: Εμπειρική Μέθοδος, σε συσχέτιση με Αντισεισμικό Κανονισμό, Εμπειρική – Στατιστική Μέθοδος, Απλοποιημένη Αναλυτική Μέθοδος ή αλλιώς Μέθοδος «Κατωφλίου» και Εξελιγμένη Αναλυτική. Σήμερα, η πρόοδος που συντελείται στις μεθόδους και τεχνικές εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης και εκτίμησης τρωτότητας των υφιστάμενων κατασκευών, άνοιξε το δρόμο για πολιτικές παρεμβάσεων για τη μείωση της τρωτότητας των υφιστάμενων κατασκευών με στόχο τη διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης. Η όλη προσπάθεια, εκτός των εμφανών υπολογιστικού – τεχνικού χαρακτήρα δυσκολιών που παρουσιάζει και που αποτελούν αντικείμενο κυρίως της επιστημονικής κοινότητας, έχει σημαντικές οικονομικές, πολιτικές και νομικές διαστάσεις.

Η εργασία διατυπώνει μια νέα προσέγγιση για την αποτίμηση της τρωτότητας, σύμφωνα με τους Κανονισμούς, που διείπαν τη μελέτη και κατασκευή των κτιρίων και ανάλογα με τα δομητικά χαρακτηριστικά τους με σκοπό την γρήγορη, άμεση και με ακρίβεια απόδοση της εικόνας της εκτιμώμενης τρωτότητας των κτιρίων στην ζητούμενη χωρική μονάδα. Για το σκοπό αυτό κάνει χρήση των εργαλείων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και της μεθόδου της λογικής της ασάφειας. Η λογική της ασάφειας χρησιμοποιείται για την ανάλυση των δεδομένων, ενώ τα ΓΣΠ για την εισαγωγή, τη διαχείριση και την απεικόνιση των δεδομένων.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι αποτίμησης της τρωτότητας και κάποια πιθανά κριτήρια επιλογής της κατάλληλης μεθόδου. Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η προτεινόμενη μεθοδολογία ενώ το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας στην Αττική. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης, με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

2.1 Μέθοδοι αποτίμησης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί στην αποτίμηση της τρωτότητας κτιρίων.

2.1.1 Εμπειρικές μέθοδοι

Ένας ή περισσότεροι μηχανικοί με γνώση και εμπειρία στον μετασεισμικό έλεγχο κτιρίων, μετά από αυτοψία κάνουν μια εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας του κτιρίου, αφού ενδεχομένως λάβουν υπόψη μια σειρά παραγόντων, όπως την αρχιτεκτονική μόνωση του κτιρίου, τη μόνωση του φέροντα οργανισμού, τη θεμελίωση, το ιστορικό του κτιρίου, τις λεπτομέρειες όπλισης και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Εξέλιξη της μεθόδου σε μια προσπάθεια τυποποίησης της, αποτελεί το ATC-13, που βασίζεται σε Μητρώα Πιθανότητας Βλάβης (Damage Probability Matrices).

2.1.2 Σε συσχέτιση με Αντισεισμικό Κανονισμό

Συγκρίνεται η φέρουσα ικανότητα του δομήματος είτε μελών του φέροντος οργανισμού του, με τις απαιτήσεις που προκύπτουν από τον αντισεισμικό κανονισμό που ίσχυε κατά το χρόνο μελέτης ή κατασκευής του ή άλλον πιο σύγχρονο.

2.1.3 Εμπειρική – Στατιστική Μέθοδος

Πρόκειται για εκτίμηση ενός δείκτη βλάβης κτιρίου βασισμένη σε υπάρχοντα εμπειρικά στοιχεία βλαβών από σεισμούς, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (τυπολογία, μόνωση κ.τ.λ.) Ουσιαστικά όμως οι στατιστικές μέθοδοι αγνοούν ειδικά χαρακτηριστικά του κτιρίου που όμως μπορεί να έχουν μεγάλη σημασία για τη σεισμική του τρωτότητα.

2.1.4 Απλοποιημένη Αναλυτική Μέθοδος / Μέθοδος «Κατωφλίου»

Πρόκειται για την ανάπτυξη απλοποιημένων σχέσεων για χαρακτηριστικούς τύπους δομημάτων που επιτρέπουν σε σημαντικές παραμέτρους, όπως η Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση, η παραμόρφωση ορόφου κ.τ.λ. να προσδιοριστούν ως συνάρτηση της εδαφικής κίνησης. Εφόσον η επιλεγείσα παράμετρος υπερβαίνει κάποιο όριο, τότε αναμένεται το κτίριο να υποστεί ορισμένα επίπεδα βλάβης. Τα όρια αυτά προσδιορίζονται είτε εργαστηριακά, είτε πιο συχνά εμπειρικά βάσει επεξεργασίας στοιχείων βλαβών που έχουν προκύψει από πραγματικούς σεισμούς.

2.1.5 Εξελιγμένη Αναλυτική

Πιο σύγχρονες προσεγγίσεις κατατάσσουν τις μεθόδους αποτίμησης τρωτότητας σε Άμεσες Συμβατικές και Έμμεσες. Οι Άμεσες Τεχνικές διακρίνονται ακόμη σε Τυπολογικές και Μηχανικές. Οι Έμμεσες Τεχνικές μπορεί να θεωρηθούν ως εξέλιξη των Συμβατικών τεχνικών. Συνήθεις είναι επίσης και οι υβριδικές τεχνικές που συνδυάζουν στοιχεία των τεχνικών που προαναφέρθηκαν με την κρίση ειδικών (expert judgment).

Όλες οι μέθοδοι αποτίμησης της τρωτότητας των κτιρίων, αναφέρονται σε διάφορες χωρικές κλίμακες και ενότητες. Υπάρχει όμως μεγάλη αναγκαιότητα για τη χρήση μιας μεθοδολογίας, που με τρόπο ταχύ αλλά και ακριβή, να μεγιστοποιεί την πληροφορία αποτίμησης της τρωτότητας των κτιρίων για οποιοδήποτε τμήμα ή για ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο. Για αυτό το σκοπό, στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται η χρήση της λογικής της ασάφειας σε περιβάλλον ΓΣΠ, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

2.2. Κριτήρια επιλογής μεθόδου αποτίμησης

Προκειμένου να επιλέξουμε τη μέθοδο αποτίμησης της σεισμικής τρωτότητας, πρέπει να εξετάσουμε τους παρακάτω παράγοντες:

A. Σκοπός αποτίμησης τρωτότητας

Η προσέγγιση της τρωτότητας των κτιρίων καθώς και η μέθοδος αποτίμησης, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το σκοπό για τον οποίο αποφασίζουμε να ασχοληθούμε με το θέμα.

Β. Διαθέσιμοι πόροι και χρόνος

Γ. Διαθέσιμα δεδομένα

Δ. Είδος κατασκευής (RC versus masonry/traditional/historical buildings)

Η προσέγγιση της τρωτότητας σχετίζεται ακόμα, με τα ακόλουθα πεδία:

Α. Χωρικό επίπεδο αναφοράς

- ✓ Σε επίπεδο κτιρίου
- ✓ Σε επίπεδο Οικοδομικού Τετραγώνου
- ✓ Σε επίπεδο αστικής ενότητας
- ✓ Σε επίπεδο οικισμού

Β. Την Επιστημονική περιοχή - αντικείμενο

- ✓ Πολιτικού μηχανικού και αρχιτέκτονα τρωτότητα οικιστικού κελύφους
- ✓ Αρχιτέκτονα και πολεοδόμου τρωτότητα σε σχέση με συγκρότηση του οικιστικού κελύφους, χρήσεις, λειτουργίες και δραστηριότητες στο χώρο.
- ✓ Προστασία ιστορικών κτιρίων και συνόλων Επισήμανση τρωτών χαρακτηριστικών – Ιδιαίτερη προσέγγιση σε ότι αφορά την προστασία τους και τη μείωση της τρωτότητας.
- ✓ Οικονομική προσέγγιση – Ασφάλιση Εκτίμηση τρωτότητας (ευπάθειας) σε σχέση με την αναμενόμενη ζημιά, κόστος αποκατάστασης – αντικατάστασης.
- ✓ Κοινωνικού επιστήμονα Ευπάθεια ανθρώπων και κοινωνικών ομάδων (human vulnerability) που συσχετίζεται με ορισμένα χαρακτηριστικά τους (όπως φύλο, ηλικία, εισόδημα, μορφωτικό επίπεδο) – Ευπάθεια οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων και τομέων – Σχέση ανάπτυξης και σεισμικής ευπάθειας.

Γ. Τη χώρα ή το σύνολο χωρών στην οποία αναπτύσσεται η προσέγγιση ή υιοθετείται σειρά μέτρων. Τέτοιες χώρες είναι οι Η.Π.Α., Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία, Ευρωπαϊκή Ένωση (Ιταλία, Πορτογαλία, Γαλλία, Ελλάδα), Ρωσική Ομοσπονδία.

3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα εργαλεία των Γ.Σ.Π., παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, όσον αφορά στην εισαγωγή, στη διαχείριση και στην απεικόνιση των δεδομένων με σκοπό την υποβοήθηση της διαδικασίας εκτίμησης της τρωτότητας των κτιρίων μια και:

- Διαχειρίζονται δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές (π.χ. δεδομένα πεδίου, δορυφορικές εικόνες κ.τ.λ).
- Προμηθεύουν δομές δεδομένων για τη όσο το δυνατόν καλύτερη αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων.
- Έχουν τη δυνατότητα συγκέντρωσης και διαχωρισμού πληροφοριών ανάμεσα σε πολλαπλές κλίμακες.
- Εφαρμόζουν κατάλληλες μετατροπές και μοντέλα για την απεικόνιση των δεδομένων.

Όσον αφορά στην ανάλυση των δεδομένων όμως, αξιοποιούν μέχρι στιγμής μόνο τη δυαδική λογική, αποδίδοντας κάθε χωρική μονάδα (π.χ. Ο.Τ.Α.) σε μια μοναδική κατηγορία τρωτότητας. Αυτό όμως δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα, μια και σε

κάθε Ο.Τ.Α., υπάρχουν περισσότερες από μία κατηγορίες τρωτότητας, όπως και κτίρια με διαφορετικούς συνδυασμούς παραγόντων. (π.χ. ύψη κτιρίων). Για το λόγο αυτό, προτείνεται στη συγκεκριμένη εργασία, η λογική της ασάφειας, η χρήση της οποίας επιτρέπει την απόδοση κάθε χωρικής μονάδας σε περισσότερες από μία τάξεις τρωτότητας.

3.1 Λογική της Ασάφειας

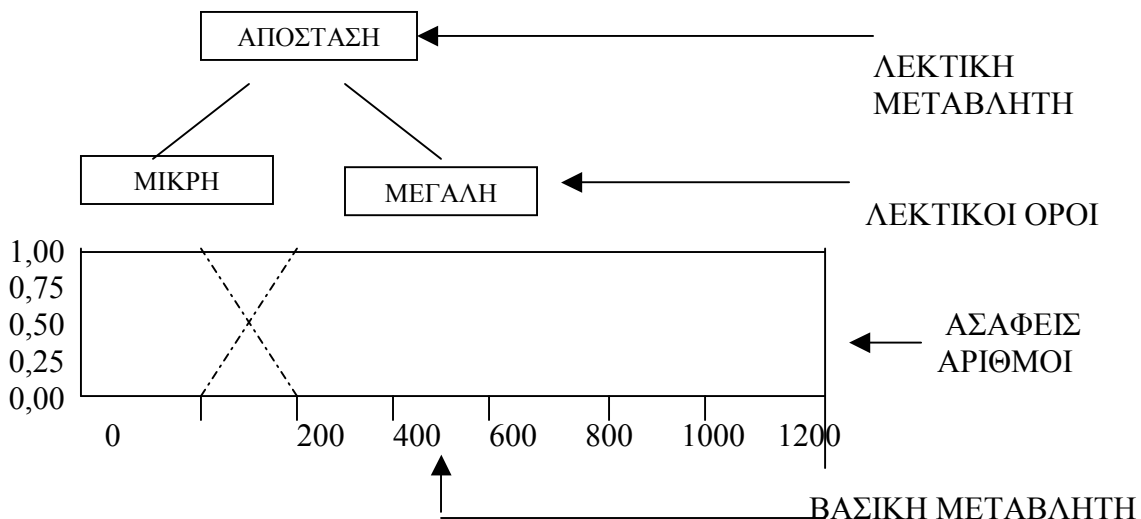
Στη δυαδική λογική (Boolean Logic) ένα δεδομένο στοιχείο είναι είτε αληθές είτε ψευδές ή ένα αντικείμενο ανήκει σε ένα σύνολο ή δεν ανήκει. Αντίθετα η αρχή της ασαφούς λογικής επιτρέπει τη συλλογιστική της «απόχρωσης». Μπορεί κάτι εκτός από αληθινό και ψευδές, να είναι σχεδόν αληθινό (Kosko, 1993). Σε αντίθεση με τα δυαδικά σύνολα, ένα ασαφές σύνολο δεν έχει αυστηρά καθορισμένα όρια. Η δομή ενός ασαφούς συνόλου επιτρέπει ένα φυσικό τρόπο επεξεργασίας δεδομένων σε προβλήματα των οποίων η πηγή της ανακρίβειας προέρχεται από την έλλειψη ευκρινώς καθορισμένων κανόνων για τη σχέση των μελών ενός συνόλου, προκειμένου να περιγραφούν οι αντίστοιχες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται (Zimmermann, 1988).

Ένα σημαντικό γεγονός στη δυαδική λογική είναι ότι κάθε σημείο ενός συνόλου U είναι ξεκάθαρα ομαδοποιημένο με άλλα μέλη της ομάδα του και έτσι δεν φέρει καμία ομοιότητα με τα μέλη άλλων ομάδων. Ένας τρόπος για να χαρακτηριστεί η ομοιότητα ενός μοναδικού σημείου (individual point's similarity) σε όλες τις ομάδες παρουσιάστηκε από τον Zadeh το 1965. Το κλειδί στη ιδέα του Zadeh ήταν να απεικονίζει την ομοιότητα ενός σημείου που συμμετέχει σε κάθε ομάδα με μια συνάρτηση που ορίζεται ως συνάρτηση συμμετοχής και της οποίας οι τιμές (ονομάζονται μέλη), είναι μεταξύ 0 και ένα ($0 < \mu < 1$). Κάθε σημείο θα έχει ένα μέλος σε κάθε ομάδα. Μέλη κοντά στη μονάδα υποδηλώνουν έναν υψηλό βαθμό ομοιότητας μεταξύ ενός σημείου και μιας ομάδας, ενώ μέλη κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν μικρή ομοιότητα ανάμεσα στο σημείο και στο σύνολο. Το άθροισμα δε των μελών για κάθε σημείο πρέπει να είναι η μονάδα.

Τα βασικά στοιχεία ενός ασαφούς συστήματος, τα οποία περιγράφονται περιληπτικά στις παρακάτω παραγράφους, είναι

- Η ασαφοποίηση
- Η ανάπτυξη των κανόνων
- Η επεξεργασία των κανόνων
- Η απασαφοποίηση

Κάθε συνεχής μαθηματική εξίσωση μπορεί να προσεγγιστεί από ένα ασαφές σύνολο. Ο τυπικός τρόπος με τον οποίον παριστάνουμε στα ασαφή συστήματα τα διάφορα μεγέθη είναι οι λεκτικές μεταβλητές, οι εκφράσεις των οποίων είναι ασαφείς αριθμοί. Οι ασαφείς αριθμοί είναι ασαφή σύνολα ορισμένα σε ένα διάστημα, τα οποία αναπαριστούν γλωσσικούς όρους, όπως μικρό, μέσο, μεγάλο κ.τ.λ., το περιεχόμενο των οποίων εξαρτάται από συγκεκριμένη περίπτωση. Οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών αριθμών παίρνουν σίγουρα την τιμή 1 σε ένα σημείο ή το πολύ σε ένα διάστημα. Αριστερά του διαστήματος αυτού είναι αύξουσες και δεξιά φθίνουσες. Με τη βοήθεια των λεκτικών μεταβλητών διαμερίζουμε τα διαστήματα των τομών με ασαφή τρόπο και προσεγγίζουμε τη συνάρτηση του συστήματος (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Παράδειγμα λεκτικής μεταβλητής (από Θ. Χατζηχρήστο, 2002)

Ο προσδιορισμός της ή η εκτίμηση της γίνεται με πολλές μεθόδους και κατά τρόπο υποκειμενικό. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη συνάρτηση συμμετοχής είναι τριγωνικής μορφής και παρουσιάζει το μέγιστο στην πιο αντιπροσωπευτική τιμή τη συνάρτησης. Εκτός της τριγωνικής υπάρχουν και άλλες τυπικές συναρτήσεις όπως η τραπεζοειδής, η σιγμοειδής κ.τ.λ. Για τον προσδιορισμό και την κατασκευή των συναρτήσεων συμμετοχής έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι. Οι πιο αντιπροσωπευτικές είναι: η μέθοδος του μέσου όρου (average guess method), η μέθοδος της απόστασης (distance function method), η μέθοδος της διαισθητικής σχέσης (intuitive relation), η μέθοδος της δυαδικής ψήφου (binary polling) και η μέθοδος της σχετικής προτίμησης (relative preference) (Bezdek, 1981). Η διαδικασία προσδιορισμού της εξίσωσης συμμετοχής για κάθε μεταβλητή ενός προβλήματος ονομάζεται διαδικασία ασαφοποίησης.

Το δεύτερο βήμα στη μεθοδολογία προσέγγισης των Ασαφών Συστημάτων είναι ο ορισμός των κανόνων που συνδέουν την είσοδο και την έξοδο. Αυτοί οι κανόνες βασίζονται στη μορφή του «Εάν ...τότε». Η γνώση σε ένα πρόβλημα επίλυσης μπορεί να αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο κανόνων, Η εφαρμογή των κανόνων ορισμού συνήθως ολοκληρώνεται από ειδικούς μ γενικές γνώσεις στο συγκεκριμένο πεδίο. Δεν χρειάζεται να γίνει καθορισμός βάρους των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων. Τα βάρη λαμβάνονται έμμεσα μέσω των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων. Για παράδειγμα, αν το εξαγόμενο σύνολο «καταλληλότητα» αποτελείται από δύο υποσύνολα τα οποία ονομάζονται «μικρή» και «απαραίτητη» καταλληλότητα, οι κανόνες θα μπορούσαν να είναι της μορφής:

*Εάν η απόσταση είναι μικρή τότε η καταλληλότητα είναι μικρή
Εάν η απόσταση είναι μεγάλη τότε η καταλληλότητα είναι μεγάλη*

Το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των κανόνων. Αυτό το βήμα ονομάζεται επίσης και εξαγωγή συμπεράσματος (inference). Περιλαμβάνει τρία στάδια τα οποία είναι του αθροίσματος (aggregation), της επίπτωσης (implication) και της συσσώρευσης (accumulation). Το στάδιο του αθροίσματος (aggregation) παρέχει το βαθμό εκπλήρωσης για το σύνολο των κανόνων. Στο στάδιο της επίπτωσης (implication) υπολογίζεται ο βαθμός εκπλήρωσης για το συμπέρασμα. Ενώ το στάδιο της

συσσώρευσης (accumulation) συνδυάζει τα μεμονωμένα αποτελέσματα των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά.

Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των κανόνων μπορεί να μετατραπεί σε μια γλωσσική έκφραση ή σε μια στατιστική τιμή. Αυτή η δεύτερη επεξεργασία ονομάζεται απασαφοποίηση και υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για να επιτευχθεί (Bezdek, 1981). Η κυριότερη μέθοδος απασαφοποίησης είναι η μέθοδος της μέγιστης τιμής. Για παράδειγμα:

<i>Ασαφοποιημένο αποτέλεσμα:</i>	73% χαμηλή καταλληλότητα, 37% απαραίτητη καταλληλότητα
<i>Απασαφοποιημένο αποτέλεσμα:</i>	Χαμηλή καταλληλότητα

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η εφαρμογή βασίζεται σε στοιχεία του Ερευνητικού Έργου του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, «Αντισεισμική Ενίσχυση Υφιστάμενων Κτιρίων» η οποία αναφέρεται σε όλη την Ελλάδα και εκπονήθηκε το έτος 2000. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε ήταν αυτή του Νομού Αττικής, ο οποίος παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, σε ότι αφορά την πολυπλοκότητα και το πλήθος των περιπτώσεων τρωτότητας.

Το γεωγραφικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε ως το κύριο θεματικό επίπεδο αφορά στα όρια των Ο.Τ.Α., κλίμακας 1:50.000, ενώ τα αριθμητικά δεδομένα αφορούσαν στοιχεία κτιρίων από την απογραφή της Ε.Σ.Υ.Ε. του 1990. Το πεδίο συσχετισμού της γεωγραφικής με την περιγραφική βάση δεδομένων ήταν ο εξαψήφιος κωδικός της Ε.Σ.Υ.Ε. για κάθε Ο.Τ.Α. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της τρωτότητας και για τις οποίες υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία είναι:

1. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας (χρόνου κατασκευής και χρόνου ισχύοντος). Βάσει του Αντισεισμικού Κανονισμού (ΝΕΑΚ '95 και ΕΑΚ 2000), η χώρα χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές σεισμικής επικινδυνότητας και οι οικισμοί της κατατάσσονται στις ζώνες αυτές. Με τον όρο σεισμική επικινδυνότητα εννοούμε τη Σεισμική Επιτάχυνση του εδάφους.

Τα κτίρια της κάθε περιοχής έχουν κτιστεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους κατά τις οποίες ίσχυε διαφορετική κατάταξη των Ο.Τ.Α. σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Έτσι πριν το 1995 υπήρχαν τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας για όλη την Ελλάδα, ενώ η νέα κατηγοριοποίηση σε τέσσερις ζώνες, περιλαμβάνει και περιοχές (Ο.Τ.Α.) που έχουν αλλάξει ζώνη. Αλλά και για τις ζώνες της ίδιας κατηγορίας οι παράμετροι υπολογισμού προβλέπονται αυξημένες. Επομένως η σεισμική δράση μεταβάλλεται ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και την αντίστοιχη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία εντάσσεται η κάθε περιοχή (Ο.Τ.Α.).

1. Παλαιότητα Κτιρίου

Για την κατηγοριοποίηση αυτή χρησιμοποιήθηκε το έτος κατασκευής, ως εξής:

Κτίρια χωρίς εφαρμογή Αντισεισμικού Κανονισμού (Α.Κ.) θεωρούνται τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1960. Κτίρια με την εφαρμογή Α.Κ. 1959 θεωρούνται τα κτίρια της περιόδου 1961 - 1985. Κτίρια με την εφαρμογή πρόσθετων άρθρων θεωρούνται τα κτίρια της περιόδου 1986 - 1995.

3. Υψος Κτιρίου

Μονώροφα: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα κτίρια, μέχρι έναν όροφο.

Διώροφα: Εδώ ανήκουν τα κτίρια με δύο ορόφους.

Κτίρια με τρεις ως πέντε ορόφους.

Κτίρια που έχουν πάνω από πέντε ορόφους.

Οι παραπάνω παράγοντες τρωτότητας αποτέλεσαν και τα **Κριτήρια εκτίμησης** τρωτότητας.

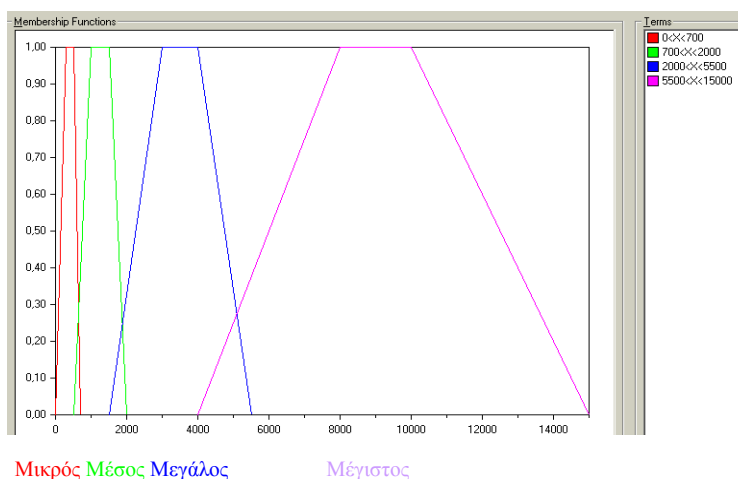
Το επόμενο βήμα για την επίλυση του θέματος και σύμφωνα με τις αρχές της Ασαφούς Λογικής, είναι ο καθορισμός των συναρτήσεων συμμετοχής για κάθε κριτήριο και ο ακριβής προσδιορισμός των υποκλάσεων τους. Η μορφή συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η τραπεζοειδής, με τέσσερις υποκλάσεις για κάθε συνάρτηση.

Πίνακας 4.1: Κριτήρια, Λεκτικές Μεταβλητές και Συναρτήσεις Συμμετοχής τους

Κριτήριο	Λεκτική Μεταβλητή	Συνάρτηση Συμμετοχής	
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	Μεταβολή Σεισμικής Δράσης	Σταθερή Ελάχιστα Αυξημένη Πολύ Μειωμένη Αυξημένη	αν $M\Sigma\Delta = 1,19$ αν $M\Sigma\Delta = 1,70$ αν $M\Sigma\Delta = 0,81$ αν $M\Sigma\Delta = 1,96$
Κτίρια Χαμηλού ύψους	Αριθμός Κτιρίων (AK): Μικρός Μέσος Μεγάλος Μέγιστος	0, Μικρός = $AK - 300/200$, 1, 0, Μέσος = $AK - 1000/500$ 1, 0, Μεγάλος = $AK - 3000/1000$ 1, 0, Μέγιστος = $AK - 8000/2000$ 1,	αν $AK < 300$ $300 < AK < 500$ $500 < AK < 700$ $700 < AK < 1000$ $1000 < AK < 1500$ $1500 < AK < 2000$ $2000 < AK < 3000$ $3000 < AK < 4000$ $4000 < AK < 5500$ $5500 < AK < 8000$ $8000 < AK < 10000$ $10000 < AK < 15000$
Κτίρια Μικρού, Μέσου και Μεγάλου ύψους	Αριθμός Κτιρίων (AK): Μικρός Μέσος Μεγάλος Μέγιστος	Μικρός = 0, 1, 0, Μέσος = $AK - 300/300$ 1, 0, Μεγάλος = $AK - 2000/2000$ 1, Μέγιστος = 0, 1,	$0 < AK < 10$ $10 < AK < 100$ $100 < AK < 300$ $300 < AK < 600$ $600 < AK < 1000$ $1000 < AK < 2000$ $2000 < AK < 4000$ $4000 < AK < 6000$ $6000 < AK < 8000$ $8000 < AK < 22000$
Κτίρια ανεγερθέντα προ του 1959	Αριθμός Κτιρίων (AK): Μικρός Μέσος Μεγάλος Μέγιστος	0, Μικρός = $AK - 300/300$, 1, 0, Μέσος = $AK - 1000/500$ 1, 0, Μεγάλος = $AK - 4000/2000$	$0 < AK < 300$ $300 < AK < 400$ $400 < AK < 800$ $800 < AK < 1000$ $1000 < AK < 2000$ $2000 < AK < 3000$ $3000 < AK < 4000$ $4000 < AK < 6000$

		1, Μέγιστος = 0, 1,	6000 < AK < 8000 8000 < AK < 12000 12000 < AK < 30000
Κτίρια ανεγερθέντα μεταξύ 1960- 1985	Αριθμός Κτιρίων (AK): Μικρός Μέσος Μεγάλος Μέγιστος	0, Μικρός = AK - 600/400, 1, 0, Μέσος = AK - 2500/1500 1, 0, Μεγάλος = AK - 8000/4000 1, 0, Μέγιστος = AK - 16000/4000 1,	0 < AK < 600 600 < AK < 1000 1000 < AK < 2000 2000 < AK < 2500 2500 < AK < 4000 4000 < AK < 5000 5000 < AK < 8000 8000 < AK < 12000 12000 < AK < 15000 15000 < AK < 16000 16000 < AK < 20000 20000 < AK < 35000
Κτίρια ανεγερθέντα μεταξύ 1986- 1990	Αριθμός Κτιρίων (AK): Μικρός Μέσος Μεγάλος	0, Μικρός = AK - 100/100, 1, 0, Μέσος = 500 - AK/200 1, 0, Μεγάλος = 0, 1,	0 < AK < 100 100 < AK < 200 200 < AK < 300 300 < AK < 500 500 < AK < 700 700 < AK < 1000 1000 < AK < 2000 2000 < AK < 3000

Η γραφική απεικόνιση της συνάρτησης συμμετοχής για το κριτήριο Χαμηλά Κτίρια φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 4.1: Γραφική απεικόνιση συνάρτησης συμμετοχής για το κριτήριο Χαμηλά Κτίρια και Κλάσεις της

Απαραίτητο για να οριστεί πλήρως το ασαφές σύστημα είναι ο προσδιορισμός των κατάλληλων όρων για τον χαρακτηρισμό της επεξεργασίας των δεδομένων. Οι όροι αυτοί είναι οι λεγόμενοι λεκτικοί συμβολισμοί (linguistic symbols) και αφορούν άμεσα το ασαφές αποτέλεσμα της ανάλυσης. Στην εφαρμογή ο όρος που χρησιμοποιείται είναι ο χαρακτηρισμός με τον οποίο εκτιμάται η τρωτότητα. Έτσι η τρωτότητα των κτιρίων μπορεί να είναι: *Μηδενική, Ελάχιστη, Μικρή, Μεσαία και Αυξημένη.*

Η μέθοδος συνεχίστηκε με τον προσδιορισμό των κανόνων εκτίμησης τρωτότητας. Γενικά ισχύει (και για το βαθμό προσέγγισης που διέπει τη μεθοδολογία μας,) ότι η τρωτότητα ενός κτιρίου αυξάνεται με την αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας. Από την άλλη, η μεταβολή της σεισμικής επικινδυνότητας, δεν έχει την ίδια βαρύτητα για κτίρια διαφορετικού τύπου. Η απαιτούμενη σεισμική αντίσταση ενός κτιρίου βασίζεται όχι μόνο στην αναμενόμενη εδαφική κίνηση (εξαρτάται δηλαδή από τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας) αλλά και στον τύπο κτιρίου. Για την εφαρμογή θα εξεταστούν οι τύποι κτιρίων όπως προαναφέρθηκε, ανάλογα με το ύψος και την παλαιότητα τους. Επιπλέον δύο ίδια κτίρια που βρίσκονται σε διαφορετικές ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας προκειμένου να έχουν την ίδια σεισμική τρωτότητα, θα πρέπει να έχουν διαφορετική αντισεισμικότητα, ανάλογα με τη σεισμική ζώνη στην οποία βρίσκονται. Αν θωρήσουμε ότι ένα κτίριο είναι πλήρως αντισεισμικό τότε ορίζουμε ότι έχει Μηδενική Σεισμική Τρωτότητα.

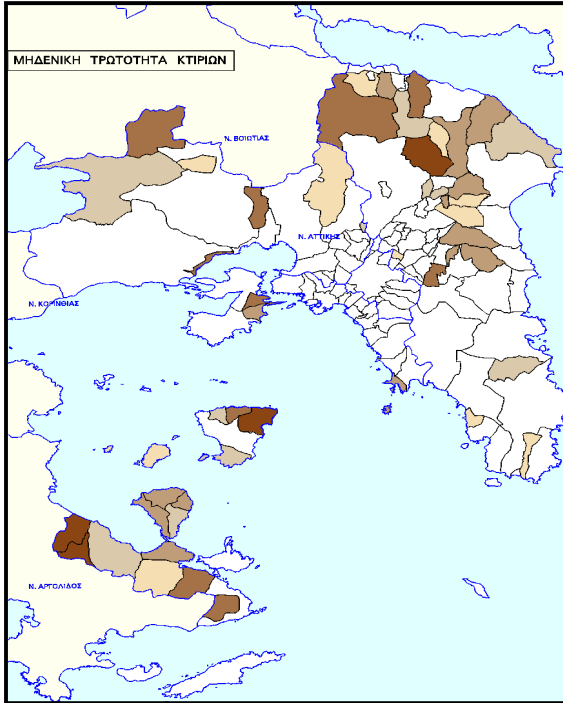
Τελικά συντάχθηκαν τριάντα οκτώ (38) κανόνες, μέσω των οποίων έγινε προσπάθεια να συνδυαστούν όσο το δυνατό καλύτερα όλα τα κριτήρια με στόχο τη λήψη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί σχετικά με τους κανόνες που δημιουργήθηκαν είναι ότι ο καθένας χαρακτηρίζεται από ένα βαθμό βεβαιότητας ή από ένα ποσοστό βεβαιότητας καθορισμού. Το ποσοστό βεβαιότητας αναφέρεται στο πόσο σημαντικός είναι ο κανόνας για την εκπλήρωση του, καθώς επίσης και στη σχετική σημαντικότητα των επιμέρους λογικών προτάσεων από τις οποίες αποτελείται. Ένα μικρό δείγμα των κανόνων αυτών παρατίθεται ακολούθως:

1. Αν η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, στην οποία ανήκει ο Ο.Τ.Α. είναι σταθερή και ο αριθμός των χαμηλών κτιρίων μικρός,
ο αριθμός των μικρών, μέσων και μεγάλων κτιρίων είναι μικρός,
ο αριθμός των ανεγερθέντων προ του 1959 κτιρίων είναι μικρός,
ο αριθμός των ανεγερθέντων μεταξύ '60-'85 κτιρίων είναι μικρός,
και ο αριθμός των νέων κτιρίων είναι μικρός,
τότε η τρωτότητα είναι μηδενική με υψηλή βεβαιότητα.
2. Αν η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, στην οποία ανήκει ο Ο.Τ.Α. είναι ελάχιστα αυξημένη και ο αριθμός των χαμηλών κτιρίων μέγιστος,
ο αριθμός των μικρών, μέσων και μεγάλων κτιρίων είναι μέγιστος,
ο αριθμός των ανεγερθέντων προ του 1959 κτιρίων είναι μέγιστος,
ο αριθμός των ανεγερθέντων μεταξύ '60-'85 κτιρίων είναι μέγιστος,
και ο αριθμός των νέων κτιρίων είναι μεγάλος,
τότε η τρωτότητα είναι αυξημένη με υψηλή βεβαιότητα.

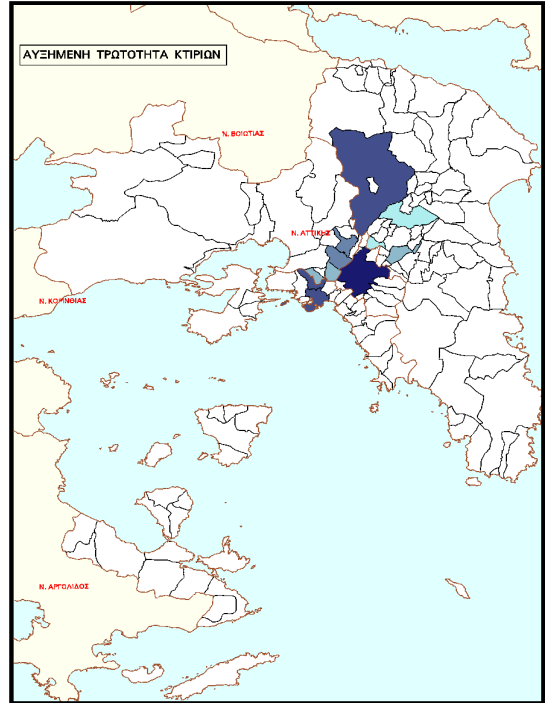
Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας, αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία εξάγονται τα αποτελέσματα από τα υπάρχοντα γεγονότα και τη διαθέσιμη γνώση. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει την επεξεργασία των κανόνων ή με άλλα λόγια αναφέρεται στις λογικές πράξεις που γίνονται προκειμένου να εξαχθεί το αποτέλεσμα. Για την εξαγωγή του συμπεράσματος χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τελεστές: "Aggregation operator = Gamma", "Implication operator – Algebraic Product" και "Accumulation operator = Maximum".

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της μεθόδου της ασαφούς λογικής παρουσιάζονται στους χάρτες 1, 2, 3, και 4 που ακολουθούν. Τα εικονοστοιχεία με βαθμό συμμετοχής

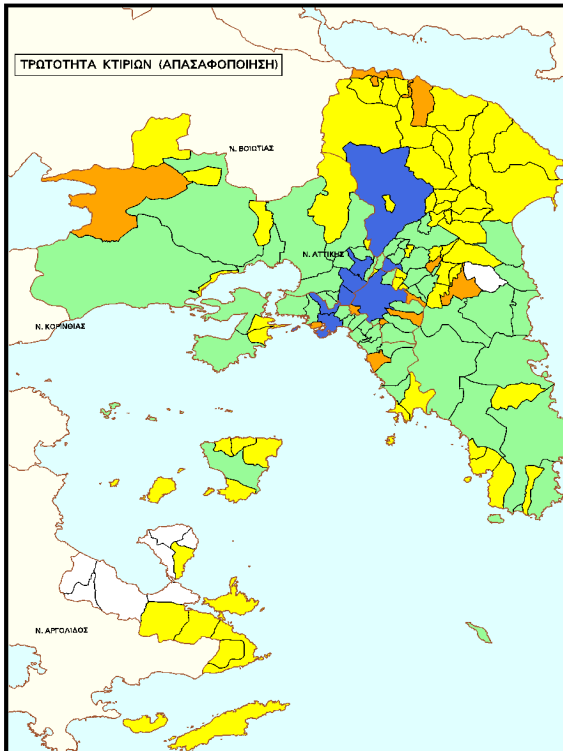
κοντά στη μονάδα υποδηλώνουν περιοχές με μεγάλη συμμετοχή στη συγκεκριμένη τρωτότητα ενώ αντίθετα τα εικονοστοιχεία στα οποία ο βαθμός συμμετοχής τείνει στο μηδέν υποδηλώνουν περιοχές για τις οποίες η συμμετοχή στην τρωτότητα είναι χαμηλή.



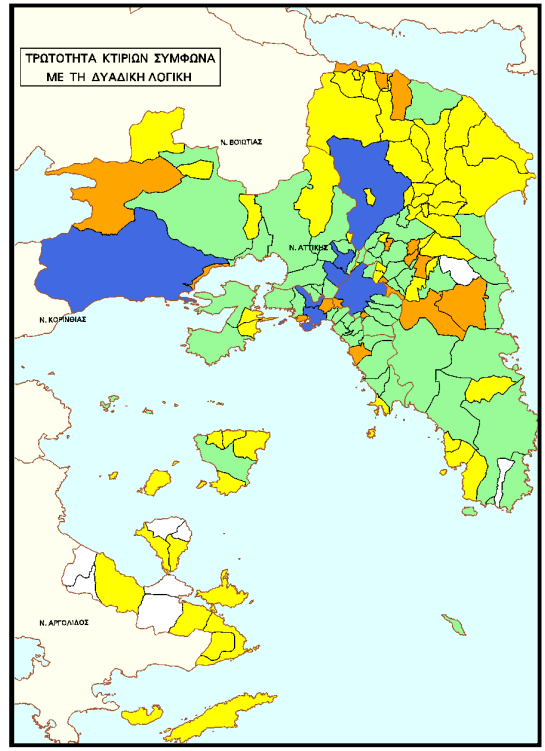
Χάρτης 1: Μηδενική Τρωτότητα Κτιρίων



Χάρτης 2: Αυξημένη Τρωτότητα Κτιρίων



Χάρτης 3: Απασαφοποιημένη Τρωτότητα Κτιρίων



Χάρτης 4: Τρωτότητα Κτιρίων Σύμφωνα με τη Δυαδική Λογική

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι η λογική της ασάφειας αποδίδει περισσότερες από μία τρωτότητες για κάθε Ο.Τ.Α., μεγιστοποιώντας την πληροφορία, σε αντίθεση με τη δυαδική λογική. Με τη βοήθεια της λογικής της ασάφειας αναγνωρίζονται όχι μόνο οι περιοχές των οποίων τα κτίρια χρήζουν άμεσης επέμβασης, αλλά και το πλήθος των κτιρίων αυτών, ανάλογα με τα ποσοστά των τρωτοτήτων. Η «ευλυγισία» των τιμών τρωτότητας είναι ένα ακόμα χαρακτηριστικό της μεθόδου της λογικής της ασάφειας. Τα κτίρια μιας περιοχής μπορεί να χαρακτηρίζονται από μικρή για παράδειγμα τρωτότητα με «μικρή» συμμετοχή, ενώ ταυτόχρονα μια μεγαλύτερη ομάδα κτιρίων να προσδίδει στον Ο.Τ.Α. τον χαρακτηρισμό της μεσαίας τρωτότητας με «μέση» ή «υψηλή» συμμετοχή. Έτσι ο μελετητής χρησιμοποιώντας χάρτες με τα αποτελέσματα από την ασαφή ανάλυση, μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο της εκτίμησης των άμεσων και δευτερογενών βλαβών, ώστε να οδηγηθούμε στην εκτίμηση της Διακινδύνευσης.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου απέδειξαν βεβαίως, πως με χρήση πολύ λιγότερων κριτηρίων από όσα χρειάζονται για επίλυση του προβλήματος με στατιστική ανάλυση, οδηγηθήκαμε σε πιο αναλυτικά συμπεράσματα και τιμές. Επομένως, αν χρησιμοποιήσουμε περισσότερα κριτήρια και συναρτήσεις αυξάνοντας την πολυπλοκότητα του προβλήματος θα έχουμε αναλυτικότερους συνδυασμούς αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, σημαντικά δεδομένα, όπως η μορφή και υλικό του Φέροντος Οργανισμού, δεν λήφθηκαν υπόψη στη συγκεκριμένη εφαρμογή, διότι δεν υπήρχαν διαθέσιμα στα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. Παρά το ότι μια βάση δεδομένων δεν είναι εύκολο να περιλαμβάνει τέτοιου είδους δεδομένα, η Ε.Σ.Υ.Ε. έχει συμπεριλάβει κάποια από αυτά στην πρόσφατη απογραφή του 2000 (όπως το είδος του Φέροντος Οργανισμού, η ύπαρξη ή μη μαλακού ορόφου, τον κανονισμό που ίσχυε κατά τον χρόνο κατασκευής, την επαφή ή μη του κτιρίου με τα γειτονικά του), τα οποία θα είναι διαθέσιμα στο μέλλον και θα μπορούν να ληφθούν υπόψη ώστε να οδηγήσουν σε πληρέστερες εκτιμήσεις τρωτότητας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως έχουμε αναφέρει, οι σεισμικές επιπτώσεις αποτιμώνται συνήθως με όρους σεισμικής διακινδύνευσης για ορισμένο χρόνο. Προκειμένου να αναπτυχθούν μεθοδολογίες εκτίμησης απωλειών από σεισμό, εκτιμώνται αρχικά οι αναμενόμενες βλάβες στις κατασκευές και κατ' επέκταση η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης. Η σεισμική διακινδύνευση εκφράζεται σε όρους συνολικού κόστους βλαβών που προκαλούνται από τον «αναμενόμενο» σεισμό. Με τον όρο «συνολικό κόστος» εννοείται το κόστος που σχετίζεται με τις βλάβες στο φέροντα οργανισμό, στα μη φέροντα στοιχεία, το κόστος που σχετίζεται με τη λειτουργία και παραγωγή καθώς και το εκφρασμένο σε οικονομικούς όρους κόστος των ανθρώπινων απωλειών, εκφρασμένα καθολικά. Προκειμένου να γίνει αυτό, απαιτείται η απογραφή των στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος και η αποτίμηση της τρωτότητας των κτιρίων με την οποία ασχολήθηκε η συγκεκριμένη εργασία.

Για να αποτιμήσουμε όμως την τρωτότητα, πρέπει να αξιοποιήσουμε την κατάλληλη μέθοδο μέσα από μια μεθοδολογία η οποία θα επιτρέπει την πρόγνωση των βλαβών σε ένα είδος κατασκευών. Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί όπως: η Εμπειρική Μέθοδος, σε συσχέτιση με Αντισεισμικό Κανονισμό, Εμπειρική – Στατιστική Μέθοδος,

Απλοποιημένη Αναλυτική Μέθοδος και Εξελιγμένη Αναλυτική. Όλες όμως αξιοποιούν μέχρι στιγμής μόνο τη δυαδική λογική, αποδίδοντας κάθε χωρική μονάδα (π.χ. Ο.Τ.Α.) σε μια μοναδική κατηγορία τρωτότητας. Για το λόγο αυτό, προτάθηκε στη συγκεκριμένη εργασία, η λογική της ασάφειας, η χρήση της οποίας επιτρέπει την απόδοση κάθε χωρικής μονάδας σε περισσότερες από μία τάξεις τρωτότητας.

Έτσι η εισαγωγή της ασαφούς λογικής σε τέτοιου είδους διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας της πληροφορίας, αποτελεί μια εξαιρετικά εύστοχη τεχνική συνδυασμού δεδομένων ώστε να εκτιμηθεί η τρωτότητα και προσφέρει:

- ❑ Έναν τρόπο διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων ανάλογο με αυτόν της ανθρώπινης λογικής.
- ❑ Τη συμμετοχή της εμπειρίας του μελετητή στη διαδικασία της επεξεργασίας, μέσα από την επιλογή των κατάλληλων συναρτήσεων συμμετοχής και του διαστήματος εφαρμογής των λεκτικών μεταβλητών, εγγιζοντας ως ένα βαθμό το ρεαλισμό της σημερινής κατάστασης.
- ❑ Τα αποτελέσματα πλησιάζουν πιο πολύ στην πραγματικότητα μια και σε κάθε Ο.Τ.Α., υπάρχουν περισσότερες από μία κατηγορίες τρωτότητας, όπως και κτίρια με διαφορετικούς συνδυασμούς παραγόντων. (π.χ. ύψη κτιρίων).
- ❑ Περισσότερες εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες χάνονται με την στατιστική λογική.
- ❑ Διαβάθμιση της βεβαιότητας των αποτελεσμάτων και γενικότερα μια ιεραρχική κατάταξη του συνόλου του γεωγραφικού χώρου.

Η χρήση της λογικής της ασάφειας, στην εκτίμηση της τρωτότητας παρουσιάζει επίσης μειονεκτήματα. Το πιο σημαντικό, αποτελεί ο καθορισμός της συνάρτησης συμμετοχής, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν έτοιμες συναρτήσεις προς χρήση για τα υπο εξέταση φαινόμενα.

Παρόλα αυτά η ανάπτυξη μεθόδων που προσεγγίζουν την ανθρώπινη σκέψη, όπως η ασαφής λογική, σε συνδυασμό με τα ΓΣΠ, μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο στην επίλυση προβλημάτων του χώρου, τα οποία μέχρι πρότινος δεν αντιμετωπίζονταν όσο ρεαλιστικά θα μπορούσαν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αραβαντινός Α., “*Πολιτική προτεραιοτήτων για Αντισεισμικές ενισχύσεις*”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος “*Αντισεισμική Ενίσχυση Υφιστάμενων Κτιρίων*” – Φάση 1 του Ερευνητικού Έργου.

Bezdek C. J., (1981) , “*Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*” New York: Plenum Press.

Burrough P., (1986), “*Principles of GIS for Land Resources Assesment*”, Clarendon Press, Oxford, London.

Burrough P., (1990), “*Methods of Spatial Analysis in GIS*”, International Journal of GIS Vol. 4, pp.221-223.

Burrough P., (1996), *“Natural Objects with Indeterminate Boundaries”*, in Geographic Objects with Indeterminate Boundaries ed. by Burrough and Frank, Taylor and Francis, pp. 3-29.

Dawkins R., (1993), *“Meet my cousin, the Chimpanzee”*, New Scientist, 138, 36-38.

Dolce M., Kappos A., Zuccaro G. and Coburn A. W., (1995) *“State of the Art Report of W.G. 3 – Seismic Risk and Vulnerability”*, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna (Aug. – Sep 1994) Vol 4. pp 3049 – 3077.

Fardis M., (1998) *“Seismic assessment and retrofit of RC structures”* Proceedings of 11th EECCE, Paris pp.131-150.

FEMA, (1997a) NEHRP *“Guidelines for Seismic Rehabilitation of buildings”*, FEMA 273, Washington DC, Oct. 1997.

Fischer P., (1996), *“Boolean and Fuzzy Regions”* in Geographic Objects with Indetermined Boundaries ed. By Burrough and Frank A., Taylor and Francis.

Huxhold W., (1992), *“An Introduction to Urban G.I.S.”*, Oxford University Press.

Kandel A., (1986), *“Fuzzy Mathematical Techniques with Applications”*, New York: Addison – Wesley.

Kappos A., (1997) *“Assessment of seismic vulnerability – Course notes”* Dept. Civ. Engineering, Imperial College, London.

Καρύδης Π., (1998) *“Μέθοδος ταχείας αποτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας Κτιρίων”* Παρουσίαση στον Ο.Α.Σ.Π. και στην Ένωση Ασφαλιστικών Εταιρειών.

Kosko B., Isaka Satoru, (1993), *“Fuzzy Logic”*, Scientific American.

Kosko B., (1996), *“Fuzzy Thinking”*, Flamingo Press, New York.

Openshaw S., (1997), *“Artificial Intelligence in Geografy”* Wiley, London.

Scawthorn C., (1986) *“Rapid assessment of seismic vulnerability”* In: Scawthorn C. (ed.) 1986.

Sheppard P. & Lutman M., (1988) *“Estimation of expected seismic vulnerability: a simple methodology for medium sized groups of older buildings“* In: Koridze a. (ed.) 1988. Seismic risk assessment and design of building structures –Omega Scientific.

Sui D. Z., (1992), *“A fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation”*, Computers Environment and Urban Systems.

Scholten G., Stillwel J., (1990), *“Geographic Information Systems for Urban and Regional Planning”*, London: Kluwer Academic.

Tassios T.P., (1989) *“Evaluation of relative seismic risk of existing buildings, by means of simplified vulnerability techniques”*

Tassios T.P., (1993) *“A re –examination of the meaning of vulnerability”*.

Tassios T.P., (2001) *“Αντισεισμική Ενίσχυση Υφιστάμενων Κτιρίων”* Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος – Φάση 1 του Ερευνητικού Έργου.

Χατζηχρήστος Θ., 2001, *Η Λογική της Ασάφειας στην Ανάλυση του Χώρου*, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Γεωπληροφορική», ΕΜΠ

Χολέβας Κ., Βλάχος Ι., (2001) *Ομάδα Εργασίας Τ.Ε.Ε. για την “Εκτίμηση Σεισμικής Τρωτότητας των κτιρίων” – Τελική έκθεση.*

Zadeh L. A., (1965), *“Fuzzy Sets“*, Information and Control 8, pp. 38-353.

Zimmerman H. J., (1996), *“Fuzzy set Theory – An Inferential mechanism in Mathematical Models for Decision Support“*, NATO ASI Series 727-741.