

ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
« Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και
Αειφόρος Ανάπτυξη»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΤΟ Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΜΕ
ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ELER»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Δημήτριος Λεούσης

Επιβλέπων

ΝΙΚΟΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ *Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Αθήνας*

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

Εισαγωγή.....σελ.1

Κεφάλαιο 1^ο ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ (Seismic Hazard)

1.1. Τρόπος γένεσης επιφανειακών σεισμών.....σελ.3
1.2. Είδη ρηγμάτων.....σελ.4
1.3. Κλίμακες μέτρησης μεγέθους των σεισμών.....σελ.6
1.4. Μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.....σελ.9
1.5. Υπολογισμός της Υπολογισμός της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γ_m , της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας v_m και της μικροσεισμικής έντασης I (Σχέσεις απόσβεσης).....σελ.12
1.6. Ισόσειστες καμπύλες.....σελ.13
1.7. Σχέση εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας.....σελ.15
1.8. Φάσματα απόκρισης.....σελ.18
1.8.1. Ελαστικά φάσματα απόκρισης.....σελ.19
1.8.2. Ανελαστικά φάσματα απόκρισης.....σελ.23
1.9. Επιπτώσεις από σεισμούς στο Ελλαδικό Χώρο.....σελ.26

Κεφάλαιο 2^ο Τρωτότητα Κατασκευών (Vulnerability Building)

2.1. Ορισμός.....σελ.32
2.2. Ημιεμπειρική μέθοδος.....σελ.32
2.2.1. Μέθοδος της Αμερικανικής FEMA.....σελ.33
2.2.2. Νεοζηλανδική Μέθοδος της (NZSEE) (New Zealand Society for Earthquake Engineering).....σελ.34
2.2.3. Ιαπωνική μέθοδος JBDPA 1990a, 2001a.....σελ.37
2.2.4. Ιταλική μέθοδος του GNDT.....σελ.40
2.2.5. Ελληνική μέθοδο – προσεισμικός έλεγχος κατά ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2001.....σελ.42
2.3. Αναλυτική μέθοδος.....σελ.45
2.3.1. Η μέση τιμή (median) των επιπέδων βλάβης.....σελ.48
2.3.2. Η αβεβαιότητα (β_{Sds}) των επιπέδων σελ.49

Κεφάλαιο 3^ο ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ELER

3.1. Γενικά στοιχεία για το ELER.....σελ.50
3.2. Ενότητα HAZARD.....σελ.51
3.2.1. Event Data.....σελ.52
3.2.2. Source Type.....σελ.53
3.2.3. Site Correction.....σελ.53
3.2.4. Site Condition- (Vs-30 Grid).....σελ.54
3.2.5. Ground Motion Prediction Equations (GMPEs).....σελ.55
3.2.6. Εξισώσεις Boore and Atkinson 2008.....σελ.55
3.2.7. Instrumental Intensity σελ.57

3.3.	Ενότητα LEVEL 0.....σελ.58
3.4.	Ενότητα LEVEL 1.....σελ.58
3.4.1.	Building DB(Damage Building).....σελ.59
3.4.2.	Μέθοδοι αποτίμησης των ανθρώπινων απωλειών.....σελ.63
3.4.3.	Economic Loss.....σελ.66
3.5.	Ταξινόμηση κτιρίων.....σελ.67
3.6.	Ενότητα LEVEL 2.....σελ.68
3.7.	Building Damage.....σελ.72
3.8.	Casualty (ατυχήματα).....σελ.73
3.9.	Economic Loss.....σελ.75
3.10.	Ενότητα PIPELINE.....σελ.76

Κεφάλαιο 4^ο ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΚΗΦΙΣΙΑΣ

4.1.	Καθορισμός περιοχής μελέτης.....σελ.78
4.2.	Κατανομή του πληθυσμού.....σελ.79
4.3.	Κατανομή κτιρίων.....σελ.82
4.3.1.	Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τον χρόνο κατασκευής.....σελ.82
4.3.2.	Κατανομή των κτιρίων ανάλογα με το εμβαδόν της επιφανείας.....σελ.83
4.3.3.	Καθορισμός τύπων κτιρίων.....σελ.84
4.3.4.	Τελική κατανομή των κτιρίων.....σελ.87
4.4.	Σεισμικός κίνδυνος(seismic hazard).....σελ.89
4.5.	Παράμετροι υπολογισμού εκτίμησης σεισμικών απωλειών LEVEL 2.....σελ.92
4.6.	Έλεγχος της κατανομής της κτιριακού αποθέματος στο Δ. Κηφισιάς.....σελ.94
4.6.1.	Σύγκριση αποτελεσμάτων ELER με τα πραγματικά.....σελ.97
4.7.	Αποτελέσματα εφαρμογής στο λογισμικό ELER.....σελ.99
4.7.1.	Σεισμικός κίνδυνος (Seismic Hazard).....σελ.99
4.7.2.	Εκτίμηση σεισμικών απωλειών.....σελ.100
4.7.3.	Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων – Ψηφιακοί χάρτες.....σελ.105
4.7.3.1.	Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=5.5.....σελ.106
4.7.3.2.	Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=5.7.....σελ.108
4.7.3.3.	Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=5.9.....σελ.111
4.7.3.4.	Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=6.1.....σελ.113
4.7.3.5.	Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=6.3.....σελ.116

Κεφάλαιο 5^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1.	Συμπεράσματα.....σελ.119
5.2.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....σελ.121

Παράρτημα

Πίνακας(Excel. file) με τις τιμές των παραμέτρων για κάθε τύπο κτιρίου.....σελ.123
Πίνακας(shp. file) με το πλήθος για κάθε τύπο κτιρίου.....σελ.124

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σεισμογενείς χώρες είναι υποχρεωμένες να καταρτούν και να υλοποιούν σχέδια αντιμετώπισης των σεισμικών φαινομένων. Τα σχέδια αυτά θα πρέπει να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τόσο τις άμεσες συνέπειες από τους σεισμούς (ικανότητα ιατρικής περίθαλψης, στέγασης σεισμοπλήκτων, απαραίτητο προσωπικό και υλικά), όσο και την ανάγκη για την ανάπτυξη νέων οικοδομικών κανονισμών, για την βελτίωση της συμπεριφοράς των πιο ευάλωτων κατασκευών από τους σεισμούς. Η επιτυχία των σχεδίων αυτών, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αξιοπιστία των υπολογισμών των σεισμικών απωλειών και αυτό επιτυγχάνεται με την όσο πιο ρεαλιστική αποτύπωση των αποτελεσμάτων (ψηφιακοί χάρτες) και των παραγόντων που τις επηρεάζουν (Σεισμικός κίνδυνος, τρωτότητα κατασκευών). Η ανάπτυξη στις μέρες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (**GIS**) μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε τον σεισμικό κίνδυνο σε ρεαλιστική βάση (με βάση τα ρήγματα της περιοχής), μειώνοντας έτσι κατά σημαντικό βαθμό τις αβεβαιότητες που προέρχονται από αυτόν και από την άλλη να οπτικοποιήσουμε τις σεισμικές απώλειες (χωρική κατανομή) και να τις αποτυπώσουμε σε ψηφιακούς χάρτες, έτσι ώστε όχι μόνο να ξέρουμε το μέγεθος τους αλλά και το πώς κατανέμονται στην περιοχή.

Στην εργασία αυτή θα γίνει προσπάθεια να εκτιμηθούν οι σεισμικές απώλειες σε κτίρια και ανθρώπους, για την κτιριακή υποδομή του Δ. Κηφισιάς, για πέντε σεισμικά σενάρια (μεγεθούς $M=5.5$, $M=5.7$, $M=5.9$, $M=6.1$ και $M=6.3$), με την χρήση του λογισμικού **ELER** (Earthquake Loss Estimation Routine), που βασίζεται σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφορικής (**GIS**). Με βάση τα αποτελέσματα της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών (απώλειες σε θανάτους ή τραυματισμούς, βλάβες κτιρίων, κόστος ανακατασκευής σε ευρώ), για τα διάφορα σεισμικά σενάρια, θα δημιουργηθούν ψηφιακοί χάρτες της περιοχής, με την χρήση του λογισμικού γεωπληροφορικής **QGIS**, έτσι ώστε να γνωρίζουμε όχι μόνο πόσες είναι οι σεισμικές απώλειες αλλά και σε ποιες περιοχές εμφανίζονται. Οι απαραίτητες πληροφορίες, για τον υπολογισμό της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών, όπως πληθυσμός, αριθμός κτιρίων, περίοδος κατασκευής, δομικοί τύποι κτιρίων, συνολικό εμβαδόν κτιρίων/όροφος, βασίζονται στα στοιχεία της απογραφής του 2011. Οι καμπύλες τρωτότητας και οι καμπύλες απαίτησης, για τα τους τύπους των κτιρίων που έχουν επιλεχθεί, είναι αυτές που προτείνονται από European Building Taxonomy και τους Kappos, A. J., & Panagoroulos, G. (2010). Τα σεισμικά σενάρια που προτείνονται έχουν βάση το ρήγμα της Πάρνηθας και επίκεντρο τον σεισμό του 1999, ενώ το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής βασίζεται στο γεωλογικό υπόβαθρο Vs-30 που έχει συνταχθεί από U.S.G.S. Global Vs-30 Map.

Οι χάρτες αυτοί, παρά τις αβεβαιότητες και τις παραδοχές που τους χαρακτηρίζουν λόγω της περιορισμένης πρόσβασης στις πληροφορίες για την κτιριακή υποδομή της περιοχής, δύναται να επηρεάσουν αποτελεσματικά τις αποφάσεις για την λήψη μέτρων από τους υπευθύνους (πολιτική προστασία, περιφέρεια, δήμος, πολιτικούς μηχανικούς κ.α.).

ABSTRACT

The earthquake-prone countries are bound to make and implement plans to address seismic phenomena. These plans should effectively address both the direct effects of earthquakes (medical assistance ability, earthquake stricken housing, necessary personnel and materials), and the need to develop new building regulations, to improve the behavior of the most vulnerable structures from earthquakes. The success of these projects largely depends on the reliability of the estimate of seismic losses and this is achieved by the more realistic depiction of the results (digital maps) and the factors affecting them (Seismic hazard, vulnerability construction). Growth in the days of Geographic Information Systems (GIS) enables us to introduce the seismic risk on a realistic basis (based on the faults of the region), thus reducing significantly the uncertainties arising from this and on the other hand to visualize the seismic losses (spatial distribution) and to capture digital maps, so that you not only know their extent but how they are distributed in the region. In this paper we will try to assess the seismic losses in buildings and people, for the building infrastructure of the Kifissia municipality for five seismic scenarios (magnitude $M = 5.5$, $M = 5.7$, $M = 5.9$, $M = 6.1$ and $M = 6.3$), using the software ELER (Earthquake Loss Estimation Routine), based on Geographic Information System (GIS). Based on the results of the assessment of earthquake losses (losses in deaths or injuries, building damage, reconstruction costs in euro) for different earthquake scenarios will create digital maps of the area with the use of QGIS software, so you know not only how many the seismic losses are but in which regions are displayed. The information necessary to calculate the estimate of seismic losses, such as population, number of dwellings, construction period, structural types of buildings, a total building / floor area, based on the data of the 2011 census, the vulnerability curves and demand curves for the types of buildings that have been selected are those proposed by European building Taxonomy and Kappos, AJ, & Panagopoulos, G. (2010). The seismic scenarios proposed are based on the Parnitha fault and epicenter of the earthquake of 1999, and the geological substratum of the area based on geological background Vs-30 drafted by U.S.G.S. Global Vs-30 Map. These maps, despite the uncertainties and assumptions that characterize them due to limited access to information on the building infrastructure of the region, can effectively influence decisions for action by those responsible (civil protection, region, municipality, civil engineers e.t.c).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Ελλαδικός χώρος χαρακτηρίζεται από ένα έντονο γεωγραφικό ανάγλυφο που τα βασικά γνωρίσματα του είναι οι απέραντες δαντελωτές κολπώσεις στις ακτές και οι υψηλές οροσειρές που περιτριγυρίζουν υψίπεδα ή χαμηλές λεκάνες γης. Αυτό το ανήσυχο ανάγλυφο είναι αποτέλεσμα της έντονης και μερικές φορές «βίαιης» συμπεριφοράς του υπέδαφος της εδώ και εκατομμύρια χρόνια. Αυτή η γεωλογική αναστάτωση, της περιοχής της Ελλάδας, έχει βέβαια τους τελευταίους αιώνες ισορροπήσει, παρόλα αυτά πολύ συχνά έντονα σεισμικά φαινόμενα μας θυμίζουν την σεισμική ιστορία της περιοχής. Υπάρχουν πολλές ιστορικές αναφορές για σεισμικές καταστροφές σε αρχαία κείμενα αλλά και αρχαιολογικά ευρήματα που αποκαλύπτουν τις καταστροφικές συνέπειες αυτών των φυσικών φαινομένων. Οι άνθρωποι που κατοικούσαν στην Ελλάδα και στην ευρύτερη περιοχή έμαθαν να ζουν με τους σεισμούς και τις συνέπειες τους. Για αυτό προσπάθησαν να προφυλαχτούν από αυτούς φτιάχνοντας τις κατασκευές τους, ειδικά για τα σημαντικά για αυτούς κτήρια (ναούς, ανάκτορα, ακροπόλεις), με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν στις σεισμικές καταπονήσεις.

Στις μέρες μας η επιστήμη της σεισμολογίας έχει καταφέρει να ερευνήσει σε βάθος τα αίτια γέννησης ενός σεισμού και τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Επίσης κατανοεί τον τρόπο μετάδοσης των σεισμικών κυμάτων και έχει την δυνατότητα να υπολογίζει την εδαφική επιτάχυνση που τελικά προκαλούν. Όμως παρόλο αυτή την πρόοδο που έχουν σημειώσει οι σεισμολόγοι, δεν έχουν καταφέρει ακόμα να προβλέψουν τον χρόνο, τον τόπο και το μέγεθος ενός μελλοντικού σεισμού. Ενώ από την άλλη στην σημερινή εποχή, η αύξηση του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου έχει οδηγήσει σε μεγάλη οικιστική ανάπτυξη, με αποτέλεσμα όλο και μεγαλύτερη έκταση γης να καλύπτεται από δομικές κατασκευές (κτίρια, έργα υποδομής), προκειμένου να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες των ανθρώπων. Το γεγονός αυτό όμως έχει αύξηση και το μέγεθος έκθεσης στον σεισμικό κίνδυνο άρα και στις συνέπειες του.

Από τα παραπάνω είναι εύκολα κατανοητό ότι, αφού δεν μπορούμε να αποφύγουμε τους σεισμούς θα πρέπει να μπορούμε να προβλέψουμε αρχικά, τις συνέπειες τους και στην συνέχεια με κατάλληλο σχεδιασμό, να τις αντιμετωπίσουμε έτσι ώστε να μετριάσουμε όσο είναι δυνατόν την επιρροή τους. Στο πλαίσιο αυτό οι διάφοροι φορείς (δήμοι, περιφέρειες, κεντρική διοίκηση, επιστημονικοί φορείς) προσπαθούν να αναπτύξουν μεθόδους εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης, έτσι ώστε να διαπιστώσουν το μέγεθος και την έκταση που θα έχουν στην περιοχή ευθύνης τους διάφορα σεισμικά γεγονότα. Τα αποτελέσματα από αυτές τις μεθόδους (υπολογισμός απωλειών σε ανθρώπους και κτήρια) αποτελούν πολύτιμα εργαλεία, τόσο για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό στρατηγικής αντιμετώπισης τέτοιων κρίσεων (ικανότητα ιατρικής περίθαλψης, στέγασης σεισμοπλήκτων, απαραίτητο προσωπικό και υλικά), όσο και για την ανάπτυξη νέων οικοδομικών κανονισμών, για την βελτίωση της συμπεριφοράς των πιο ευάλωτων κατασκευών από τους σεισμούς.

Η εργασία αυτή θα ασχοληθεί με την εκτίμηση σεισμικού κινδύνου, για τον δήμο Κηφισιάς για διάφορα σεισμικά σενάρια, με βάση το επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας του 1999. Η εκτίμηση αυτή θα γίνει με την χρήση του λογισμικού ELER (ανάπτυξη λογισμικού από το Bogazici University) ενώ τις απαραίτητες πληροφορίες για τον πληθυσμό και τις κτηριακές υποδομές της περιοχής θα τις αντλήσουμε από τα στοιχεία της απογράφης του 2011. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, για την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών του Δ. Κηφισιάς, θα

εισαχθούν σε λογισμικό GIS (Geographic Information System) για την κατάλληλη οπτικοποίηση τους.

Ως σεισμικό κίνδυνο **R** (seismic risk) ορίζουμε τις βλάβες που θα υποστεί μια τεχνική κατασκευή, καθώς και τις ανθρώπινες και οικονομικές απώλειες από μια σεισμική φόρτιση και εξαρτάται από την εδαφική κίνηση που προκαλεί ο σεισμός **H** (seismic hazard) καθώς και από τον τρόπο απόκρισης της κατασκευής, σε αυτές τις εδαφικές κινήσεις **V** (vulnerability), σύμφωνα με την παρακάτω σχέση :

$$R=H \times V.$$

Στο πρώτο κεφάλαιο θα αναπτύξουμε τον σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard) και πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούμε για τα ρήγματα του Ελλαδικού χώρου, για τα είδη των ρηγμάτων και τα φυσικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν ένα σεισμό, ενώ τέλος θα αναπτύξουμε τις εξισώσεις υπολογισμού των εδαφικών επιταγχύσεων (PGA) και εδαφικής ταχύτητας (PGV) που προκαλούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναπτυχθεί η έννοια της τρωτότητας των κτιρίων (Vulnerability) και πως αυτή υπολογίζεται.. Θα αναφερθούμε στις κυριότερες ημιεμπειρικές μεθόδους υπολογισμού της τρωτότητα των κτιρίων, που υπάρχουν τόσο στην Ελλάδα όσο και στον διεθνή χώρο. Στην συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο, θα γίνει μια λεπτομερή καταγραφή του λογισμικού ELER που θα χρησιμοποιήσουμε. Θα γνωρίσουμε τις ενότητες του ELER και τις επιλογές για κάθε πεδίο του λογισμικού, ενώ θα παρουσιαστεί οι δυνατότητες υπολογισμού των σεισμικών απωλειών στις διάφορες ενότητες και ο τρόπος υπολογισμού τους. Στο τέταρτο κεφαλαίο θα γίνει η εφαρμογή για την εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης, για τον δήμο Κηφισιάς για πέντε σεισμικά σενάρια. Θα γίνει κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων από την απογραφή του 2011 (πληθυσμό, χαρακτηριστικά κτηριακής υποδομής) για την όσο είναι δυνατόν πιο σωστή κατανομή τους στο GIS υπόβαθρο του λογισμικού. Είναι φανερό ότι η πληρότητα των στοιχείων αυτών έχει καθοριστικό ρόλο στην αξιοπιστία της εφαρμογής Στην συνέχεια με βάση τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς, θα δημιουργήσουμε ψηφιακούς χάρτες, με την χρήση του λογισμικού QGIS, έτσι ώστε να αποτυπωθεί η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών σε χάρτες της περιοχής. Τέλος στο κεφάλαιο 5, θα αναφερθούμε στα συμπεράσματα της εργασίας μας καθώς και στις προτάσεις για μελλοντική έρευνα, πάνω στο αντικείμενο της εργασίας μας.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Νικόλαο Πνευματικό για την άψογη συνεργασία και καθοδήγηση που είχα, για την ολοκλήρωση της εργασίας, καθώς και την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ (Seismic Hazard)

1.1 Τρόπος γένεσης επιφανειακών σεισμών.

Είναι πλέον αποδεκτό από τους περισσότερους σεισμολόγους – γεωλόγους, ότι οι επιφανειακοί σεισμοί (βάθος γέννησης σεισμού 20 Km, και σε πλάγια ρήγματα μέχρι τα 60 Km) συνδέονται άμεσα με τα υπάρχοντα ενεργά ρήγματα [6]. Τα ρήγματα αυτά βρίσκονται στην λιθόσφαιρα της Γης και προήλθαν λόγω των τάσεων που δημιουργούσε η συνεχής κίνηση τους. Όταν οι τάσεις που αναπτύσσονταν στα πετρώματα των πλακών ξεπερνούσαν τα όρια αντοχής τους σε κάποιες θέσεις, αυτά έσπαζαν και τα δυο κομμάτια που δημιουργούνταν, μετατοπίζονταν προς μια κατεύθυνση με συνέπεια την δημιουργία ρήγματος.

Η Ανατολική Μεσόγειος είναι μια από της περισσότερο σεισμογενείς περιοχές στον κόσμο γιατί σε αυτήν συγκλίνουν οι λιθοσφαιρικές πλάκες της Αφρικής και της Ευρασίας (η πρώτη βυθίζεται κάτω από την δεύτερη), με αποτέλεσμα την δημιουργία πολλών ενεργών ρηγμάτων. Πολλά από αυτά τα ρήγματα επηρεάζουν το Ελλαδικό χώρο προκαλώντας πολλούς σεισμούς που συχνά πολλοί από αυτούς είναι καταστροφικοί. Τα κυριότερα σεισμικά ρήγματα στο Ελλαδικό χώρο (εικόνα 1.1) είναι αυτά που βρίσκονται στο ελληνικό τόξο, το οποίο εκτείνεται από το Ιόνιο πέλαγος έως το νότιο μέρος της Κρήτης και αυτά που βρίσκονται στην προέκταση του ρήγματος της Ανατολίας το οποίο εκτείνεται στο Βόρειο Αιγαίο.



Εικόνα 1.1. Κυριότερα ρήγματα στον Ελλαδικό χώρο

Κάθε φορά που διαταράσσεται η μηχανική ισορροπία των πετρωμάτων σε αυτά τα ρήγματα από φυσικό αίτιο (κίνηση πλακών, ηφαίστεια), που βρίσκεται στο εσωτερικό της Γης, απελευθερώνεται μηχανική ενέργεια που μεταδίδεται στην μάζα της Γης έως την επιφάνεια της με τη μορφή κυμάτων. Τα κύματα αυτά δημιουργούν την δόνηση του εδάφους κατά την εκδήλωση ενός σεισμικού φαινομένου.

Οι κυριότεροι σεισμοί που εκδηλώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο, τους δυο τελευταίους αιώνες [3], φαίνονται στο πίνακα 1.1, όπου N= κανονικό ρήγμα, D=ανάστροφο ρήγμα, L= μήκος ρήγματος και u= μετάθεση ρήγματος.

Πίνακας 1.1. Οι κυριότεροι επιφανειακοί σεισμοί τους τελευταίους δυο αιώνες

Ημερομηνία	$\phi^{\circ}\text{N}$	$\lambda^{\circ}\text{E}$	M	ζ°	TF	L(Km)	u(m)	Περιοχή
1861, Δεκ., 26	38.25	22.16	6.7	285	N	-	1	Αχαΐα
1894, Απρ., 20	38.60	23.04	6.7	295	N	35	-	Λοκρίδα
1894, Απρ., 27	38.66	23.04	7.0	295	N	55	1.5	Λοκρίδα
1899, Σεπτ., 20	37.82	28.25	7.0	90	N	40	1.0	Δ. Τουρκία
1912, Αυγ., 9	40.62	26.88	7.6	70	D	-	3.0	ΒΔ. Τουρκία
1928, Απρ., 14	42.15	25.28	6.8	90	N	42	0.5	N. Βουλγαρία
1928, Απρ., 28	42.10	25.00	7.0	270	N	60	-	N. Βουλγαρία
1932, Σεπτ., 26	40.45	23.76	7.0	90	N	-	2.0	Ιερισσός
1944, Ιουν., 25	39.05	29.26	6.1	290	N	20	0.2	Δ. Τουρκία
1953, Μαρτ., 18	40.02	27.53	7.4	250	D	58	2.8	ΒΔ. Τουρκία
1954, Απρ., 30	39.28	22.29	7.0	-	N	-	1.0	Θεσσαλία
1964, Οκτ., 6	40.10	27.93	6.9	280	D	40	-	ΒΔ. Τουρκία
1969, Μαρτ., 28	38.29	28.57	6.6	290	N	30	0.4	Δ. Τουρκία
1970, Μαρτ., 28	39.16	29.42	7.1	280	N	45	1.8	Δ. Τουρκία
1978, Μάιος, 23	40.80	23.30	5.8	260	N	-	0.1	Θεσσαλονίκη
1978, Ιουν., 20	40.61	23.27	6.5	250	N	-	0.3	Θεσσαλονίκη
1981, Φεβρ., 24	38.07	23.00	6.7	260	N	-	0.6	Αλκονίδες
1981, Μαρτ., 4	38.18	23.24	6.3	70	N	-	0.6	Αλκονίδες
1986, Σεπτ., 13	37.05	22.11	6.0	200	N	15	0.12	Καλαμάτα
1999, Σεπτ., 7	38.06	23.54	6.0	119	-	23	-	Αθήνα

1.2 Είδη ρηγμάτων

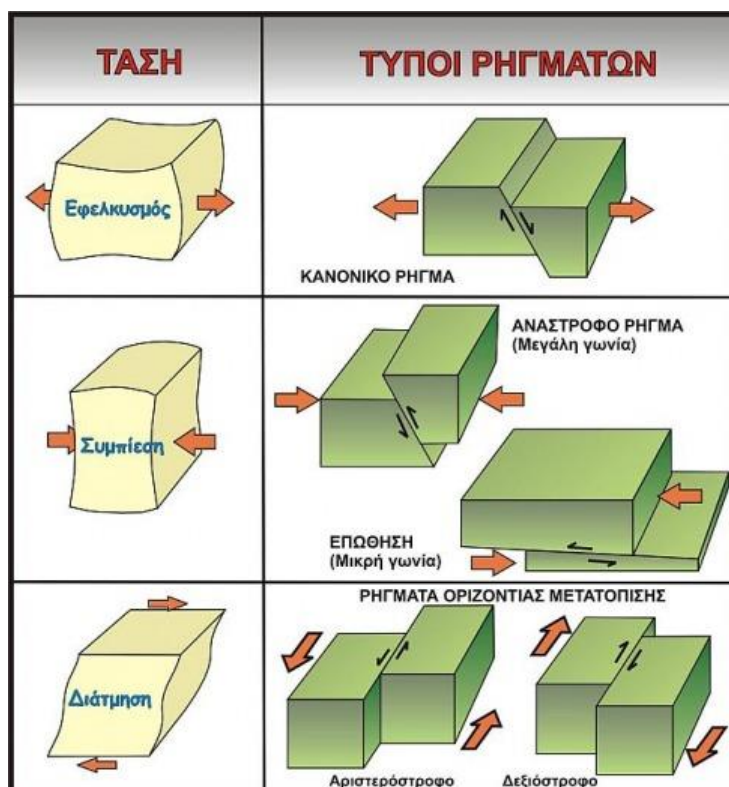
Όπως αναφέραμε στη παράγραφο 1.1 η κίνηση των δυο πλευρών των πλακών, στην περιοχή των ρηγμάτων, είναι η κυριότερη αιτία των σεισμών. Η κίνηση αυτή έχει τέσσερα βασικά είδη [4] (Πίνακας 1.2). Κάθε διάρρηξη που γίνεται στην φύση είναι συνδυασμός των ειδών κίνησης.

Πίνακας 1.2. Είδη κίνησης

Είδη κίνησης	Περιγραφή
Δεξιόστροφη (Εικόνα 1.2)	Είναι η οριζόντια διάρρηξη κατά την οποία η μια πλευρά του ρήγματος φαίνεται κινούμενη από αριστερά προς τα δεξιά, όταν παρατηρείται από την άλλη πλευρά του ρήγματος
Αριστερόστροφη (Εικόνα 1.2)	Είναι η οριζόντια διάρρηξη κατά την οποία η μια πλευρά του ρήγματος φαίνεται κινούμενη από δεξιά προς τα αριστερά, όταν παρατηρείται από την άλλη

	πλευρά του ρήγματος
Κανονική (Εικόνα 1.2)	Είναι η η διάρρηξη κατά την οποία η πάνω πλευρά ενός κεκλιμένου ρήγματος κινείται προς τα κάτω (σύμφωνα με τον νόμο της βαρύτητας)
Ανάστροφη (Εικόνα 1.2)	Είναι η η διάρρηξη κατά την οποία η πάνω πλευρά ενός κεκλιμένου ρήγματος κινείται προς τα πάνω (αντίθετα με τον νόμο της βαρύτητας)

Ανάλογα με τα είδη κίνησης της διάρρηξης έχουμε και τους αντίστοιχους τύπους ρηγμάτων, που αυτές προκαλούν (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2. Τύποι ρηγμάτων

Το μέγεθος του σεισμού (**M**) και το μήκος του ρήγματος (**L**) έχει βρεθεί ότι ακολουθεί μια σχέση λογαριθμικού τύπου της μορφής:

$$M = A + B \log L.$$

Οπού A και B είναι εμπειρικές σταθερές.

Πολλοί μελετητές έχουν προτείνει την δικιά τους σχέση μεταξύ αυτών των δυο μεγεθών, εμείς θα παρουσιάσουμε την εμπειρική σχέση του Παπαζάχου (1.1) και του Παυλίδη (1.2).

$$\log L = 0.51 - 1.85 \quad (1.1)$$

$$M_s = 0.6 \cdot \log L + 5.89 \quad (\text{Αιγαίο για σεισμούς } 6 \leq M_s \leq 7) \quad (1.2)$$

1.3 Κλίμακες μέτρησης μεγέθους των σεισμών.

Οι πιο γνωστές κλίμακες για την μέτρηση του μεγέθους των σεισμών είναι η κλίμακα Ρίχτερ και η κλίμακα Mercalli. Το 1935 στις ΗΠΑ ο φυσικός και σεισμολόγος Charles Francis Richter μαζί με τον Γερμανό Beno Gutenberg πρότεινε μια λογαριθμική κλίμακα (Πίνακας 1.3.) για την μέτρηση του μεγέθους των τοπικών σεισμών, που ονομάστηκε προς τιμήν του κλίμακα Ρίχτερ (R).

Πίνακας 1.3. Κλίμακα Richter

<0 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
0-0.9R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
1-1.9 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
2-2.9 R Μικροσεισμός	Σχεδόν πάντα μη αισθητός. Πιθανώς αισθητός από μερικούς ανθρώπους κοντά στο επίκεντρο.
3-3.9 R Ασήμαντος	Αισθητός κοντά στο επίκεντρο, χωρίς ζημιές.
4-4.9 R Ασθενής	Αισθητός στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού σε τοπικό επίπεδο, με ελαφρές συνήθως ζημιές στο εσωτερικό των κτιρίων κοντά στο επίκεντρο, χωρίς θύματα.
5-5.9 R Μέτριος	Αισθητός στο σύνολο του πληθυσμού σε τοπικό επίπεδο. Μέτριες έως σημαντικές ζημιές στα κτίρια ανεπαρκούς σχεδίασης σε ακτίνα 10 km από το επίκεντρο, πιθανώς και με ανθρώπινες απώλειες. Συνήθως καμία έως ελαφρές ζημιές σε όλα τα άλλα κτίρια
6-6.9 R Ισχυρός	Σοβαρές ζημιές σε ακτίνα 100 km από το επίκεντρο, ισχυρές έως βίαιες δονήσεις κοντά στο επίκεντρο. Μέτριες έως σοβαρές ζημιές στα κτίρια ανεπαρκούς σχεδίασης, ελάχιστες ζημιές στα ανθεκτικά και αντισεισμικά κτίρια. Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από μηδέν έως 25.000 θάνατοι.
7-7.9 R Καταστροφικός	Μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, σε ακτίνα άνω των 100 km μακριά από το επίκεντρο. Σοβαρές ζημιές ή μερική κατάρρευση αρκετών κτιρίων, ολική κατάρρευση ορισμένων κτιρίων ανεπαρκούς σχεδίασης. Πιθανές ζημιές στα ανθεκτικά και αντισεισμικά κτίρια. Επίσης, αν το επίκεντρο είναι στη θάλασσα, πιθανότητα δημιουργίας τσουνάμι Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από μηδέν έως 250.000 θάνατοι.
8-8.9 R Εξαιρετικά καταστροφικός	Εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο. Μέτριες έως βαρύτερες ζημιές στα ανθεκτικά και αντισεισμικά κτίρια, ολική κατάρρευση στα κτίρια ανεπαρκούς σχεδίασης. Πιθανώς ολική καταστροφή κοντά στο επίκεντρο. Εναλλακτικά, αν το επίκεντρο είναι στη θάλασσα, δημιουργία ισχυρών τσουνάμι Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από 100 έως πολλές εκατοντάδες χιλιάδες θάνατοι. Ωστόσο, ορισμένοι σεισμοί

	αυτού του μεγέθους δεν έχουν προκαλέσει θύματα.
9-9.9 R Ασύλληπτα καταστροφικός	Τεράστιες καταστροφές και τεράστιες ανθρώπινες απώλειες, πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο. Πιθανώς ακόμα και ολοκληρωτική καταστροφή της ζωής σε τοπικό επίπεδο, όλα τα κτίρια κοντά στο επίκεντρο καταρρέουν εντελώς. Εναλλακτικά, αν το επίκεντρο είναι στη θάλασσα, τεράστια τσουνάμι που θα πλήξουν όλες τις γύρω ηπείρους. Μεγάλη μετατόπιση στις τοπικές τεκτονικές πλάκες, αλλαγές στο τοπικό ανάγλυφο και στο σχήμα των ακτογραμμών, συν πιθανή μετατόπιση νησιών. Αλλαγή στην ταχύτητα περιστροφής και στην κλίση του άξονα της Γης. Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από 1.000 έως, δυνητικά, 1 εκατομμύριο θάνατοι. Ελάχιστοι σεισμοί αυτού του μεγέθους έχουν καταγραφεί στην παγκόσμια ιστορία. Ο
≥ 10 R Μετεωρικός	Δεν υπάρχει τόσο μεγάλου μήκους ενιαίο σεισμογόνο ρήγμα στη Γη για να προκαλέσει κάτι τέτοιο. Μόνο από συμβάν πρόσκρουσης με αστεροειδή ή κομήτη μπορεί να συμβεί. Αν πάντως συνέβαινε, θα κατάστρεφε μία ολόκληρη ήπειρο, προκαλώντας δυνητικά έως και εκατομμύρια θανάτους

Η κλίμακα που πρότεινε ο Ιταλός ηφαιστειολόγος Τζουζέπε Μερκάλι δεν προσδιορίζει την ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν σεισμό, όπως η κλίμακα Ρίχτερ, αλλά τις επιπτώσεις ενός σεισμού σε μια δεδομένη περιοχή. Συνεπώς ενδείκνυται για την μέτρηση σεισμών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, ενώ δεν είναι αποτελεσματική για αραιοκατοικημένες ή ακατοίκητες περιοχές. Η κλίμακα αυτή ονομάστηκε προς τιμή του κλίμακα Μερκάλι (M) (Πίνακας 1.4).

Πίνακας 1.4. Κλίμακα Mercalli

I Μη αισθητός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
II Ελάχιστα αισθητός	Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση στους υψηλότερους ορόφους κτιρίων.
III Ασθενής	Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός
IV Μέτριος	Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό δίπλα στο σπίτι. Λιγότερο αισθητός στην ύπαιθρο. Τίθενται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Κρότοι πιάτων και παραθύρων, χτύπος στις πόρτες. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται
V Σχετικά ισχυρός	Αισθητός από όλους μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει τραίνο δίπλα στο σπίτι. Ενδεχομένως μη αισθητός στην ύπαιθρο υπό ορισμένες συνθήκες. Αιώρηση κρεμασμένων αντικειμένων. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων και σπάσιμο πιάτων. Ανοιχτές πόρτες ταλαντεύονται. Υγρά από δοχεία χύνονται. Την νύχτα όλοι ξυπνούν
VI Ισχυρός	Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων

	και επίπλων. Τζάμια σπάζουν. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Μικρές καμπάνες ηχούν. Ζημιές λίγες, ελαφρές
VII Πολύ ισχυρός	Δύσκολη η όρθια στάση. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Μικρές ζημιές σε ισχυρές κατασκευές. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνηθισμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλώνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Κυματισμός στις λίμνες, θόλωμα νερού από λάσπη.
VIII Καταστροφικός	Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνηθισμένες κατασκευές. Μέτριες ζημιές στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δένδρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγές και σε πηγάδια.
IX Πολύ καταστροφικός	Γενικός πανικός. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Μικρού μεγέθους κτίρια αποσπώνται από τα θεμέλια. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Εμφανίζονται ρωγμές στο έδαφος. Σε περιοχές με υπόγεια ύδατα, αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό.
X Εξαιρετικά καταστροφικός	Τα περισσότερα κτίρια καταστρέφονται. Πτώση μερικών καλών κατασκευών, ανθεκτικών ξύλινων κτιρίων και γεφυρών. Σχεδόν όλες οι κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίσματα καταρρέουν μέχρι θεμελίων. Σοβαρές ζημιές στο οδικό δίκτυο και σε φράγματα, υδροφράκτες και αναχώματα. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται ελαφρά. Μεγάλες κατολισθήσεις.
XI Ασύλληπτα καταστροφικός	Ελάχιστα κτίρια μένουν όρθια. Πτώση σχεδόν όλων των ανθρώπινων κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί και γραμμές μεταφοράς ενέργειας καταστρέφονται εντελώς. Καταστροφή οδικού δικτύου, πτώση γεφυρών και ανισόπεδων κόμβων. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Πολυάριθμες κατολισθήσεις, ρήγματα και παραμορφώσεις του εδάφους.
XII Ολική καταστροφή	Ολική καταστροφή. Κατάρρευση όλων των κτιρίων μέχρι θεμελίων. Τεράστιες παραμορφώσεις του φλοιού της Γης. Το έδαφος κινείται σε κύματα ή ανυψώνεται και υποχωρεί αρκετά μέτρα και τα σεισμικά κύματα φαίνονται στην επιφάνεια. Αλλαγές στο ανάγλυφο του εδάφους και τη γραμμή του ορίζοντα. Μεγάλες ποσότητες βράχων αλλάζουν θέση. Αλλαγή ροής ποταμών. Δημιουργία καταρρακτών. Παραμόρφωση της όρασης. Μεγάλα αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Το επίπεδο XII έχει καταγραφεί μόλις μια φορά στην ανθρώπινη ιστορία.

Πίνακας 1.5. Αντιστοιχία Κλίμακα Richter με κλίμακα Mercalli

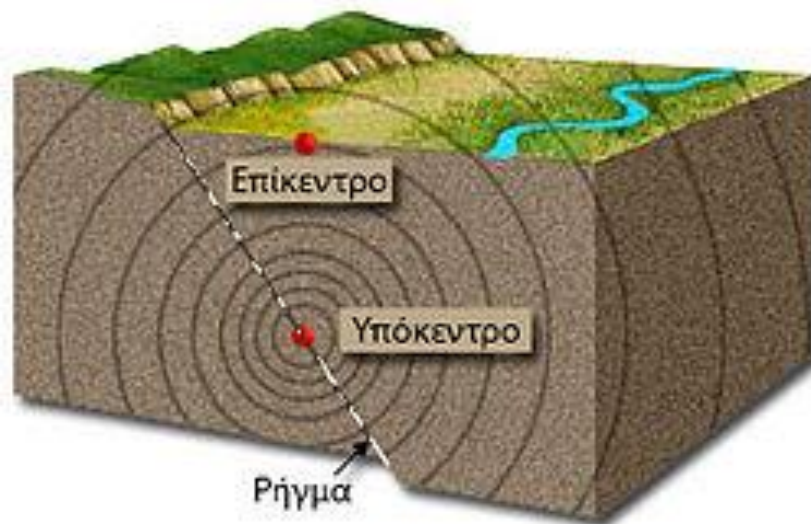
Κλίμακα Richter	Κλίμακα Mercalli
0-3	I
3-3.9	II-III
4-4.9	IV-V

5-5.9	VI-VII
6-6.9	VII-IX
7-7.9	VIII-XI
8-8.9	VIII-XII
9-9.9	IX-XII
10+	XII (Αν συνέβαινε)

1.4 Μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.

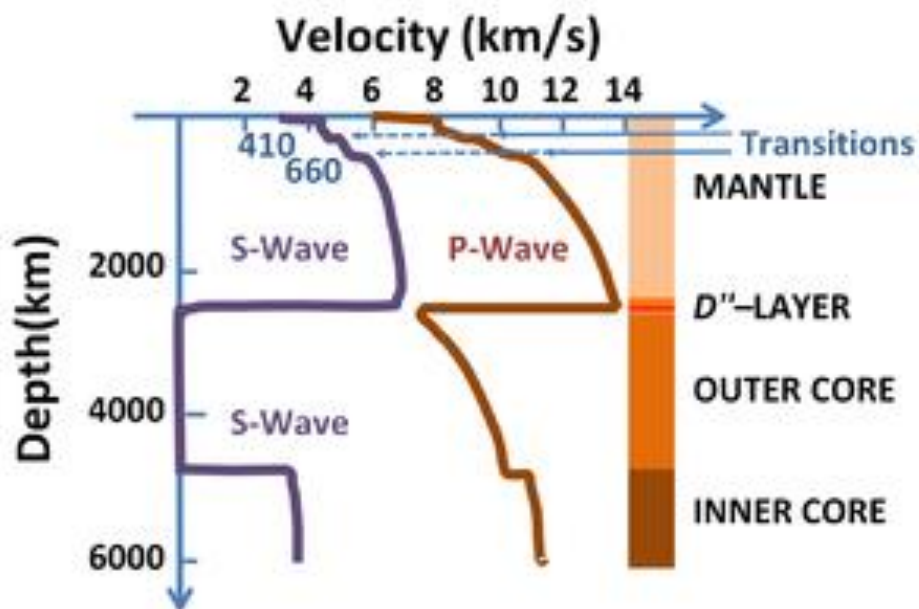
Κατά την γέννηση ενός σεισμού, παράγονται ελαστικά κύματα (σεισμικά κύματα) μέσα στην επιφάνεια της γης και διαδίδονται μέχρι στην επιφάνεια της (εικόνα 1.3). Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες [4]:

- **Κύματα χώρου.** (διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση στο εσωτερικό της γης και είναι τα επιμήκη και τα εγκάρσια)
- **Επιφανειακά κύματα.** (διαδίδονται ακολουθώντας ορισμένες επιφάνειες της γης και είναι τα Rayleigh και Love που ακολουθούν την επιφάνεια της γης και τα Stonley ακολουθούν επιφάνειας ασυνέχειας μέσα στην γη)



Εικόνα 1.3 Σεισμικά κύματα

Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων εξαρτάται από το βάθος της εστίας γέννησης του σεισμού μέσα στην γη και από το είδος των πετρωμάτων που διαπερνούν αυτά κατά την διαδρομή τους. Η Μεταβολή της ταχύτητας των εγκάρσιων S και των επιμηκών P κυμάτων, κατά την διάδοσης τους ανάλογα με το βάθος παριστάνεται στην εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4. Μεταβολή των ταχυτήτων διάδοσης των επιμηκών και εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων ανάλογα με το βάθος της γης

Ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους η διατμητική ταχύτητα $V_{s,30}$ έχει διαφορετικές τιμές σύμφωνα με την κατάταξη κατά Eurocode 8 (πίνακας 1.6) [7] και FEMA 2003 Hazus –MH (πίνακας 1.7) [8]

Πίνακας 1.6. Διατμητική ταχύτητα $V_{s,30}$ ανάλογα με τον τύπο του εδάφους Eurocode 8

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N SPT (κρούσεις/30 cm)	C_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	>800		
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360-800	>50	>250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλικιών ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων	180-360	15-50	70-250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα	<180	<15	<70

	συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.			
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $v_s > 800$ m/s.			
S₁	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	< 100 (ενδεικτικό)		10-20
S₂	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S ₁			

Η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_{s,30}$, (κατά *Eurocode 8*) θα υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad (1.3)$$

Όπου:

h_i το πάχος (m) στρώματος, (από N συνολικά, που συναντώνται στα πρώτα 30 m από την επιφάνεια).

v_i την ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (σε τιμή ανηγμένης διατμητικής παραμόρφωσης ίση με 10^{-5} ή μικρότερη)

Πίνακας 1.7. Διατμητική ταχύτητα Vs30 ανάλογα με τον τύπο του εδάφους FEMA 2003 Hazus MH

Soil profile type classification for seismic amplification (FEMA, 1994).				
Soil Type	General Description	Avg. Shear Wave Velocity (feet/s)	Avg. Shear Wave Velocity (m/s)	Avg. Shear Strength (lbs/sq.ft.)
A	Hard Rock	> 5,000	> 1,500	
B	Rock	2,500 - 5,000	760 - 1,500	
C	Hard and/or stiff/very stiff soils; most gravels	1,200 - 2,500	360 - 760	> 50 2,000
D	Sands, silts and/or stiff/very stiff clays, some gravels Small to moderate thickness (10 to 50 feet)	600 - 1,200	180 - 360	15 - 50 1,000 - 2,000
E	soft to medium stiff clay, Plasticity Index > 20, water content > 40 percent	< 600	< 180	< 15 < 1,000
E ₂	Large thickness (50 to 120 feet) soft to medium stiff clay Plasticity Index > 20, water content > 40 percent	< 600	< 180	< 15 < 1000
F ₁	Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils.	By definition the F classification requires that a site dependent evaluation of the engineering parameters be conducted, as they do not fall into any of the other soil classifications.		
F ₂	Peats and/or highly organic clays greater than 10 feet thick			
F ₃	Very high plasticity clays greater than 25 feet thick with Plasticity Index > 75			
F ₄	Very thick soft/medium stiff clays greater than 120 feet thick			

1.5 Υπολογισμός της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γ_m , της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας u_m και της μικροσεισμικής έντασης I (Σχέσεις απόσβεσης).

Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση γ_m και η μέγιστη εδαφική ταχύτητα u_m αυξάνεται, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του σεισμού (M) και ελαττώνεται όσο αυξάνει η απόσταση (D) από το εστιακό βάθος [4]. Διάφοροι ερευνητές έχουν προτείνει εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις υπολογισμού των μέγιστων αυτών τιμών, όταν έχουμε γνωστά το μέγεθος και το εστιακό βάθος ενός σεισμού, και έχουν την μορφή:

$$\gamma_m \dot{u}_m = b_1 \cdot e^{b_2 M} \cdot D^{-b_3} \quad (1.4)$$

Πολλές φορές η σχέση (1.4) εμφανίζεται με την πιο κάτω μορφή:

$$Y = k_1 + k_1 \cdot M + k_1 \cdot \log(D + D_0) \quad (1.5)$$

Σύμφωνα με τους Θεοδοουλίδη και Παπαζάχο οι εξισώσεις υπολογισμού των μέγιστων τιμών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γ_m , και της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας u_m , για τους επιφανειακούς σεισμούς στον ελλαδικό χώρο, είναι οι παρακάτω:

$$\ln \gamma_m = 4.09 + 1.12Ms - 1.65 \ln(D + 15) \quad (1.6)$$

$$\ln u_m = -0.90 + 1.41Ms - 1.62 \ln(D + 15) \quad (1.7)$$

Ενώ σύμφωνα με τους Margaritis et al. (2002) οι αντίστοιχες εξισώσεις υπολογισμού των μέγιστων τιμών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γ_m , και της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας u_m , για τους επιφανειακούς σεισμούς (σχέσεις απόσβεσης), είναι οι παρακάτω:

$$\ln \gamma_m = 4.16 + 0.69M - 1.24 \log(\Delta + 6) + 0.12 \cdot S \pm 0.70P \quad (1.8)$$

$$\ln u_m = -1.51 + 0.11M - 1.20 \log(\Delta + 5) + 0.29 \cdot S \pm 0.80P \quad (1.9)$$

$$\ln d_m = -6.63 + 1.66M - 1.34 \log(\Delta + 5) + 0.50 \cdot S \pm 1.08P \quad (1.10)$$

Όπου γ_m μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση σε cm/sec^2

u_m μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα σε cm/sec

d_m μέγιστη οριζόντια εδαφική μετάθεση σε cm

$S = 0$ (για βράχο), 1 (για ενδιάμεσα εδάφη), 2 (για μαλακά εδάφη)

Όπως προαναφέραμε σχέσεις αυτής της μορφής έχουν προταθεί από διάφορους επιστήμονες και για διάφορα μέρη της γης. Εξισώσεις αυτής της μορφής κατά Boore and Atkinson 2008 αναπτύσσονται στην παράγραφο 4.2.6.

Η μικροσεισμικής έντασης I ενός σεισμού είναι και αυτό ένα μέγεθος που εξαρτάται από το μέγεθος και το εστιακό βάθος ενός σεισμού. Η μορφή που έχουν αυτές οι δεξιώσεις είναι σαν την (1.5). Οι Παπαζάχος και Παπαιωάννου (1997) έχουν προτείνει για τους υπολογισμούς της μικροσεισμικής έντασης I , για επιφανειακούς σεισμούς την παρακάτω σχέση [4]:

$$I = 4.12 + 1.43M - 3.59 \log(\Delta + 6) \quad (1.11)$$

Και για τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους του χώρου του Αιγαίου (Ν. Αιγαίο) ο Παπαιωάννου (1984) έχει προτείνει την παρακάτω σχέση:

$$I = 1.87 + 1.69M - 3.94 \log(\Delta + 30) \quad (1.12)$$

1.6 Ισόσειστες καμπύλες

$$\log a = 0.27I + 0.25 \quad (1.13)$$

Ανάλογες σχέσεις κατανομής ισόσειστων καμπύλων έχουν αναπτυχθεί από Wald et. al. (1999a and 1999b), για τις παραμέτρους της εδαφικής κίνησης PGA(εδαφική επιτάχυνση) & PGV(εδαφική ταχύτητα) ενός σεισμού. Αυτές οι εξισώσεις αναφέρονται στην παράγραφο 4.2.6

1.7 Σχέση εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας

Είναι πολύ σημαντικό ο καθορισμός ενός μεγέθους που θα καθορίζει την επικινδυνότητα σε έναν τόπο με ποσοτικό τρόπο, γιατί με βάση αυτό το μέγεθος μπορούμε να προβλέψουμε την αναμενόμενη σεισμική ένταση και να σχεδιάσουμε κατάλληλα μέτρα προφύλαξης από αυτούς. Έτσι έχουμε δυο μέτρα που συνηθίζουμε να χρησιμοποιούμε για να προσδιορίζουμε ποσοτικά την σεισμική επικινδυνότητα σε μια περιοχή:

1)Με βάση την Πιθανότητα P

Σύμφωνα με αυτήν ορίζεται η πιθανότητα ώστε η ένταση της σεισμικής κίνησης να υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή για ένα χρονικό διάστημα

2)Με βάση την Ένταση Y

Σύμφωνα με αυτήν ορίζεται η τιμή έντασης Y της σεισμικής κίνησης για την οποία υπάρχει μια προκαθορισμένη πιθανότητα εμφάνισης σε μια περιοχή για ένα χρονικό διάστημα

Για τον υπολογισμό της έντασης Y μιας σεισμικής κίνησης, ενός συγκεκριμένου μεγέθους και απόστασης παρατήρησης από την σεισμική εστία, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την μακροσεισμική ένταση I, δηλαδή $Y=I$ ή το μέτρο της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης γ_m , το μέτρο της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας v_m , το μέτρο της μέγιστης εδαφικής μετάθεσης d_m , οπότε θα ισχύει $Y=\log \gamma_m$, ή $Y=\log v_m$, ή $Y=\log d_m$. [3],[4]. Σύμφωνα με τον στατιστικό νόμο των Gutenberg και Richter, η ένταση αυτή ακολουθεί την παρακάτω σχέση:

$$\log N_t = a_t - b \cdot Y \quad (1.14)$$

όπου N_t , είναι ο αριθμός των σεισμών για μια περιοχή, που η ένταση τους είναι ίση ή υπερβαίνει την τιμή Y για ένα χρονικό διάστημα t. Οι συντελεστές a_t και b είναι σταθερές που υπολογίζονται, μετά από τις καταγραφές των γνωστών ζευγών τιμών N_t και Y σε μια περιοχή. Είναι φανερό ότι στην παραπάνω σχέση μπορούμε αντί για Y να χρησιμοποιήσουμε το μέγεθος του σεισμού M. Συνεπώς μπορεί η σχέση (1.14) να πάρει την παρακάτω μορφή:

$$\log N_t = a_t - b \cdot M \quad (1.15)$$

Για το χρονικό διάστημα ενός έτους η σχέση (1.14) παίρνει τη παρακάτω μορφή:

$$\log N_{lt} = a_0 - b \cdot Y \quad (1.16)$$

όπου N_1 , είναι ο αριθμός των σεισμών για μια περιοχή, που η ένταση τους είναι ίση ή υπερβαίνει την τιμή Y για ένα χρονικό διάστημα ενός έτους, ενώ a_0 είναι μια παράμετρος που καθορίζεται από την σχέση:

$$a_0 = a_t - \log t \quad (1.17)$$

η σχέση (1.17) δηλώνει το δεκαδικό λογάριθμο του αριθμού των σεισμών N_0 που προκαλούνται σε μια περιοχή κατά την διάρκεια ενός έτους και έχουν ένταση ίση ή μεγαλύτερη από 0. Δηλαδή :

$$\log N_0 = a_0 \quad \text{ή} \quad N_0 = 10^{a_0} \quad (1.18)$$

Αντί για την σχέση (1.15) πιο συχνά χρησιμοποιούμε την πιο κάτω σχέση:

$$N_1 = N_0 \cdot e^{-\beta Y} \quad (1.19)$$

Όπου $\beta = b / \log e$

Η μέση περίοδος επανάληψης των σεισμών οι οποίοι προκαλούν ένταση Y ή μεγαλύτερη, όπως είναι φανερό, θα είναι το αντίστροφο της ετησίας συχνότητας των σεισμών N_1 . Δηλαδή :

$$Tm = \frac{e^{-\beta Y}}{N_0} \quad (1.20)$$

Με βάση την υπόθεση ότι τα σεισμικά γεγονότα ακολουθούν τυχαία χρονική κατανομή (κατανομή Poisson), για να εκφράσουμε την πιθανότητα υπέρβασης μιας ορισμένης τιμής Y έντασης ενός σεισμού για ένα χρονικό διάστημα χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση:

$$P = 1 - e^{-N_1 \cdot t} \quad (1.21)$$

Σε αυτές τις σχέσεις σεισμικής επικινδυνότητας στηρίζεται και η φιλοσοφία σχεδιασμού των κατασκευών με κριτήρια επιτελεστικότητας (*Πίνακας 1.9*), με περίοδο επανάληψης σεισμού

$T_w = \frac{dt}{\ln(1-P)}$ και πιθανότητα υπέρβασης σεισμού σχεδιασμού για χρονικό διάστημα dt

$$P_w = \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T_w} \right)^{dt} \right] \cdot 100$$

Έτσι σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ οι στάθμες επιτελεστικότητας περιγράφονται στο *Πίνακας 1.8* [9] και στον Eurocode 8 στον *Πίνακας 1.10* [7].

Πίνακας 1.8 Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	«Περιορισμένες βλάβες»	«Σημαντικές βλάβες»	«Οιονεί κατάρρευση»
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Πίνακας 1.9 φιλοσοφία σχεδιασμού των κατασκευών με κριτήρια επιτελεστικότητας

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
		ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ (ασήμαντες βλάβες)	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ (μικρές βλάβες)	ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ (σημαντικές βλάβες)
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ	Συχνοί σεισμοί (π.χ. για $dt=50$ έτη → $T_w=72$ έτη $P\%=50\%$)	Βασικός σχεδιασμός	Μη αποδεκτός σχεδιασμός	Μη αποδεκτός σχεδιασμός
	Σπάνιοι σεισμοί (π.χ. για $dt=50$ έτη → $T_w=475$ έτη $P\%=10\%$)	Σχεδιασμός κατασκευών μεγάλης σπουδαιότητας	Βασικός σχεδιασμός	Μη αποδεκτός σχεδιασμός
	Πολύ σπάνιοι σεισμοί (π.χ. για $dt=50$ ετη → $T_w=2475$ έτη $P\%=2\%$)	Σχεδιασμός κατασκευών πολύ μεγάλης σπουδαιότητας	Σχεδιασμός κατασκευών μεγάλης σπουδαιότητας	Βασικός σχεδιασμός

Πίνακας 1.10. Στόχοι σεισμική ικανότητας κατά Eurocode 8

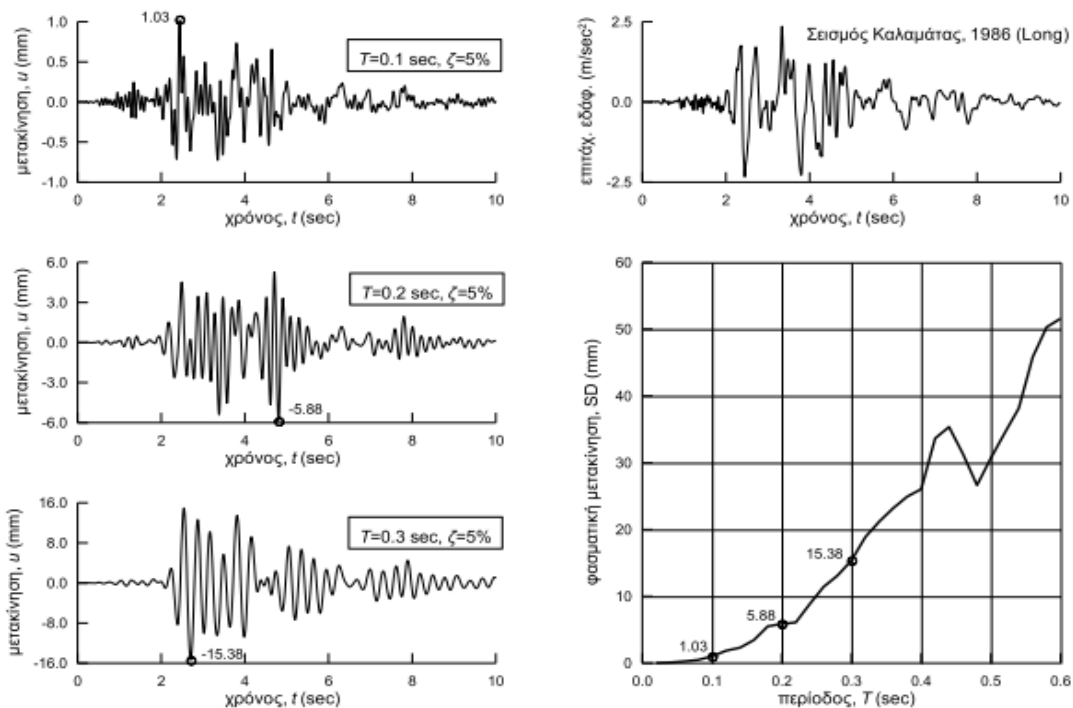
		Στάθμη επιτελεστικότητας		
		Περιορισμός βλαβών	Σημαντικές βλάβες	Οιονεί κατάρρευση
Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης σε 50 χρόνια	20% (Περίοδος επανάληψης 225 χρόνια)	A1	B1	Γ1
	10% (Περίοδος επανάληψης 475 χρόνια)	A2	B2	Γ2
	2% (Περίοδος επανάληψης 2475 χρόνια)	A3	B3	Γ3

1.8 Φάσματα απόκρισης

Για τους πολιτικούς μηχανικούς είναι πολύ σημαντικό, κατά την διαδικασία του αντισεισμικού σχεδιασμού του φέροντα οργανισμού μιας κατασκευής, να προσδιοριστεί η επίδραση (απόκριση) των σεισμών σε αυτή. Οι σχέσεις 1.6 έως 1.12 δίνουν την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα, αλλά όχι τις αντίστοιχες ποσότητες ταλάντωσης των τεχνικών κατασκευών από μια σεισμική δόνηση. Αυτό συμβαίνει γιατί η απόκριση στην σεισμική δόνηση των κατασκευών εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (περίοδος, συντελεστής απόσβεσης). Προκειμένου να προσδιοριστεί η απόκριση μιας κατασκευής σε ένα συγκεκριμένο σεισμό, χρησιμοποιούμε τα φάσματα απόκρισης του σεισμού. Υπάρχουν δυο είδη φασμάτων απόκρισης[4]:

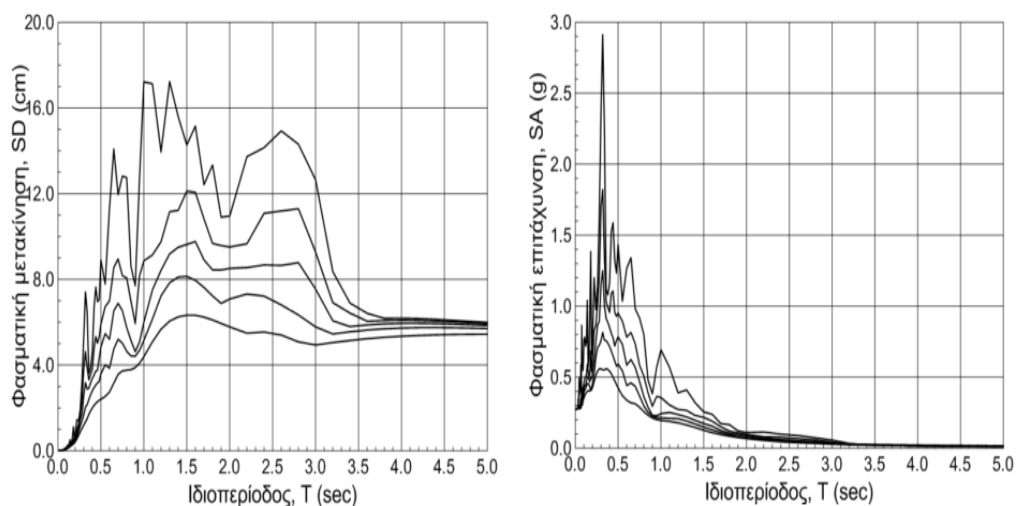
- **Ελαστικά φάσματα απόκρισης.** Βασίζονται στην υπόθεση ότι οι κατασκευές παραμορφώνονται ελαστικά κατά την επίδραση των σεισμικών δυνάμεων σε αυτές.
- **Ανελαστικά φάσματα απόκρισης.** Βασίζονται στην υπόθεση ότι οι κατασκευές παραμορφώνονται ανελαστικά κατά την επίδραση των σεισμικών δυνάμεων σε αυτές.

Αν θεωρήσουμε τις κατασκευές μας ως μονοβάθμιους ταλαντωτές, τότε φάσμα απόκρισης των σεισμών είναι η καμπύλη που δίνει την μέγιστη μετατόπιση S_d ή επιτάχυνση S_a μιας κατασκευής, υπό την επίδραση μιας εδαφικής κίνησης συγκεκριμένου σεισμού, με συγκεκριμένη απόσβεση ζ , ανάλογα με την ιδιοπερίοδο τους T (Εικόνα 1.6)



Εικόνα 1.6. Φάσμα απόκρισης για τον σεισμό της Καλαμάτας 1986

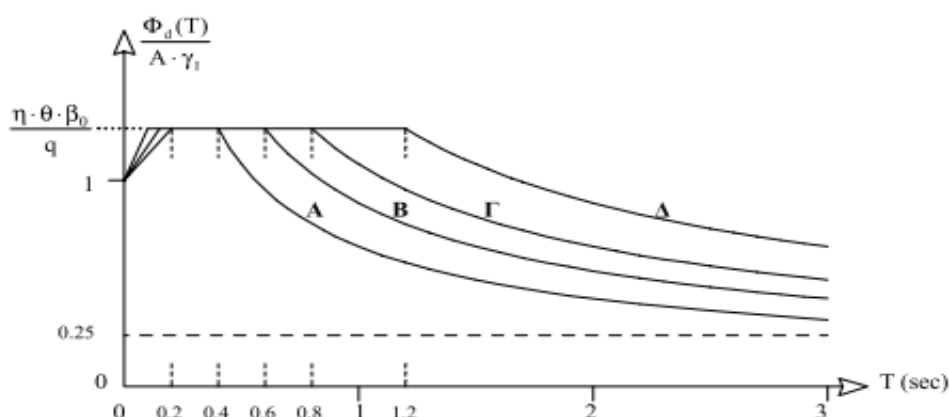
Από αυτή την καμπύλη μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη μετακίνηση οποιασδήποτε κατασκευής με απόσβεση ίση με αυτή του φάσματος, για συγκεκριμένη σεισμική δύναμη, προβάλλοντας το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο της, στον άξονα των φασματικών μετακινήσεων. Είναι λογικό αν ο παράγοντας απόσβεσης αλλάζει θα έχουμε διαφορετική καμπύλη φάσματος απόκρισης για κάθε τιμή απόσβεσης της κατασκευής για τον συγκεκριμένο σεισμό. Στην εικόνα 1.7 έχουμε τα φάσματα απόκρισης (S_d , S_a) για το σεισμό της Καλαμάτας (1986), με διαφορετικές τιμές απόσβεσης 0%, 2%, 5%, 10% και 20%.



Εικόνα 1.7. Φάσματα απόκρισης για διαφορετικές τιμές απόσβεσης ζ

1.8.1.Ελαστικά φάσματα απόκρισης

Για το σχεδιασμό των κατασκευών χρησιμοποιούνται τα φάσματα σχεδιασμού, τα οποία είναι εξομαλυσμένα φάσματα απόκρισης, που προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία των ελαστικών φασμάτων απόκρισης πιθανών σεισμικών γεγονότων που μπορούν να πλήξουν μια περιοχή. Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) προτείνει τα φάσματα σχεδιασμού που εμφανίζονται στην εικόνα 1.8.



Εικόνα 1.8. Φάσματα σχεδιασμού οριζοντίων συνιστωσών του σεισμού κατά ΕΑΚ

Επειδή τα ελαστικά φάσματα υποθέτουν ελαστική συμπεριφορά των κατασκευών, είναι κατάλληλα για συντηρητικό σχεδιασμό του φορέα, ο οποίος θεωρητικά δεν επιτρέπεται να εμφανίσει έστω και μια μικρή βλάβη. Για την κατασκευή του φάσματος σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη :

- Οι ενεργές τιμές της εδαφικής κίνησης στην περιοχή του έργου
- Οι εδαφικές συνθήκες στην περιοχή του έργου

Οι τιμές της εδαφικής κίνησης στην περιοχή του έργου, όταν πρόκειται για σημαντικές κατασκευές, καθορίζονται από στατιστική μελέτη των τιμών σεισμικής επικινδυνότητας στην περιοχή, για διάφορα σεισμικά γεγονότα. Για συνήθεις κατασκευές εφαρμόζονται οι τιμές που δίνονται από τους κανονισμούς, ανάλογα με την περιοχή του έργου. Στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ), προβλέπονται τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με τις τιμές ενεργούς επιτάχυνσης (Πίνακας 1.11). Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας και αντιστοιχούν σε περίοδο επανάληψης περίπου 500 χρόνια, δηλαδή κατά μέσο όρο συμβαίνουν μια φορά κάθε 500 χρόνια. Θεωρώντας ότι οι σεισμοί συμβαίνουν με την κατανομή Poisson, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα 10% να συμβεί στα επόμενα 50 χρόνια (συνήθης διάρκεια ζωής των κατασκευών), σεισμός στην ευρύτερη περιοχή κατασκευής του έργου, που θα προκαλέσει εδαφική επιτάχυνση από αυτή του πίνακα 1.11.

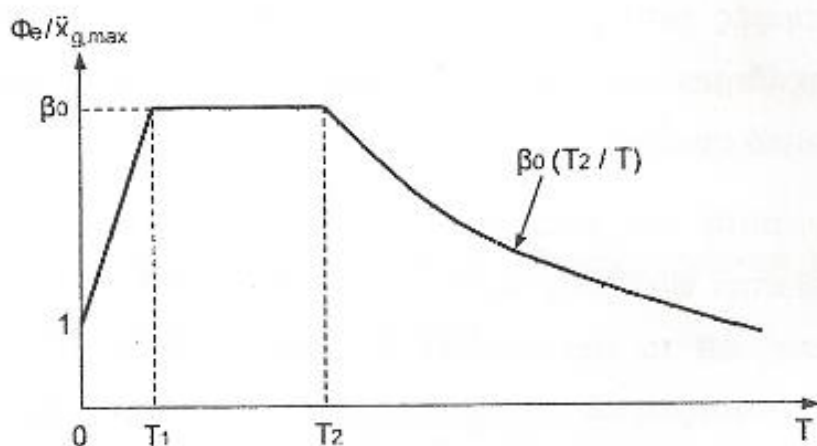
Πίνακας 1.11. Τιμές ενεργούς επιτάχυνσης σύμφωνα με ΕΑΚ

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Ενεργός επιτάχυνση, A (g)
I	0.16
II	0.24
III	0.36

Οι εδαφικές συνθήκες καθορίζονται από το τύπο του εδάφους στο οποίο εδράζει η κατασκευή μας, σύμφωνα την ταξινόμηση των εδαφών του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.) (Πίνακας 1.12). Τα ελαστικά φάσματα αποτελούνται από τρία τμήματα:

- **Ανιόντας κλάδος $0 < T \leq T_1$**
Ο κλάδος αυτός αντιστοιχεί σε δύσκαμπτες κατασκευές και η φασματική επιτάχυνση μεταβάλλεται μεταξύ της μέγιστης επιτάχυνσης της εδαφικής δόνησης και της μέγιστης τιμής σχεδιασμού.
- **Οριζόντιος κλάδος $T_1 \leq T \leq T_2$**
Ο κλάδος αυτός αντιστοιχεί σε σταθερή επιτάχυνση σχεδιασμού
- **Κατιόντας κλάδος $T_2 \leq T$**
Ο κλάδος αυτός αντιστοιχεί σε σταθερή φασματική ταχύτητα, για αυτό η Φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του $1/T$

Οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2 (Πίνακας 1.13) εξαρτώνται από το είδος του εδάφους (Πίνακας 1.12). Ενώ ο λόγος της μέγιστης ελαστικής φασματικής επιτάχυνσης προς τη μέγιστη εδαφική συμβολίζεται με β_0 στον Ε.Α.Κ. και παίρνει την τιμή $\beta_0 = 2.5$ για $\zeta = 5\%$, για όλους τους τύπους εδαφών (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9. Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού κατά Ε.Α.Κ.

(Πίνακας 1.12. Κατηγορίες εδάφους κατά Ε.Α.Κ.)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείες καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Πίνακας 1.13. Οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2 κατά Ε.Α.Κ.

Κατηγορία εδάφους	T_B (sec) ⁽¹⁾	T_C (sec) ⁽¹⁾	T_D (sec) ⁽²⁾
A	0.10	0.40	2.50
B	0.15	0.60	2.50
Γ	0.20	0.80	2.50
Δ	0.20	1.20	2.50

¹⁾ Στον ΕΑΚ, η T_B αναφέρεται ως T_1 και η T_C ως T_2 .

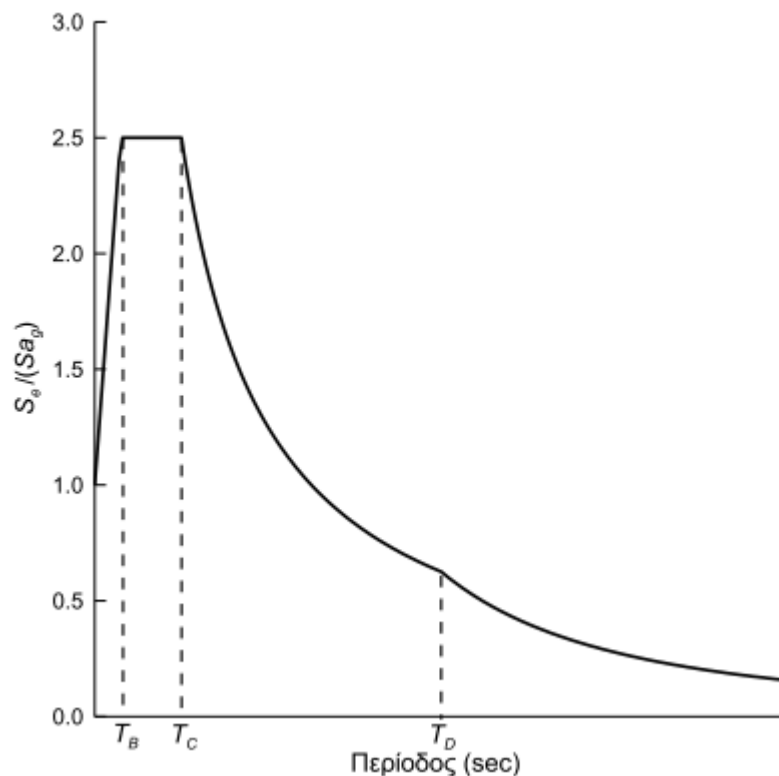
²⁾ Η T_D χρησιμοποιείται μόνο για κατασκευές με σεισμική μόνωση και εισήχθη με τις "Οδηγίες για Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση" του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Στον Eurocode 8 το ελαστικό φάσμα (Εικόνα 1.10) οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2 συμβολίζονται με T_B και T_C (Πίνακας 1.14) αντίστοιχα, ενώ υπάρχει και ένας τέταρτος κλάδος για $T \geq T_D$ που αντιστοιχεί σε πολύ εύκαμπτες κατασκευές και έχει σταθερή φασματική μετακίνηση. Τα ελαστικά φάσματα αποτελούνται από τέσσερις κλάδους:

- **Ανοδικός κλάδος $T \leq T_B$** . Παρατηρείται αύξηση της περιόδου .
- **Οριζόντιος κλάδος $T_B \leq T \leq T_C$** . Σε αυτό το κλάδο η φασματική επιτάχυνση παραμένει σταθερή.
- **Καθοδικός κλάδος $T_C \leq T \leq T_D$** . Σε αυτό το κλάδο η φασματική ταχύτητα παραμένει σταθερή και επομένως η φασματική επιτάχυνση μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής $1/T$
- **Καθοδικός κλάδος $T_D \leq T$** . Σε αυτό το κλάδο η φασματική μετακίνηση παραμένει σταθερή και επομένως μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της ιδιοπεριόδου της κατασκευής $1/T^2$.

Πίνακας 1.14. Οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_B, T_C και T_D κατά Eurocode 8

Κατηγορία εδάφους	S	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50



Εικόνα 1.10. Ελαστικό φάσμα κατά Eurocode 8

1.8.2. Ανελαστικά φάσματα απόκρισης.

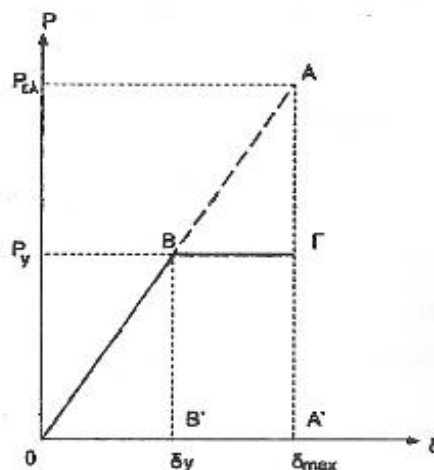
Ο ελαστικός σχεδιασμός των κατασκευών οδηγεί όπως είπαμε στο κεφάλαιο 1.8.1, σε συντηρητικό σχεδιασμό και συνεπώς σε κατασκευές που απαιτούν μεγάλο κόστος κατασκευής και αυτό συμβαίνει, γιατί δεν εκμεταλλεύεται τα μεγάλα περιθώρια ανελαστικής παραμόρφωσης, που εμφανίζουν οι κατασκευές πριν αστοχήσουν πλήρως. Για αυτό, για τα συνήθη έργα του πολιτικού μηχανικού, χρησιμοποιείται ο ανελαστικός σχεδιασμός που εκμεταλλεύεται την ιδιότητα των κατασκευών, σύμφωνα με την οποία διατηρούν την αντοχή τους και μετά την ελαστική περιοχή. Άλλωστε ο σεισμός για τον οποίο σχεδιάζουμε την κατασκευή, έχει πολύ μικρές πιθανότητες να συμβεί κατά την διάρκεια ζωής του έργου και συνεπώς θα ήταν σημαντικά αντισυμβαλλόμενο να μην εκμεταλλευτούμε την παραπάνω ιδιότητα και να την σχεδιάσουμε έτσι ώστε να μην πάθει καμιά ζημιά, δηλαδή στην ελαστική περιοχή.

Συνεπώς ο ανελαστικός σχεδιασμός μιας κατασκευής βασίζεται στην λογική ότι αυτή μπορεί να παραμορφωθεί στην πλαστική περιοχή, κατά την διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής δόνησης, αλλά η κατασκευή να συνεχίσει να αποκρίνεται στον σεισμό με περιορισμένες μετακινήσεις, έτσι ώστε όμως, να μην υπάρξει κίνδυνος σχηματισμού μηχανισμού κατάρρευσης.

Έτσι από το ελαστικό φάσμα απόκρισης και με βάση την ιδιοπερίοδο της κατασκευής T , υπολογίζουμε την σεισμική δύναμη που θα δεχτεί η κατασκευή αυτή, αν συμπεριφερθεί τελείως ελαστικά:

$$P_{ελ} = m \cdot \Phi(T) \quad (1.22)$$

Η δύναμη $P_{ελ}$ θα προκαλέσει μετακίνηση δ_{max} , αν το όριο διαρροής της κατασκευής είναι $P_y < P_{ελ}$, η δύναμη $P_{ελ}$ δεν μπορεί να αναπτυχθεί και η κατασκευή θα συμπεριφερθεί ελαστοπλαστικά με μέγιστη δύναμη P_y . Έχει βρεθεί από αναλύσεις ότι και σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη μετακίνηση που θα προκληθεί είναι περίπου ίση με δ_{max} (Εικόνα 1.11). Η παραδοχή αυτή ονομάζεται παραδοχή ίσων μετακινήσεων και είναι αρκετά ακριβής για κατασκευές με ιδιοπερίοδο μεγαλύτερη από 0.6sec. Η παραδοχή αυτή σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. (αλλά και άλλους αντισεισμικούς κανονισμούς), γίνεται αποδεκτή για όλες τις κατασκευές.



Εικόνα 1.11. Σχέση δύναμης- μετακίνησης για ελαστική – ανελαστική συμπεριφορά / παραδοχή ίσων μετακινήσεων

Από το διάγραμμα της εικόνας 1.11 μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή πλαστιμότητας μ από την παρακάτω σχέση:

$$\mu = \frac{\delta_{\max}}{\delta_y} \quad \text{ή} \quad \mu = \frac{P_{\varepsilon\lambda}}{P_Y} \quad (1.23)$$

Ο συντελεστής μ προσδιορίζει το πόσο θα προχωρήσει η παραμόρφωση μέσα στην πλαστική περιοχή. Αυτό το καθιστά ως έναν δείκτη του μεγέθους των αναμενομένων ζημιών και κινδύνου κατάρρευσης. Όταν σχεδιάζουμε μια κατασκευή η πραγματική αντοχή της είναι μεγαλύτερη από αυτή που εμείς θεωρούμε κατά τον σχεδιασμό. Αυτή η ιδιότητα των κατασκευών ονομάζεται υπεραντοχή (υπερστατικότητα του φορέα, δράση των τοίχων πλήρωσης) q_0 έτσι η διαρροή στην κατασκευή μας θα συμβεί όταν η σεισμική δύναμη P_y ξεπεράσει την δύναμη σχεδιασμού $P_y > P_{σχ}$. Η υπεραντοχή q_0 υπολογίζεται από την σχέση:

$$q_0 = \frac{P_Y}{P_{σχ}} \quad (1.24)$$

Επίσης ορίζουμε ως συντελεστή συμπεριφοράς q που ορίζεται από την σχέση:

$$q = q_0 \cdot q_d \quad (1.25)$$

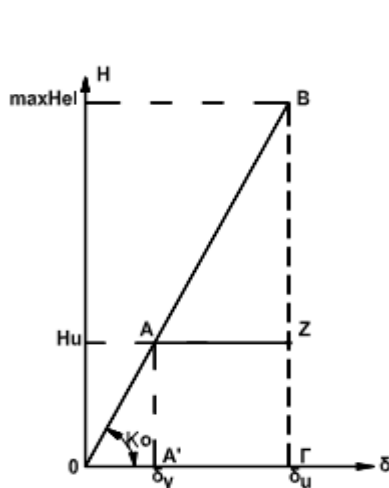
όπου: $q_d = P_{\varepsilon\lambda} / P_y$

Από τις σχέσεις (1.23) και (1.25) έχουμε την σχέση :

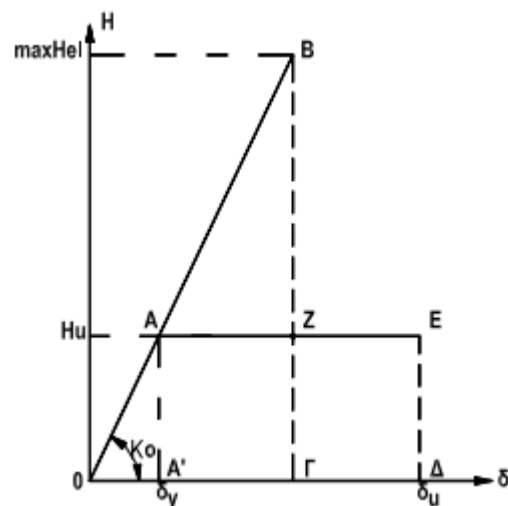
$$q_d = \mu \quad (1.26)$$

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, η παραδοχή των ίσων μετακινήσεων είναι αρκετά ακριβής για κατασκευές με ιδιοπερίοδο μεγαλύτερη από 0.6sec.(εύκαμπτα συστήματα) (Εικόνα 1.12). Για δύσκαμπτα συστήματα ισχύει η ισότητα που εισέρχεται στο ελαστικό και το ελαστοπλαστικό σύστημα (Εικόνα 1.13). Με αυτή την παραδοχή ο συντελεστής q_d υπολογίζεται από την σχέση:

$$q_d = \sqrt{(2\mu - 1)} \quad (1.27)$$

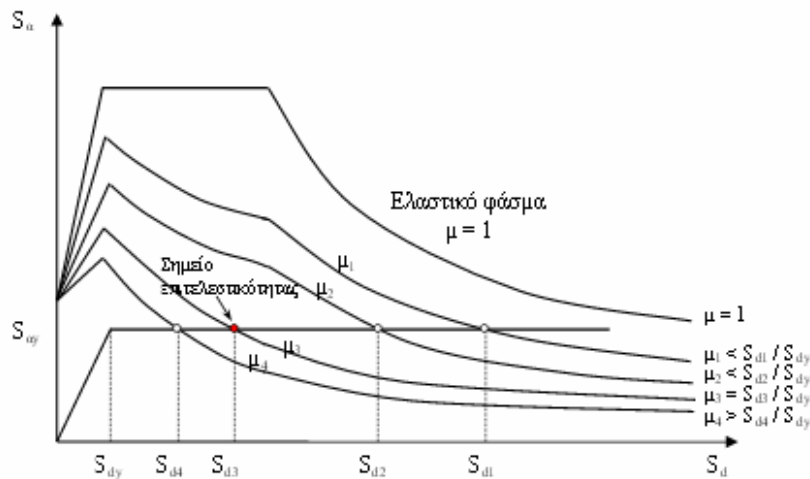


Εικόνα 1.12



Εικόνα 1.13

Με βάση τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης για διάφορες τιμές πλαστιμότητας μ , μπορούμε να καθορίσουμε τα σημεία επιτελεστικότητας (Εικόνα 1.14).



Εικόνα 1.14. Γραφική παράσταση της μεθόδου εκτίμησης του σημείου επιτελεστικότητας με χρήση ανελαστικών φασμάτων

1.9 Επιπτώσεις από σεισμούς στο Ελλαδικό Χώρο.

Ένα φυσικό φαινόμενο όπως είναι ο σεισμός, που κατά την διάρκεια της εκδήλωσης του εκτονώνει τεράστια ποσότητα ενέργειας, είναι φυσικό να έχει πολύ μεγάλες συνέπειες τόσο στους ανθρώπους όσο και στις κατασκευές. Μάλιστα ανάλογα με το μέγεθος του σεισμού, οι συνέπειες αυτές επιδρούν στις ζωές των ανθρώπων για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι κυριότερες κατηγορίες συνεπειών από σεισμικές δονήσεις είναι:

1. Ανθρώπινα θύματα
2. Βλάβες κτηρίων
3. Κοινωνικές συνέπειες (Οικονομικές, Ανθρωπιστικές, Πολιτιστικές, Ψυχολογικές, Μεταναστεύσεις)
4. Τσουνάμι

Ο σεισμός που έγινε στην Χίο στις 3 Απριλίου 1881 προκάλεσε 3550 νεκρούς και 7000 τραυματίες και αποτελεί τον πιο φονικό σεισμό στον ελλαδικό χώρο κατά την διάρκεια των δυο τελευταίων αιώνων, ενώ στις 12 Αυγούστου 1953 στην Κεφαλονιά και στην Ζάκυνθο εκδηλώθηκε ο πιο φονικός σεισμός του τελευταίου αιώνα με 476 νεκρούς και 2412 τραυματίες [3]. Τα 10 σεισμικά γεγονότα με τα περισσότερα ανθρώπινα θύματα στον ελλαδικό παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.15)

Πίνακας 1.15. Οι δέκα πιο φονικοί σεισμοί στην Ελλάδα

No	Ημερομηνία	Μέγεθος	Περιοχή	Νεκροί
----	------------	---------	---------	--------

1	1545, 24 Μάρτιο	6,8	Λαμία	4000
2	1636, 30 Σεπτεμβρίου	7,2	Κεφαλονιά	530
3	1750, 7 Ιουνίου	7,2	Κύθηρα	2000
4	1780, Οκτώβριος	6,8	Ιεράπετρα	300
5	1810, 16 Φεβρουαρίου	7,5	Ηράκλειο	2500
6	1843, 18 Οκτωβρίου	6,6	Δωδεκάνησα	600
7	1863, 22 Απριλίου	7,5	Ρόδος	300
8	1867, 7 Μαρτίου	7,0	Λέσβος	550
9	1881, 3 Απριλίου	6,5	Χίος	3600
10	1953, 12 Αυγούστου	7,2	Κεφαλονιά	476

Μετά από στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων για τα ανθρώπινα θύματα (Θάνατοι, τραυματισμοί) των σεισμών που εκδηλώθηκαν κατά την χρονική περίοδο 1950-1985 (Παπαζάχος και Παπαζάχου 1997) έχουμε καταλήξει σε εξισώσεις που σχετίζουν τον αριθμό νεκρών **K** και τον αριθμό των τραυματιών **D** με την ένταση του σεισμού **I** (εξισώσεις 1.28 και 1.29 αντίστοιχα). Η επιλογή της χρονικής περιόδου έγινε γιατί τα στοιχεία για τους σεισμούς ήταν πλήρης και τα κτήρια έμοιαζαν με τα κτήρια που υπήρχαν το χρονικό διάστημα που έγινε η μελέτη [3].

$$\log K = -8.07 + I \quad (1.28)$$

$$\log D = -7.33 + I \quad (1.29)$$

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των τραυματιών από σεισμούς στην Ελλάδα, είναι πέντε φορές μεγαλύτερος από ότι ο αριθμός των νεκρών. Οι δομικές κατασκευές είναι ένας τομέας που επίσης δοκιμάζονται πολύ από τις σεισμικές δονήσεις. Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δόνησης προκαλεί μικρότερες ζημιές από ότι η οριζόντια συνιστώσα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφενός, η κατακόρυφη συνιστώσα είναι μικρότερη από την οριζόντια (με εξαίρεση την περιοχή πολύ κοντά στο επίκεντρο του σεισμού) και αφετέρου στο ότι το βάρος της κατασκευής αντιδρά στην κατακόρυφη δύναμη (ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχη αντίδραση στην οριζόντια δύναμη) [4]. Η συνέπειες στις κατασκευές από τις συνιστώσες της σεισμικής κίνησης είναι:

- **Κατακόρυφη συνιστώσα**

Έχει ως συνέπεια την ελάττωση της κατακόρυφης αντίδρασης, άρα και την ελάττωση της τριβής που χάρης σε αυτή συγκροτούνται διάφορα δομικά υλικά (κεραμίδια). Επίσης δημιουργείται αύξηση των τάσεων συμπίεσης στα κτίρια με αποτέλεσμα την θραύση των πάνω γωνιών και την πτώση της στέγης(Εικόνα 1.15).

- **Οριζόντια συνιστώσα**

Έχει ως συνέπεια την διατμητική παραμόρφωση των στοιχείων της κατασκευής με αποτέλεσμα την ανάπτυξη τάσεων συμπίεσης και εφελκυσμού, που έχουν διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Έτσι παρατηρούνται ως συνέπεια από αυτή την συνιστώσα διαρρηξείς που σχηματίζουν ορθές γωνίες μεταξύ τους(Εικόνα 1.16).



Εικόνα 1.15



Πληροφορίες για καταστροφές σε κτίρια και σε υποδομές υπάρχουν από την αρχαιότητα για διάφορα σεισμικά γεγονότα, αλλά μόνο κατά το χρονικό διάστημα 1950 -1985 οι περιγραφές για βλάβες σε κτήρια από σεισμούς είναι ακριβείς. Αυτό συμβαίνει γιατί σε αυτό το διάστημα υπάρχει ένα καλά οργανωμένο δίκτυο μακροσεισμικών παρατηρήσεων στην χώρα και που τα στοιχεία τους δημοσιεύονται στα Δελτία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών. Στα δελτία αυτά οι βλάβες των κτιρίων χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες (Πίνακας 1.16).

Πίνακας 1.16. Κατηγορίες βλαβών

Κατηγορία βλάβης	Παρατηρήσεις
Καταρρεύσεις	Δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ αυτών των δυο κατηγοριών και περιγράφονται με A .
Σοβαρές βλάβες (Μη επισκευάσιμες)	Ο αριθμός των σοβαρών βλαβών είναι τρεις φορές μεγαλύτερος από των αριθμών των καταρρεύσεων.
Σοβαρές βλάβες (επισκευάσιμες)	Δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ αυτών των δυο κατηγοριών και περιγράφονται με B .
Ελαφριές βλάβες	Ο αριθμός των ελαφριών βλαβών είναι δυο φορές μεγαλύτερος από των αριθμών των σοβαρών βλαβών (επισκευάσιμων).

Μετά από στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων για τις βλάβες των κτιρίων (καταρρεύσεις, βλάβες) από τους σεισμούς που εκδηλώθηκαν κατά την χρονική περίοδο 1950-1985 (Παπαζάχος και Παπαζάχου 1997) και εξομάλυνση των στοιχείων έχουμε τον πίνακα (1.17) [3].

Πίνακας 1.17. Αριθμός βλαβών A και B καθώς και των ετησίων βλαβών A* και B*

Ένταση σεισμού (I)	Αριθμός καταρρεύσεων και Σοβαρών βλαβών (μη επισκευάσιμων) (A)	Αριθμός Σοβαρών βλαβών (επισκευάσιμων) και Ελαφριών βλαβών (B)	Ετήσιος Αριθμός σεισμών αντίστοιχης έντασης (n)	Ετήσιος Αριθμός καταστροφών (A*)	Ετήσιος Αριθμός καταστροφών (B*)
VIII	200	500	0.78	156	390

VIII+	1300	4800	0.36	468	1728
IX	4200	9000	0.17	714	1530
IX+	6000	9500	0.08	480	760
X	8500	12000	0.04	340	480
X+	10000	9000	0.03	300	270

Οι σεισμοί εκτός από ανθρώπινα θύματα και βλάβες στις κτηριακές υποδομές έχουν και οικονομικές συνέπειες. Οι συνέπειες αυτής της κατηγορίας μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες :

- **Άμεσες οικονομικές συνέπειες**
Οφείλονται από τις βλάβες των κατασκευών και την αναγκαία επισκευή τους
- **Έμμεσες οικονομικές συνέπειες**
Οφείλονται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια της εξέλιξης του σεισμικού γεγονότος, πολλοί κάτοικοι της περιοχής δεν εργάζονται για αρκετές μέρες λόγω της γενικότερης αναστάτωσης.

Πολλές φορές μεγάλοι σεισμοί έχουν προκαλέσει **ανθρωπιστικές συνέπειες** πολύ σοβαρές . Υπάρχουν δηλαδή περιπτώσεις καταστροφικών σεισμών που έχουν προκαλέσει επιδημικές ασθένειες λόγω των εκτεταμένων καταστροφών των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης. Είναι πολύ πιθανό ότι η πρώτη κάμψη του Μινωικού πολιτισμού, σύμφωνα με αρχαιολογικές έρευνες, προήλθε από ένα μεγάλο σεισμό.

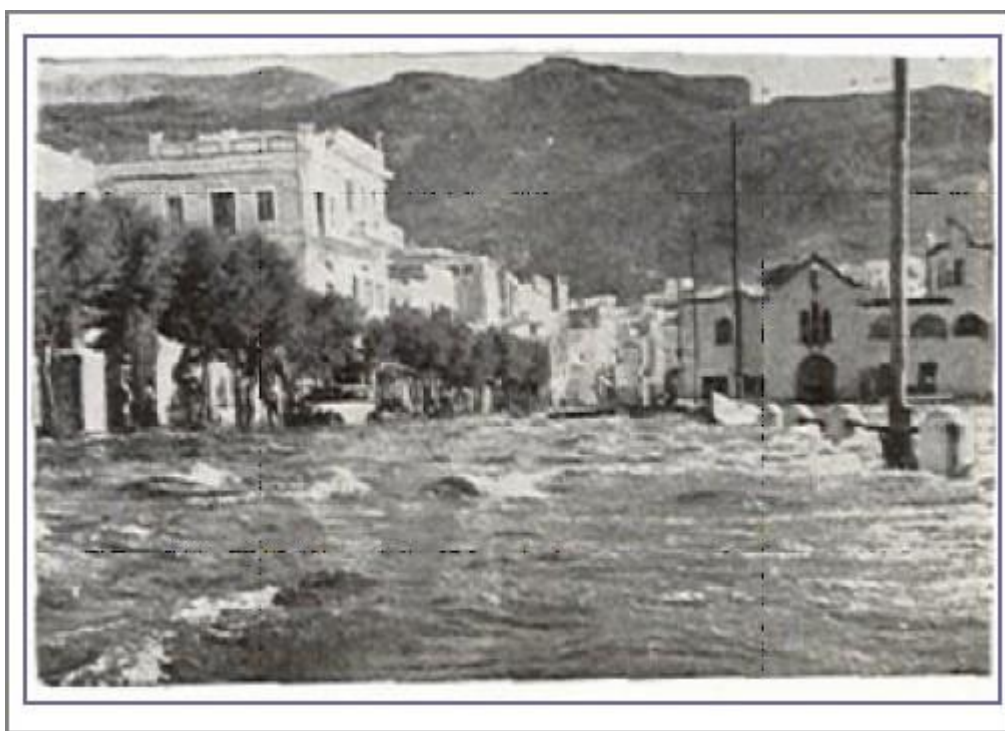
Επίσης σημαντικές είναι και οι **πολιτιστικές συνέπειες** από τους σεισμούς. Υπάρχουν πολλές καταστροφές σε μνημεία από σεισμούς, όπως η καταστροφή του Κολοσσού της Ρόδου (227 π.Χ.), του ναού του Ολυμπίου Διός στην Ολυμπία (365 μ.Χ.), της Ρωμαϊκής Αγοράς στη Θεσσαλονίκη (620 μ.Χ.) και πολλών αρχαιολογικών αντικειμένων που είναι εκτεθειμένα στο μουσείο του Ηρακλείου (1926, 1935) [3].

Οι ψυχολογικές συνέπειες που προκαλούν οι σεισμοί είναι εξίσου σοβαρές, αν και είναι σχετικά δύσκολο να τις ποσοτικοποιήσουμε. Οι σεισμοί προκαλούν στους σεισμόπληκτους έντονα συναισθήματα τρόμου, ψυχολογικής αναστάτωσης και νευρικής υπερδιέγερσης. Σημαντικό ρόλο στην δημιουργία αυτής της κατάστασης στους ανθρώπους, εκτός από την επίδραση του ίδιου του φαινομένου, έχουν και η γρήγορη διασπορά φημών, μετά από έναν σεισμό, για επερχόμενες μεγάλες σεισμικές καταστροφές (αίσθημα πανικού), καθώς και η υπερβολική ανασφάλεια που έχουν οι άνθρωποι που έχουν υποστεί βλάβες οι κατοικίες τους, λόγω ότι σε κανονικές συνθήκες η κατοικία σε αυτούς τους παρείχε προστασία και θαλπωρή από διάφορους κινδύνους (καιρικές συνθήκες, προστασία σωματικής ασφάλειας και περιουσίας), αλλά στην περίπτωση του σεισμού η κατοικία τους μετατρέπεται σε ανεξήγητο εχθρό [3].

Οι σεισμοί έχουν προκαλέσει και μεταναστεύσεις, όταν οι συνέπειες τους είναι πολύ σοβαρές. Παράδειγμα οι κάτοικοι του Γαλαξιδίου εγκατέλειψαν την πόλη τους, όταν αυτή καταστράφηκε από ισχυρούς σεισμούς (το 926 και 1660) και μετανάστευσαν σε άλλες περιοχές και επανήλθαν και την ξαναέκτισαν.

Τα τσουνάμι (tsunami) είναι θαλάσσια κύματα που γέννιούνται από μια επιφανειακή σεισμική δόνηση σε υποθαλάσσιες περιοχές. Η ταχύτητα των κυμάτων εξαρτάται από το βάθος της εστίας του σεισμού και είναι της τάξης των 200m/sec. Τα τσουνάμι όταν εμφανίζονται σε ανοιχτές θάλασσες δεν προκαλούν ζημιές, αντίθετα σε παράκτιες περιοχές έχουν πολύ αρνητικές συνέπειες σε ανθρώπους ζώα, κατασκευές και σκάφη. Τα τσουνάμι έχουν κλίμακα έντασης **K** που έχει προταθεί από τον Sieberg (I,II,III, IV, V,VI), που βασίζεται στα μικροσεισμικά τους αποτελέσματα.

Στην Ελλάδα παρότι δεν είναι συχνά τα τσουνάμι, παρόλα αυτά υπάρχουν καταγραφές για εκδηλώσεις φαινόμενων τσουνάμι στην περιοχή μας. Το πιο ισχυρό τσουνάμι που εκδηλώθηκε τους τελευταίους τρεις αιώνες στην χώρα μας είναι αυτό της Ν. Αμοργού (1956, 9 Ιουλίου) με μέγεθος $K=V$, ύστερα από σεισμική δόνηση μεγέθους 7.5 R.



Εικόνα 1.17. Το τσουνάμι της Αμοργού εισχωρεί στην προκυμαία της Καλύμνου

Το τσουνάμι αυτό έγινε αισθητό μέχρι την Χίο και τον Κορινθιακό κόλπο και φυσικά πολύ έντονα στα γύρω νησιά. Σύμφωνα με αξιόπιστες πληροφορίες από τον μηχανικό του Δήμου Καλύμνου, το νησί (Κάλυμνος) επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από αυτό το φυσικό φαινόμενο (Εικόνα 1.17). Το νερό από το κύμα στο Νησί της Καλύμνου έφτασε σε απόσταση 200m μέσα από τις ακτές και χρειάστηκε 13 λεπτά μετά την σεισμική δόνηση, για να υποχωρήσει ο όγκος των νερών, ενώ το κύμα έφτασε σε ύψος τα 3.60m.

Με βάση την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων από τις καταγραφές που βασίζονται σε ιστορικές πληροφορίες (Α. Γαλανόπουλο, Ν. Ambraseys, Ι. Αντωνόπουλο και Β. Παπαζάχο) για τσουνάμι στο ελλαδικό χώρο, προκύπτει η παρακάτω σχέση που συνδέει τον ετήσιο αριθμό των τσουνάμι σε μια περιοχή **N** με την ένταση τους **K** [3].

$$\log N = 1.83 - 0.81 \cdot K \quad (1.30)$$

Από την σχέση (1.29) προκύπτει ότι η μέση περίοδος επανάληψης T_m των τσουνάμι στην Ελλάδα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$T_m = \frac{10^{0.81K}}{10^{1.83}} \quad (1.31)$$

Με βάση αυτή την σχέση (1.30) υπολογίζουμε την μέση περίοδο επανάληψης T_m των τσουνάμι στην Ελλάδα και στην γύρω περιοχή με διάφορες τιμές έντασης K (Πίνακας 1.18).

Πίνακας 1.18. μέση περίοδο επανάληψης T_m των τσουνάμι στην Ελλάδα και στην γύρω περιοχή με διάφορες τιμές έντασης K

K	T_m (έτη)
III	4
IV	26
V	170
VI	1100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Τρωτότητα Κατασκευών (Vulnerability Building)

2.1 Ορισμός

Η εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης σε μια περιοχή, ως εργαλείο σχεδιασμού αντιμετώπισης των επιπτώσεων των σεισμικών φαινομένων σε κτίρια και ανθρώπους, βασίζεται όπως είναι λογικό, στην τρωτότητα της κτιριακής υποδομής. Η έννοια της τρωτότητας σε μια κατασκευή, μπορεί ερμηνευτεί ως ένας δείκτης, που προσδιορίζει με ποσοτικό και ποιοτικό τρόπο τα τρωτά σημεία της. Έτσι για την **τρωτότητα V** μπορούμε να ορίσουμε τον παρακάτω ορισμό:

Η τρωτότητα V μιας τεχνικής κατασκευής ορίζεται ως ο αναμενόμενος τρόπος απόκρισης της κατασκευής αυτής στις σεισμικές κινήσεις.

Ο υπολογισμός της τρωτότητας των κατασκευών, είναι ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα, γιατί σε αυτή εισέρχονται μεταβλητές με πολλές αβεβαιότητες. Οι εδαφικές κινήσεις καθορίζονται από τους σεισμούς, αλλά αυτοί έχουν πολλά χαρακτηριστικά που πολύ δύσκολα μπορούν να προβλεφθούν (μέγεθος σεισμού, εστιακή απόσταση, είδος ρήγματος, συχνότητα κ.α.). Από την άλλη υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι κατασκευής των κτιρίων (αντισεισμικό κανονισμό: χωρίς, χαμηλού επιπέδου, μέσου επιπέδου, υψηλού επιπέδου), πολλά υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα (ξύλο, πέτρα, οπλισμένο σκυρόδεμα, σίδηρο), καθώς και ποικίλα σχήματα στην κάτοψη τους και στην όψη τους. Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι, ο καθορισμός της τρωτότητας των κατασκευών, απαιτεί πληροφορίες και γνώσεις από πολλούς επιστήμονες και φορείς, που δύσκολα υπάρχουν τόσο σε ποσότητα όσο και σε ακρίβεια. Οι βασικότερες μέθοδοι υπολογισμού της τρωτότητα στις μέρες είναι:

- **Ημιεμπειρική μέθοδος** . Βασίζεται στην στατιστική συσχέτιση των βλαβών και τις σεισμικής συμπεριφοράς, σε παρελθόντες σεισμούς, με τα δομικά χαρακτηριστικά των κατασκευών
- **Αναλυτική μέθοδος**. Βασίζεται στην ανάλυση της κατασκευής για εκτίμηση της αναμενόμενης αντοχής της κατά την διάρκεια ενός σεισμού (καμπύλες τρωτότητας).

2.2 Ημιεμπειρική μέθοδος

Τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες, που εμφανίζουν έντονο σεισμικό κίνδυνο, έχουν αναπτυχθεί ημιεμπειρικές μέθοδοι, για τον προσδιορισμό της τρωτότητας των κατασκευών. Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται σε μια αποτίμηση της κατασκευής, με βάση στοιχεία και πληροφορίες που συλλέγονται

μετά από την συμπλήρωση ειδικού εντύπου. Η αξιολόγηση των πληροφοριών από τα έντυπα αυτά, καταλήγει στον υπολογισμό μιας βαθμολογίας η οποία κατατάσσει την κατασκευή όσον αφορά τη σεισμική της τρωτότητας και επικινδυνότητα. Οι τύποι των κτιρίων, τα υλικά κατασκευής τους, ο τρόπος δόμησης, το μέγεθος του σεισμικού φαινομένου, καθώς και σεισμικές εδαφικές κινήσεις που επιδρούν τελικά στις κατασκευές διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Συνεπώς η κάθε ημιεμπειρική μέθοδο μπορεί να εφαρμοστεί με αξιόπιστα αποτελέσματα, μόνο στη γεωγραφική περιοχή για την οποία αναπτύχθηκαν. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η σχετικά πολύ γρήγορη διαδικασία αποτίμησης ενός σχετικά μεγάλου αριθμού κτιρίων, από μια δημόσια αρχή ή φορέα, έτσι αυτή να έχει έναν ταχύ έλεγχο της τρωτότητας των κατασκευών της περιοχής ευθύνης της

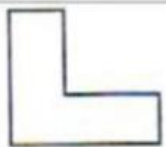
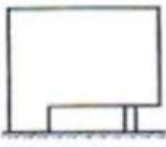
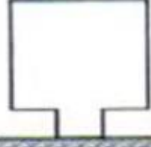
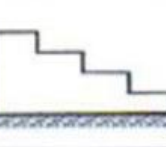
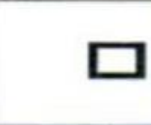
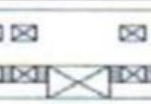
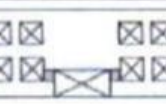
2.2.1 Μέθοδος της Αμερικανικής FEMA

Στις Η.Π.Α. έχει αναπτυχθεί, για τον ημιεμπειρικό καθορισμό της τρωτότητας των κατασκευών, μια μέθοδος που περιγράφεται στο εγχειρίδιο της FEMA 154 (1988), το οποίο αναθεωρήθηκε το 2001 [12], [13]. Η μέθοδος βασίζεται στην συμπλήρωση ενός εντύπου που περιγράφει τα βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, αφού πρώτα κατατάξουμε το κτίριο που ελέγχουμε σε έναν από τους 12 βασικούς τύπους κτηρίων που ορίζει η μέθοδος. Η διαδικασία περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1 Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με FEMA

Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με FEMA	
1.Καταταξη κτιρίου	Σε αυτό το στάδιο γίνεται μια κατάταξη στα κτίρια, σε έναν από τους 12 βασικούς τύπους κτιρίων που ορίζει η μέθοδος, ανάλογα με το υλικό κατασκευής και την ζώνη σεισμικότητας, οπότε και παίρνει την « βασική βαθμολογία ». Η « βασική βαθμολογία » κυμαίνεται από 1.0 για την άοπλη τοιχοποιία και υψηλή ζώνη επικινδυνότητας έως 8.5 για ξύλινο πλαίσιο και χαμηλή ζώνη επικινδυνότητας
2.Καθορισμός αρνητικών στοιχείων των κτιρίων	Σε αυτό το στάδιο γίνεται μείωση της « βασική βαθμολογία » του κτιρίου ανάλογα με το ύψος, την μη κανονικότητα καθ' ύψος και σε κάτοψη (Εικόνα 2.1.), την ύπαρξη μαλακού ορόφου ή κοντά υποστυλώματα καθώς και το έδαφος θεμελίωσης.
3.Καθορισμός αντισεισμικού σχεδιασμού	Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται αν έχει και με βάση ποιο αντισεισμικό σχεδιασμό έχει κατασκευαστεί το κτίριο. Αν έχει σχεδιαστεί με σύγχρονο κανονισμό η « βασική βαθμολογία » αυξάνεται κατά 2 βαθμούς.
4.Τελική βαθμολογία	Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αξιολόγηση της τρωτότητας του κτιρίου με βάση την τελική βαθμολογία. Αν η Τελική βαθμολογία είναι μικρότερη του 2 τότε το κτίριο χρίζει περαιτέρω διερεύνησης.

Η τελική βαθμολογία x σημαίνει πιθανότητα 10^x βαρείας βλάβης ή κατάρρευσης του κτιρίου από το σεισμό σχεδιασμού. Η μεθοδολογία FEMA 154 (1988) είχε το αρνητικό ότι μπορούσε να υπολογίσει μηδενική ή και αρνητική βαθμολογία για μετρικούς τύπους κτιρίων ανάλογα με τα αρνητικά στοιχεία που είχε. Έτσι η μεθοδολογία βελτιώθηκε στην επόμενη έκδοση της (2001) καθώς αυξήθηκαν οι τύποι των κτιρίων από 12 σε 15, προσθέσανε νέα χαρακτηριστικά τρωτότητας των κτιρίων και αυξομειώσανε τις βασικές βαθμολογίες.

Παραδείγματα μη κανονικότητας σε κάτοψη			
Παραδείγματα μη κανονικότητας καθ' ύψος			
Παραδείγματα διάταξης δομικών στοιχείων με ενδεχόμενο φαινόμενο στρέψης			
Παραδείγματα κοντών υποστυλωμάτων			

(Εικόνα 2.1. Κανονικότητα καθ' ύψος και σε κάτοψη)

Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε πάνω από 70000 κτίρια τις Η.Π.Α. κυρίως σε κτίρια δημόσιας ή υψηλής σπουδαιότητας.

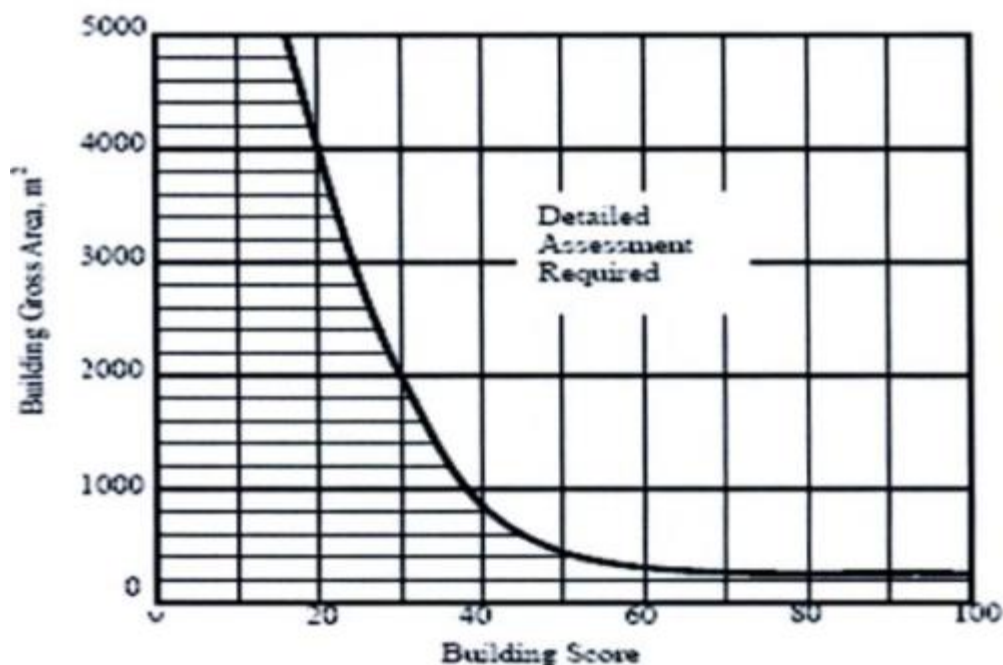
2.2.2 Νεοζηλανδική Μέθοδος της (NZSEE) (New Zealand Society for Earthquake Engineering)

Η μέθοδος της NZSEE (New Zealand Society for Earthquake Engineering) έχει αναπτύξει δυο μεθόδους της σεισμικής ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών, την μέθοδο της ταχείας αποτίμησης (Rapid Evaluation) η οποία προτάθηκε το 1996 και την μέθοδο της αρχικής αποτίμησης (Initial Evaluation Process, IEP) η οποία προτάθηκε το 2000 [12],[13].

Η μέθοδος της ταχείας αποτίμησης (Rapid Evaluation) βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην μέθοδο της FEMA 154 (1988) και σε αυτή την μέθοδο ακολουθούμε την ίδια διαδικασία συμπλήρωσης ενός εντύπου που περιγράφει τα βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, αφού πρώτα κατατάξουμε το κτίριο που ελέγχουμε σε έναν από τους 10 βασικούς δομικούς τύπους κτηρίων που ορίζει η μέθοδος. Η διαδικασία περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2).

Πίνακας 2.2 Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με NZSEE -Rapid Evaluation

Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με NZSEE (Rapid Evaluation)	
1.Καταταξη κτιρίου	Σε αυτό το στάδιο γίνεται μια κατάταξη στα κτίρια, σε έναν από τους 10 βασικούς τύπους κτιρίων που ορίζει η μέθοδος, ανάλογα με το υλικό κατασκευής και την ζώνη σεισμικότητας, οπότε και παίρνει την « βασική βαθμολογία ».
2.Καθορισμός αρνητικών στοιχείων των	Σε αυτό το στάδιο γίνεται αύξηση της « βασική βαθμολογία » του κτιρίου ανάλογα με το ύψος, την μη κανονικότητα καθ' ύψος και σε κάτοψη, την ύπαρξη μαλακού ορόφου ή κοντά υποστυλώματα καθώς και το έδαφος θεμελίωσης,



Εικόνα 2.2. Συνάρτηση της τελικής βαθμολογίας και της επιφάνειας του κτιρίου

Η μέθοδος της αρχικής αποτίμησης (Initial Evaluation Process, IEP) είναι ένας χονδροειδής οπτικός έλεγχος κτιρίων στον οποίο χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν λιγότερα μέσα. Στην συνέχεια όσα κτίρια κατά τον έλεγχο της αρχικής αποτίμησης κριθούν τρωτά στους σεισμούς ακολουθεί για αυτά λεπτομερέστερη διεύρυνση. Συνεπώς με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου καταφέρνουμε, χωρίς να ελέγξουμε μεγάλο αριθμό κτιρίων, να εκτιμήσουμε σε ικανοποιητικό βαθμό την αντοχή των κατασκευών σε σεισμούς. Η διαδικασία ξεκινά με την εκτίμηση της συμπεριφοράς των υφιστάμενων κτιρίων έναντι της απαιτούμενης για ένα νέο κτίριο, η οποία είναι το «ποσοστό επί της πρότυπης για ένα νέο κτίριο» (percentage new building standard, %NBS) [12],[13]. Η διαδικασία περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.4. Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με NZSEE -Initial Evaluation Process, IEP

Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με NZSEE (Initial Evaluation Process, IEP)	
1.Συλλογή στοιχείων	Σε αυτό το στάδιο γίνεται μια επισκόπηση του κτιρίου που θέλουμε να ελέγξουμε και συλλέγουμε τα απαραίτητα στοιχεία και χαρακτηριστικά του, που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή της μεθόδου
2.Καθορισμός του συντελεστής NBS	Σε αυτό το στάδιο γίνεται εκτίμηση της συμπεριφοράς των υφιστάμενων κτιρίων έναντι της απαιτούμενης για ένα νέο κτίριο, η οποία είναι το «ποσοστό επί της πρότυπης για ένα νέο κτίριο» (percentage new building standard, %NBS) για τη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την εκτιμώμενη σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου σε σχέση με την πλαστιμότητα που το χαρακτηρίζει, την σεισμική ζώνη που βρίσκεται και την χρήση του.
3.Καθορισμός του συντελεστή	Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται ο λόγος επιτελεσματικότητας PAR (Performance Achievement Ratio) για τη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση. Για τον

PAR	προσδιορισμό του συντελεστή αυτού λαμβάνονται υπόψη στοιχεία τρωτότητας του κτιρίου, όπως την μη κανονικότητα καθ' ύψος και σε κάτοψη, την ύπαρξη μαλακού ορόφου ή κοντά υποστυλώματα, το έδαφος θεμελίωσης καθώς και την πιθανότητα κρούσης με γειτονικά κτίρια.
4.Υπολογισμός του βαθμού SPS	Το γινόμενο του συντελεστή NBS και του PAR μας δίνει το Βαθμό Δομικής Συμπεριφοράς ΒΔΣ (SPS Structural Performance Score) του κτιρίου.
5. Τελική αξιολόγηση	Αν ο Βαθμός Δομικής Συμπεριφοράς ΒΔΣ (SPS Structural Performance Score) του κτιρίου προκύψει ≤ 33 τότε εκτιμάμε ότι το ελεγχόμενο κτίριο δεν έχει την απαιτούμενη, με βάση τον κανονισμό, σεισμική συμπεριφορά, συνεπώς απαιτείται πιο λεπτομερέστερος έλεγχος. Ενώ αν ο ΒΔΣ > 33 τότε εκτιμάμε ότι το ελεγχόμενο κτίριο έχει την απαιτούμενη, με βάση τον κανονισμό, σεισμική συμπεριφορά, συνεπώς δεν απαιτείται από τον νόμο να ληφθούν για αυτό μέτρα

2.2.3 Ιαπωνική μέθοδος JBDPA 1990a, 2001a

Στην Ιαπωνία, μετά τον καταστροφικό σεισμό του Tokachioki (1968), αναπτύχθηκαν πολλές μέθοδοι για την σεισμική αποτίμηση υφισταμένων κτιρίων (Hirosawa 1973, Architectural Institute of Japan 1975, Hirosawa et al 1975, Okada and Brestler 1976), ενώ το 1977 συντάχθηκε ένα ενοποιημένο «Πρότυπο Αξιολόγησης Σεισμικής Ικανότητας Υφισταμένων Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος» (Standard for Seismic Capacity Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings) υπό την εποπτεία του Υπουργείου κατασκευών [12],[13].

Η διαδικασία που τελικά ακολουθούν για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας στην Ιαπωνία (μέθοδος JBDPA 1990a, 2001a), έχει διαφορετική λογική από τις προηγούμενες. Σε αυτή γίνεται προσπάθεια να υπολογιστεί η σεισμική τρωτότητα των υφισταμένων κατασκευών με πιο ακριβή τρόπο (με χρήση μαθηματικών σχέσεων), από ότι με μια αξιολόγηση - βαθμολόγηση του κτιρίου.

Η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου (JBDPA) αποτελείται από τρία επίπεδα :

1. Έλεγχος της διατμητικής αντοχής των υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων
2. Υπολογισμός της πλαστιμότητας των υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων διάτμησης. Οι δοκοί θεωρούνται άκαμπτοι. Για κατασκευές με αδύναμα υποστυλώματα και ισχυρά δοκάρια δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.
3. Περιλαμβάνει όλους τους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας όπως αστοχία δοκών και στροφή των άκαμπτων τοιχωμάτων διάτμησης λόγω της αστοχίας της θεμελίωσης.

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο υπολογίζουμε τον δείκτη **Is** (seismic index of structure) που αναφέρεται στην σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου και τον δείκτη **Iso** (seismic judgment index of structure) που εκφράζει την σεισμική ικανότητα του κτιρίου. Για την αξιολόγηση των κτιρίων συγκρίνουμε τους δείκτες Is (seismic index of structure) και Iso (seismic judgment index of structure). Αν:

- $Is > Iso$ τότε εκτιμάται ότι το κτίριο θα έχει ικανοποιητική σεισμική συμπεριφορά
- $Is < Iso$ τότε εκτιμάται ότι το κτίριο θα έχει αβέβαιη σεισμική συμπεριφορά

Για τον υπολογισμό του δείκτη **Is** (seismic index of structure) χρησιμοποιούμε την σχέση για κάθε όροφο(2.1).

$$I_s = E_0 \cdot SD \cdot T \quad (2.1)$$

Οπού : **E₀** είναι ο βασικός δομικός δείκτης σεισμικής ικανότητας ο οποίος προκύπτει από το γινόμενο του δείκτη αντοχής **C**, του δείκτη πλαστιμότητας **F** και του συντελεστή ορόφου **φ** ($E_0 = \phi \cdot C \cdot F$)

SD είναι ο επιμέρους σεισμικός δείκτης που λαμβάνει υπόψη την δομική μορφολογία του κτιρίου (κανονικότητα σχήματος, κατανομή ακαμψίας και μάζας)

T είναι ο επιμέρους σεισμικός δείκτης που λαμβάνει υπόψη τις φθορές και τη γενικότερη κατάσταση του κτιρίου (καθορίζεται από επί τόπου αυτοψίες)

Ο δείκτης **Is** στο πρώτο επίπεδο είναι έχει απλό υπολογισμό, αλλά το αποτέλεσμα του είναι αμφίβολο, ενώ στο τρίτο επίπεδο ο υπολογισμός του είναι πιο περίπλοκος αλλά το αποτέλεσμα του αρκετά αξιόπιστο. Είναι λογικό ότι προχωράμε στον υπολογισμό στο επίπεδο 2 και 3 μόνο αν στο επίπεδο 1 ο δείκτης ο δείκτης **Is**<**Iso**

Για τον υπολογισμό του δείκτη **Iso** (seismic judgment index of structure) χρησιμοποιούμε την σχέση (2.2).

$$I_{so} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U \quad (2.2)$$

Οπού : **E_s** είναι ο βασικός αξιολόγησης της σεισμικής συμπεριφοράς για το πρώτο Επίπεδο, $E_s = 0.6$ για το δεύτερο και τρίτο Επίπεδο.

Z είναι ο δείκτης ζώνης που λαμβάνει υπόψη της μικροζωνικές συνθήκες ($0.7 < Z < 1.0$)

G είναι ο δείκτης εδάφους ($G=1$ για κανονικό έδαφος, $G= 1.1$ γκρεμό, λόφο)

U είναι ο δείκτης σπουδαιότητας του κτιρίου ($U= 1$ για κτίρια γενικής χρήσης)

Για τον υπολογισμό του δείκτη **E₀** χρησιμοποιούμε τις σχέσεις (2.3) και (2.4)

Για κτίριο χωρίς κοντά υποστυλώματα

$$E_0 = [(n-1) \cdot (n+1)] \cdot (C_w + a_1 \cdot C_c) \cdot F_w \quad (2.3)$$

Για κτίριο με κοντά υποστυλώματα

$$E_0 = [(n-1) \cdot (n+1)] \cdot (C_{sc} + a_2 \cdot C_w + a_3 \cdot C_c) \cdot F_{sc} \quad (2.4)$$

Όπου **n** είναι ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου

I είναι ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου που εξετάζεται

C_w είναι ο δείκτης αντοχής των τοιχείων

$$C_w = (f_c/200)(30A_{w1} + 20A_{w2} + 10A_{w3})/W$$

C_c είναι ο δείκτης αντοχής των υποστυλωμάτων

$$C_c = (f_c/200)(10A_{c1} + 7A_{c2})/W$$

C_{sc} είναι ο δείκτης κοντών υποστυλωμάτων

$$C_{sc} = (f_c/200)15A_{sc}/W$$

Όπου **F_c** είναι η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (kg/cm²)

A_{w1} είναι το άθροισμα των εμβαδών των διατομών των τοιχείων των ενισχυμένων στα άκρα με δυο κρυφά υποστυλώματα στη διεύθυνση υπολογισμού στον όροφο υπολογισμού, (cm²)

A_{w2} είναι το άθροισμα των εμβαδών των διατομών των τοιχείων των ενισχυμένων στα άκρα με ένα κρυφό υποστυλώμα, (cm²)

A_{w3} είναι το άθροισμα των εμβαδών των διατομών των τοιχείων χωρίς υποστυλώμα, (cm²)

A_{c1} είναι το άθροισμα των εμβαδών των διατομών των υποστυλωμάτων τα οποία το καθαρό ύψος προς την διάσταση του υποστυλώματος είναι μικρότερο από 6, (cm²)

A_{c2} είναι το άθροισμα των εμβαδών των διατομών των υποστυλωμάτων τα οποία το καθαρό ύψος προς την διάσταση του υποστυλώματος είναι μεγαλύτερο από 6, (cm²)

A_{sc} είναι το άθροισμα των εμβαδών των διατομών των κοντών υποστυλωμάτων, (cm²)

W είναι το βάρος του κτιρίου πάνω από τον υπό εξέταση όροφο

a₁ είναι ο μειωτικός συντελεστής της ανηγμένης παραμόρφωσης κατά την οριακή αντοχή των υποστυλωμάτων σε σχέση με αυτή στην οποία αστοχούν ψαθυρά τα τοιχεία, $a_1 = 0.7$ (αν $C_w = 0$, $a_1 = 1$)

a₂ είναι ο μειωτικός συντελεστής της ανηγμένης παραμόρφωσης κατά την οριακή αντοχή των τοιχείων σε σχέση με αυτή στην οποία αστοχούν ψαθυρά τα κοντά υποστυλώματα, $a_2 = 0$

a₃ είναι ο μειωτικός συντελεστής της ανηγμένης παραμόρφωσης κατά την οριακή αντοχή των υποστυλωμάτων σε σχέση με αυτή στην οποία αστοχούν

ψαθυρά τα κοντά υποστυλώματα, $a_3 = 0.5$

F_w είναι ο δείκτης πλαστιμότητας τοιχείων, $F_w=1.0$ (αν $C_w=0$. $F_w=F_c=1.0$)

F_s είναι ο δείκτης πλαστιμότητας υποστυλωμάτων, $F_c=1.0$

F_{sc} είναι ο δείκτης πλαστιμότητας κοντών υποστυλωμάτων, $F_{sc}=1.0$

Ο δείκτης SD υπολογίζεται από την σχέση (2.5).

$$SD = q_a \cdot q_b \cdot \dots \cdot q_k \quad (2.5)$$

Όπου $q_i [1-(1-G_i)R_i]$ $i=a, b, c, d, f, I, j, k$

$q_i [1.2-(1-G_i)R_i]$ $i=h$

Ο συντελεστής G_i χαρακτηρίζει το κτίριο ως προς την κανονικότητα της κάτοψης, την κανονικότητα καθ' ύψος ή την ύπαρξη pilotis. Ενώ ο συντελεστής R_i τον βαθμό που θα επηρεαστεί η σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου από αυτά τα χαρακτηριστικά. Οι τιμές και για τους δυο συντελεστές λαμβάνονται από πίνακες και για τα τρία επίπεδα.

Τέλος ο δείκτης T παίρνει τιμές από 0.5 έως 1.0 και καθορίζεται από επί τόπου αυτοψίες. Η μικρότερη τιμή που διαπιστώνεται για κάποια κατάσταση λαμβάνεται για ολόκληρο το κτίριο.

2.2.4 Ιταλική μέθοδος του GNDT

Στην Ιταλία μετά το 1984 έχει αναπτυχθεί από το «Gruppo Nazionale Per la Difesa dai Terremoti)» (GNDT), μια τεχνική για προσεισμική βαθμολόγηση των κατασκευών που αναφέρεται τόσο για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα όσο και από τοιχοποιίες. Η τεχνική για τις τοιχοποιίες είναι πιο αξιόπιστη γιατί είναι πιο καλυτέρα τεκμηριωμένη. Αυτή εφαρμόστηκε για τους σεισμούς της μεσαιωνικής πόλης Gubbio της Umbria και του σεισμού στην περιοχή του Friuli, που για αυτούς τους σεισμούς υπήρχαν πολλά στοιχεία και δεδομένα για τις σεισμικές συνέπειες στα κτίρια. Από την άλλη η τεχνική για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει εφαρμοστεί μόνο σε 60 δημόσια κτίρια (σχολεία) στην περιοχή της Emilia Romana και συνεπώς είναι λιγότερο επιστημονικά τεκμηριωμένη αφού στηρίζεται σε μικρότερη δεξαμενή πληροφοριών, και οι δυο τεχνικές περιλαμβάνουν έναν αρχικό ταχύ οπτικό έλεγχο για την κατάταξη – ταξινόμηση των κτιρίων ώστε να καθοριστεί η έκθεσης τους σε σεισμικό κίνδυνο (βλάβες, ανθρώπινες απώλειες) [12],[13].

Η διαδικασία της τεχνικής για τις τοιχοποιίες περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.5).

Πίνακας 2.5. Προσεισμικός έλεγχος κατασκευών από τοιχοποιία σύμφωνα με GNDT

Προσεισμικός έλεγχος κατασκευών από τοιχοποιία σύμφωνα με GNDT	
1.Οπτικός έλεγχος	Σε αυτό το στάδιο γίνεται ένας ταχείς οπτικό έλεγχο για την κατάταξη – ταξινόμηση των κτιρίων ώστε να καθοριστεί η έκθεσης τους σε σεισμικό κίνδυνο
2.Ταξινόμησης των κτιρίων	Σε αυτό το στάδιο κατατάσσουμε τα κτίρια στις τέσσερις κατηγορίες (A,B,C,D) και σε κάθε κατηγορία αντιστοιχεί μια βαθμολογία (5,15,20,25,45) (Εικόνα 2.3).Στην κατηγορία A κατατάσσονται τα κτίρια που είναι κατασκευασμένα

	σύμφωνα με τους ιταλικούς αντισεισμικούς κανονισμούς, ενώ στην κατηγορία D κτίρια που θεωρούνται μη ασφαλή. Για τη κατάταξη των κτιρίων υπάρχουν σαφείς οδηγίες, ώστε να αποφεύγεται η υποκείμενη κατάταξη από τους ελέγχοντας.
3.Καθορισμός του συντελεστή βαρύτητας	Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται ο συντελεστής βαρύτητας για κάθε στοιχείο (Εικόνα 2.3).Τα στοιχεία που σημειώνονται με (*) ο συντελεστής καθορίζεται από τον ελέγχοντα.
4.Υπολογισμός του τελικού δείκτη τρωτότητας	Το άθροισμα των επιμέρους τιμών των κατηγοριών για κάθε στοιχείο, πολλαπλασιασμένο με τον συντελεστή βαρύτητας μας υπολογίζει την σεισμική τρωτότητα του κτιρίου. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη για ένα κτίριο, τόσο καλύτερη συμπεριφορά εκτιμάται ότι θα έχει σε μια σεισμική κίνηση

Στοιχείο	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ				Συντελεστής βαρύτητας	Διαβαθμισμένη παράμετρος
	A	B	C	D		
1. Σύνδεση τοιχοποιιών	0	5	20	45	1,0	
2. Είδος τοιχοποιίας	0	5	25	45	0,25	
3. Τύπος εδάφους	0	5	25	45	0,75	
4. Ολική διατμητική αντίσταση τοιχοποιιών	0	5	25	45	1,50	
5. Οριζόντια κανονικότητα	0	5	25	45	0,50	
6. Κανονικότητα καθ' ύψος	0	5	25	45	(*)	
7. Οριζόντια διαφράγματα	0	5	15	45	(*)	
8. Στέγη	0	15	25	45	(*)	
9. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες	0	0	25	45	0,25	
10. Γενική κατάσταση συντήρησης	0	5	25	45	1,0	
Συνολική τιμή (δείκτης τρωτότητας)						

Εικόνα 2.3. Βαθμολογίες των στοιχείων ανάλογα με την κατηγορία και τον συντελεστή βαρύτητας

Για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα η GNDT έχει σχεδιαστεί κατάλληλα έντυπα, όπου σε αυτά καταγράφονται τα ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία του κτιρίου, περιγράφονται οι κατόψεις κάθε ορόφου και τέλος τα υλικά όταν διαφέρουν από αυτά του υπερκειμένου η υποκειμένου ορόφου. Η διαδικασία της τεχνικής για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.6).

Πίνακας 2.6. Προσεισμικός έλεγχος κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με GNDT

Προσεισμικός έλεγχος κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με GNDT	
1.Οπτικός έλεγχος	Σε αυτό το στάδιο γίνεται ένας ταχείς οπτικό έλεγχο για την κατάταξη – ταξινόμηση των κτιρίων ώστε να καθοριστεί η έκθεσης τους σε σεισμικό κίνδυνο
2.Έντυπο 1 και 2	Σε αυτά τα έντυπα καταγράφουμε γενικά στοιχεία για το κτίριο, όπως διεύθυνση, όροφοι, ύψος, επιφάνεια ορόφων, είδος χρήσης του κτιρίου, .
3. Έντυπο 3	Σε αυτό το έντυπο καταγράφουμε το υλικό της τοιχοποιίας, το σύστημα δόμησης για τα δοκάρια και τα πλαίσια, την μη κανονικότητα καθ' ύψος και σε κάτοψη . Η κανονικότητα των στοιχείων πρέπει να προσδιορίζονται με ακρίβεια με σχέδια (διατομές) και συντεταγμένες στοιχείων με αρχή και τέλος. Οι τυπικοί όροφοι περιγράφονται μια φορά.
4. Έντυπα 4 & 5	Σε αυτά τα έντυπα καταγράφουμε το επίπεδο της βλάβης τόσο για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής (Κατακόρυφα στοιχεία, όροφοι, οροφές, πλάκες) όσο και για τα μη δομικά (δίκτυα ύδρευσης, ηλεκτρικού, υγραερίου, επενδύσεις, πλακάκια) και το τρόπο έμμεσης αντιμετώπισης.
5. Έντυπο 6	Σε αυτό το έντυπο καταγράφουμε τις τυχόν βλάβες από γειτονικά κτίρια
6. Έντυπο 7	Σε αυτό το έντυπο γίνεται η αξιολόγηση του κτιρίου ανάλογα για την δυνατότητα του για χρήση με από σεισμικό γεγονός.

Όλες οι πληροφορίες που συλλέγονται για κάθε κτίριο, εισάγονται σε κατάλληλο σχεδιασμένο λογισμικό. Αυτό έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει μια γραφική απεικόνιση του κτιρίου, καθώς και τα σχέδια των κατόψεων για κάθε όροφο. Έτσι επιτυγχάνουμε να γίνεται εύκολα, ένας έλεγχος για εντοπισμό και στην συνέχεια διόρθωση, από διαφόρους ελεγκτές, των λανθασμένων πληροφοριών – δεδομένων για τα στοιχεία του κτιρίου. Είναι σημαντικό εδώ να σημειώσουμε, ότι σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουμε για την εφαρμογή της τεχνικής στην περιοχή της Emilia – Romana, ο χρόνος που χρειάστηκε ένας μηχανικός και ένας αρχιτέκτονας για την καταγραφή ενός κτιρίου ήταν περίπου μια ημέρα.

2.2.5 Ελληνική μέθοδο – προσεισμικός έλεγχος κατά ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ, 2001

Στην Ελλάδα η επιστημονική ομάδα του ΟΑΣΠ, έχει διαμορφώσει ένα κανονιστικό πλαίσιο για τον προσεισμικό έλεγχο των κτιρίων και τον καθορισμό της σεισμικής τους τρωτότητας. Το κανονιστικό αυτό πλαίσιο έχει τρία στάδια ελέγχου [12],[13]

- Πρωτοβάθμιος έλεγχος (Ταχύς Οπτικός Έλεγχος –ΤΟΕ) – για την ταχεία εκτίμησης της σεισμικής ικανότητας για τα δημόσια και κοινωφελούς χρήσης κτίρια.
- Δευτεροβάθμιος έλεγχος – μια προσεγγιστική αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας των κτιρίων με βάση αναλυτικότερους υπολογισμούς (χωρίς την χρήση καταστροφικών ελέγχων), για τα κτίρια που κρίθηκαν ανεπαρκή στον πρωτοβάθμιο έλεγχο.
- Τριτοβάθμιος έλεγχος – αναλυτικός υπολογισμός της σεισμικής ικανότητας του κτιρίου (για όσα κτίρια κρίθηκαν ανεπαρκή από τον προηγούμενο έλεγχο).

Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος (Ταχύς Οπτικός Έλεγχος –ΤΟΕ) που αναπτύχθηκε για τα δημόσια και κοινωφελούς χρήσης κτίρια, από το **ΥΠΕΧΩΔΕ- ΟΑΣΠ (2001)**, βασίζεται στην μέθοδο της μέθοδος που περιγράφεται στο εγχειρίδιο της FEMA 154 (1988). Σύμφωνα με αυτή την ελληνική μέθοδο, αρχικά συλλέγουμε πληροφορίες για το κτίριο σε ειδικό έντυπο, που έχουν σκοπό να γνωρίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά για το κτίριο. Έτσι στην πρώτη ενότητα συμπληρώνονται γενικά στοιχεία για το κτίριο (διεύθυνση, χρήση κ.α.). Στην δεύτερη ενότητα συμπληρώνονται τεχνικά στοιχεία του κτιρίου (αριθμός οροφών, επιφάνεια κάτοψης, έτος κατασκευής). Στην τρίτη ενότητα συμπληρώνονται σεισμολογικά και γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής (ζώνη σεισμικότητας, είδος εδάφους κ.α.). Στην τέταρτη ενότητα κατατάσσεται το κτίριο στους 13 δομικούς τύπους που ορίζει η μέθοδος (*Εικόνα 2.4*), ανάλογα με το υλικό κατασκευής (σκυρόδεμα, χάλυβας, τοιχοποιία), ανάλογα με το είδος του δομικού συστήματος (πλαισιωτό, μεικτό), ανάλογα με το είδος της κατασκευής (συμβατική, προκατασκευασμένη, διαζωματική τοιχοποιία) και τέλος ανάλογα με κανονιστικό πλαίσιο σχεδιασμού του κτιρίου. Τέλος στην πέμπτη ενότητα καταγράφουμε τα τρωτά στοιχεία του κτιρίου για τον σεισμικό κίνδυνο. Αφού έχουμε συλλέξει τις απαραίτητες πληροφορίες, που περιγράφονται πιο πάνω, μπορούμε να ξεκινήσουμε την βαθμολόγηση – αξιολόγηση για την σεισμική τρωτότητα του κτιρίου. Για να γίνει αυτό αρχικά με βάση την κατάταξη του κτιρίου σε ένα από τους 13 δομικούς τύπους, λαμβάνει μια αρχική βαθμολογία (ΑΒΣΚ) και στην συνέχεια αυτή η βαθμολογία μειώνεται ανάλογα με τα τρωτά στοιχεία του κτιρίου. Η διαδικασία περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα (*Πίνακας 2.7*).

Πίνακας 2.7. Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με ΟΑΣΠ 2001

Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με ΟΑΣΠ (2001)	
1.Συλλογή στοιχείων	Σε αυτό το στάδιο γίνεται συλλογή των απαραίτητων στοιχείων του κτιρίου: Γενικά (διεύθυνση, Χρήση, στοιχεία ιδιοκτήτη) Τεχνικά (αριθμός οροφών, επιφάνεια κάτοψης, έτος κατασκευής). Σεισμολογικά/γεωτεχνικά (ζώνη σεισμικότητας, είδος εδάφους κ.α.).
2.Κατάταξη κτιρίου	Σε αυτό το στάδιο (έντυπο τέταρτης ενότητας), γίνεται μια κατάταξη στα κτίρια, σε έναν από τους 18 βασικούς τύπους κτιρίων που ορίζει η μέθοδος, ανάλογα με το υλικό κατασκευής (σκυρόδεμα, χάλυβας, τοιχοποιία), ανάλογα με το είδος του δομικού συστήματος (πλαισιωτό, μεικτό), ανάλογα με το είδος της κατασκευής (συμβατική, προκατασκευασμένη, διαζωματική τοιχοποιία) και τέλος ανάλογα με κανονιστικό πλαίσιο σχεδιασμού του κτιρίου, οπότε και παίρνει την αρχική βαθμολογία ΑΒΣΚ . (<i>Εικόνα 2.4</i>)
3.Καθορισμός τρωτών στοιχείων των κτιρίων	Σε αυτό το στάδιο (έντυπο πέμπτης ενότητας) γίνεται καταγραφή των τρωτών σημείων του κτιρίου όπως: • Χρήση ή μη αντισεισμικού κανονισμού • Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις • Μεγάλο ύψος • Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια • Μη κανονικότητα καθ' ύψος και οριζόντια • Ενδεχόμενο στρέψης • Εδαφικές συνθήκες • Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνίες

	- Μη κανονικότητα διάταξη των τοίχων πληρώσεως - Κοντά υποστυλώματα - Μαλακός όροφος
4.Τελική βαθμολογία	Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αξιολόγηση βαθμολόγηση της τρωτότητας του κτιρίου με βάση την τελική βαθμολογία. Η τελική βαθμολογία υπολογίζεται από την αρχική (ΑΒΣΚ) μειώνοντας την, ανάλογα με τα τρωτά σημεία του κτιρίου και την σεισμική ζώνη της περιοχής.

	ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΟΣα	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54)
	ΟΣβ	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	Α/Σ '59 με πρόσθετα άρθρα 1985 Κ/Σ '54
	ΟΣγ	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	Α/Σ : ΝΕΑΚ Κ/Σ : ΝΕΚΟΣ
ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΠΟΣ1	Κτίρια με προκατασκευασμένο πλαίσιο φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	ΠΟΣ2	Κτίρια με προκατασκευασμένα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος	
ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	ΑΤ	Κτίρια με φέρουσα άσπλη τοιχοποιία, κυρίως λιθοδομή (αργοί ή ημιλαξευτοί λίθοι), χωρίς διαζώματα ή διαφράγματα, με ξύλινη στέγη	
	ΔΤ	Κτίρια με φέρουσα άσπλη τοιχοποιία, κυρίως λιθοδομή (αργοί ή ημιλαξευτοί λίθοι), με διαζώματα και διαφράγματα από ΟΣ καθώς και κτίρια με μικτό φέροντα οργανισμό (φέρουσα τοιχοποιία και ΟΣ)	
	ΟΤ	Κτίρια με φέρουσα οπλισμένη τοιχοποιία, κυρίως από σύγχρονου τύπου τοιχοσώματα, με διάσπαρτο οπλισμό (οριζοντίως και κατακόρυφως), με διαφράγματα και ίσως και πρόσθετα διαζώματα από ΟΣ	
	ΕΤ	Κτίρια με φέρουσα άσπλη τοιχοποιία, επισκευασμένα και ενισχυμένα με διαζώματα, διαφράγματα και κατάλληλα συνδεδεμένους και θεμελιωμένους ελαφρούς μανδύες από ΟΣ, μονόπλευρους και αμφίπλευρους	
	Σημείωση: 1. Ως διαζώματα νοούνται οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία από ΟΣ, με ισχυρές συνδέσεις με τους τοίχους και με ισχυρούς κόμβους στις συναντήσεις τους, σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις και κανονιστικές απαιτήσεις/διατάξεις για διαζωματική/περιοφνημένη τοιχοποιία. 2. Ως διαφράγματα νοούνται ελαφρές συνεχείς πλάκες από ΟΣ, με ισχυρές συνδέσεις με τους τοίχους και με το πλέγμα των οριζοντίων και κατακόρυφων διαζωμάτων, χωρίς μεγάλες τρύπες.		
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	ΧΛ1α	Μονώροφα βιομηχανικά κτίρια	Α/Σ 1959, DIN 1050 (ή άλλος ξένος κανονισμός)
	ΧΛ1β		ΝΕΑΚ Ευρωκώδικας 3
	ΧΛ2α	Πολυώροφα μεταλλικά κτίρια ως χωρικά πλαίσια ή/και με κατακόρυφους μεταλλικούς συνδέσμους	Α/Σ 1959, DIN 1050 (ή άλλος ξένος κανονισμός)
	ΧΛ2β		ΝΕΑΚ Ευρωκώδικας 3
	Παρατήρηση: Για μεταλλικά κτίρια με τοιχώματα ή/και πυρήνες από σκυρόδεμα ισχύουν τα αντίστοιχα των τοιχωματικών κτιρίων από σκυρόδεμα.		

Εικόνα 2.4. Κατάταξη κτιρίων σύμφωνα με την μέθοδο ΟΑΣΠ

Με βάση την σύγκριση μεθόδων αποτίμηση σεισμικής ικανότητας από διάφορες χώρες (Πίνακας 2.8) παρατηρούμε ότι οι περισσότερες έχουν επηρεαστεί από αυτή της FEMA. Μια διαφοροποίηση παρουσιάζει η Ιαπωνική μέθοδος που υπολογίζει την σεισμική τρωτότητα των κατασκευών με την χρήση μαθηματικών σχέσεων.

Πίνακας 2. 8. Σύγκριση μεθόδων αποτίμηση σεισμικής ικανότητας

	FEMA	NZSEE	JBDPA	GNDT	ΥΠΕΧΩΔΕ- ΟΑΣΠ
ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	•	•	•	•	•
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΖΩΝΗ	•		•		•
ΥΨΟΣ	•	•		•	•
ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ	•		•	•	•
ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΙΣ	•			•	•
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	•	•	•	•	•
ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΘ' ΥΨΟΣ & ΚΑΤΟΨΗΣ	•	•	•	•	•
ΜΑΛΑΚΟΣ ΟΡΟΦΟΣ	•	•	•	•	•
ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	•	•	•	•	•
ΚΡΟΥΣΗ ΜΕ ΓΕΙΤΟΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ		•		•	•
ΒΑΡΕΙΕΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ		•			
ΚΟΝΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ		•	•		•
ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ		•			•
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΡΗΓΜΑ		•			
ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ		•			
ΒΑΡΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			•		
ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ		•	•		

2.3 Αναλυτική μέθοδος.

Ο καθορισμός της τρωτότητας των κατασκευών με την αναλυτική μέθοδο, είναι μια διαδικασία σύνθετη, που απαιτεί συλλογή πολλών πληροφοριών και στην συνέχεια ειδική επεξεργασία για τον υπολογισμό τους. Οι κυριότερες κατηγορίες πληροφοριών που απαιτούνται για την υλοποίηση της μεθόδου είναι :

- Πληροφορίες σχετικά με την ένταση του σεισμού
- Πληροφορίες σχετικά με τα κρίσιμα, για την σεισμική συμπεριφορά τους κατασκευής, χαρακτηριστικά τους.
- Πληροφορίες σχετικά με τον καθορισμό της ποσότητας της συμπεριφοράς της κατασκευής.

Πολύ σημαντικό προκειμένου να υπολογιστεί η απόκριση των κατασκευών σε ένα σεισμικό γεγονός, είναι η γνώση των παραμέτρων τους και η ένταση του. Έτσι είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης, που τελικά αναπτύσσονται κατά την διάρκεια του (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση PGA και μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV) και που τελικά είναι τα μεγέθη, που επιδρούν στις κατασκευές. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) σε χρονοιστορία επιταχύνσεων είναι το μέτρο που χρησιμοποιείται, κυρίως για τον καθορισμό των καμπύλων τρωτότητας. Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την μέγιστη φασματική επιτάχυνση (SA) του μονοβάθμιου ταλαντωτή σε εδαφική διέγερση.

Από την άλλη, υπάρχουν κρίσιμα χαρακτηριστικά της κατασκευής για την σεισμική συμπεριφορά της, που παρουσιάζουν ένα τυχαίο χαρακτήρα και για την σωστή εκτίμηση τους ως προς την συμβολή τους στην τρωτότητα της κατασκευής, θα πρέπει πρώτα, να έχουν καθοριστεί για αυτά ο βαθμός σπουδαιότητας τους.. Έτσι ιδιότητες όπως (μέτρο ελαστικότητας, θλιπτική αντοχή) αλλά και ιδιότητες του εδάφους θεμελίωσης, που ο βαθμός σπουδαιότητας τους, έχει τυχαίο χαρακτήρα και αβεβαιότητες, χρειάζονται για να επεξεργαστούν αποδοτικά πιθανολογική προσέγγιση.

Τέλος με βάση τον σεισμική επίδραση και τα χαρακτηριστικά της κατασκευής έχουμε την σεισμική απόκριση της. Αυτή είναι μια παράμετρος πολύ σημαντική γιατί με την ποσοτικοποίηση της μπορούμε να εξάγουμε πολύτιμες πληροφορίες για την σεισμική συμπεριφορά κατασκευών με παρόμοια χαρακτηριστικά, για τυχαία σεισμικά γεγονότα. Ο ποσοτικός καθορισμός της παραμέτρου τους γίνεται από έναν δείκτη που καθορίζει τον βαθμό βλάβης της κατασκευής. Ο δείκτης βλάβης τους, αντιστοιχεί σε μια ποιοτική εκτίμηση του επιπέδου βλάβης της κατασκευής. Έτσι έχουμε μια ποιοτική βαθμολόγηση – κατάταξη των κατασκευών ανάλογα με το βαθμό βλάβης που παρουσιάζουν (Πίνακας 2.9), (Πίνακας 2.10), [5], [20].

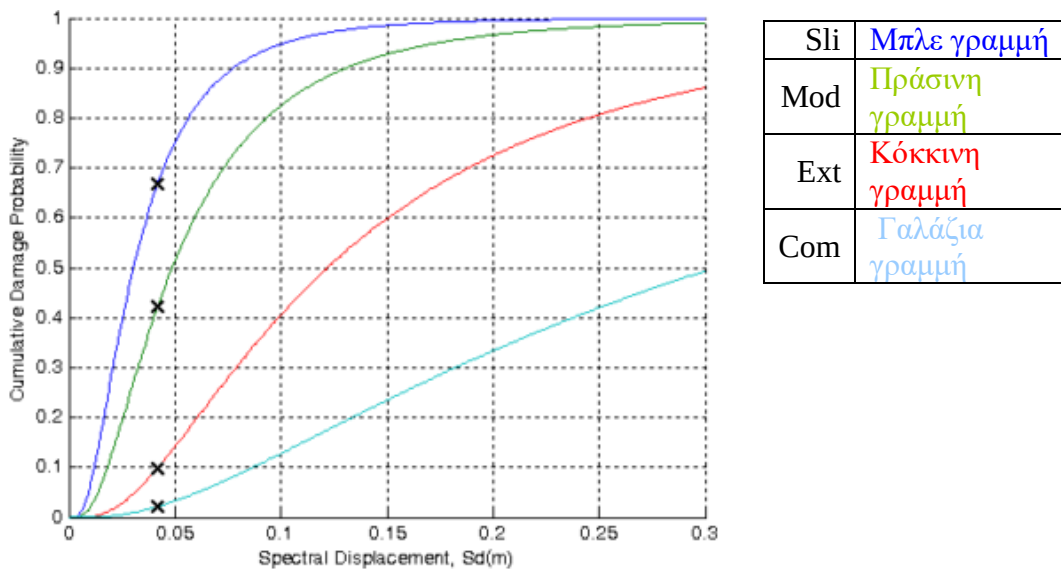
Πίνακας 2.9. Επίπεδα βλάβης

No	No Damage
Sli	Slight Damage
Mod	Moderate Damage
Ext	Extensive Damage
Com	Complete

Πίνακας 2.9. Επίπεδα βλάβης κατά τους Γ. Παναγόπουλο και Α. Κάππο

στάθμη βλάβης	ορισμός	περιοχή διακύμανσης του δείκτη απωλειών	κεντρική τιμή του δείκτη απωλειών (%)
0	καμία βλάβη	0	0
1	ελαφρά βλάβη	>0-1	0.5
2	μέτρια βλάβη	>1-10	5
3	σημαντική ως βαρειά βλάβη	>10-30	20
4	πολύ βαρειά βλάβη	>30-60	45
5	κατάρρευση	>60-100	80

Οι πληροφορίες αυτές εκτός από τη μεγάλη τους ποσότητα, χαρακτηρίζονται και από πολλούς παράγοντες που έχουν χαρακτήρα τυχαίο και με πολλές αβεβαιότητες. Η τελική η επεξεργασία τους, με βάση πιθανολογικές αναλύσεις, καταλήγει στην δημιουργία των καμπύλων τρωτότητας. Αυτές είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της απόκρισης των κατασκευών στον σεισμικό κίνδυνο, αφού με αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης ενός επιπέδου βλάβης. (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5. Καμπύλες τρωτότητας

Συνεπώς, αφού η τρωτότητα των κατασκευών είναι η πιθανότητα, για δεδομένη σεισμική ένταση, η βλάβη να είναι κατώτερη ή ίση από μια συγκεκριμένη στάθμη, αυτό μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά μέσα από μια στατιστική συνάρτηση κατανομής. Μια τέτοια συνάρτηση είναι η λογαριθμοκανονική συνάρτηση (2.6), στην οποία βασίστηκε και η μεθοδολογία FEMA- HAZUS [8],[20],

$$P[ds/S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \cdot \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (2.6)$$

Οπού: ds (η κάθε στάθμη βλάβης)

$\bar{S}_{d,ds}$ (η μέση τιμή της φασματικής μετατόπισης, για την οποία το κτίριο εισέρχεται στη στάθμη βλάβης ds)

β_{ds} (η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της φασματικής μετατόπισης που αντιστοιχεί στο επίπεδο βλάβης ds)

Φ (η χαρακτηριστική συνάρτηση της σωρευτικής κανονικής κατανομής)

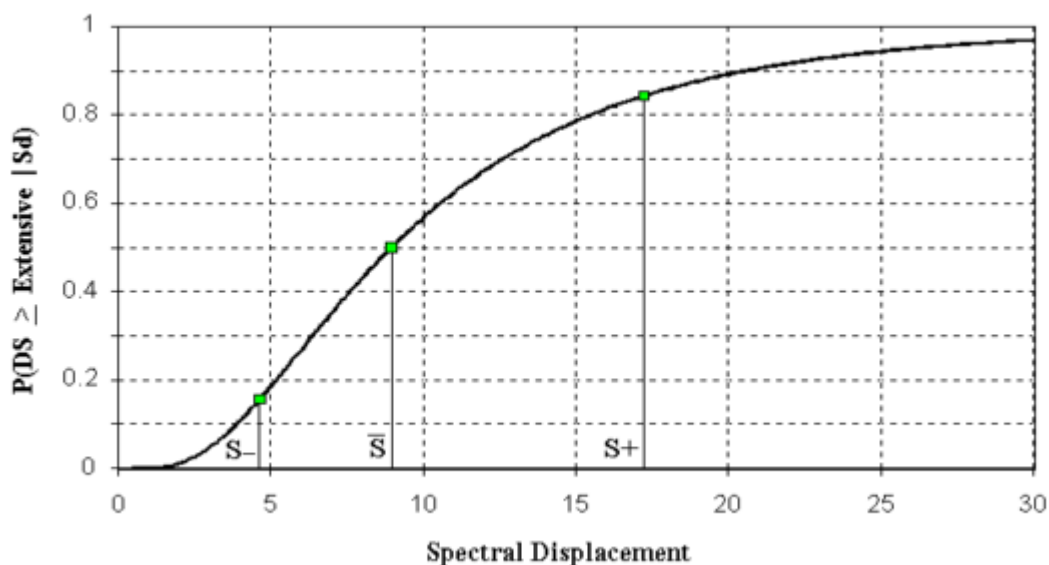
Στην εικόνα 2.6 παρουσιάζεται μια καμπύλη τρωτότητας για ένα τύπο κτιρίου C1M(πλαίσιακό από οπλισμένο σκυρόδεμα μελετημένο με υψηλού επιπέδου αντισεισμικό κανονισμό), για

εκτεταμένο επίπεδο βλάβης (Extensive damage state). Ο τύπος κτιρίου C1M είναι βασισμένος στην κατηγοριοποίηση των κτιριακών τύπων σύμφωνα με την FEMA - 178 (FEMA,1992)[8] και η τιμή του για την μέση φασματική μετατόπιση (median spectral displacement) είναι $\bar{S}=9$ ίντσες και η τιμή για την λογαριθμική τυπική απόκλιση είναι $\beta\epsilon=0.68$ [8]. Το S_- αντιστοιχεί στο $\bar{S}/\exp(\beta\epsilon)=9/e^{0.68}= 4.6$ ίντσες και το S_+ αντιστοιχεί στο $\bar{S}*\exp(\beta\epsilon)=9*e^{0.68}= 17.8$ ίντσες. Η καμπύλη προκύπτει σημειώνοντας την διάμεση τιμή (0.5) για $\bar{S}=9$ ίντσες και ένα ζεύγος τιμών ± 1 τυπικής απόκλισης για τις τιμές S_+ και S_- . Τελικά έχουμε:

$$P [\text{Extensive - Damage} / S_d = S_+ = 17.8 \text{ ίντσες}] = 0.84$$

$$P [\text{Extensive - Damage} / S_d = \bar{S} = 9 \text{ ίντσες}] = 0.50$$

$$P [\text{Extensive - Damage} / S_d = S_- = 4.6 \text{ ίντσες}] = 0.16$$



Εικόνα 2.6. Καμπύλη τρωτότητας επιπέδου εκτεταμένης βλάβης για τύπο κτιρίου C1M, μελετημένο με υψηλού επιπέδου αντισεισμικό κανονισμό

2.3.1. Η μέση τιμή (median) των επιπέδων βλάβης

Οι μέσες τιμές της δομικής θραυστότητας βασίζονται στον υπολογισμό της τάσης αναλογίας των κατασκευών, που περιγράφουν την είσοδο τους, στα επίπεδα βλάβης (Ελαφρά, μέτρια, εκτενή και πλήρη). Οι αναλογίες των τάσεων αυτών, για τα διάφορα επίπεδα βλάβης, μετατρέπεται σε φασματική μετατόπιση χρησιμοποιώντας την *συνάρτηση* (2.6)[8]:

$$\bar{S}_{d.Sds} = \delta_{R.Sds} \cdot a_2 \cdot h \quad (2.6)$$

Όπου: $\bar{S}_{d.Sds}$ (Είναι η μέση τιμή της φασματικής μετατόπισης για κάθε επίπεδο βλάβης)

$\delta_{R.Sds}$ (Είναι ο λογος της μετατόπισης στην είσοδο στο επίπεδο βλάβης)

a_2 (Είναι το κλάσμα του ύψους του κτιρίου (στην οροφή) στη θέση ώθησης (push over))

h (Είναι το τυπικό ύψος της οροφής του τύπου του κτιρίου)

2.3.2. Η αβεβαιότητα (β_{Sds}) των επιπέδων βλάβης

Η αβεβαιότητα των καμπύλων τρωτότητας, για κάθε επίπεδο βλάβης (Ελαφρά, μέτρια, εκτενή και πλήρη), περιγράφεται με τις τιμές της λογαριθμοκανονικής κατανομής (β). Η συνολική αβεβαιότητα για κάθε επίπεδο βλάβης β_{Sds} , διαμορφώνεται από το συνδυασμό των ακόλουθων τριών μεταβλητών β_C , β_D και $\beta_{M(Sds)}$ όπως περιγράφεται από την συνάρτηση (2.7) [8].[20].

$$\beta_{Sds} = \sqrt{\left(\text{CONV}[\beta_C, \beta_D, \overline{S_{d.Sds}}] \right)^2 + (\beta_{M(Sds)})^2} \quad (2.7)$$

Όπου: β_{Sds} (Είναι η λογαριθμοκανονική τυπική απόκλιση, η οποία περιγράφει τη συνολική μεταβλητότητα για κάθε επίπεδο βλάβης, ds)

β_C (Είναι μια παράμετρος της λογαριθμοκανονικής τυπικής απόκλισης που περιγράφει την αβεβαιότητα για την καμπύλη ικανότητα)

β_D (Είναι μια παράμετρος της λογαριθμοκανονικής τυπικής απόκλισης που περιγράφει την αβεβαιότητα για την σεισμική απαίτηση π.χ. πλαστιμότητα)

$\beta_{M(Sds)}$ (Είναι μια παράμετρος της λογαριθμοκανονικής τυπικής απόκλισης που περιγράφει αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση της μέσης τιμής για κάθε επίπεδο βλάβης, ds)

Οι τιμές που μπορούν να πάρουν οι πιο πάνω παράμετροι για κάθε επίπεδο βλάβης, σύμφωνα με την μεθοδολογία της FEMA είναι:

- $\beta_{M(Sds)}=0.4$ για όλους τους τύπους κτιρίων και επίπεδα βλάβης
- $\beta_C=0.25$ για κτίρια μελετημένα με αντισεισμικό κανονισμό και $\beta_C=0.30$ για κτίρια μελετημένα χωρίς αντισεισμικό κανονισμό.
- β_D η τιμή καθορίζεται από την χωρική απόκριση του εδάφους, στην σεισμική κίνηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

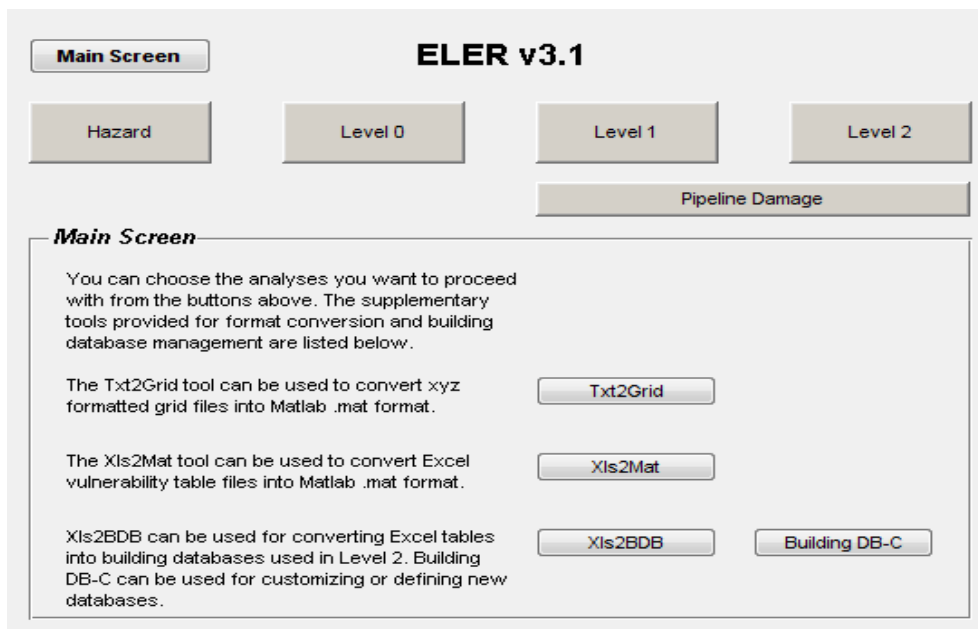
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ELER

3.1 Γενικά στοιχεία για το ELER

Το λογισμικό ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) μελετήθηκε και αναπτύχθηκε στο Bogazici University από το τμήμα των σεισμολόγων μηχανικών (2009-2010) και βασίζεται στην χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS). Συγκεκριμένα υπάρχει ως βάση εισαγωγής πληροφοριών, ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα, που αποτελείται από κάρτα που καλύπτει την γεωγραφική επιφάνεια διαφόρων χωρών. Έχει την δυνατότητα να υπολογίσει απώλειες από σεισμικά φαινόμενα, τόσο σε ανθρώπους όσο και σε κτίρια. Το λογισμικό χρησιμοποιεί για τον προγραμματισμό και τους υπολογισμούς, το υπολογιστικό και προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB.

Το ELER αποτελείται από τέσσερις ενότητες για τον σεισμικό κίνδυνο και των υπολογισμό των σεισμικών απωλειών (*Εικόνα 3.1*):(Hazard, Level 0, Level 1, Level 2)[5].

- Στην ενότητα HAZARD υπολογίζουμε, με βάση το σεισμικό σενάριο, τις διάφορες εδαφικές παραμέτρους PGA, PGV, Sa, Sd.
- Στην ενότητα LEVEL 0 υπολογίζουμε μόνο ανθρώπινες απώλειες για μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.
- Στην ενότητα LEVEL 1 υπολογίζουμε τον αριθμό των κτιρίων που έχουν πάθει ζημιά, με βάση εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας και με βάση τα κτίρια αυτά υπολογίζουμε στην συνέχεια τις ανθρώπινες απώλειες.
- Στην ενότητα LEVEL 2 υπολογίζουμε τις ανθρώπινες απώλειες και τα κτίρια που έχουν υποστεί ζημιές αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας αναλυτικές εκτίμησης φασματικής επιτάχυνσης – μετατόπισης με βάση τις μεθοδολογίες HAZUS 99(FEMA, 1999) και HAZUS-MH(FEMA, 2003).



Εικόνα 3.1.Ενότητες λογισμικού ELER

3.2 Ενότητα HAZARD

Στην ενότητα HAZARD υπολογίζουμε την εδαφική κίνηση από ένα σεισμικό γεγονός, αφού εισάγουμε σε αυτό τα χαρακτηριστικά του σεισμικού φαινομένου, και τον τρόπο υπολογισμού της εδαφικής κίνησης (Εικόνα 3.2). Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε τα παρακάτω πεδία [5]:

- Event Data
- Source Type
- Site Correction
- Site Condition
- Ground Motion
- Instrumental Intensity

Εικόνα 3.2.Ενότητα HAZARD για το λογισμικό ELER

3.2.1 Event Data

Σε αυτό το πεδίο εισάγουμε το μέγεθος του σεισμού (Magnitude) σε μονάδες Richter, το γεωγραφικό πλάτος ((Latitude) και γεωγραφικό μήκος (Longitude) του σεισμού, το εστιακό βάθος του σεισμού (Depth) σε χιλιόμετρα και τέλος το όνομα της τοποθεσίας (Location String) (Εικόνα 3.3). Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται με δυο τρόπους [5]:

1. **XML file.** Με εισαγωγή αρχείου XML στο οποίο να υπάρχουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά (Magnitude, Latitude, Longitude, Depth, και Location String).
2. **Manual input.** Με απευθείας εισαγωγή των χαρακτηριστικών (Magnitude, Latitude, Longitude, Depth, και Location String).

The screenshot displays the 'HAZARD- Event Data' input window. On the left, several configuration sections are visible: 'Event Data' (radio buttons for XML File and Manual Input), 'Source Type' (radio buttons for Point Source, Event Specific Fault, and Auto Assign), 'Site Correction' (radio buttons for No Correction, Directly at Surface, Borcherdt (1994), and Eurocode 8), 'Vs-30 Grid' (radio buttons for Default Vs-30 Grid and Custom Vs-30 Grid), 'Ground Motion' (a dropdown menu), and 'Instrumental Intensity' (a dropdown menu). On the right, a map titled 'Event Location' shows a red star indicating the earthquake's location in Greece. Below the map, the 'Event Data: Manual Input' section contains input fields for Magnitude (6.7), Latitude (38.07), Longitude (23), Depth (11), and Location String (Athens), followed by a 'Save Event Data' button. At the bottom right, there are 'Run' and 'Clear All' buttons.

Εικόνα 3.3.Ενότητα HAZARD- Event Data για το λογισμικό ELER

3.2.2 Source Type

Σε αυτό το πεδίο καθορίζουμε τον τύπο της πηγής του σεισμού. Για σεισμούς με μικρό μέγεθος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την σημειακή πηγή (Point Source), ενώ για μεγαλύτερους χρησιμοποιούμε ως πηγή συγκεκριμένο ρήγμα (Event Specific Fault) [5]. Ποιο συγκεκριμένα:

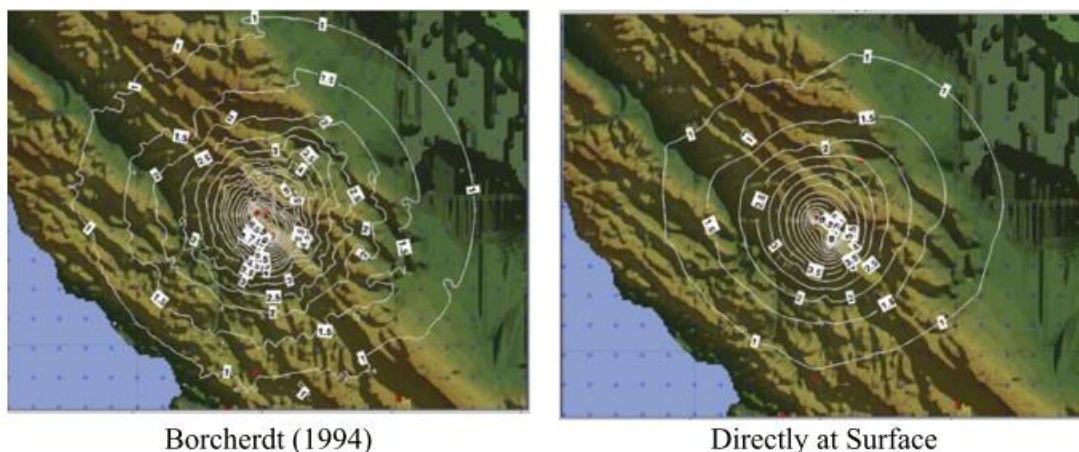
- Point Source. Η εισαγωγή γίνεται απευθείας από το Event Data
- Event Specific Fault. Η εισαγωγή γίνεται από ένα αρχείο text στο οποίο υπάρχουν οι συντεταγμένες του ρήγματος.
- Auto Assign. Η εισαγωγή του αρχείου text γίνεται από την ενότητα LEVEL O

3.2.3 Site Correction

Στο πεδίο αυτό καθορίζουμε με ποια μέθοδο θα γίνει η διόρθωση – ενσωμάτωση των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης ανάλογα με το γεωγραφικό υπόβαθρο της περιοχής σεισμού[5]. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούμε για αυτό είναι:

- No Correction. Εδώ ο υπολογισμός της εκτίμησης της εδαφικής κίνησης γίνεται σε βραχώδες υπόστρωμα. Οι υπολογισμοί γίνονται με διατρητική ταχύτητα εδάφους $V_{s30}=760\text{m/sec}$
- Borchardt(1994) [14]. Εδώ ο υπολογισμός της εκτίμησης της εδαφικής κίνησης γίνεται σε βραχώδες υπόστρωμα, αλλά γίνεται διόρθωση σύμφωνα με τους παράγοντες ενίσχυσης (F_a και F_v), χρησιμοποιεί γεωγραφικό υπόβαθρο V_{s30} . Οι υπολογισμοί γίνονται με διατρητική ταχύτητα εδάφους $V_{s30}=760\text{m/sec}$
- Eurocode 8. Η μέθοδος αυτή διαφέρει από την μέθοδο Borchardt(1994), στους παράγοντες ενίσχυσης (F_a και F_v) που χρησιμοποιεί για τους υπολογισμούς. Σε αυτή την μέθοδο χρησιμοποιούμε μόνο τις μέγιστες της εδαφικής επιτάχυνσης PGA, χρησιμοποιεί γεωγραφικό υπόβαθρο V_{s30} . Οι υπολογισμοί γίνονται με διατρητική ταχύτητα εδάφους $V_{s30}=760\text{m/sec}$
- Calculation of Surface. Αυτή η μέθοδος υπολογίζει την εκτίμηση της εδαφικής κίνησης κατευθείαν στην επιφάνεια του εδάφους, σύμφωνα με τις εξισώσεις κίνησης(Boore et al., 1997, Campbell and Bozorgnia, 2008, Boore and Atkinson, 2008, Chiou and Young, 2008) [18], χρησιμοποιώντας γεωγραφικό υπόβαθρο V_{s30} .

Στην εικόνα 3.4 υπάρχουν τα αποτελέσματα υπολογισμού διόρθωσης – ενσωμάτωσης των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης σύμφωνα με το γεωγραφικό υπόβαθρο της περιοχής σεισμού[5] σύμφωνα με τις μεθόδους Borchardt(1994) και Calculation of Surface.

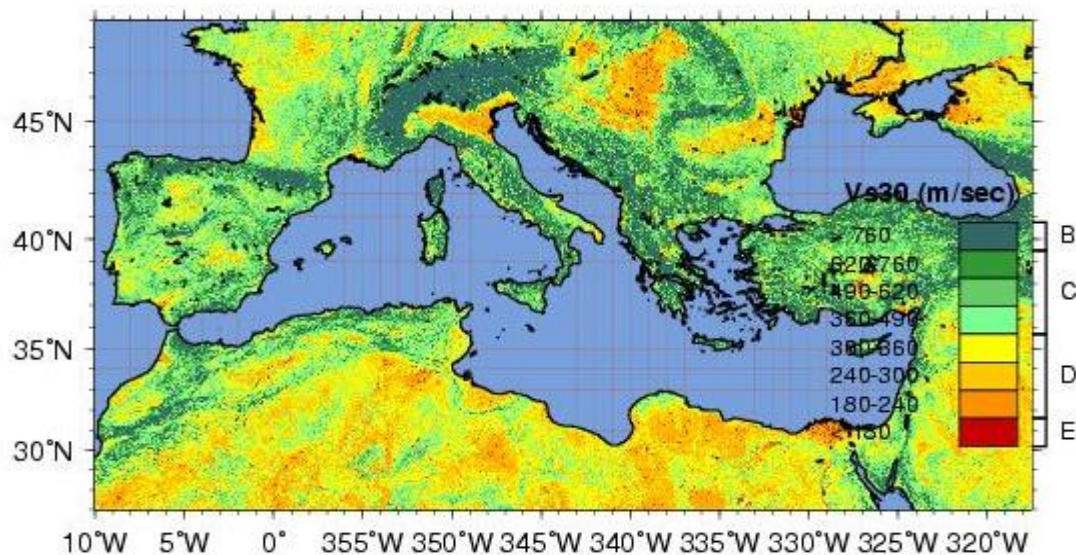


Εικόνα 3.4

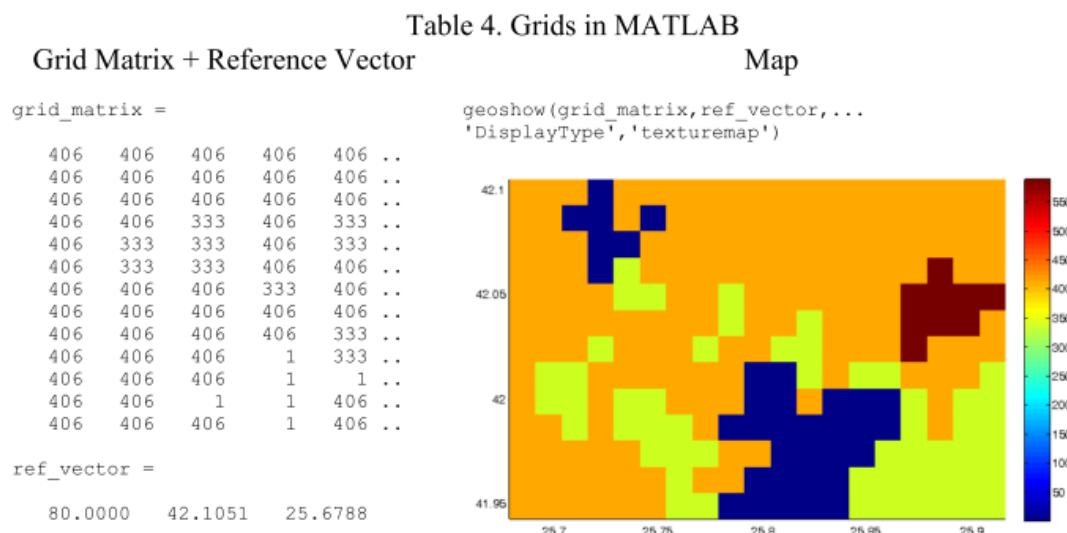
3.2.4 Site Condition- (Vs-30 Grid)

Σε αυτό το πεδίο εισάγουμε το γεωγραφικό υπόβαθρο Vs-30 (η διατρητική ταχύτητα των κυμάτων σε βάθος 30m) της περιοχής του σεισμού. Το λογισμικό ELER έχει δυο τρόπους εισαγωγής του γεωγραφικού υπόβαθρου Vs-30 [5]:

1. Default Vs-30 Grid. Προεπιλεγμένο γεωγραφικό υπόβαθρο Vs-30 που περιέχει όλη την περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου που έχει συνταχθεί από U.S.G.S. Global Vs-30 Map Server [15] (Εικόνα 3.5).
2. Custom Vs-30 Grid. Σε αυτό το πεδίο μπορούμε να εισάγουμε το γεωγραφικό υπόβαθρο Vs-30 σε αρχείο MATLAB, όπου σε κάθε κελί του αρχείου υπάρχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του χάρτη Vs-30 (Εικόνα 3.6)



Εικόνα 3.5.Χαρτης με το γεωλογικό υπόβαθρο Vs-30 στην Ευρώπη από U.S.G.S



Εικόνα 3.6. Γεωλογικό υπόβαθρο Vs-30 σε αρχείο MATLAB

3.2.5 Ground Motion Prediction Equations (GMPEs)

Σε αυτό το πεδίο επιλέγουμε τις εμπειρικές σχέσεις (GMPEs) με τις οποίες θα υπολογίσουμε την εδαφική κίνηση (PGA,PGV). Αυτό μπορεί να γίνει είτε επιλέγοντας «user Defined GMPE» και εισάγοντας από αρχείο text τα χαρακτηριστικά μιας εμπειρικής σχέσης (GMPE), είτε από προεπιλεγμένες εμπειρικές σχέσεις (GMPEs)[5]. Συγκεκριμένα το ELER μας δίνει την δυνατότητα να επιλεγούμε από τις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις (GMPEs):

- user Defined GMPE
- Boore et. al.,1997
- Boatwright et. al., 2007
- Akkar and Bommer, 2007
- Boore and Atkinson, 2008
- Campbell and Bozorgnia, 2008
- Chiou and Youngs, 2008
- Abrahamson and Silva, 1997
- Sadigh et. al., 1997

3.2.6 Εξισώσεις Boore and Atkinson 2008

Οι εξισώσεις Boore and Atkinson 2008 (3.1) περιλαμβάνουν εξισώσεις πρόβλεψης της εδαφικής κίνησης για την μέση οριζόντια συνιστώσα της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης PGA, της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV και του φάσματος επιτάχυνσης με απόσβεση 5% PSA (Περίοδου 0.01sec-10sec)[15].

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + e \cdot \sigma_\tau \quad (3.1)$$

Όπου:

I. $F_M(M)$ εξίσωση που εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού

Για $M \leq M_h$

$$F_M(M) = e_1 \cdot U + e_2 \cdot SS + e_3 \cdot NS + e_4 \cdot RS + e_5 \cdot (M - M_{ref}) + e_6 \cdot (M - M_h)^2 \quad (3.2)$$

Για $M > M_h$

$$F_M(M) = e_1 \cdot U + e_2 \cdot SS + e_3 \cdot NS + e_4 \cdot RS + e_7 \cdot (M - M_h) \quad (3.3)$$

Οι οροί U,SS,NS,RS είναι πλασματικές μεταβλητές που προσδιορίζουν για κάθε τύπο ρήγματος διάφορα χαρακτηριστικά του (άγνωστο, οριζοντίου διάρρηξης, κανονικό και ανάστροφο) και οι τιμές τους φαίνονται στο πίνακα της εικόνας (3.7)

Fault Type	U	SS	NS	RS
Unspecified	1	0	0	0
Strike-slip	0	1	0	0
Normal	0	0	1	0
Thrust/reverse	0	0	0	1

(Εικόνα 3.7. Τιμές για τους όρους U,SS,NS,RS)

Το λογισμικό ELER έχει για τα χαρακτηριστικά άγνωστο, οριζοντίου διάρρηξης, κανονικό και ανάστροφο τις τιμές παρακάτω τιμές:

- 1 για Unspecified fault
- 2 για Strike slip fault
- 3 για Normal fault
- 4 για reverse fault

II. $F_D(R_{JB}, M)$ εξίσωση που εξαρτάται από το μέγεθος και απόστασης του σεισμού.

$$F_D(R_{JB}, M) = [C_1 + C_2 \cdot (M - M_{ref})] \cdot \ln\left(\frac{R}{R_{ref}}\right) + C_3 \cdot (R - R_{ref}) \quad (3.4)$$

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2} \quad (3.5)$$

C_1 = γεωμετρικός ρυθμός διάδοσης (κλίση) για ένα γεγονός με μέγεθος $M=M_{ref}$

C_2 =μεσο για να περιγραφεί η αλλαγή στην απόσταση της εξάρτησης με Το μέγεθος

C_3 =ανελαστικός όρος που εκφράζει την καμπυλότητα

h = ψευδοβάθος

M_{ref} = μέγεθος αναφοράς

R_{ref} = απόσταση αναφοράς

III. $F_S(V_{S30}, R_{JB}, M)$ εξίσωση που εξαρτάται από το μέγεθος απόστασης και την περιοχή του σεισμού

$$F_S = F_{LIN} + F_{LN} \quad (3.6)$$

F_{LIN} (γραμμικός όρος)

$$F_{LIN} = b_{LIN} \cdot \ln\left(\frac{V_{S30}}{V_{ref}}\right) \quad (3.7)$$

F_{LN} (μη γραμμικός όρος)

A) Για $PGA_{4ln} \leq \alpha_1$ ($\alpha_1=0.03g$)

$$F_{NL} = b_{nl} \cdot \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) \quad (3.8)$$

B) Για $\alpha_1 < PGA_{4ln} \leq \alpha_2$ ($\alpha_1=0.03g$, $\alpha_2=0.09g$)

$$F_{NL} = b_{nl} \cdot \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) + C \left[\ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right) \right]^2 + d \cdot \left[\ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right) \right]^3 \quad (3.9)$$

Γ) Για $\alpha_2 < PGA_{4ln}$ ($\alpha_2=0.09g$)

$$F_{NL} = b_{nl} \cdot \ln\left(\frac{pga_{4nl}}{0.1}\right) \quad (3.10)$$

IV. Συντελεστής ε είναι η τυπική απόκλιση που έχει μια μεμονωμένη τιμή του LnY

V. Συντελεστής σ_τ υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση

$$\sigma_\tau = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (3.11)$$

σ = τυχαία αβεβαιότητα του ένδο-γεγονότος

τ = τυχαία αβεβαιότητα μεταξύ των γεγονότων

3.2.7 Instrumental Intensity

Σε αυτό το πεδίο μπορούμε να εισάγουμε τον τρόπο κατανομής των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης PGA & PGV σύμφωνα με την κατανομή που έχει αναπτυχθεί από Wald et. al. (1999a and 1999b) [5]. Οι εξισώσεις υπολογισμού έχουν αναπτυχθεί με βάση σεισμούς με μέγεθος 5.8-7.3(M) στην Καλιфорνία (3.12) και (3.13)

Για εκτίμηση έντασης $V < I_{mm} < VIII$ σχετικές με το PGA

$$I_{mm} = 3.66 \log(PGA) - 1.66 \quad (3.12)$$

Για εκτίμηση έντασης $V < I_{mm} < IX$ σχετικές με το PGV

$$\text{Imm}=3.47\log(\text{PGV}) +2.35$$

(3.13)

3.3 Ενότητα LEVEL 0

Η ενότητα LEVEL 0 (Εικόνα 3.8) στο λογισμικό ELER έχει την δυνατότητα να υπολογίζει μόνο τις ανθρώπινες απώλειες για μεγάλες γεωγραφικές περιοχές από ένα σεισμικό γεγονός. Για να γίνει αυτό, χρειάζεται να του εισάγουμε το πλέγμα έντασης (Intensity Grid), την πηγή (Source) και το μέγεθος (Magnitude)[5]

Εικόνα 3.8. Ενότητα LEVEL 0 στο λογισμικό ELER)

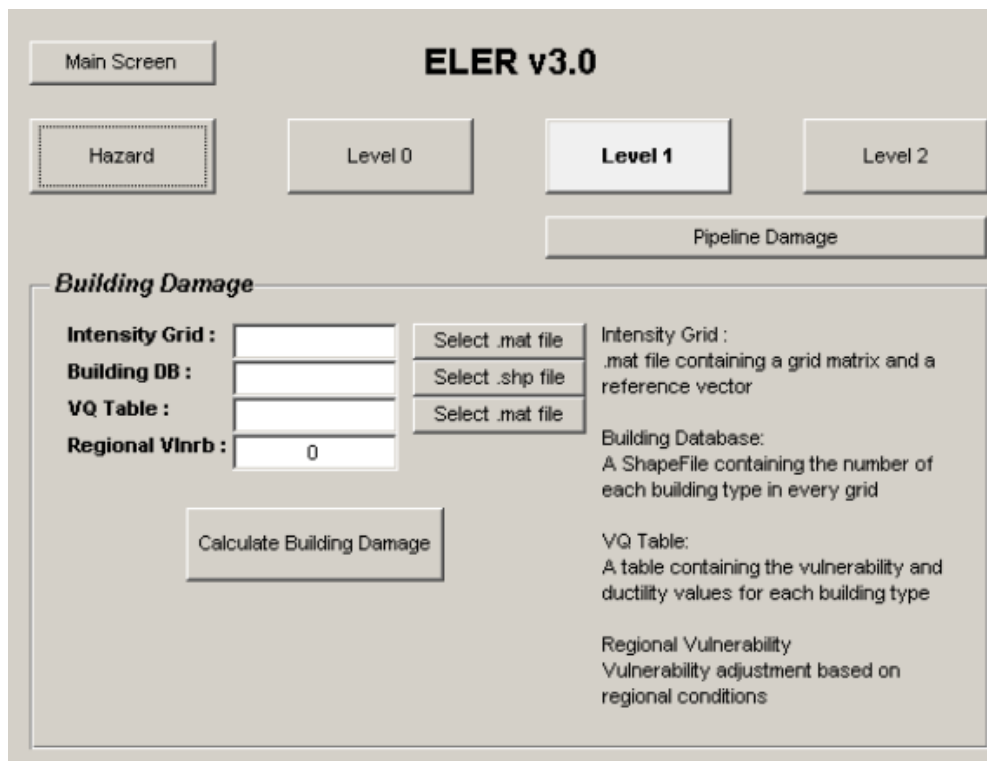
Ποιο συγκεκριμένα έχουμε την δυνατότητα να εισάγουμε στο λογισμικό ELER:

- Intensity Grid. Η εισαγωγή γίνεται είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε με εισαγωγή αρχείου MATLAB
- Source. Η εισαγωγή γίνεται είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε με εισαγωγή αρχείου MATLAB ή text
- Magnitude. Η εισαγωγή γίνεται είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε με εισαγωγή στο πεδίο.

3.4 Ενότητα LEVEL 1

Στην ενότητα LEVEL 1 (Εικόνα 3.9) το λογισμικό ELER έχει την δυνατότητα να υπολογίζει τις απώλειες από ένα σεισμικό γεγονός τόσο σε ανθρώπινες απώλειες όσο και στην κτιριακή υποδομή μιας περιοχής. Οι ανθρώπινες απώλειες υπολογίζονται με διάφορες μεθόδους(λεπτομέρειες στην παρ.3.4.2)., ενώ οι υπολογισμοί για τις ζημιές των κτιρίων βασίζονται στις σχέσεις τρωτότητας των Giovinazzi and Logomarsino 2005[5],[17]. Για να πραγματοποιηθούν αυτοί οι υπολογισμοί θα πρέπει στο λογισμικό ELER να εισαχθούν τα παρακάτω αρχεία:

- 1) **Intensity Grid.** Είναι ένα αρχείο MATLAB από το προηγούμενη ενότητα LEVEL 0
- 2) **Building DB.** Είναι ένα αρχείο shp (γεωπληροφορικής) στο οποίο έχει αποτυπωθεί ο χάρτης της περιοχής και έχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την κτιριακή υποδομή της περιοχής.
- 3) **VQ Table.** Είναι ένα αρχείο MATLAB, στο οποίο υπάρχουν για κάθε τύπο κτιρίου η τρωτότητα, η πλαστιμότητα, η παράμετρος τ και το κόστος. (λεπτομέρειες στην παρ.3.4.1).
- 4) **Regional Vlnrb.**



Εικόνα 3.9. Ενότητα LEVEL 1 στο λογισμικό ELER

3.4.1 Building DB(Damage Building)

Όπως προαναφέραμε στην παράγραφο 3.4 σε αυτό το πεδίο θα πρέπει να εισάγουμε ένα αρχείο MATLAB, στο οποίο υπάρχουν για κάθε τύπο κτιρίου η τρωτότητα, η πλαστιμότητα, η παράμετρος t και το κόστος.

Η μέθοδος για τον καθορισμό της τρωτότητας των διαφόρων τύπων κτιρίου αναπτύχθηκε από Giovinazzi και Logomarsino (2004) με βάση τα παρατηρούμενα στοιχεία για την τρωτότητα του κάθε τύπου κτιρίου, σε σχέση με την ένταση I του σεισμού, από την European Macroseismic Scale (EMS-98, Grunthal, 1998) (Πίνακας 3.1). Τα στοιχεία αυτά για την τρωτότητα των κτιρίων, από την (EMS-98, Grunthal, 1998), είναι περιγραφικά και συνεπώς αρκετά αόριστα και ελλιπή. Αυτό συμβαίνει γιατί η τρωτότητα καθορίζεται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι το είδος του εδάφους καθώς και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την σεισμική συμπεριφορά. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε με την εισαγωγή κατανομής Βήτα σε σχέση με τις παρατηρούμενες τάξεις βλάβης. Για να γίνει αυτό, χρειάστηκε η ανάπτυξη μιας σχέσης, που να συνδέει τον μέσο βαθμό βλάβης, μ_D (μέση τιμή κατανομής β), την ένταση I του σεισμού και τον δείκτη τρωτότητας V (Εξίσωση 3.14)

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.5V - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (3.14)$$

Πίνακας 3.1. Απόδοση των τάξεων τρωτότητας για κάθε τύπο κτιρίου

Typologies			Vulnerability Classes					
Building type			A	B	C	D	E	F
	M1	Rubble stone	■					
	M2	Adobe (earth bricks)	■	■				
	M3	Simple stone	■	■	■			
	M4	Massive stone	■	■	■	■		
	M5	Unreinforced M (old bricks)	■	■	■	■	■	
	M6	Unreinforced M with r.c. floors	■	■	■	■	■	■
	M7	Reinforced or confined masonry	■	■	■	■	■	■
Reinforced Concrete	RC1	Frame in r.c. (without E.R.D.)	■	■	■	■	■	■
	RC2	Frame in r.c. (moderate E.R.D.)	■	■	■	■	■	■
	RC3	Frame in r.c. (high E.R.D.)	■	■	■	■	■	■
	RC4	Shear walls (without E.R.D.)	■	■	■	■	■	■
	RC5	Shear walls (moderate E.R.D.)	■	■	■	■	■	■
	RC6	Shear walls (high E.R.D.)	■	■	■	■	■	■
Stell	S	Steel structures	■	■	■	■	■	■
Tiber	W	Timber structures	■	■	■	■	■	■

■ Πολύ πιθανή τάξη τρωτότητας

■ Πιθανή τάξη τρωτότητα

■ Μη πιθανή τάξη τρωτότητας

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι δείκτες τρωτότητας που λαμβάνονται για διαφόρους τύπους κτιρίων σύμφωνα με Giovinazzi and Logomarsino (2004). Επειδή η μεθοδολογία σύμφωνα με την EMS-98, δίνει την τρωτότητα με περιγραφικούς όρους (Πολύ πιθανή-Πιθανή-Μη πιθανή),

μπορούμε για να έχουμε καλύτερη ερμηνεία των όρων αυτών, αν αντιστοιχήσουμε τους όρους αυτούς με:

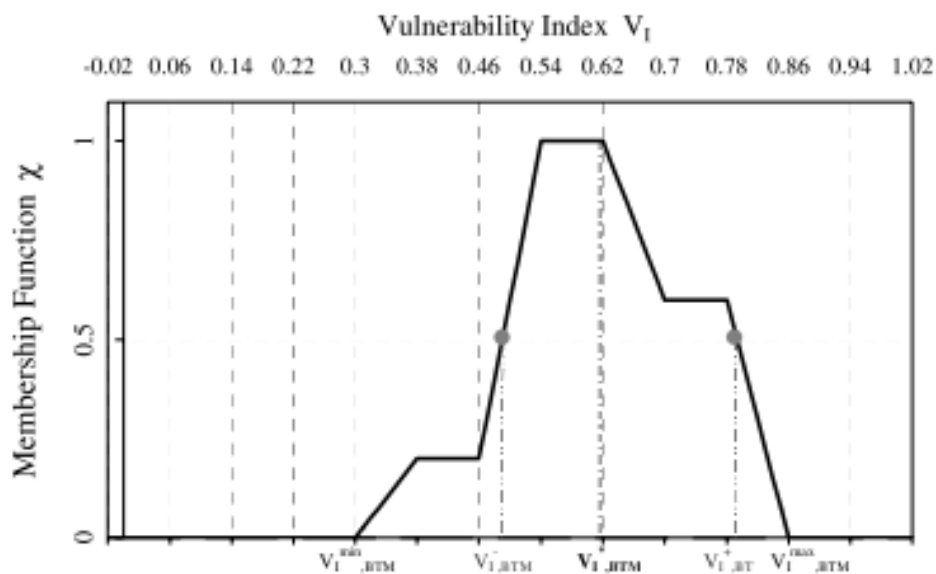
($\chi=1$) για πολύ πιθανή τάξη τρωτότητας

($\chi=0.6$) για πιθανή τάξη τρωτότητα

($\chi=0.2$) για μη πιθανή τάξη τρωτότητας

Έτσι είναι μπορούμε να ορίσουμε την τρωτότητα του κάθε τύπου κτιρίου, με έναν συνδυασμό από μέλη συνάρτησης εκφρασμένης με γραμμικό τρόπο. Ένα παράδειγμα μελών του γραμμικού συνδυασμού της τρωτότητας, παρουσιάζεται στην *εικόνα 3.10* για το τύπο κτιρίου M4 (massive stone massorny) και έτσι ορίζεται:

$$\chi_{M4}(V_1) = \chi_c(V_1) + 0.6 \chi_B(V_1) + 0.2 \chi_D(V_1) \quad (3.15)$$



Εικόνα 3.10. Μέλη της συνάρτησης των δεικτών της τρωτότητας για τύπο κτιρίου M4 και τιμές V1

Από τον γραμμικό συνδυασμό των μελών της τρωτότητας ορίζουμε πέντε δείκτες (V_1^* , V_1^- , V_{1min} , V_1^+ , V_{1max}) που αντιπροσωπεύουν την τρωτότητα, για κάθε τύπο κτιρίου.

- V_1^* υπολογίζεται ως το κέντρο βάρους των μελών της συνάρτησης από V_1^- και V_1^+ (που ορίζονται από 0.5)
- V_{1min} και V_{1max} αντιστοιχούν στα κάτω και άνω όρια των τιμών του V_1

Πίνακας 3.2. Δείκτες τρωτότητας για διαφορετικούς τύπους κτιρίων

Typologies		Building type	ulnerabilità Classes				
			V_{Imin}	V_I^-	V_I^*	V_I^+	V_{Imax}
Masonry	M1	Rubble stone	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2	Adobe (earth bricks)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Simple stone	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4	Massive stone	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5	Unreinforced M (old bricks)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6	Unreinforced M with r.c. floors	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7	Reinforced or confined masonry	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
Reinforced Concrete	RC1	Frame in r.c. (without E.R.D.)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Frame in r.c. (moderate E.R.D.)	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Frame in r.c. (high E.R.D.)	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Shear walls (without E.R.D.)	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Shear walls (moderate E.R.D.)	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Shear walls (high E.R.D.)	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Stell	S	Steel structures	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
Tiber	W	Timber structures	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Η κατανομή βήτα που ταιριάζει καλύτερα στην περίπτωση των μεταβλητών της τρωτότητας των κτιρίων εκφράζεται στην εξίσωση 3.16. [5],[24] και ο μέσος βαθμός βλάβης, μ_D (μέση τιμή κατανομής β) καθορίζεται:

$$PDF : p_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b \quad (3.16)$$

$$\mu_x = a + \frac{r}{t}(b-a) \quad (3.17)$$

Όπου a , b , t και r είναι οι παράμετροι της κατανομής και μ_x είναι η μέση τιμή της συνεχούς μεταβλητή x , η οποία κυμαίνεται μεταξύ a και b . Για να χρησιμοποιήσουμε την κατανομή βήτα, είναι απαραίτητο να γίνει αναφορά στο βαθμό βλάβης D , η οποία είναι μια συγκεκριμένη μεταβλητή (5 βαθμοί ζημιών συν την απουσία ζημιών), για το σκοπό αυτό είναι σκόπιμο να εκχωρήσουμε την τιμή 0 στην παράμετρο a και τιμή 6 στην παράμετρο b . Ξεκινώντας από αυτήν την υπόθεση, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η πιθανότητα που σχετίζεται με το βαθμό βλάβης k ($k = 0,1,2,3,4,5$), ως εξής:

$$Pk = P_{\beta}(K+1) \cdot P_{\beta}(k) \quad (3.18)$$

Με βάση αυτά η εξισώσεις 3.17 και 3.19 μπορούν να μας δώσουν την εξίσωση 3.20 και στην συνέχεια είναι δυνατόν να συσχετίσουμε τις δύο παραμέτρους της κατανομής βήτα (t και r) με τη μέση βαθμολογία βλάβης μ_D (εξίσωση 3.21)

$$\mu_D = \sum_{k=0}^5 p_k \cdot k \quad (3.19)$$

$$\mu_x = 0.042 \cdot \mu_D^3 - 0.315 \cdot \mu_D^2 + 1.725 \cdot \mu_D \quad (3.20)$$

$$r = t(0.007\mu_D^3 - 0.0525\mu_D^2 + 0.2875\mu_D) \quad (3.21)$$

Στην εξίσωση 3.21 ο μόνος άγνωστος είναι η παράμετρος της κατανομής t . Η παράμετρος t επηρεάζει τη διασπορά της κατανομής βήτα, (όπου η αύξηση t μειώνει την διασπορά.). Έτσι χρησιμοποιείται $t = 8$, η κατανομή βήτα φαίνεται πολύ παρόμοια με την διωνυμική κατανομή. Το λογισμικό ELER χρησιμοποιεί τις τιμές για την παράμετρο t που βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα (Πίνακας 3.3)[5].

Πίνακας 3.3. Παράμετρος t σύμφωνα με Giovinazzi and Logomarsino 2004

Building Typologies	t	
	M1, M2, M3	6
	M4, M5, M6, M7, RC4, RC5, RC6	4
	RC1, RC2, RC3, S, W	3

Τέλος θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στο λογισμικό ELER στην ενότητα LEVEL 1 μπορούμε να εισάγουμε σαν τρωτότητα κτιρίου οποιαδήποτε τιμή θέλουμε που να είναι σύμφωνα με άλλη μεθοδολογία (π.χ. HAZUS).

3.4.2 Μέθοδοι αποτίμησης των ανθρώπινων απωλειών

Οι ανθρώπινες απώλειες υπολογίζονται με διάφορες μεθόδους στο λογισμικό ELER., όπως η μέθοδος Coburn & Spence (1992), η μέθοδος Korei (2002) και η μέθοδος RISK UE, [5]:

α) Μέθοδος Coburn & Spence (1992)

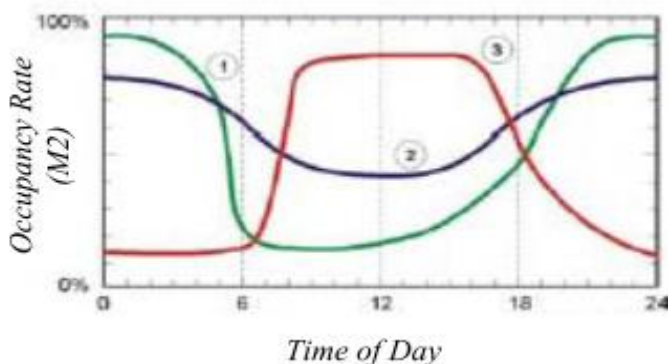
Οι κτηριακές απώλειες, σύμφωνα με την μέθοδο Coburn & Spence (1992), υπολογίζονται από την σχέση:

$$K_{sb} = TC_b \times [M_1 \times M_2 \times M_3 \times (M_4 + M_5(1 - M_4))] \quad (4.12)$$

Όπου: TC_b (ο συνολικός αριθμός των κτιρίων κατέρρευσαν του τύπου b)

M_1 (παράγοντας που λαμβάνει υπόψη την περιφερειακή διαφοροποίηση του πληθυσμού ανά κτίριο)

M_2 (συντελεστής λαμβάνει υπόψη την πληρότητα ανάλογα με το χρόνο)
(Εικόνα 3.11)



1. Αγροτικές κατοικίες
2. Αστικές κατοικίες
3. Μη αστικές κατοικίες

Εικόνα 3.11

M3 (παράγοντας που λαμβάνει υπόψη το ποσοστό των παγιδευμένων κατοίκων κάτω από κτίρια που κατέρρευσαν) (Πίνακας 3.3)

Πίνακας 3.3..Ποσοστό παγιδευμένων κατοίκων ανά τύπο κτιρίου που έχει καταρρεύσει

Collapsed Masonry Buildings (up to 3 storeys)				
MSK Intensity	VII 5%	VIII 30%	IX 60%	X 70%
Collapsed RC Structures (3-5 storeys)				
Near-field, high-frequency ground motion			70%	
Distant, long period ground motion			50%	

M4 (παράγοντας που λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικό τραυματισμό των παγιδευμένων κατοίκων. (Πίνακας 3.4)

Πίνακας 3.4. Ποσοστό είδους τραυματισμού παγιδευμένων κατοίκων

Injury Category	Masonry	RC
Light Injury (S1)	20%	10%
Injury requiring hospital treatment (S2)	30%	40%
Severe Injury (S3)	30%	10%
Dead or unsaveable (S4)	20%	40%

M5 (παράγοντας που λαμβάνει υπόψη το διαφορετικό επίπεδο τραυματισμού του παγιδευμένων κατοίκων ανάλογα με το χρόνο) (Πίνακας 3.5)

Πίνακας 3.5.Ποσοστό είδους τραυματισμού παγιδευμένων κατοίκων ανάλογα με το χρόνο

Situation	Masonry	RC
Level 1: Community incapacitated by high casualty rate	95%	-
Level 2: Community capable of organizing rescue activity	60%	90%
Level 3: Community + emergency squads after 12 hours	50%	80%
Level 4: Community + emergency squads+SAR experts after 36 hours	45%	70%

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 17 και τις τιμές από τους πίνακες 3.3, 3.4 και 3.5, υπολογίζουμε τα ποσοστά ατυχημάτων που ισχύουν αμέσως μετά τον σεισμό, για κτίρια από τοιχοποιία και από οπλισμένο σκυρόδεμα στα αντίστοιχα επίπεδα σοβαρότητας τραυματισμών (Πίνακες 3.6 και 3.7)

Πίνακας 3.6. Ποσοστά ατυχημάτων για κτίρια από τοιχοποιία

	Intensity	Injury distribution at collapse				Post
		S1	S2	S3	S4	S4
Masonry building	VII	0.01	0.015	0.015	0.01	0.03
	VIII	0.06	0.09	0.09	0.06	0.18
	IX	0.12	0.18	0.18	0.12	0.36
	X	0.14	0.21	0.21	0.14	0.42

Πίνακας 3.7. Ποσοστά ατυχημάτων για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα

	Frequency content	Injury distribution at collapse				Post
		S1	S2	S3	S4	S4
Reinforced Concrete Building	Near-field, high frequency Ground motion	0.07	0.28	0.07	0.28	0.62
	Distant, long period ground motion	0.05	0.2	0.05	0.2	0.44

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι, ο αριθμός των κτιρίων και ο πληθυσμός, που αντιστοιχεί σε κάθε τετράγωνο του κανάβου των GIS χαρτών, που χρησιμοποιεί το λογισμικό ELER ως υπόβαθρο, έχει πολύ μεγάλη σημασία για την εκτίμηση τραυματισμών. Η εκτίμηση των τραυματισμών θα γίνει βάση τον μέσο αριθμό κατοίκων ανά τύπο κτιρίου. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να γίνει αρχικά, μια εκτίμηση για το μέσο αριθμό διαμερισμάτων ανά τύπο κτιρίου (αυτό γίνεται σε συνάρτηση των αριθμών των ορόφων). Ο χρήστης του λογισμικού (ELER) καθορίζοντας τον αριθμό διαμερισμάτων ανά τύπο κτιρίου και τον πληθυσμό (είτε με βάση τα πληθυσμιακά στοιχεία που εισάγει ο ίδιος, είτε με βάση την προεπιλεγμένα πληθυσμιακά στοιχεία της βάσης δεδομένων του λογισμικού), το λογισμικό υπολογίζει το μέσο αριθμό κατοίκων ανά διαμέρισμα. Η ανάλυση της απογραφής του πληθυσμού και τα των περιοχών της πόλης της Κωνσταντινούπολης αποκάλυψε κατά μέσο όρο τρία άτομα ανά μονάδα κατοικίας στην Κωνσταντινούπολη (πίνακας 3.8) (KOERI, 2002)

Πίνακας 3.8. Πληθυσμός ανά τύπο κτιρίων στην Κωνσταντινούπολη

Building Type	Number of floors	Number of dwelling units	Population
Low Rise	1 -4	3	9
Mid Rise	5-8	12	36
High Rise	>=9	32	96

β) Μέθοδος Koeri (2002)

Το ποσοστό των ανθρώπινων τραυματισμών, ειδικά των θανάσιμων τραυματισμών, εξαρτάται από την πιθανότητα για κατάρρευση των κτιρίων. Η μέθοδος Koeri (2002), που αναπτύχθηκε από Erdik and Aydinogly (2002), βασίζεται στα δεδομένα από τους σεισμούς της Τουρκίας. Σύμφωνα με αυτά, οι ανθρώπινες απώλειες από τους σεισμούς στην Τουρκία, δείχνουν πολύ μεγάλο ποσοστό θανάτων από καταρρεύσεις των πολυώροφων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα στοιχεία από το σεισμό του Erzincan-1992 δείχνουν ότι για κάθε κατάρρευση κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, είχαμε 1 θάνατο και 3 τραυματισμούς που χρειάστηκαν νοσηλεία (Erdik 1993). Παρόμοια στατιστικά στοιχεία έχουμε και από τον σεισμό του Kocaeli-1999. Περίπου 20.000 κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα κατέρρευσαν ή είχαν σοβαρές ζημιές και συνολικά οι νεκροί έφτασαν τους 19.000.

Το ποσοστό των θανάτων από τους τραυματίες που είχαν νοσηλευτεί έφτασε το 1:2.5. Για την εκτίμηση των ανθρώπινων απωλειών έχουμε ότι ο αριθμός των θανάτων είναι ίσος με τον αριθμό

κτιρίων με επίπεδο βλαβών D4 και D5, ενώ ο αριθμός των σοβαρών τραυματισμών είναι ίσος με τον αριθμό των θανάτων πολλαπλασιασμένος με 4. (πίνακας 3.9)

Πίνακας 3.9.Πιθανότητες επιπέδου τραυματισμού ανάλογα με το επίπεδο βλάβης κτιρίου

Damage State	Range	Minor Injuries	Serios Injuries	Deaths
Slight	0-1	3/100,000	1/250,000	1/1,000,000
Light	1-10	3-10,000	1/25,000	1/100,000
Moderate	10-30	3/1,000	1/2,500	1/10,000
Heavy	30-60	3/100	1/250	1/1,000
Major	30-100	3/10	1/25	1/100
Destroyed	100	2/5	2/5	1/5
		RATE=30A	RATE=4A	RATE=A

γ)Μέθοδος RISK UE

Η μέθοδος Risk- UE βασίζεται στην στατιστική ανάλυση των στοιχείων από τους θανάτους, τους σοβαρούς τραυματισμούς και τους αστέγους από τους σεισμούς της Ιταλίας, που αναπτύχθηκε στην μελέτη του Bramerini et. al. (1995). Η εργασία αυτή υπολογίζει τους τραυματισμούς και τους αστέγους ανάλογα με το ποσοστό των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβη στα επίπεδα βλάβης D4 και D5. (Πίνακας 3.10

Πίνακας 3.10.Τραυματισμοί και Άστεγοι ανάλογα με το ποσοστό των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβη

Συνέπειες για τους ανθρώπους και τις επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον		
Κτίρια	Ακατάλληλα για κατοικία (προσωρινή)	40% των κτιρίων σε επίπεδο ζημιών D3 και 100% των κτιρίων σε επίπεδο Ζημιών D4 & D5
	κατάρρευση	κτιρίων σε επίπεδο ζημιών D5
Άνθρωποι	Άστεγοι	Το 100% των κατοίκων των προσωρινών ακατάλληλων κτιρίων για κατοικία – απώλειες και σοβαρά τραυματισμένοι
	απώλειες και σοβαρά τραυματισμένοι	Το 30% των κατοίκων των κτιρίων που έχουν κατάρρευση

3.4.3 Economic Loss

Οι οικονομικές απώλειες υπολογίζονται στο λογισμικό ELER στο πεδίο Economic Loss (Εικόνα 3.11). Το κόστος από τις πιθανές βλάβες των κτιρίων από έναν σεισμό, δεν είναι μόνο το κόστος αντικατάστασης των βλαβών, αλλά και το κόστος από την διακοπή χρήσης του. Συνεπώς μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση[5]:

$$\text{Loss (Btype,D}_k\text{)} = \text{LR(D}_k\text{)} \times \text{RC(Btype)} \quad (3.22)$$

Όπου: $\text{LR(D}_k\text{)}$ =κόστος λόγω διακοπής λειτουργίας

RC(Btype) = κόστος αντικατάστασης

ELER v3.1

Main Screen Hazard Level 0 **Level 1** Level 2

Pipeline Damage

Economic Loss

Select a building type:
TOTAL

Loss ratio vs. damage class

D1	D2	D3	D4	D5
5	20	50	80	100

Calculate Losses Back

Εικόνα 3.11. Economic Loss στο λογισμικό ELER

Το ELER υπολογίζει μόνο τις οικονομικές απώλειες για την αντικατάσταση των κτιρίων. Αυτός ο υπολογισμός βασίζεται σε προεπιλεγμένες τιμές για τις τιμές αντικατάστασης και πολλαπλασιάζονται με τα διάφορα ποσοστά αντικατάστασης που έχουμε επιλέξει για κάθε επίπεδο βλάβης. Οι προεπιλεγμένες τιμές για τις οικονομικές απώλειες (δομικές και μη δομικές) είναι κατά των KOERI(2002):

D1=5%, D2=20%, D3=50%, D4=80%, D5=100%

3.5 Ταξινόμηση κτιρίων

Η Ταξινόμηση των κτιρίων περιγράφει το υλικό κατασκευής, το σύστημα κατασκευής, το σύστημα δόμησης και το ύψος. Υπάρχουν αρκετές ταξινομήσεις των κτηρίων όπως σύμφωνα με EMS'98 και HAZUS99 ανάλογα το σύστημα κατασκευής (Πίνακας 3.11) και ανάλογα με το υλικό κατασκευής (Πίνακας 3.12), ενώ σύμφωνα με HAZUS99 ανάλογα με το ύψος τους (Πίνακας 3.13)

Πίνακας 3.11. Κατάταξη ανάλογα με το σύστημα κατασκευής σύμφωνα με EMS '98 και HAZUS99

EMS'1998
Without ERD
Moderate ERD
High ERD

HAZUS99
Pre-Code
Low-Code
Medium-Code
High-Code

Πίνακας 3.12. Κατάταξη ανάλογα με το υλικό κατασκευής σύμφωνα με EMS '98 και HAZUS99

EMS 98 Classification	HAZUS99 Classification
Unreinforced Masonry	Masonry Typologies
Rubble Stone	Unreinforced Masonry Bearing Walls (URM)
Adobe (earth bricks)	
Simple Stone	
Massive Stone	
U. Masonry (old brick)	
U Masonry – R.C.floors	
Reinforced / confined masonry	Reinforced / confined masonry
Reinforced / confined masonry	RM Bearing walls with wood or metal deck diaphragms
	RM Bearing walls with precast concrete diaphragms
Reinforced Concrete	Reinforced Concrete
Frame in R.C.	Concrete Moment Frame
Shear Walls	Concrete Shear Walls
	Concrete Frame with U. Masonry Infill Walls
Steel Typologies	Steel Typologies
Steel Structures	Steel Moment Frame Low Rise
	Steel Braced Frame
	Steel Light Frame
	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls
	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls
Timber Typologies	Timber Typologies
Timber structures	Wood, Light Frame
	Wood, Commercial and Industrial
	Pre Cast Typologies
	Precast Concrete Tilt-Up Walls
	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls
	Mobile Homes

Πίνακας 3.13. Κατάταξη ανάλογα με το ύψος σύμφωνα με EMS '98 και HAZUS99

	Floor Number
Low – Rise	1-3
Mid – Rise	4-7
High – Rise	8+

*Low Rise=1-2 for URM and W1

3.6 Ενότητα LEVEL 2

Στην ενότητα LEVEL 2 (Εικόνα 3.12) η εκτίμηση των ζημιών των κτιρίων βασίζεται στην αξιολόγηση με βάση την μέθοδο σύγκριση του φάσματος απαίτησης του σεισμικού γεγονότος και του φάσματος ικανότητας του κάθε τύπου κτιρίου[5]. Σε αυτή την ενότητα έχουμε πιο αναλυτικό υπολογισμό των σεισμικών απωλειών γιατί αυτές υπολογίζονται, όχι με βάση την καμπύλη τρωτότητας για μια μέση τιμή όπως στην ενότητα LEVEL 1, αλλά με βάση τις καμπύλες τρωτότητας για διάφορα επίπεδα βλάβης. Τα κυριότερα στοιχεία αυτής της μεθόδου είναι :

- Η σεισμική απαίτηση (φάσμα απαίτησης)
- Δομικό σύστημα (Φάσμα ικανότητας κτιρίου)
- Εκτίμηση σεισμικής απόκρισης (Μέθοδος Κατανομής σημείων)
- Πιθανότητες βλάβης (Καμπύλες τρωτότητας)

ELER v3.1

Main Screen
Hazard
Level 0
Level 1
Level 2

Pipeline Damage

Level 2

Demand Spect. : IBC2006

Method : CSM

Classification : EUROPE

Building DB : Select .shp file

Magnitude : 6

Vs30 Grid : bedrock Select .mat file

SA 0.2 Grid : Select .mat file

SA 1.0 Grid : Select .mat file

Calculate Building Damage

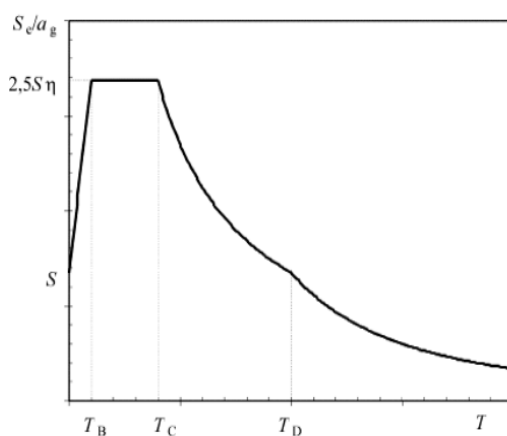
Vs30/SA 0.2/1.0 Grid :
.mat file containing a grid matrix and a reference vector

Building Database:
A ShapeFile containing the number of each building type in every grid

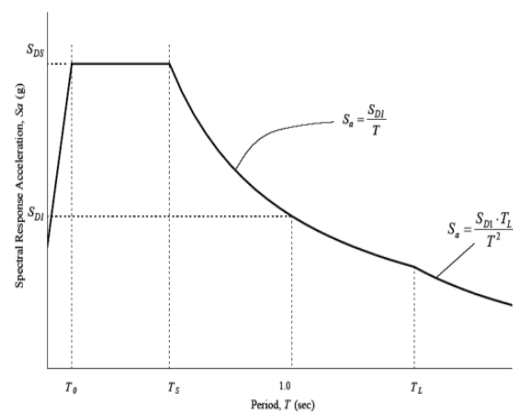
Εικόνα 3.12. Ενότητα LEVEL 2 στο λογισμικό ELER

Για να υπολογίσουμε την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών από ένα σεισμό στην ενότητα LEVEL 2, θα πρέπει να εισάγουμε τις πιο κάτω πληροφορίες:

- 1) **Demand Spectral:** Στο ELER έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε δυο ειδών φάσματα απαιτήσεως, α)Eurocode 8(Εικόνα 3.13), β) IBC 2006 (Εικόνα 3.14)



Εικόνα 3.13. Φάσμα απαίτησης Eurocode 8

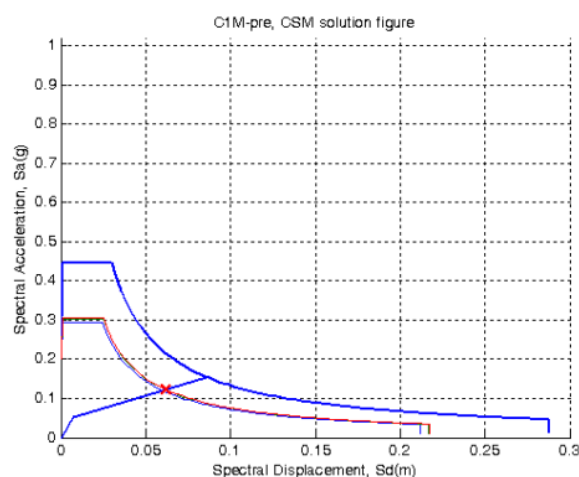
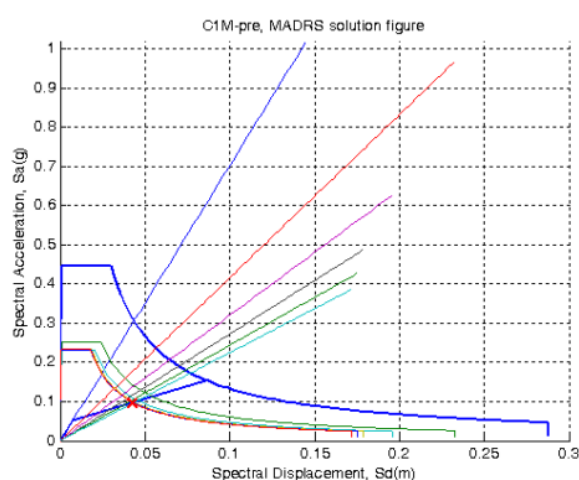


Εικόνα 3.14. Φάσμα απαίτησης IBC 2006

- 2) **Method:** Επιλογή της μεθόδου κατανομής σημείων – Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης (Πίνακας 3.14)

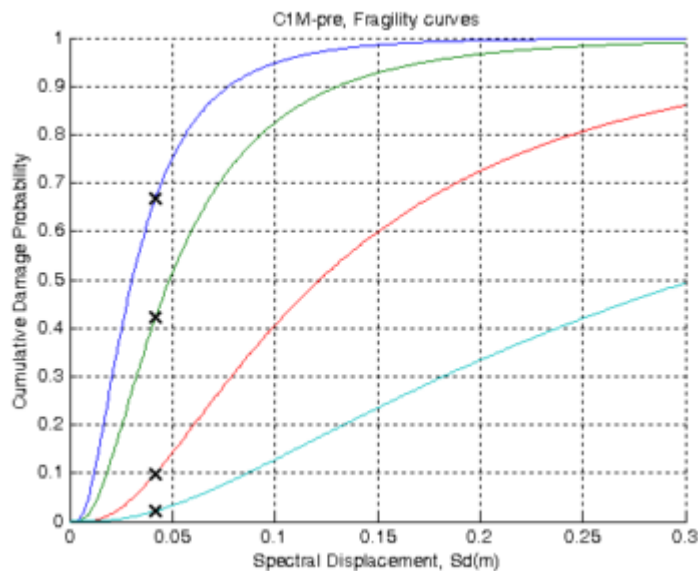
Πίνακας 3.14. Μέθοδοι υπολογισμού σημείων κατανομής

CSM	Capacity Spectrum Method-Procedure A (ATC-40)
MADRS-1	Modified Acceleration-Displacement Response Spectrum Bilinear Hysteretic Model (FEMA-440)
MADRS-2	Modified Acceleration-Displacement Response Spectrum Stiffness Degrading Model (FEMA-440)
MADRS-3	Modified Acceleration-Displacement Response Spectrum Strength Degrading Model (FEMA-440)
MADRS-4	Modified Acceleration-Displacement Response Spectrum Approximate Equations Model (FEMA-440)
RFM	Reduction Factor Method
CM	Coefficient Method



Εικόνα 3.15. Διαγράμματα με την κατανομή σημείων κατά MADRS και CMS

- 3) **Classification:** Σε αυτό το πεδίο επιλέγουμε την μέθοδο ταξινόμησης τύπων κτιρίων. Το λογισμικό του ELER έχει προεπιλεγμένες στην μνήμη του δυο ταξινόμησης τύπων κτιρίων α) RISK-UE από τους Lagomarsino and Giovinazzi 2006, β) HAZUS- MH(FEMA 2003). Στην βάση δεδομένων του λογισμικού για κάθε ταξινόμηση υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία (Ικανότητα κτιρίου, αναλυτικές καμπύλες τρωτότητες, κόστος ανακατασκευής). Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει την δικιά του βάση δεδομένων για τους τύπους των κτιρίων που θέλει, με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Οι καμπύλες τρωτότητας για κάθε τύπο κτιρίου είναι σε τέσσερα επίπεδα κτιριακών βλαβών (Εικόνα 3.16)



Εικόνα 3.16 Καμπύλες τρωτότητας για τύπο κτιρίου C1M-pre

Slight damage (μικρές βλάβες) – μπλε γραμμή

Moderate damage (μεσαίες βλάβες) – πράσινη γραμμή

Extensive damage (εκτεταμένες βλάβες) – κόκκινη γραμμή

Complete damage (κατάρρευση) – έντονη μπλε γραμμή

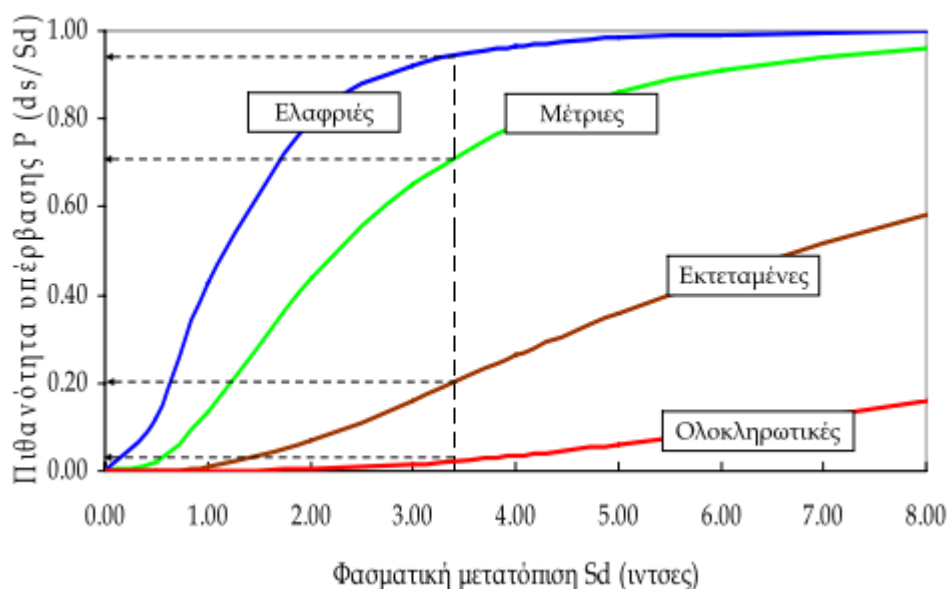
- 4) **Building DB.** Είναι ένα αρχείο shp (γεωπληροφορικής) στο οποίο έχει αποτυπωθεί ο χάρτης της περιοχής και έχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την κτιριακή υποδομή τη περιοχή.
- 5) **Magnitude.** Η εισαγωγή του μέγεθος του σεισμού γίνεται, είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε με εισαγωγή στο πεδίο.
- 6) **Vs30 Grid.** Για την δημιουργία του φάσματος απαίτησης χρειαζόμαστε ένα πλέγμα διανομής Vs 30. Αυτό γίνεται, είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε να εισάγουμε το γεωγραφικό υπόβαθρο Vs-30 σε αρχείο MATLAB, όπου σε κάθε κελί του αρχείου υπάρχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του χάρτη Vs-30
- 7) **SA 0.2 Grid. SA 1.0 Grid.** Αν έχει επιλεγθεί το φάσμα απαίτησης IBC 2006, θα πρέπει να εισαχθούν δυο αρχεία MATLAB με τα φάσματα επιταχύνσεων για τιμές περιόδου 0.2 sec και 1.0 sec. Αυτό γίνεται, είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε ο χρήστης να δημιουργήσει τα δικά του αρχεία με τα φάσματα επιταχύνσεων για τιμές περιόδου 0.2 sec και 1.0 sec.

- 8) **SA 1.0 Grid.** Αν έχει επιλεχθεί το φάσμα απαίτησης Eurocode 8 , θα πρέπει να εισαχθεί ένα αρχείο MATLAB με τις οριζόντιες επιταχύνσεις PGA. Αυτό γίνεται, είτε αυτόματα από την προηγούμενη ενότητα HAZARD, είτε ο χρήστης να δημιουργήσει τα δικά του αρχεία με κατάλληλη διαμόρφωση (Format) για το επίπεδο LEVEL 2

3.7 Building Damage

Οι καμπύλες τρωτότητας, όπως έχουμε αναφέρει στη παράγραφο 2.3, είναι λογαριθμοκανονικές συναρτήσεις, που δίνουν την πιθανότητα για μια δεδομένη μετακίνηση, το κτίριο να ξεπεράσει ένα επίπεδο βλάβης. Για να γίνει αυτό, με βάση την εδαφική κίνηση του σεισμού, υπολογίζουμε την εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα (PGA,PGV). Στην συνέχεια, με βάση την επιτάχυνση αυτή υπολογίζουμε την μετακίνηση του κτιρίου, από την καμπύλη ικανότητας (capacity curve). Τέλος με τη μετακίνηση αυτή και με την χρήση των καμπύλων τρωτότητας, υπολογίζουμε την πιθανότητα εμφάνισης βλάβης του κτιρίου για κάθε επίπεδο. (Εικόνα 3.17).

Η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου υπολογίζεται στο σημείο τομής της καμπύλης ικανότητας (capacity curve) και του φάσματος απαίτησης (Εικόνα 3.15). Αν δεν υπάρχει σημείο τομής, τότε το κτίριο έχει παραρρεύσει.



Εικόνα 3.17. Εκτίμηση πιθανοτήτων βλάβης για κάθε επίπεδο

Στο λογισμικό ELER ο υπολογισμός της εκτίμησης των κτιριακών βλαβών γίνεται με βάση τις καμπύλες τρωτότητας (για κάθε τύπο κτιρίου) για τέσσερα επίπεδα βλαβών :

- Slight damage (μικρές βλάβες)
- Moderate damage (μεσαίες βλάβες)
- Extensive damage (εκτεταμένες βλάβες)
- Complete damage (κατάρρευση)

Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε την βάση δεδομένων για τις παραμέτρους των καμπύλων ικανότητας και τρωτότητας, για τους τύπους των κτιρίων σύμφωνα με την ταξινόμηση του HAZUS99 και του RISK-USE, είτε να εισάγει τις παραμέτρους των καμπύλων ικανότητας και τρωτότητας που επιθυμεί.

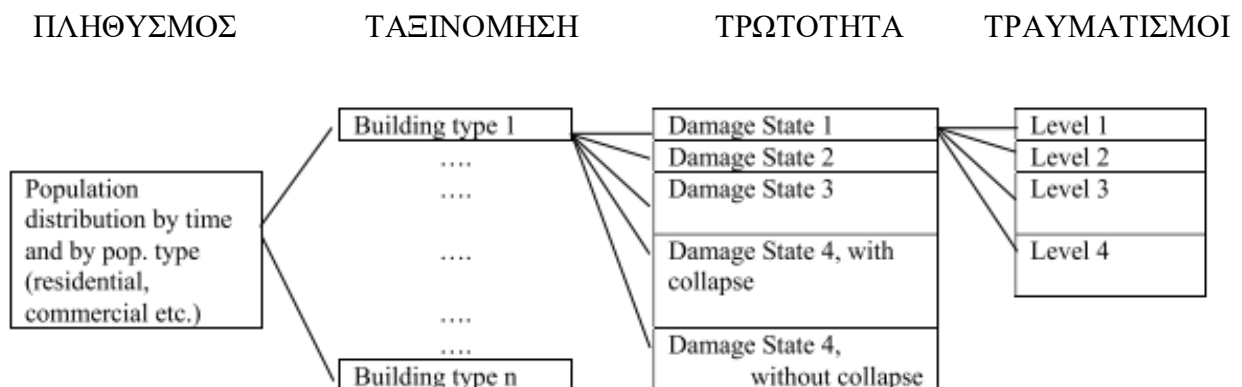
3.8 Casualty (ατυχήματα)

Στο λογισμικό ELER ο υπολογισμός της εκτίμησης των ανθρώπινων ατυχημάτων από ένα σεισμικό γεγονός βασίζεται στην μεθοδολογία του HAZUS99 (FEMA 1999) και HAZUS-MH (FEMA 2003) [5]. Η εκτίμηση αυτή έχει τέσσερα επίπεδα σοβαρότητας τραυματισμών S1,S2,S3 και S4 (Durkin and Thiel, 1993; Coburn and Spence, 1992; Cheu, 1994). Τα επίπεδα σοβαρότητας ατυχημάτων – τραυματισμών υπάρχουν στον πίνακα 3.15.

Πίνακας 3.15 . Επίπεδα σοβαρότητας ατυχημάτων

Σοβαρότητα τραυματισμού	Περιγραφή τραυματισμού
S1	Τραυματισμοί που απαιτούν βασική ιατρική βοήθεια, χωρίς νοσοκομειακή περίθαλψη
S2	Τραυματισμοί που απαιτούν ιατρική και νοσοκομειακή περίθαλψη, αλλά χωρίς να υπάρχει κίνδυνος για την ζωή.
S3	Τραυματισμοί που θέτουν άμεσα σε κίνδυνο την ζωή, αν δεν αντιμετωπιστούν γρήγορα.
S4	Ακαριαίος θάνατος ή θανάσιμος τραυματισμός

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η μεθοδολογία αυτή υπολογίζει τις ανθρώπινες απώλειες, για όλα τα επίπεδα τραυματισμών και για όλα τα επίπεδα βλαβών (όχι μόνο ως ποσοστό από τα κτίρια που έχουν καταρρεύσει). Έτσι για κάθε τύπο κτιρίου υπολογίζει την πιθανότητα βλάβης για κάθε επίπεδο βλάβης (D1, D2, D3, D4, D5) και στην συνέχεια για κάθε επίπεδο βλάβης την πιθανότητα σοβαρότητας τραυματισμού για κάθε επίπεδο σοβαρότητας τραυματισμού (S1, S2, S3, S4). Επίσης λαμβάνει υπόψη την χρήση του κτιρίου και την πληρότητα (σε πληθυσμό) ανάλογα με τον χρόνο εκδήλωσης του σεισμού (Εικόνα 3.18.)



Εικόνα 3.18. Διάγραμμα εκτίμηση ανθρώπινων απωλειών (HAZUS-MH – FEMA, 2003)

Ο υπολογισμός των ανθρώπινων απωλειών γίνεται με την σχέση 3.23 [5].

$$Psi = \sum_{k=1}^5 w_{si,k} p_k \quad (3.23)$$

Όπου : Psi είναι η πιθανότητα τραυματισμού για κάθε επίπεδο ($i=1:4$)

p_k είναι η πιθανότητα εμφάνισης βλάβης επιπέδου D_k ($k=1:5$)

$w_{si,k}$ είναι η εκτιμωμένη τιμή ανθρώπινων τραυματισμών για κάθε p_k

Ο αναμενόμενος αριθμός των κατοίκων στο επίπεδο σοβαρότητας i (ENi) είναι ο αριθμός των κατοίκων που την ώρα του σεισμού ($Noccupants$) και της Psi είναι της πιθανότητας τραυματισμού των κατοίκων για ένα επίπεδο τραυματισμού I (Psi). Οι τιμές για τους τραυματισμούς για τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία δίνονται σύμφωνα με το HAZUS99 στους πίνακες

$$ENi = Noccupants \cdot Psi \quad (3.24)$$

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιεί το λογισμικό ELER στο επίπεδο LEVEL 2, για την εκτίμηση των ατυχημάτων είναι η ίδια που προτείνεται από το HAZUS99. Αν η κατανομή του πληθυσμού, στα τετράγωνα του κανάβου, στους χάρτες GIS που χρησιμοποιεί το λογισμικό, γίνεται από τον χρήστη, τότε το λογισμικό υπολογίζει ένα μέσο αριθμό κατοίκων ανά τύπο κτιρίου με βάση το αριθμό διαμερισμάτων που εισάγουμε σε αυτό, για κάθε τύπο κτιρίου. Στην συνέχεια υπολογίζει τις ανθρώπινες απώλειες – τραυματισμούς για οποιοδήποτε τύπου κτιρίου, επίπεδο βλάβης κτιρίου και το επίπεδο σοβαρότητας τραυματισμού, με την χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$Kij = \text{Population per Building} \cdot \text{Number of Damaged Building in damage state } j \cdot \text{Casualty Rate for severity level } i \text{ and damage state } j \quad (3.25)$$

Το λογισμικό ELER έχει τρία μοντέλα υπολογισμού των τραυματισμών. Έχει το HAZUS99 (FEMA, 1999), το HAZUS-MH (FEMA, 2003) και του KOERI (2002). Τα τρία αυτά μοντέλα υπολογισμού των τραυματισμών, έχουν κυρίως δυο τύπους κτιρίων (από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία). Τα ποσοστά ατυχημάτων για τα τρία μοντέλα και για τους δυο τύπους κτιρίων δίνονται στον πίνακα 3.16 έως τον πίνακα 3.19. Αν ο χρήστης δεν γνωρίζει τον πληθυσμό της περιοχής που μελετά, τότε το λογισμικό υπολογίζει ένα μέσο πληθυσμό ανά διαμέρισμα, με βάση την προεπιλεγμένη βάση δεδομένων (του λογισμικού), για τον πληθυσμό της περιοχής μελέτης. Με την αλλαγή κατανομής του πληθυσμού, μπορούμε να έχουμε διαφορετικές εκτίμηση ατυχημάτων για σεισμικά σενάρια σε διαφορετικές ώρες (κατά την διάρκεια της νύχτας ή κατά την διάρκεια της μέρας).

Πίνακας 3.16. Ποσοστά ατυχημάτων για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα – πλαισιακό (HAZUS99)

Injury Severity	Casualty Rates for R/C structures (%)			
	Slight Damage	Moderate Damage	Extensive Damage	Complete Damage
Severity 1	0.05	0.2	1	5* - 50**
Severity 2	0.005	0.02	0.1	1* - 10**
Severity 3	0	0	0.001	0.01* - 2**
Severity 4	0	0	0.001	0.01* - 2**

*the smaller values are related with partial collapse of the buildings

**the larger values are given for total collapse (the pancake type of collapse)

Πίνακας 3.17. Ποσοστά ατυχημάτων για κτίρια από άοπλη τοιχοποιία(HAZUS99)

Injury Severity	Casualty Rates for R/C structures (%)			
	Slight Damage	Moderate Damage	Extensive Damage	Complete Damage
Severity 1	0.05	0.4	2	10* - 50**
Severity 2	0.005	0.04	0.2	2* - 10**
Severity 3	0	0	0.002	0.02* - 2**
Severity 4	0	0	0.002	0.02* - 2**

*the smaller values are related with partial collapse of the buildings

**the larger values are given for total collapse (the pancake type of collapse)

Πίνακας 3.18. Ποσοστά ατυχημάτων για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα – πλαίσιακό(HAZUS-MH)

Injury Severity	Casualty Rates for R/C structures (%)			
	Slight Damage	Moderate Damage	Extensive Damage	Complete Damage
Severity 1	0.05	0.25	1	5* - 40**
Severity 2	-	0.03	0.1	1* - 20**
Severity 3	-	-	0.001	0.01* - 5**
Severity 4	-	-	0.001	0.01* - 10**

*the smaller values are related with partial collapse of the buildings

**the larger values are given for total collapse (the pancake type of collapse)

Πίνακας 3.19. Ποσοστά ατυχημάτων για κτίρια από άοπλη τοιχοποιία(HAZUS99)

Injury Severity	Casualty Rates for R/C structures (%)			
	Slight Damage	Moderate Damage	Extensive Damage	Complete Damage
Severity 1	0.05	0.35	2	10* - 40**
Severity 2	-	0.04	0.2	2* - 20**
Severity 3	-	-	0.002	0.02* - 5**
Severity 4	-	-	0.002	0.02* - 10**

*the smaller values are related with partial collapse of the buildings

**the larger values are given for total collapse (the pancake type of collapse)

3.9 Economic Loss

Στο λογισμικό ELER ο υπολογισμός της εκτίμησης των οικονομικών απωλειών από ένα σεισμικό γεγονός βασίζεται στην μεθοδολογία του HAZUS-MH (FEMA 2003) [5]. Με βάση αυτή την μεθοδολογία τα ποσοστά του κόστους αντικατάστασης των κτιρίων εξαρτώνται από το επίπεδο της βλάβης που έχουν υποστεί:

Slight damage (μικρές βλάβες) – 2% κόστος αντικατάστασης

Moderate damage (μεσαίες βλάβες) -10% κόστος αντικατάστασης

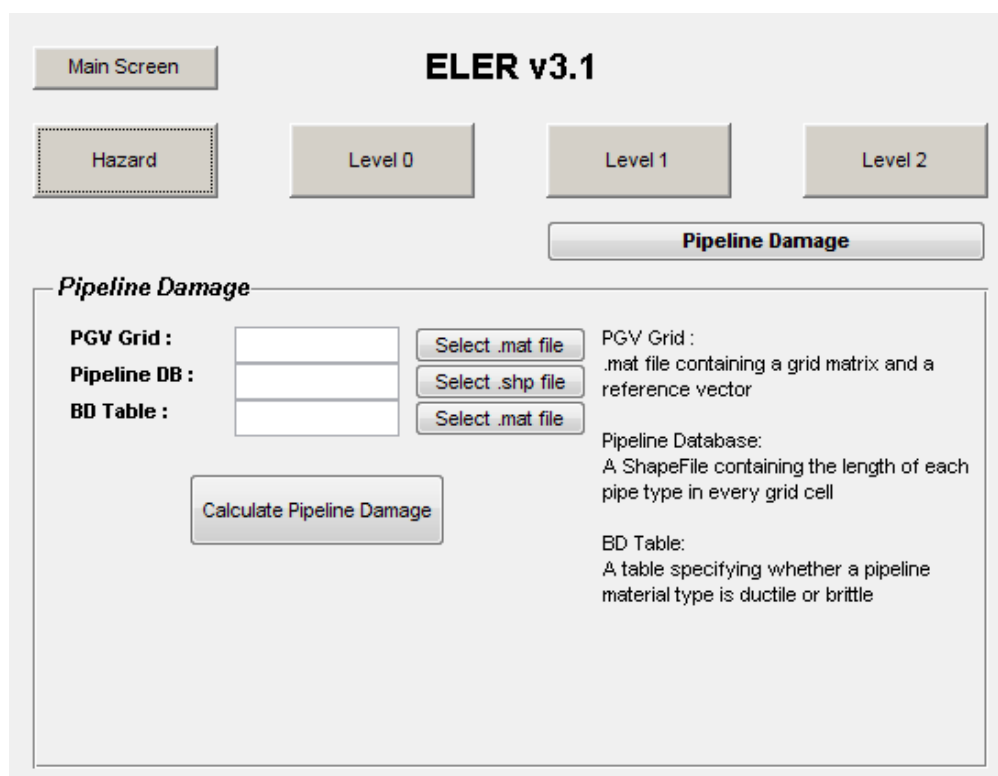
Extensive damage (εκτεταμένες βλάβες) -50% κόστος αντικατάστασης

Complete damage (κατάρρευση)- 100% κόστος αντικατάστασης

Όπως και στην ενότητα Level 1, η τιμή αντικατάστασης των κτιρίων και τα ποσοστά αντικατάσταση για κάθε επίπεδο βλάβης προεπιλέγονται από τον χρήστη.

3.10 Ενότητα PIPELINE

Στην τελευταία έκδοση του λογισμικού ELER υπάρχει η ενότητα PIPELINE (Εικόνα 3.19). Σε αυτή την ενότητα, έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε τις ζημιές στις σωληνώσεις στο δίκτυο (ύδρευσης, αποχέτευσης, φυσικού αερίου κ.α.) της περιοχής μελέτης, από διάφορα σεισμικά γεγονότα.



Εικόνα 3.19. Ενότητα PIPELINE στο λογισμικό ELER

Για τον υπολογισμό της εκτίμησης των ζημιών στα δίκτυα σωληνώσεων, το λογισμικό ELER χρησιμοποιεί την μεθοδολογία HAZUS-MH(FEMA,2003), που βασίζεται στις εξισώσεις του O' Rourke and Ayala (1993) [5].

Οι εξισώσεις αυτές είναι :

$$\text{Repair Rate} = 0.0001 * [\text{PGV}]^{(2.25)} \text{ (Για εύθραυστους τύπους υλικών)} \quad (3.26)$$

$$\text{Repair Rate} = 0.00004 * [\text{PGV}]^{(2.25)} \text{ (Για όλκιμους τύπους υλικών)} \quad (3.27)$$

Το Repair Rate είναι ο αριθμός των σωλήνων ανά Km, ενώ το είδος των ζημιών που εκτιμώνται ότι θα έχουμε είναι 80% διαρροές και 20% σπάσιμο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΚΗΦΙΣΙΑΣ

4.1 Καθορισμός περιοχής μελέτης

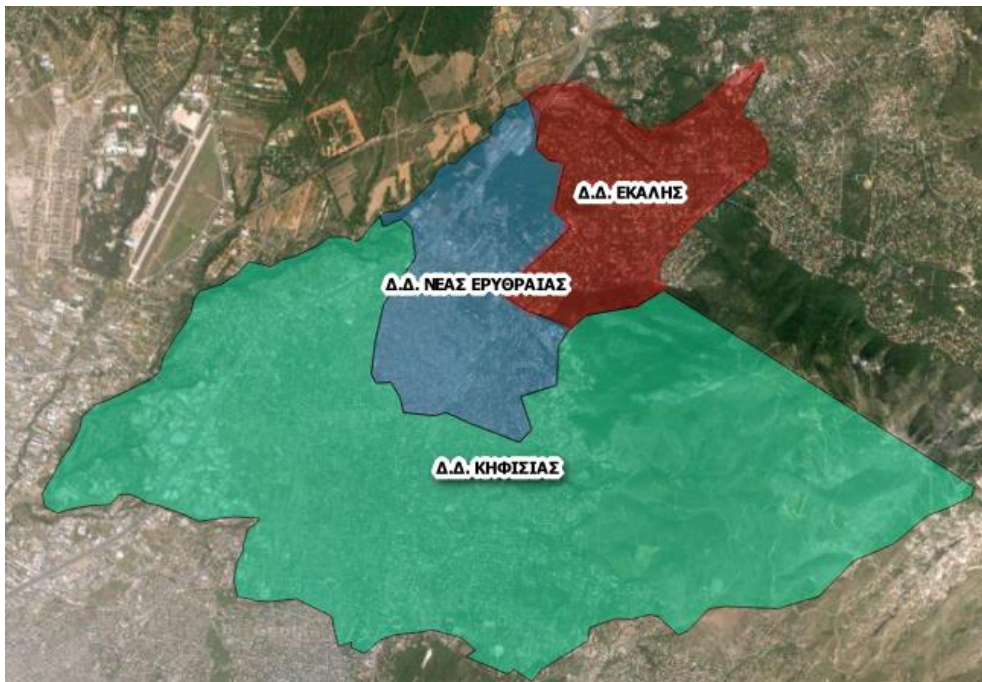
Ο Δήμος Κηφισιάς αποτελείται από τρία Δ.Δ. (Δ.Δ. Κηφισιάς-Δ.Δ. Νέας Ερυθραίας-Δ.Δ. Εκάλυς). Ο καθορισμός των ορίων της μελέτης μας (Δήμος Κηφισιάς) έγινε με την δημιουργία ψηφιακών χαρτών με την χρήση του λογισμικού γεωπληροφορικής QGIS (*Εικόνα 4.1, Εικόνα 4.2 και Εικόνα 4.3*)



Με τον υπολογισμό των σεισμικών απωλειών στο Δ. Κηφισιάς, αλλά με την χρήση του λογισμικού HAZUS-MH που βασίζεται στο λογισμικό ARC.GIS, έγινε και από τον Τεχνίτη Γεώργιο, στα πλαίσια της πτυχιακής του εργασίας με τίτλο «Διερεύνηση σεισμικής διακινδύνευσης στην περιοχή του Δ. Κηφισιάς με τη χρήση λογισμικού HAZUS»



Εικόνα 4.2. Όρια Δήμου Κηφισιάς



Εικόνα 4.3. Όρια Δημοτικών Διαμερισμάτων Κηφισιάς

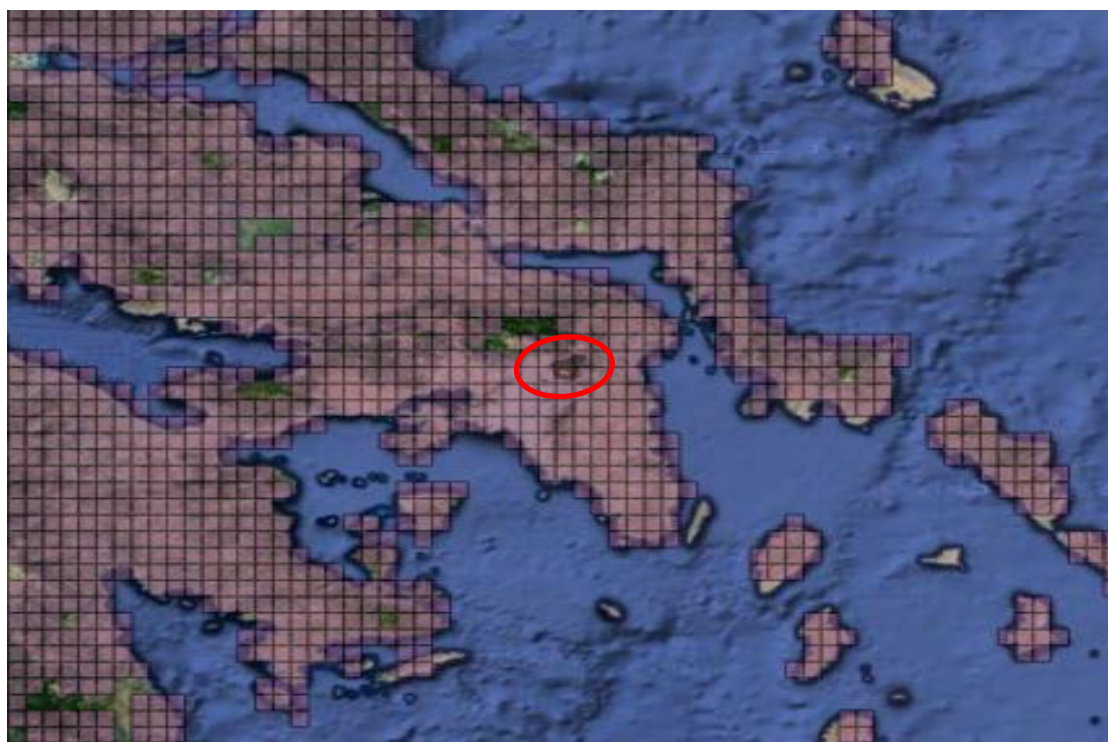
4.2 Κατανομή του πληθυσμού

Τα στοιχεία της απογράφη του 2011 [16], μας δίνουν τον πληθυσμό σε κάθε δημοτικό διαμέρισμα του δήμου Κηφισιάς (Πίνακας 4.1). Υπολογίζουμε την κατανομή του πληθυσμού στα τετράγωνα του ψηφιακού υπόβαθρου του λογισμικού ELER, που καλύπτουν την περιοχή του Δ. Κηφισιάς ανάλογα με την επιφάνεια που καταλαμβάνει το καθένα τετράγωνο στα διάφορα Δ.Δ. (Πίνακας 4.2

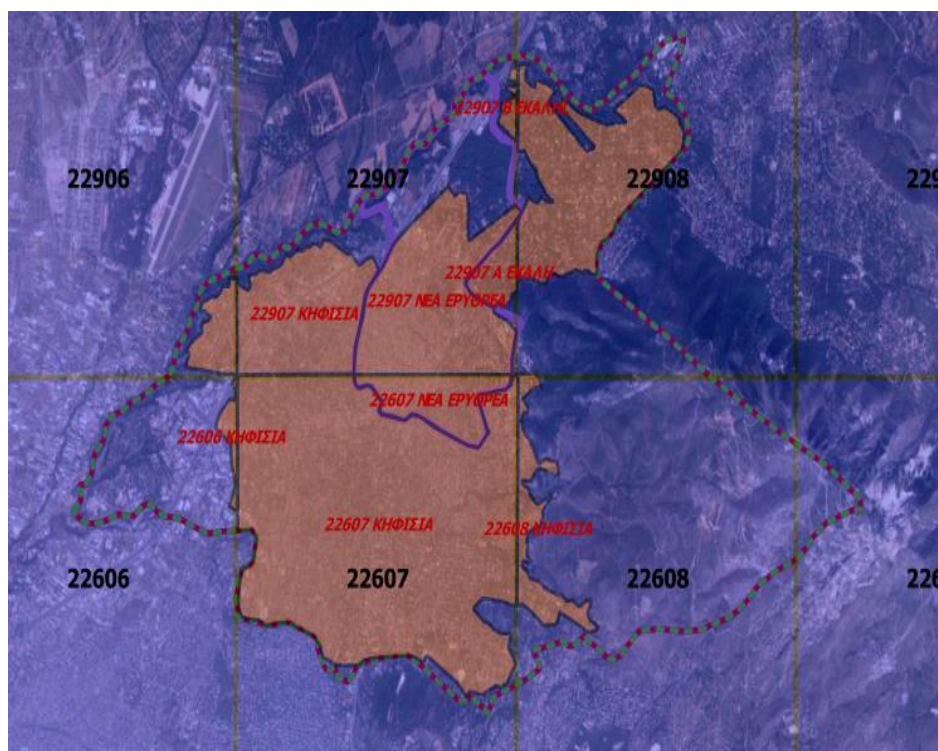
και Πίνακας 4.3). Τα ποσοστά κατανομής υπολογίστηκαν από των ψηφιακό χάρτη που έγινε στο λογισμικό γεωπληροφορικής QGIS (Εικόνα 4.4 και Εικόνα 4.5)

Πίνακας 4.1. Κατανομή πληθυσμού στα Δ.Δ. του Δ. Κηφισιάς

25		
26	ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΕΙΣΜΑ	ΜΟΝΙΜΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ
27	ΚΗΦΙΣΙΑΣ	47332
28	ΕΚΑΛΗΣ	5889
29	Ν. ΕΡΥΘΡΕΑΣ	18038
30		71259
31		



Εικόνα 4.4. Κατανομή τετραγώνων -ψηφιακού υπόβαθρου ELER-για την Ελλάδα



Εικόνα 4.3. Κατανομή τετραγώνων -ψηφιακού υπόβαθρου ELER-στο Δ. Κηφισιάς

Πίνακας 4.2. Ποσοστά συμμετοχής των τετράπλευρων του κανάβου του ELER

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΚΑΝΑΒΟ ΤΟΥ ELER			
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ Δ.Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ Δ.Δ. Ν. ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ Δ.Δ. Ν. ΕΚΑΛΗΣ
22606	0.017		
22607	0.74	0.297	
22608	0.052		
22906	0.034		
22907	0.157	0.703	0.137
22908			0.86
Σύνολο	1	1	1

Πίνακας 4.3. Κατανομή πληθυσμού στα τετράγωνα του ELER

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΚΑΝΑΒΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ELER				
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ Δ.Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ Δ.Δ. Ν. ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΤΟ Δ.Δ. Ν. ΕΚΑΛΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ
22606	0.017X47332			806
22607	0.74X47332	0.297X18038		40390
22608	0.052X47332			2464
22906	0.034X47332			1611
22907	0.157X47332	0.703X18038	0.137X5889	20923
22908			0.86X5889	5065
ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΚΗΦΙΣΙΑΣ				71259

4.3 Κατανομή κτιρίων

4.3.1 Κατανομή κτιρίων ανάλογα με τον χρόνο κατασκευής

Τα στοιχεία της απογράφη του 2011 [16], μας δίνουν την κατανομή των κτιρίων ανάλογα με το χρόνο κατασκευής (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4. Κατανομή κτιρίων με βάση την περίοδο κατασκευής

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Πίνακας Β15. Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011. Κανονικές κατοικίες κατά περίοδο κατασκευής											
2	Περιφερειακές Ενότητες, Δήμοι											
3	Γεωγραφικό επίπεδο	Γεωγραφικός κωδικός	Περιγραφή	Σύνολο	Περίοδος κατασκευής							
4					Πριν από το 1945	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2005	2006 και μετά
266	5	3514505	ΔΗΜΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ	44,344	116	1,908	11,270	18,427	4,771	3,273	2,399	2,180
267	5	3514506	ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ	38,798	202	3,206	6,931	12,730	6,539	3,886	2,909	2,395
268	5	3514507	ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ	15,655	607	1,216	3,170	4,488	1,674	1,331	1,392	1,777
269	5	3514508	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ - ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ	18,094	980	2,148	3,854	4,585	2,323	1,802	1,459	943
270	4	35146	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ	286,087	3,967	16,006	28,309	79,096	60,976	49,486	25,511	22,736
271	5	3514601	ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	35,571	294	1,318	2,534	10,356	8,341	5,899	3,774	3,055
272	5	3514602	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	28,670	84	944	1,820	8,089	7,475	5,902	2,129	2,227
273	5	3514603	ΔΗΜΟΣ ΒΡΗΛΗΣΙΩΝ	13,556	38	166	418	1,741	4,207	4,369	1,468	1,149
274	5	3514604	ΔΗΜΟΣ ΠΡΑΚΛΕΙΟΥ	24,096	133	1,303	3,478	7,104	4,345	3,732	2,223	1,778
275	5	3514605	ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ	34,386	1,001	1,524	3,454	8,501	7,697	5,672	3,220	3,317
276	5	3514606	ΔΗΜΟΣ ΛΥΚΟΒΡΥΣΣΗΣ - ΠΕΥΚΗΣ	14,126	142	552	821	3,978	3,758	2,708	1,281	1,090
277	5	3514607	ΔΗΜΟΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ	13,443	79	832	1,511	2,660	2,489	2,874	1,848	1,150
278	5	3514608	ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	32,961	1,273	3,301	3,792	8,424	5,413	5,536	2,813	2,409
279	5	3514609	ΔΗΜΟΣ ΠΑΠΑΓΟΥ - ΧΟΛΑΡΓΟΥ	23,083	60	1,616	3,203	9,781	3,720	2,225	1,249	1,229
280	5	3514610	ΔΗΜΟΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	15,376	212	462	916	2,764	4,070	3,900	1,606	1,446
281	5	3514611	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΟΘΕΗΣ - ΨΥΧΙΚΟΥ	14,054	387	2,073	2,123	4,595	2,178	1,180	738	780
282	5	3514612	ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	36,763	264	2,115	4,239	11,105	7,283	5,489	3,162	3,106
283	4	35147	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΥΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ	235,730	2,826	20,099	43,541	71,765	38,486	26,474	17,797	14,742

Με βάση τις αλλαγές που έχουμε στους ελληνικούς οικοδομικούς – αντισεισμικούς κανονισμούς τα κτίρια μπορούμε να τα χωρίσουμε όπως φαίνονται στο πίνακα (Πίνακας 4.5)

Πίνακας 4.5. Κατάταξη των κτιρίων με βάση τις αλλαγές των οικοδομικών κανονισμών

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ			
Χρόνος κατασκευής	Έως 1960	1961-1995	1996-2011
Κατά Ελεγχό	M6 (Unreinforced Masonry with RC Floors) <i>Αοπλη τοιχοποιία με πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα</i>	RC3 (Frame in r.c. Low Code) <i>Φέρων οργανισμός από πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος (Κανονισμός του ΒΔ'59 & του Πρ. Αρ. 1984)</i>	RC4 (Frame in r.c. high Code) <i>Φέρων οργανισμός από μεικτό σύστημα οπλισμένου σκυροδέματος. (NEAK/EAK 2000)</i>

Επειδή κατά την χρονική περίοδο 1990-2000 έχουμε σημαντική αλλαγή στον αντισεισμικό κανονισμό (από Πρ. Αρ. 1984 σε ΝΕΑΚ/ΕΑΚ 2000) για τα κατατάζουμε όσο μπορούμε πιο αναλογικά κάνουμε μια παραδοχή ότι το κατασκευάστηκαν κατά 50% με κάθε κανονισμό. Έτσι καταλήγουμε στον πίνακα (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6 Υπολογισμός ποσοστών κτιρίων ανάλογα με τον χρόνο κατασκευής

ΠΟΣΟΣΤΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ			
Σύνολο	Έως 1960	1961-1995	1996-2011
34384	2524	22488	9373
Ποσοστό	0.073	0.654	0.273

4.3.2. Κατανομή των κτιρίων ανάλογα με το εμβαδόν της επιφανείας

Τα στοιχεία της απογράφη του 2011 [16], μας δίνουν την κατανομή των κτιρίων ανάλογα με το εμβαδόν επιφανείας (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7. Κατανομή κτιρίων ανάλογα με το εμβαδόν επιφάνειας

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Πίνακας Β17. Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011. Κανονικές κατοικίες κατά επιφάνεια (μ ²)														
2	Περιφερειακές Ενότητες, Δήμοι														
3	Γεωγραφικό επίπεδο	Γεωγραφικός κωδικός	Περιγραφή	ΣΥΝΟΛΟ	Επιφάνεια (μ ²)										
4					Κάτω από 40	40 - 49	50 - 59	60 - 69	70 - 79	80 - 89	90 - 99	100 - 109	110 - 119	120+	
267	5	3514506	ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ	38,798	1,524	1,933	4,089	3,895	6,676	6,213	4,529	3,783	2,206	3,950	
268	5	3514507	ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ	15,655	1,484	1,804	2,550	1,959	2,764	2,020	1,284	823	363	604	
269	5	3514508	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ - ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ	18,094	754	1,036	2,103	1,935	3,766	2,798	1,904	1,588	789	1,421	
270	4	35146	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ	286,087	7,948	9,238	20,053	19,451	31,231	36,876	28,623	31,230	22,174	79,263	
271	5	3514601	ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	35,571	795	935	2,411	2,147	3,963	4,969	3,831	4,670	3,110	8,740	
272	5	3514602	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	28,670	702	782	1,696	1,662	2,852	3,652	3,314	3,684	3,031	7,295	
273	5	3514603	ΔΗΜΟΣ ΒΡΙΑΝΣΙΩΝ	13,556	168	173	453	536	847	1,263	1,293	1,816	1,600	5,407	
274	5	3514604	ΔΗΜΟΣ ΠΡΑΚΗΛΕΙΟΥ	24,096	775	1,045	2,330	2,428	3,964	3,830	2,913	2,544	1,588	2,759	
275	5	3514605	ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ	34,386	763	636	1,417	1,626	1,739	2,439	2,103	2,742	1,926	18,995	
276	5	3514606	ΔΗΜΟΣ ΛΥΚΟΒΡΥΣΗΣ - ΠΕΥΚΗΣ	14,128	325	341	903	793	1,384	2,161	1,523	1,919	1,526	3,253	
277	5	3514607	ΔΗΜΟΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ	13,443	402	606	1,083	1,391	2,169	2,878	1,699	1,357	667	1,191	
278	5	3514608	ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	32,961	1,772	2,165	4,467	3,779	5,835	5,986	3,541	2,463	1,127	1,826	
279	5	3514609	ΔΗΜΟΣ ΠΑΠΑΓΟΥ - ΧΟΛΑΡΓΟΥ	23,083	646	646	1,608	1,290	2,270	2,196	2,133	2,560	2,285	7,449	
280	5	3514610	ΔΗΜΟΣ ΠΕΠΤΕΛΗΣ	15,376	383	396	746	819	1,257	1,527	1,266	1,575	1,339	6,068	
281	5	3514611	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΟΘΕΗΣ - ΨΥΧΙΚΟΥ	14,054	250	323	530	650	918	863	913	1,137	899	7,571	
282	5	3514612	ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	36,763	967	1,190	2,409	2,330	4,033	5,112	4,094	4,763	3,156	8,709	
283	4	35147	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΥΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ	275,730	11,334	14,202	26,494	28,438	40,740	40,893	28,100	20,072	9,488	15,960	

Με βάση την Κατανομή του πίνακα 4.7 μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσο όρο της επιφάνειας για τις κατοικίες στο Δ. Κηφισιά. Σύμφωνα με τα στοιχεία που φαίνονται στο πίνακα (Πίνακας 4.8). Παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος του εμβαδού για τις κατοικίες είναι 109 (m²), που είναι πολύ λογικό από το οικονομικό επίπεδο που χαρακτηρίζει τους κατοίκους του δήμου.

Πίνακας 4.8. Υπολογισμός Μ.Ο. εμβαδού κατοικιών

ΠΟΣΟΣΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥΣ (ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ 34386)			
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(m ²)	Μ.Ο. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(m ²)	Μ.Ο. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ * ΣΥΝΟΛΟ ΚΤΙΡΙΩΝ (m ²)	Μ.Ο. (m ²)
.....≤49	50	50*1399	108
50-59	55	55*1417	
60-69	65	65*1626	
70-79	75	75*1739	
80-89	85	85*2439	
90-99	95	95*2103	
100-109	105	105*2742	
110-119	115	115*1926	
120≤....	130	130*18995	

Ενώ ο Μ.Ο. του εμβαδού των κτιρίων που χρησιμοποιούνται για σχολεία στο Δήμο Κηφισιάς είναι 500m² . Αυτός ο υπολογισμός βασίστηκε στον ψηφιακό χάρτη με τις κατόψεις των σχολείων της περιοχής (25 κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά), που δημιουργήθηκε στο λογισμικό γεωπληροφορικής QGIS.

4.3.3. Καθορισμός τύπων κτιρίων

Η κτιριακή υποδομή του Δ. Κηφισιάς χαρακτηρίζεται κυρίως από δυόροφες κατοικίες (ειδικά έως το 1980), αφού η μεγάλη οικιστική ανάπτυξη της δεκαετίας του 60 με την έντονη εμφάνιση των πολυκατοικιών, δεν έφτασε στην περιοχή. Για αυτό έως το 1960 ο Δ. Κηφισιάς είναι μια αραιοκατοικημένη περιοχή που αποτελείται κυρίως από δυόροφες κατοικίες με φέρουσα τοιχοποιία (πέτρινες ή οπτόπλινθους), ως υλικό για τα πατώματα αυτών των κτιρίων, έχουμε κυρίως το ξύλο και το οπλισμένο σκυρόδεμα. Η έλλειψη στοιχείων για το σύστημα δόμησης των κτιρίων αυτής της περιόδου, μας αναγκάζει να ομαδοποιήσουμε τα κτίρια αυτά σε ένα τύπο κτιρίου.

Για να καταλήξουμε σε αυτό το σημείο θα πρέπει να διατυπώσουμε μερικά συμπεράσματα. Κατά αρχή θα πρέπει να τονίσουμε ότι η περιοχή, λόγω του ανεπτυγμένου οικονομικά επιπέδου των κατοίκων της, χαρακτηρίζεται από κατασκευές σημαντικά προσεγμένες ως προς την διαδικασία κατασκευής και τα χρησιμοποιούμενα υλικά, σε σχέση με αντίστοιχες κατασκευές σε άλλες περιοχές της Αττικής. Έτσι παρατηρείται σε πολλές κατασκευές από πέτρινη φέρουσα τοιχοποιία, να έχουν τοίχους από λαξευτή ή ημι λαξευτή τοιχοποιία ή αργολιθοδομή με πολύ καλή κατασκευή (αγκωνάρια στις γωνίες και στα ανοίγματα, σωστό αρμολόγημα, κατάλληλα διαμορφωμένα διαζώματα). Συνεπώς η σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων αυτών θα είναι σαφώς καλύτερη σε σχέση με τις κατασκευές από απλή πέτρινη φέρουσα τοιχοποιία. Η παραπάνω διαπίστωση μας δίνει

την δυνατότητα να κάνουμε την παραδοχή ότι τα κτίρια αυτής της περιόδου μπορούμε να τα κατατάξουμε σε κατασκευές από άοπλη τοιχοποιία. Επίσης μπορούμε να κάνουμε και μια δεύτερη παραδοχή, ότι παρότι τα κτίρια αυτά έχουν κυρίως ξύλινο πάτωμα, θα θεωρήσουμε ότι όλα έχουν πατώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (λόγω της καλής σεισμικής συμπεριφοράς τους). Άρα μπορούμε να καταλήξουμε ότι το τύπος του κτιρίου που καλύπτει τα κτίρια αυτής της περιόδου, είναι αυτός που περιγράφεται ως άοπλη τοιχοποιία με πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα M6 (European Building Taxonomy)[5].

Το χρονικό διάστημα **1961-1980** παρατηρείται αύξηση του ρυθμού οικιστικής ανάπτυξης, αλλά τώρα έχουμε κατασκευές κυρίως από οπλισμένο σκυρόδεμα (ειδικά με τα τον κανονισμό του 1955), είναι και πάλι κυρίως δυόροφες κατοικίες, ενώ προς τα τέλη της περιόδου κατασκευάζονται και πολυκατοικίες με 4-5 ορόφους (με piloti ή χωρίς piloti) . Κατά χρονικό διάστημα **1981- 1995** συνεχίζεται η αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας στην περιοχή, λόγω της διάθεσης του πληθυσμού της Αθηνάς για κατοικίες έξω από το κέντρο της πόλης, αλλά και λόγω της ανόδου του οικονομικού επιπέδου πολλών κατοίκων. Αυτό οδηγεί στην κατασκευή και πάλι δυόροφων κατοικιών , αλλά τώρα τα ποσοστά των πολυκατοικιών (με piloti ή χωρίς piloti) είναι περισσότερα, ενώ οι κατασκευές είναι σχεδόν αποκλειστικά από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε αυτές τις περιόδους κυριαρχεί το πλαίσιακό σύστημα δόμησης, για τον φέρων οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, με εφαρμογή χαμηλού επιπέδου αντισεισμικού κανονισμού (Low Code).

Τέλος έως το χρονικό διάστημα από το **1996 έως 2011** το είδος των κατοικιών καθώς και τα υλικά κατασκευής δεν αλλάζουν σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, απλά κατά 5- 6 τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σημαντική υποχώρηση της οικοδομικής δραστηριότητας λόγω υπέρ – προσφοράς κατοικιών αλλά κυρίως λόγω της μεγάλης οικονομικής ύφεσης της Ελλάδας. Σε αυτές τις περιόδους κυριαρχεί το μεικτό (πλαισιακό και τοιχώματα) σύστημα δόμησης, για τον φέρων οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, με εφαρμογή υψηλού επιπέδου αντισεισμικού κανονισμού (High Code).

Τελικά μπορούμε να καταπλήξουμε στους τύπους των κτιρίων για αυτό το χρονικό διάστημα, σύμφωνα με την ταξινόμηση που πρότειναν ο Γεώργιος Παναγόπουλος & Ανδρέας Ι. Κάππος [20], έτσι για πλαίσιακό σύστημα δόμησης RC31 (RC32 για piloti), ενώ για μεικτό σύστημα δόμησης RC41 (RC42 για piloti).

Συγκεντρωτικά οι τύποι κτηρίων που έχουμε στην Δ. Κηφισιάς μπορούμε να τους ομαδοποιήσουμε στις κατηγορίες του πίνακα 4.9.

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι τα ποσοστά των πολυκατοικιών στο Δ.Δ. Νέας Ερυθραίας είναι σαφώς πιο λίγα από αυτά του Δ.Δ. Κηφισιάς, ενώ στο Δ.Δ. Εκάλης (που είναι κυρίως αποκλειστικά χώρος κατοικιών) οι πολυκατοικίες είναι από καθόλου έως ελάχιστες.

Πίνακας 4.9. Τύποι κτιρίων στον Δ. Κηφισιάς

Έτος Κατασκευής	Υλικό Κατασκευής	Σύστημα δόμησης	Ύψος (L=1-3 ορόφους M=4-7 ορόφους)	Τύπος
Έως 1960	Άοπλη τοιχοποιία με πλάκες από	Χωρίς κανονισμό	L	M6L

	οπλισμένο σκυρόδεμα			
1961-1995	Οπλισμένο σκυρόδεμα (πλαισιακό σύστημα)	Με το Κανονισμός του ΒΔ'59 Και του Πρ. Αρ. 1984	L & M L & M	RC31L
				RC31M
				RC32PM (piloti)
Από 1995	Οπλισμένο σκυρόδεμα (πλαίσια και τοιχώματα – μεικτό σύστημα)	Με το Κανονισμό (NEAK/EAK 2000)	L & M	RC41L
				RC41M
				RC42PM (piloti)

Τα στοιχεία της απογράφη του 2011 [16], μας δίνουν την κατανομή των κτιρίων ανάλογα με το τύπο των κτιρίων (μονοκατοικίες-πολυκατοικίες-άλλοι τύποι κτηρίων) (Πίνακας 4.10). Παρατηρούμε ότι οι μονοκατοικίες αποτελούν το 32% (10960/34386) του συνόλου των κατοικιών, ενώ το υπόλοιπο 68% καλύπτει τους άλλους τύπους κατοικιών. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε την ιδιαιτερότητα της περιοχής για να κατανεύσουμε σωστά το ποσοστό αυτό (68%). Όπως αναφέραμε πιο πάνω η περιοχή χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες οικοδομές. Συνεπώς θα μπορούσαμε να καταλήξουμε στον πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.10. Κατανομή κατοικιών ανάλογα με των τύπο κατοικίας

	A	B	C	D	E	F
1	Πίνακας Β14. Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011. Κανονικές κατοικίες κατά τύπο κτιρίου					
2	Δήμοι					
3	Γεωγραφικό επίπεδο	Γεωγραφικός κωδικός	Περιγραφή	Σύνολο	Τύπος κτιρίου όπου βρίσκεται η κατοικία	
4					Μονοκατοικί α	Άλλος τύπος (διπλοκατοικία , πολυκατοικία, κτίριο που η κύρια χρήση του δεν είναι κατοικία)
263	5	3514502	ΔΗΜΟΣ ΒΥΡΩΝΟΣ	32,315	1,479	30,836
264	5	3514503	ΔΗΜΟΣ ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	29,954	840	29,114
265	5	3514504	ΔΗΜΟΣ ΔΑΦΝΗΣ - ΥΜΗΤΤΟΥ	18,826	1,915	16,911
266	5	3514505	ΔΗΜΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ	44,344	381	43,963
267	5	3514506	ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ	38,798	2,474	36,324
268	5	3514507	ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ	15,655	649	15,006
269	5	3514508	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ - ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ	18,094	1,376	16,718
270	4	35146	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ	286,087	37,922	248,165
271	5	3514601	ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	35,571	3,518	32,053
272	5	3514602	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	28,670	1,875	26,795
273	5	3514603	ΔΗΜΟΣ ΒΡΙΛΗΣΣΙΩΝ	13,556	1,486	12,070
274	5	3514604	ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	24,096	2,021	22,075
275	5	3514605	ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ	34,386	10,960	23,426
276	5	3514606	ΔΗΜΟΣ ΔΥΚΟΒΡΥΣΗΣ - ΠΕΥΚΗΣ	14,128	1,369	12,759
277	5	3514607	ΔΗΜΟΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ	13,443	1,812	11,631
278	5	3514608	ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	32,961	3,664	29,297
279	5	3514609	ΔΗΜΟΣ ΠΑΠΑΓΟΥ - ΧΟΛΑΡΓΟΥ	23,083	1,154	21,929
280	5	3514610	ΔΗΜΟΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	15,376	4,037	11,339
281	5	3514611	ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΟΘΕΗΣ - ΨΥΧΙΚΟΥ	14,054	2,089	11,965
282	5	3514612	ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	36,763	3,937	32,826
283	4	35147	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΥΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΑΘΗΝΩΝ	235,730	27,129	208,601

Πίνακας 4.12. Καθορισμός του ύψους των κτιρίων (L=1-3 ορόφους & M=4-7 ορόφους)

ΠΟΣΟΣΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΤΑ ΥΨΟΣ			
	L=1-3 ορόφους	M=4-7 ορόφους	
Δ.Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	28%	72%	Η κτιριακή υποδομή του Δ.Δ. της Κηφισιάς χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες κατοικίες και μερικές πολυκατοικίες στο κέντρο
Δ.Δ. Ν. ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ	80%	20%	Η κτιριακή υποδομή του Δ.Δ. της Ν. Ερυθραίας χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες κατοικίες και μερικές πολυκατοικίες στο κέντρο
Δ.Δ. ΕΚΑΛΗΣ	100%	0%	Η κτιριακή υποδομή του Δ.Δ. της Εκάλης χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες

4.3.4 Τελική κατανομή των κτιρίων

Ο τελικός αριθμός των κτιρίων θα προκύψει αν υποθέσουμε ότι οι δύοροφες κατοικίες αποτελούνται από δυο κατοικίες, ενώ οι πολυκατοικίες, που αποτελούνται κυρίως από 4-5 ορόφους, με 12 κατοικίες. Η κατάταξη των διαμερισμάτων στα Δημοτικά Διαμερίσματα του Δ. Κηφισιάς κατανέμετε με βάση τα ποσοστά του πληθυσμού (Πίνακας 4.12).

Πίνακας 4.12. Κατάταξη του πλήθους των κτιρίων στα Δ.Δ.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ ΤΩΝ Δ.Δ.			
Δ.Δ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	Ποσοστά	Κτίρια
Δ.Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	47332	0.66	22693
Δ.Δ. Ν. ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ	18038	0.253	8699
Δ.Δ. ΕΚΑΛΗΣ	5889	0.082	2819
Σύνολο	71259	1	34384

Συνεπώς για το Δ. Δ. Κηφισιάς η τελική κατάταξη θα είναι σύμφωνα με τον πίνακα 4.13:

Πίνακας 4.13. Πλήθος κτιρίων στο Δ.Δ. Κηφισιάς ανά τύπο κτιρίου

Τύπος κτιρίου	Πλήθος διαμερισμάτων	Πλήθος κτιρίων	Κόστος αντικατάστασης
M6L	$0.073\% \cdot 22693 = 1656$	$1656/2 = \mathbf{828}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31L	$0.654\% \cdot 22693 = 14843$	$0.28\% \cdot 14843 = 4156/2 = \mathbf{2078}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31M		$0.30\% \cdot 14843 = 4453/12 = \mathbf{371}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC32M (piloti)		$0.42\% \cdot 14843 = 6234/12 = \mathbf{520}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC41L	$0.273\% \cdot 22693 = 6195$	$0.28\% \cdot 6195 = 1735/2 = \mathbf{864}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$

RC41M		$0.30\% \cdot 6195 = 1858/12 =$ 155	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 1.555.200Ευρώ
RC42M (piloti)		$0.42\% \cdot 6195 = 2602/12 =$ 217	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 1.555.200Ευρώ

Για το Δ. Δ. Νέας Ερυθραίας η τελική κατάταξη θα είναι σύμφωνα με τον πίνακα 4.14:

Πίνακας 4.14. Πλήθος κτιρίων στο Δ.Δ. Νέας Ερυθραίας ανά τύπο κτιρίου

Τύπος κτιρίου	Πλήθος διαμερισμάτων	Πλήθος κτιρίων	Κόστος αντικατάστασης
M6L	$0.073\% \cdot 8869 =$ 647	$647/2 =$ 323	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 259.200Ευρώ
RC31L	$0.654\% \cdot 8869 =$ 5800	$0.80\% \cdot 5800 = 4640/2 =$ 2320	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 259.200Ευρώ
RC31M		$0.05\% \cdot 5800 = 290/12 =$ 24	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 1.555.200Ευρώ
RC32M (piloti)		$0.15\% \cdot 5800 = 870/12 =$ 72	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 1.555.200Ευρώ
RC41L	$0.273\% \cdot 8869 =$ 2421	$0.80\% \cdot 2421 = 1937/2 =$ 968	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 259.200Ευρώ
RC41M		$0.10\% \cdot 2421 = 242/12 =$ 20	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 1.555.200Ευρώ
RC42M (piloti)		$0.10\% \cdot 2421 = 242/12 =$ 20	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 1.555.200Ευρώ

Για το Δ. Δ. Εκάλης η τελική κατάταξη θα είναι σύμφωνα με τον πίνακα 4.15:

Πίνακας 4.15. Πλήθος κτιρίων στο Δ.Δ. Εκάλης ανά τύπο κτιρίου

Τύπος κτιρίου	Πλήθος διαμερισμάτων	Πλήθος κτιρίων	Κόστος αντικατάστασης
M6L	$0.073\% \cdot 2819 =$ 205	$205/2 =$ 102	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 259.200Ευρώ
RC31L	$0.654\% \cdot 2819 =$ 1844	$1844/2 =$ 922	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 259.200Ευρώ
RC31M			
RC32M (piloti)			
RC41L	$0.273\% \cdot 2819 =$ 770	$770/2 =$ 385	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} =$ 259.200Ευρώ
RC41M			
RC42M (piloti)			

Τελικά η τελική κατάταξη (Πίνακας 4.16) στα τετράγωνα του ψηφιακού χάρτη του λογισμικού ELER θα είναι:

Πίνακας 4.16. Τελική κατάταξη κτηρίων στο κানাβο του ELER

	M6L	RC31L	RC31M	RC32M	RC41L	RC41M	RC42M	TOTAL _BLD
22606	0.017% x 828= 14	0.017% x 2078= 35	0.017% x 371= 6	0.017% x 520= 9	0.017% x864= 14	0.017% x 155= 3	0.017% x 217= 4	85
22607	(0.74% x 828)+(0.236% x 323)= 709	(0.74% x 2078)+(0.236% x 2320)= 2085	(0.74% x 371)+(0.236% x 24)= 280	(0.74% x 520)+(0.236% x 72)= 402	(0.74% x 864)+(0.236% x 968)= 868	(0.74% x 155)+(0.236% 20)= 119	(0.74% x 217)+(0.236% x 20)= 165	4628
22608	0.052% x 828= 43	0.052% x 2078= 108	0.052% x 371= 19	0.052% x 520= 27	0.052% x 864= 45	0.052% x 155= 8	0.052% x 217= 11	261
22906	0.034% x 828= 28	0.034% x 2078= 71	0.034% x 742 = 13	0.034% x 520= 18	0.034% x 864= 29	0.034% x 155= 5	0.034% x 217= 7	171
22907	(0.157% x 828)+(0.703% x 323)+(0.137% x 102)= 371	(0.157% x 2078)+(0.703% x 2320)+(0.137% x 922)= 2083	(0.157% x 371)+(0.703% x 24)+(0.137% x 0)= 69	(0.157% x 520)+(0.703% x 72)+(0.137% x 0)= 132	(0.157% x864)+(0.703% x 968)+(0.137% x 385)= 869	(0.157% x 155)+(0.703% x 20)+(0.137% x 0)= 38	(0.157% x 217)+(0.703% x 20)+(0.137% x 0)= 48	3610
22908	0.86% x 102 = 88	0.86% x 922 = 793	0.86% x 0 = 0	0.86% x 0 = 0	0.86% x 385= 331	0.86% x 0 = 0	0.86% x0 = 0	1212
	1253	5175	387	588	2156	173	235	9967

4.4 Σεισμικός κίνδυνος(seismic hazard)

Για την εφαρμογή μας επιλέχτηκε ο σεισμικός κίνδυνος (seismic hazard) να προέρχεται από την εστία του σεισμού της Πάρνηθας 1999 (γεωγραφικό πλάτος 38.11 γεωγραφικό μήκος 23.60 και βάθος 11Km). Ο συγκεκριμένος σεισμός προέρχεται από ένα ρήγμα μήκους περίπου 15Km (Εικόνα 4.4)[21]. Ο μέγιστος σεισμός που μπορεί να προκαλέσει αυτό το ρήγμα υπολογίζεται με βάση μήκος του ρήγματος (15-16. Km) και τις εμπειρικές εξισώσεις που έχουν προτείνει Παπαζάχος (Εξίσωση 4.1), & Pavlides & Caputo (2003),(Εξίσωση 4.2),[6]. Με εφαρμογή της πρώτης εμπειρικής εξίσωσης υπολογίζουμε ότι το ρήγμα, με το μήκος που έχει μπορεί, να προκαλέσει μέγιστο σεισμό M=6.0, ενώ με εφαρμογή της δεύτερης εμπειρικής εξίσωσης υπολογίζουμε ότι το ρήγμα μπορεί να προκαλέσει μέγιστο σεισμό M=6.5. Με βάση αυτά τα δυο μέγιστα σεισμικά μεγέθη μπορούμε να επιλέξουμε ως μέγιστο σεισμικό σενάριο για την εφαρμογή μας M=6.3. Τελικά το μέγεθος των σεισμικών σεναρίων θα είναι M=5.5, M=5.7, M=5.9, M=6.1 και M=6.3, ενώ το εστιακό βάθος 11 χιλιόμετρα(Πίνακας 4.17)

$$\log L = 0.51 \cdot Mw - 1.85 \quad (4.1)$$

$$Ms = 0.9 \cdot \log L + 5.48 \quad (4.2)$$



Σχήμα 3.1.1: Απλοποιημένος γεωλογικός - τεκτονικός χάρτης της Αττικής, 1. Μεταλπηκοί σχηματισμοί, 2. Μη μεταμορφωμένοι Αλπηκοί σχηματισμοί, 3. Μεταμορφωμένοι Αλπηκοί σχηματισμοί, 4. Κύρια ενεργά ρήγματα, 5. Γραμμή επώθησης (Παπανικολάου, Δ., κ.ά., 2002)

Εικόνα 4.4. Ενεργά ρήγμα της Αττικής

Πίνακας 4.17. Σεισμικά σενάρια

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ (Richter)	ΕΣΤΙΑΚΟ ΒΑΘΟΣ (Km)
1	5.5	11
2	5.7	11
3	5.9	11
4	6.1	11
5	6.3	11

Για τύπο σεισμικής πηγής (source type) επιλέγουμε τον σημειακό τύπο σεισμικής πηγής (point source), ενώ για την διόρθωση – ενσωμάτωση των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης σύμφωνα με το γεωγραφικό υπόβαθρο της περιοχής σεισμού (site correction) επιλέγεται να γίνει βάση την μέθοδο του Eurocode 8.

Στο πεδίο Site Condition- (Vs-30 Grid) επιλέγουμε να εισάγουμε το Default Vs-30 Grid. προεπιλεγμένο γεωγραφικό υπόβαθρο Vs-30 που περιέχει όλη την περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου που έχει συνταχθεί από U.S.G.S. Global Vs-30 Map Server (Default Vs-30 Grid.)

Η εμπειρικές σχέσεις (GMPEs) βάση τις οποίες θα υπολογίσουμε τις εδαφικές κινήσεις είναι με βάση των Boore and Atkinson, 2008. Τέλος η μέθοδος βάση της οποίας θα γίνει η κατανομή των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης PGA & PGV είναι σύμφωνα με τις σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί από Wald et. al. (1999a and 1999b). Όλα τα παραπάνω αναφέρονται συγκεντρωτικά στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.18)

Πίνακας 4.18. Παράμετροι για τον Σεισμικός κίνδυνος-seismic hazard για το λογισμικό ELER

Σεισμικός κίνδυνος(seismic hazard).	
Event Data (Σεισμικό γεγονός)	Για την εφαρμογής μας θα επιλέξουμε τέσσερα σεισμικά σενάρια με επίκεντρο το επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας 1999. Το μέγεθος των σεισμικών σεναρίων θα είναι M=5.5, M=5.7, M=5.9, M=6.1 και M=6.3, ενώ το εστιακό βάθος 11
Source Type (Τύπος σεισμικής πηγής)	Σημειακό τύπο σεισμικής πηγής (point source),
Site Correction (διόρθωση – ενσωμάτωση των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης)	Επιλέγεται να γίνει βάση την μέθοδο του Eurocode 8.
Vs-30 Grid (γεωλογικό υπόβαθρο Vs-30)	Προεπιλεγμένο γεωλογικό υπόβαθρο Vs-30 που περιέχει όλη την περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου που έχει συνταχθεί από U.S.G.S. Global Vs-30 Map
Ground Motion (Η εμπειρικές σχέσεις Ground Motion Prediction Equations (GMPEs))	Τις εδαφικές κινήσεις είναι θα τις υπολογίσουμε με βάση τις εξισώσεις των Boore and Atkinson, 2008 $\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + e \cdot \sigma_\tau$
Instrumental Intensity (κατανομή των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης PGA & PGV)	Τέλος την κατανομή των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης PGA & PGV, θα την υπολογίσουμε με βάση τις σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί από Wald et. al. (1999a and 1999b) Για εκτίμηση έντασης V<Imm<VIII σχετικές με το PGA $Imm = 3.66 \log(PGA) - 1.66$ Για εκτίμηση έντασης V<Imm<IX σχετικές με το PGV $Imm = 3.47 \log(PGV) + 2.35$

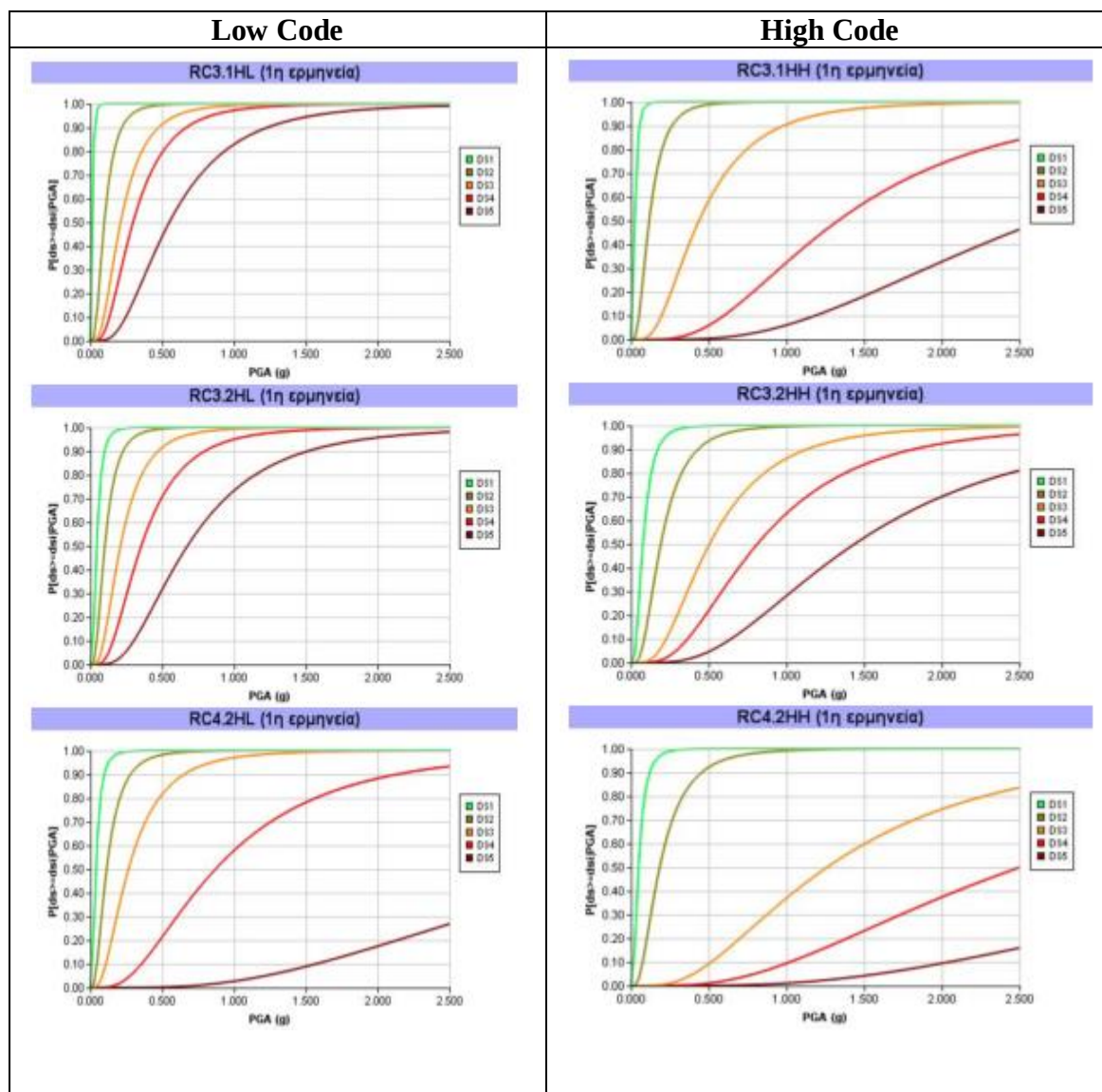
4.5 Παράμετροι υπολογισμού εκτίμησης σεισμικών απωλειών LEVEL 2

Για τον υπολογισμό της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών, θα χρησιμοποιήσουμε το επίπεδο Level 2 του λογισμικού ELER. Το επίπεδο Level 2 του λογισμικού έχει την δυνατότητα να κάνει αναλυτικούς υπολογισμούς για την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών, όμως για την ολοκλήρωση των υπολογισμών απαιτεί την εισαγωγή ορισμένων πληροφοριών. Έτσι επιλέγουμε το φάσμα απαίτηση να είναι αυτό του Eurocode 8 και ο υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης να γίνει με την μέθοδο Capacity Spectrum Method (CSM) – Procedure A (ATC 40). Η ταξινόμηση είναι αυτή που εμείς καθορίσαμε (Πίνακας 4.9). Οι καμπύλες τρωτότητας και οι καμπύλες απαίτησης, για τα κτίρια M6L, είναι αυτές που προτείνεται από European Building Taxonomy[5]. Ενώ οι αντίστοιχες καμπύλες για τους τύπους κτιρίων RC1L, RC31M, RC32M, RC41L, RC41M, RC42M από αυτές που πρότειναν Kappos, A. J., & Panagopoulos, G. (2010) [20], (Εικόνα 4.4).

Τέλος εισάγουμε τον ψηφιακό χάρτη του δήμου (shp.file) με την κατάλληλη κατανομή των κτιρίων, επεξεργασμένων στο λογισμικό γεωπληροφορικής QGIS. Όλα τα παραπάνω αναφέρονται συγκεντρωτικά στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.19)

Πίνακας 4.19. Παράμετροι για το Level 2 του λογισμικού ELER

Level 2 - ELER	
Demand Spectrul Φάσμα απαίτησης	Spectrum Eurocode 8
Method στοχευόμενης μετακίνησης	Capacity Spectrum Method (CSM) – Procedure A (ATC 40)
Classification Ταξινόμηση κτιρίων	M6L, RC1L, RC31M, RC32M, RC41L, RC41M, RC42M
Building DB (shp.file)	Ψηφιακός χάρτης του δήμου (shp.file) με την κατάλληλη κατανομή των κτιρίων, επεξεργασμένων στο λογισμικό γεωπληροφορικής QGIS



Εικόνα 4.4 . Καμπύλες τρωτότητας κατά Karros, A. J., & Panagopoulos, G. 2010

Τέλος για την ολοκλήρωση των υπολογισμών χρειαστήκαν ορισμένες παραδοχές :

1. Επειδή κατά την χρονική περίοδο 1990-2000 έχουμε σημαντική αλλαγή στον αντισεισμικό κανονισμό (από Πρ. Αρ. 1984 σε ΝΕΑΚ/ΕΑΚ 2000) και λόγω έλλειψης σχετικών πληροφοριών, τα κτίρια που κατασκευαστήκαν αυτή την χρονική περίοδο τα μοιράζουμε ισόποσα σε μια περίοδο 1990-1995(Πρ. Αρ. 1984) και 1996-2000 (ΝΕΑΚ/ΕΑΚ 2000).
2. Ο τύπος του κτιρίου που καλύπτει τα κτίρια της περιόδου έως 1960 είναι αυτός που περιγράφεται ως άοπλη τοιχοποιία με πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα M6 (European Building Taxonomy), λόγω της καλής ποιότητας κατασκευής και υλικών των κτιρίων αυτών.
3. Η κτιριακή υποδομή του Δ.Δ. της Κηφισιάς χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες κατοικίες (L=1-3 ορόφους) και μερικές πολυκατοικίες(M=4-7 ορόφους) στο κέντρο με ποσοστά 28% για RC31L- RC41L, 30% για RC13M-RC41M και 42% για RC32M-RC42M

4. Η κτιριακή υποδομή του Δ.Δ. της Ν. Ερυθραίας χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες κατοικίες (L=1-3 ορόφους) και μερικές πολυκατοικίες (M=4-7 ορόφους) στο κέντρο με ποσοστά 80% για RC31L- RC41L, 5% και για RC13M-RC41M αντίστοιχα και 15% και 10% για RC32M-RC42M αντίστοιχα.
5. Η κτιριακή υποδομή του Δ.Δ. της Εκάλης χαρακτηρίζεται κυρίως από δύοροφες κατοικίες (L=1-3 ορόφους) με ποσοστά 100% για RC31L- RC41L,.
6. Το μέσο κόστος ανακατασκευής καθορίζεται στο 1200 ευρώ, λόγω των ακριβών κατασκευών που χαρακτηρίζει την περιοχή.
7. Τα κτίρια με ύψος (L) έχουν δύο διαμερίσματα ενώ τα κτίρια με ύψος (M) έχουν 12 διαμερίσματα.

4.6 Έλεγχος της κατανομής της κτιριακού αποθέματος στο Δ. Κηφισιάς

Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της εργασίας μας πάνω στην εκτίμηση των σεισμικών απωλειών για τον Δ. Κηφισιάς, θεωρήσαμε σωστό να ελέγξουμε την ορθότητα της κατανομής του κτιριακού αποθέματος της τόσο όσο αναφορά τους τύπους των κτιρίων όσο και το πλήθος σε κάθε τύπο κτιρίου. Έτσι επιλέχτηκε να συγκριθούν τα αποτελέσματα που θα υπολογιστούν, για τις σεισμικές απώλειες (βλάβες κτιρίων και τραυματισμοί) του συγκριμένου δήμου για μια γνωστή σεισμική δόνηση (σεισμός Πάρνηθας 1999, M=5.9) με τις πραγματικές σεισμικές απώλειες που καταγράφηκαν από τον ίδιο σεισμό.

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου αφαιρέσαμε τα κτίρια που κατασκευαστήκαν μετά το 2000 και επαναλάβαμε την όλη διαδικασία κατανομής των κτιρίων

Πίνακας 4.20. Υπολογισμός ποσοστών κτιρίων ανάλογα με τον χρόνο κατασκευής

ΠΟΣΟΣΤΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ			
Σύνολο	Έως 1960	1961-1995	1996-2000
27848	2524	22488	2836
Ποσοστό	0.09	0.807	0.103

Ο τελικός αριθμός των κτιρίων θα προκύψει αν υποθέσουμε ότι οι δύοροφες κατοικίες αποτελούνται από δυο κατοικίες, ενώ οι πολυκατοικίες, που αποτελούνται κυρίως από 4-5 ορόφους, με 6 κατοικίες. Η κατάταξη των κτιρίων στα Δημοτικά Διαμερίσματα του Δ. Κηφισιάς κατανέμετε με βάση τα ποσοστά του πληθυσμού της απογράφης του 2011[16]. (Πίνακας 4.21).

Πίνακας 4.21. Κατάταξη του πλήθους των κτιρίων στα Δ.Δ.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ ΤΩΝ Δ.Δ.			
Δ.Δ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	Ποσοστά	Κτίρια
Δ.Δ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	47332	0.66	18426
Δ.Δ. Ν. ΕΡΥΘΡΑΙΑΣ	18038	0.253	7091
Δ.Δ. ΕΚΑΛΗΣ	5889	0.082	2331
Σύνολο	71259	1	27848

Συνεπώς για το Δ. Δ. Κηφισιάς η τελική κατάταξη θα είναι σύμφωνα με τον πίνακα 4.22:

Πίνακας 4.22. Πλήθος κτιρίων στο Δ.Δ. Κηφισιάς ανά τύπο κτιρίου

Τύπος κτιρίου	Πλήθος διαμερισμάτων	Πλήθος κτιρίων	Κόστος αντικατάστασης
M6L	$0.09\% \cdot 18426 = 1658$	$1658/2 = \mathbf{829}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31L	$0.807\% \cdot 18426 = 14870$	$0.28\% \cdot 14870 = 4163/2 = \mathbf{2082}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31M		$0.30\% \cdot 14870 = 4461/12 = \mathbf{371}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC32M (piloti)		$0.42\% \cdot 14870 = 6245/12 = \mathbf{520}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC41L	$0.103\% \cdot 18426 = 1898$	$0.28\% \cdot 1898 = 1207/2 = \mathbf{604}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC41M		$0.30\% \cdot 4312 = 1293/12 = \mathbf{108}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC42M (piloti)		$0.42\% \cdot 4312 = 1811/12 = \mathbf{151}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$

Για το Δ. Δ. Νέας Ερυθραίας η τελική κατάταξη θα είναι σύμφωνα με τον πίνακα 4.23:

Πίνακας 4.23. Πλήθος κτιρίων στο Δ.Δ. Νέας Ερυθραίας ανά τύπο κτιρίου

Τύπος κτιρίου	Πλήθος διαμερισμάτων	Πλήθος κτιρίων	Κόστος αντικατάστασης
M6L	$0.09\% \cdot 7091 = 638$	$638/2 = \mathbf{319}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31L	$0.807\% \cdot 7091 = 5722$	$0.80\% \cdot 5722 = 4577/2 = \mathbf{2289}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31M		$0.05\% \cdot 5722 = 286/12 = \mathbf{24}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC32M (piloti)		$0.15\% \cdot 5722 = 858/12 = \mathbf{72}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC41L	$0.103\% \cdot 7091 = 730$	$0.80\% \cdot 730 = 584/2 = \mathbf{292}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC41M		$0.10\% \cdot 730 = 73/12 = \mathbf{6}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$
RC42M (piloti)		$0.10\% \cdot 730 = 73/12 = \mathbf{6}$	$12 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{1.555.200\text{Ευρώ}}$

Για το Δ. Δ. Εκάλης η τελική κατάταξη θα είναι σύμφωνα με τον πίνακα 4.24:

Πίνακας 4.24. Πλήθος κτιρίων στο Δ.Δ. Εκάλης ανά τύπο κτιρίου

Τύπος κτιρίου	Πλήθος διαμερισμάτων	Πλήθος κτιρίων	Κόστος αντικατάστασης
M6L	$0.09\% \times 2311 = 208$	$208/2 = \mathbf{104}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31L	$0.807\% \times 2311 = 1865$	$1865/2 = \mathbf{932}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC31M			
RC32M (piloti)			
RC41L	$0.103\% \times 2311 = 238$	$238/2 = \mathbf{119}$	$2 \times 108\text{m}^2 \times 1200\text{Ευρώ} = \mathbf{259.200\text{Ευρώ}}$
RC41M			
RC42M (piloti)			

Τελικά η τελική κατάταξη (Πίνακας 4.25) στα τετράγωνα του ψηφιακού χάρτη του λογισμικού ELER, για τον έλεγχο της κατανομής των κτιρίων θα είναι:

Πίνακας 4.25. Τελική κατάταξη κτηρίων στο κάναβο του ELER

	M6L	RC31L	RC31M	RC32M	RC41L	RC41L	RC42M	TOTAL _BLD
22606	$0.017\% \times 829 = \mathbf{14}$	$0.017\% \times 2082 = \mathbf{35}$	$0.017\% \times 371 = \mathbf{6}$	$0.017\% \times 520 = \mathbf{9}$	$0.017\% \times 604 = \mathbf{10}$	$0.017\% \times 108 = \mathbf{2}$	$0.017\% \times 151 = \mathbf{3}$	79
22607	$(0.74\% \times 829) + (0.236\% \times 319) = \mathbf{688}$	$(0.74\% \times 2082) + (0.236\% \times 2289) = \mathbf{2081}$	$(0.74\% \times 371) + (0.236\% \times 24) = \mathbf{280}$	$(0.74\% \times 520) + (0.236\% \times 72) = \mathbf{402}$	$(0.74\% \times 604) + (0.236\% \times 292) = \mathbf{516}$	$(0.74\% \times 108) + (0.236\% \times 6) = \mathbf{81}$	$(0.74\% \times 151) + (0.236\% \times 6) = \mathbf{113}$	4161
22608	$0.052\% \times 829 = \mathbf{43}$	$0.052\% \times 2082 = \mathbf{108}$	$0.052\% \times 371 = \mathbf{19}$	$0.052\% \times 520 = \mathbf{27}$	$0.052\% \times 604 = \mathbf{31}$	$0.052\% \times 108 = \mathbf{6}$	$0.052\% \times 151 = \mathbf{8}$	242
22906	$0.034\% \times 829 = \mathbf{28}$	$0.034\% \times 2082 = \mathbf{71}$	$0.034\% \times 742 = \mathbf{13}$	$0.034\% \times 520 = \mathbf{18}$	$0.034\% \times 604 = \mathbf{22}$	$0.034\% \times 108 = \mathbf{4}$	$0.034\% \times 151 = \mathbf{5}$	161
22907	$(0.157\% \times 829) + (0.703\% \times 319) + (0.137\% \times 104) = \mathbf{368}$	$(0.157\% \times 2082) + (0.703\% \times 2289) + (0.137\% \times 932) = \mathbf{2064}$	$(0.157\% \times 371) + (0.703\% \times 24) + (0.137\% \times 0) = \mathbf{69}$	$(0.157\% \times 520) + (0.703\% \times 72) + (0.137\% \times 0) = \mathbf{132}$	$(0.157\% \times 604) + (0.703\% \times 292) + (0.137\% \times 119) = \mathbf{316}$	$(0.157\% \times 108) + (0.703\% \times 6) + (0.137\% \times 0) = \mathbf{21}$	$(0.157\% \times 151) + (0.703\% \times 6) + (0.137\% \times 0) = \mathbf{28}$	2998
22908	$0.86\% \times 104 = \mathbf{89}$	$0.86\% \times 932 = \mathbf{801}$	$0.86\% \times 0 = \mathbf{0}$	$0.86\% \times 0 = \mathbf{0}$	$0.86\% \times 119 = \mathbf{198}$	$0.86\% \times 0 = \mathbf{0}$	$0.86\% \times 0 = \mathbf{0}$	1088
	1230	5160	387	588	1093	114	157	8729

Έτσι αφού δημιουργήσαμε τον ψηφιακό χάρτη του δήμου (shp.file) με βάση τα στοιχεία του 4.24 με την χρήση του λογισμικού γεωπληροφορικής QGIS, υπολογίσαμε την εκτίμηση σεισμικών απωλειών (σε κτίρια και ανθρώπους) με την χρήση του λογισμικού ELER, μόνο για ένα σεισμικό σενάριο με βάση τον σεισμό της Πάρνηθας 1999 (Μέγεθος $M=5.9$, γεωγραφικό πλάτος 38.11 γεωγραφικό μήκος 23.60 και βάθος 11Km). Οι παράμετροι για τον σεισμικό κίνδυνο (Seismic Hazard) αναφέρονται στην ενότητα 4.5(Πίνακας 4.18).Τέλος για τον υπολογισμό της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο Level 2 του λογισμικού ELER και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στην ενότητα 4.5 (Πίνακας 4.19).Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.26 και 4.27.

Πίνακας 4.26. Αποτελέσματα εκτίμησης σεισμικών απωλειών – κτιριακής υποδομής για τον Δ. Κηφισιάς με την χρήση του λογισμικού ELER

	M6				RC31L				RC31M				RC32M				RC41L				RC41M				RC42M				TOTAL			
M	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com	Sli	Md	Ext	Com
5.5																																
5.7																																
5.9	371	211	93	51	0	0	0	0	4	0	0	0	367	219	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.1																																
6.3																																

Πίνακας 4.27. Αποτελέσματα εκτίμησης σεισμικών απωλειών – άνθρωποι για τον Δ. Κηφισιάς με την χρήση του λογισμικού ELER

	HAZUS - MH				HAZUS -99				KOERI			
M	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
5.5												
5.7												
5.9	67	13	1	3	62	9	1	1	67	26	14	13
6.1												
6.3												

4.6.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων ELER με τα πραγματικά

Ο σεισμός της Πάρνηθας 1999 έπληξε ιδιαίτερα την περιοχή του Δ. Κηφισιάς και οι απώλειες σε κτίρια ήταν[22]:

- Κατεδαφιστέα (κόκκινα) 168

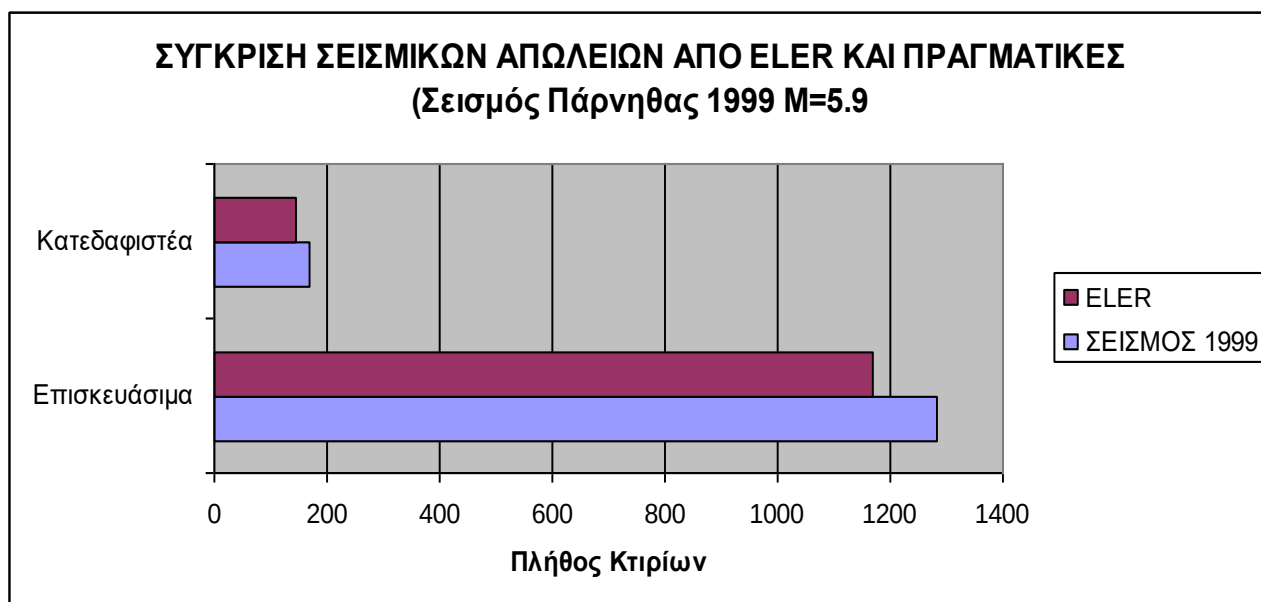
- επισκευάσιμα 1283 (κίτρινα)

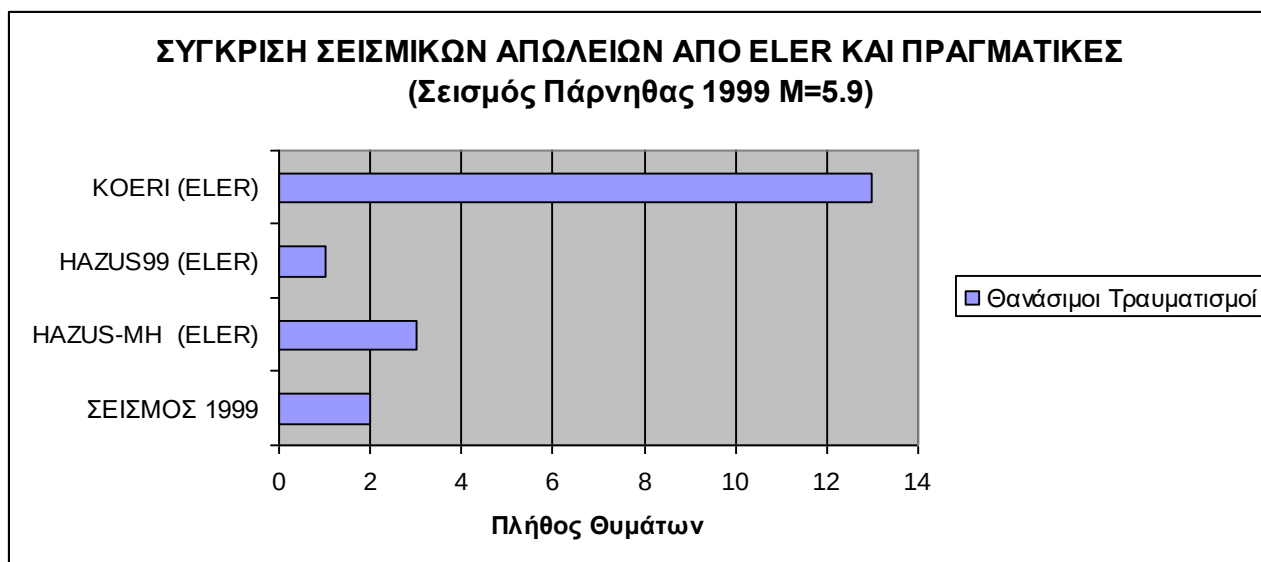
ενώ οι νεκροί, με βάση άρθρο του Ριζοσπάστη (15-9-99), έφτασαν τους 2 στο Κηφισιάς [23]

Αν καθορίσουμε ότι επίπεδο βλάβης Com+Ext αντιστοιχεί στα κατεδαφιστέα – (κόκκινα) ενώ ότι επίπεδο βλάβης Sli+Mod αντιστοιχεί στα επισκευάσιμα – (κίτρινα) τότε προκύπτει ο παρακάτω συγκριτικός πίνακας 4.28.

Πίνακας 4.28. Σύγκριση σεισμικών απωλειών από υπολογισμό με ELER με τις πραγματικές για τον σεισμό της Πάρνηθας 1999 $M=5.9$

	Επίπεδο βλάβης Com+Ext (Κατεδαφιστέα)	Επίπεδο βλάβης Sli+Mod	Θανάσιμοι τραυματισμοί (S4)
Υπολογισμός από ELER	144	1168	3 (Hanus MH) 1 (Hanus 99) 13 (Koeri)
Πραγματική καταγραφή	168	1283	2
Διαφορά	Περίπου 16%	Περίπου 10%	Πολύ κοντά στις πραγματικές





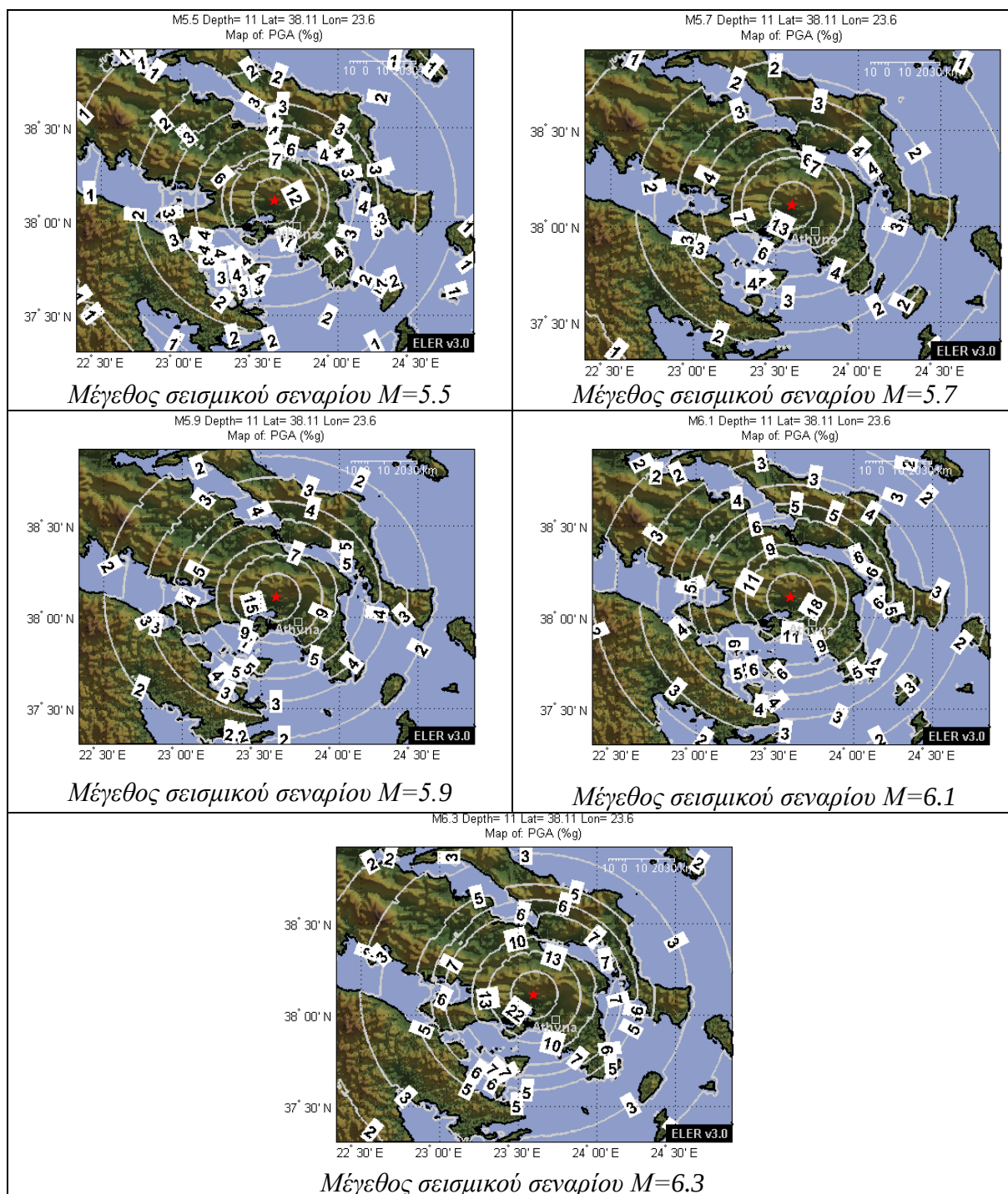
Εικόνα 4.5. Σύγκριση σεισμικών απωλειών από υπολογισμό με ELER με τις πραγματικές για τον σεισμό της Πάρνηθας 1999 M=5.9

Παρατηρούμε από την σύγκριση των τιμών που υπολογιστήκαν από το λογισμικό ELER, για την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών στο Δ. Κηφισιάς και των πραγματικών από τον σεισμό της Πάρνηθας 1999 M=5.9, ότι οι διαφορές είναι πολύ μικρές. Αν σε αυτά συνυπολογίσουμε ότι σκοπός μας είναι η εκτίμηση – πρόβλεψη των σεισμικών απωλειών στο Δ. Κηφισιάς, οδηγούμαστε με ασφάλεια στο συμπέρασμα ότι, η λογική της αρχική μας κατανομής των κτιρίων, τόσο σε τύπους κτιρίων όσο και σε πλήθος είναι ορθή. Άρα και η συνέχιση του υπολογισμού της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών για τον Δ. Κηφισιάς, με αυτή την κατανομή της κτιριακής υποδομής, για διαφορετικά σεισμικά σενάρια, θα μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

4.7. Αποτελέσματα εφαρμογής στο λογισμικό ELER

4.7.1. Σεισμικός κίνδυνος (Seismic Hazard)

Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζονται οι χάρτες με την εκτίμηση της κατανομής της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για κάθε σεισμικό σενάριο.



Εικόνα 4.6. Χάρτες κατανομής εδαφικής επιτάχυνσης PGA)

4.7.2. Εκτίμηση σεισμικών απωλειών

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών σε κτίρια (Πίνακας 4.29), σε ανθρώπους (Πίνακας 4.30) και για οικονομικές απώλειες (Πίνακας 4.31) για τον Δ. Κηφισιάς, με την χρήση του λογισμικού ELER. Ενώ στις εικόνες (4.7 έως 4.15) παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα με περισσότερες λεπτομέρειες.

Πίνακας 4.29. Αποτελέσματα εκτίμησης σεισμικών απωλειών – κτιριακής υποδομής για τον Δ. Κηφισιάς με την χρήση του λογισμικού ELER

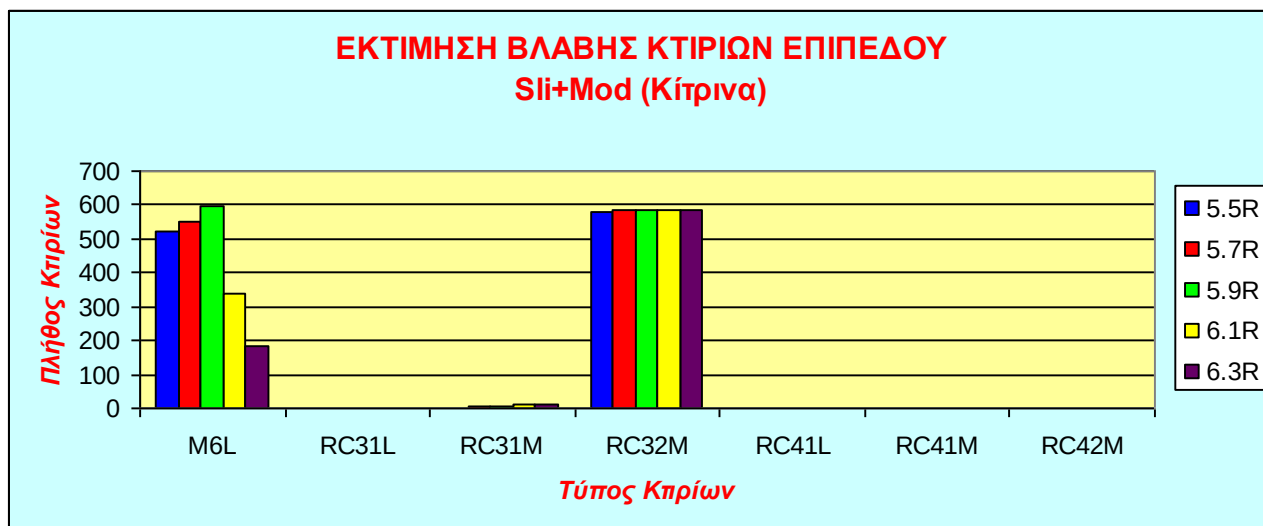
	M6				RC31L				RC31M				RC32M				RC41L				RC41M				RC42M				TOTAL			
M	lis	PM	Ext	Com	lis	PM	Ext	Com	lis	PM	Ext	Com	lis	PM	Ext	Com	lis	PM	Ext	Com	lis	PM	Ext	Com	lis	PM	Ext	Com				
5.5	355	168	64	29	0	0	0	0	1	0	0	0	528	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
5.7	367	185	74	36	0	0	0	0	3	0	0	0	337	248	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
5.9	381	215	95	52	0	0	0	0	4	0	0	0	367	219	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
6.1	179	157	155	536	0	0	0	0	9	0	0	0	351	234	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
6.3	71	112	170	824	0	0	0	0	11	0	0	0	296	287	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Πίνακας 4.30. Αποτελέσματα εκτίμησης σεισμικών απωλειών – άνθρωποι για τον Δ. Κηφισιάς με την χρήση του λογισμικού ELER

	HAZUS - MH					HAZUS -99					KOERI				
M	S1	S2	S3	S4	S3+S4	S1	S2	S3	S4	S3+S4	S1	S2	S3	S4	S3+S4
5.5	35	6	1	1	2	29	4	0	0	1	36	13	7	7	14
5.7	51	9	1	2	2	52	7	1	0	1	50	18	9	9	17
5.9	60	11	1	2	3	56	8	1	0	1	60	24	12	12	24
6.1	330	89	11	23	34	254	47	5	5	10	351	203	124	124	248
6.3	493	137	18	36	54	377	71	7	7	15	526	311	192	192	385

Πίνακας 4.31. Οικονομικές απώλειες για την αντικατάσταση των κτιριακών απωλειών

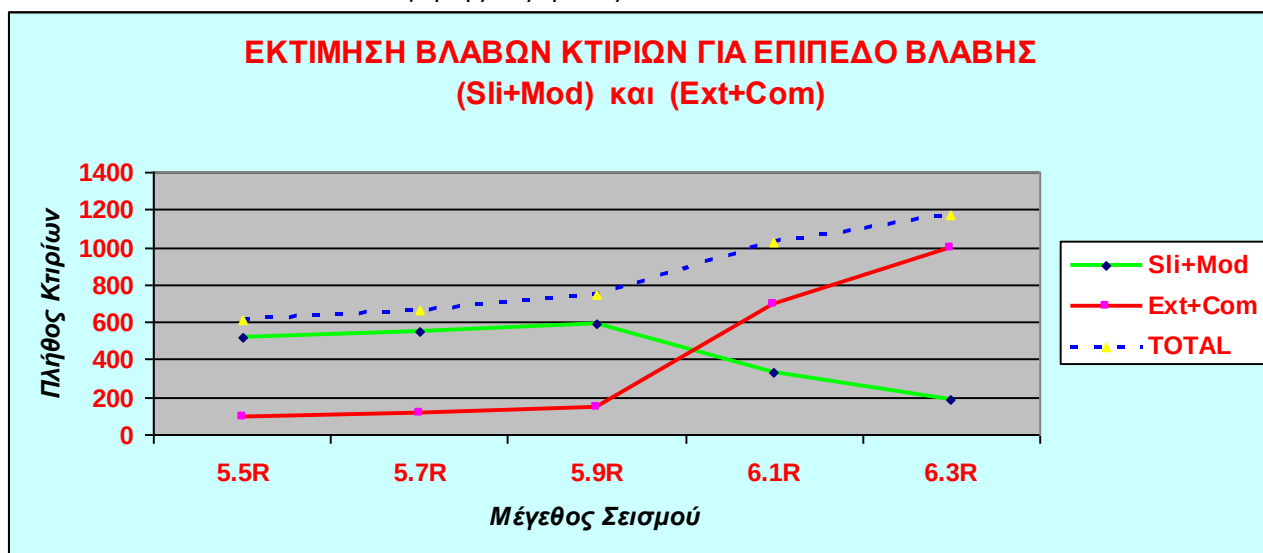
M	Οικονομικές Απώλειες (Ευρώ)
5.5	34.445.370
5.7	51.335.982
5.9	56.877.085
6.1	188.899.260
6.3	268.263.680



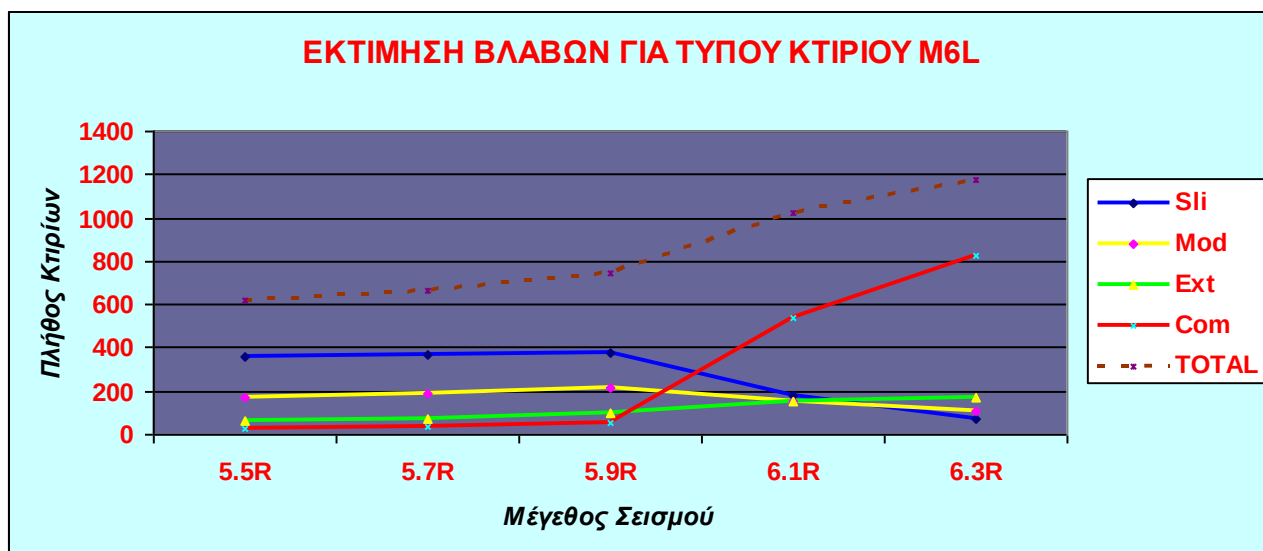
Εικόνα 4.7. Εκτίμηση βλάβης κτιρίων - επιπέδου Si + Mod – κίτρινα



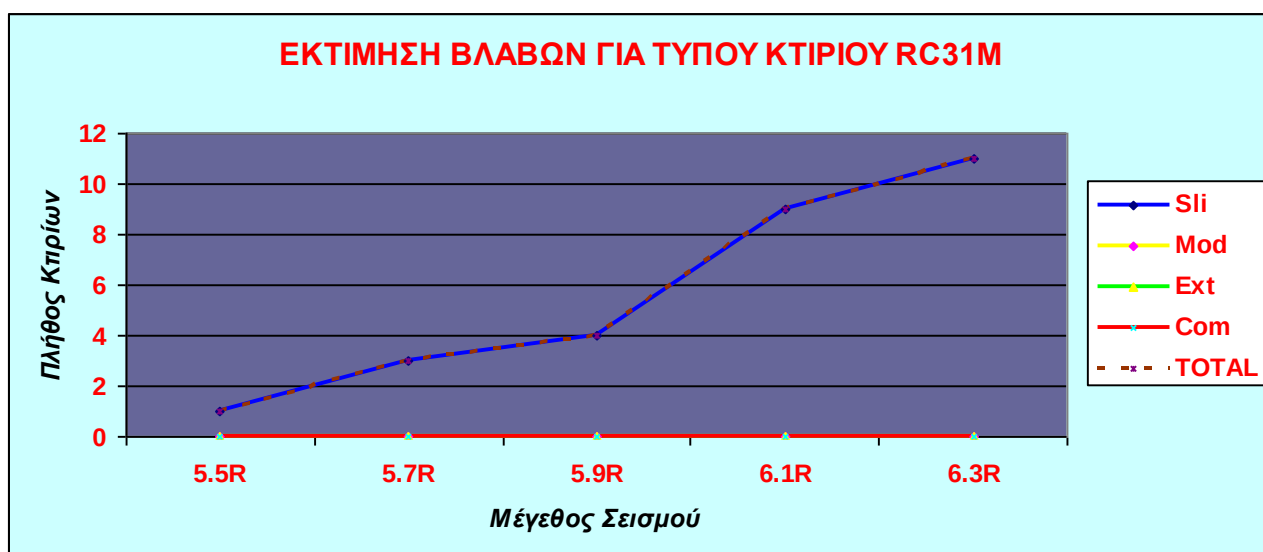
Εικόνα 4.8. Εκτίμηση βλάβης κτιρίων - επιπέδου Ext- Com – κόκκινα



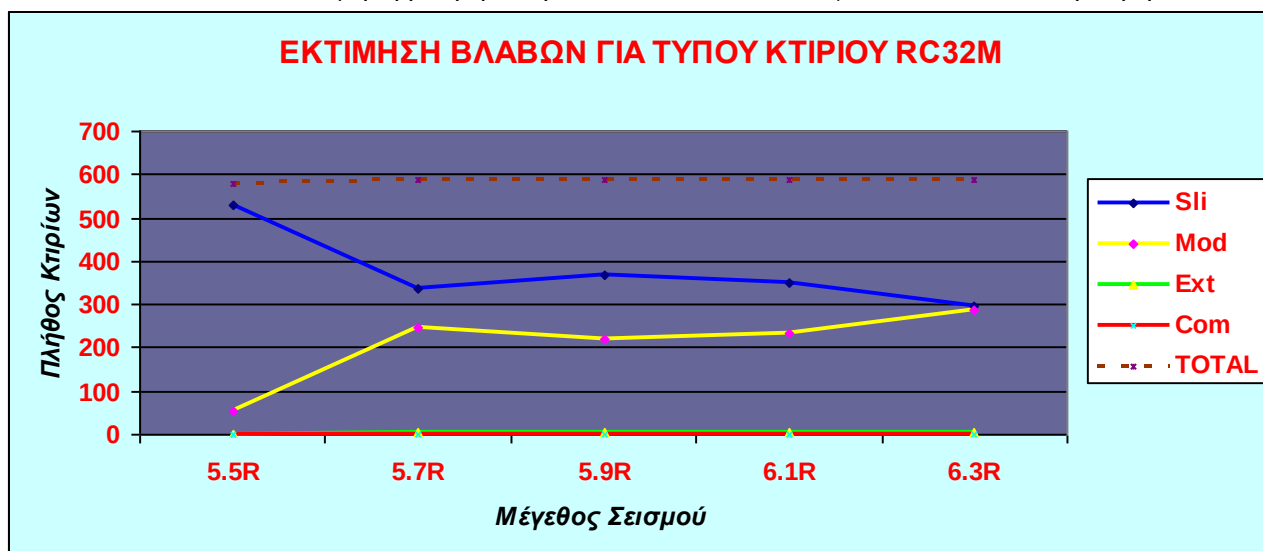
Εικόνα 4.9. Εκτίμηση βλάβης κτιρίων - επιπέδου (Si+Mod) με (Ext- Com)



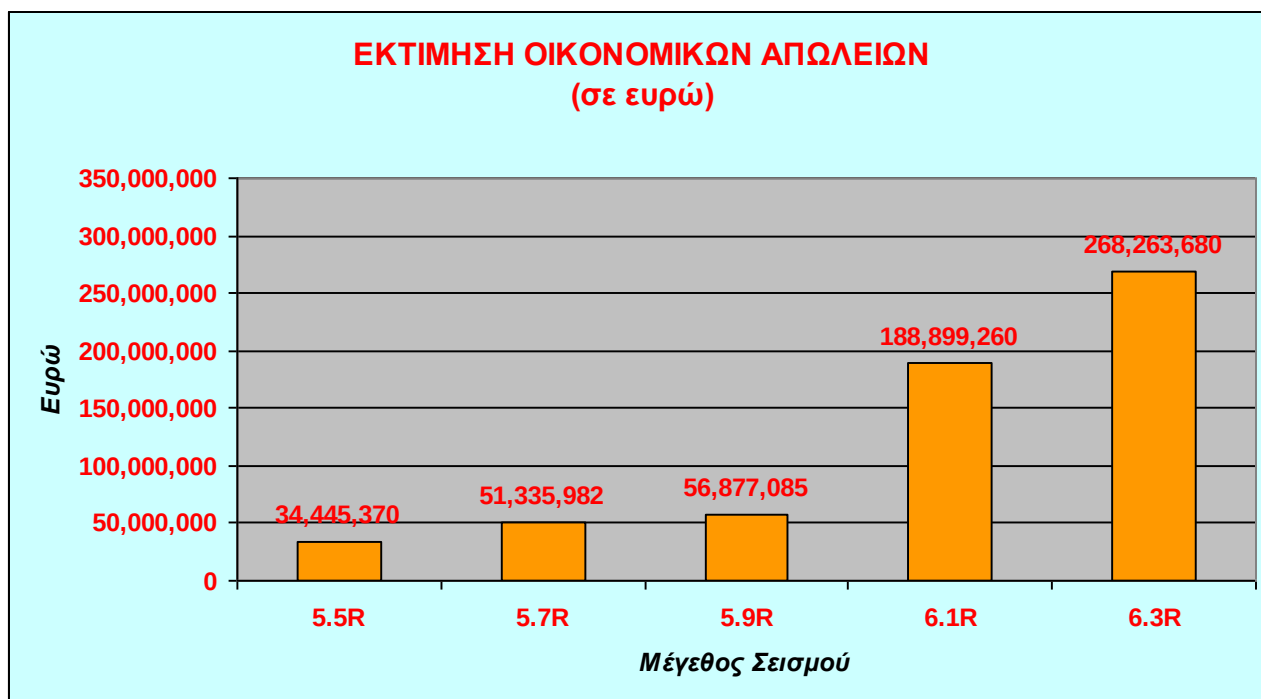
Εικόνα 4.10. Εκτίμηση βλάβης κτιρίου - τύπου M6L- για όλα τα επίπεδα βλάβης



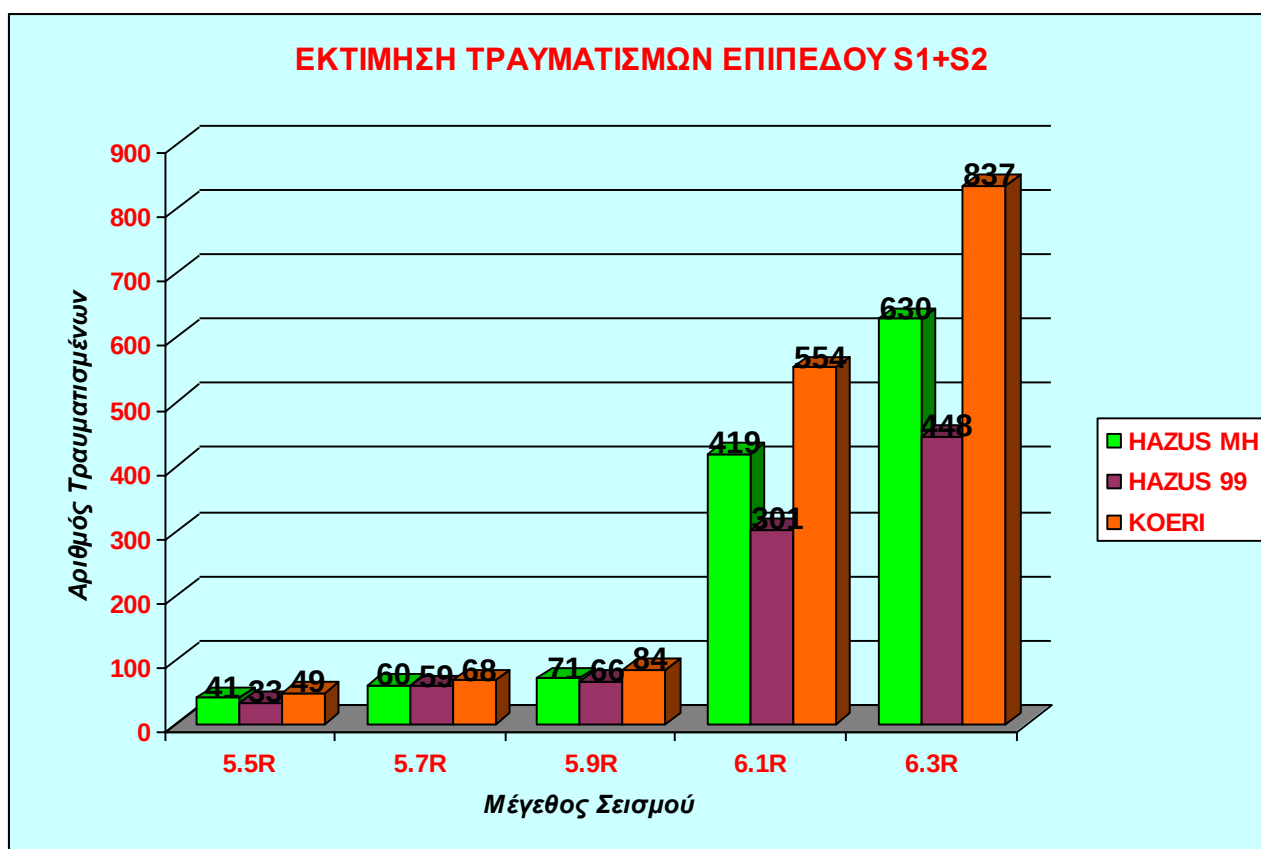
Εικόνα 4.11. Εκτίμηση βλάβης κτιρίου - τύπου RC31M- για όλα τα επίπεδα βλάβης



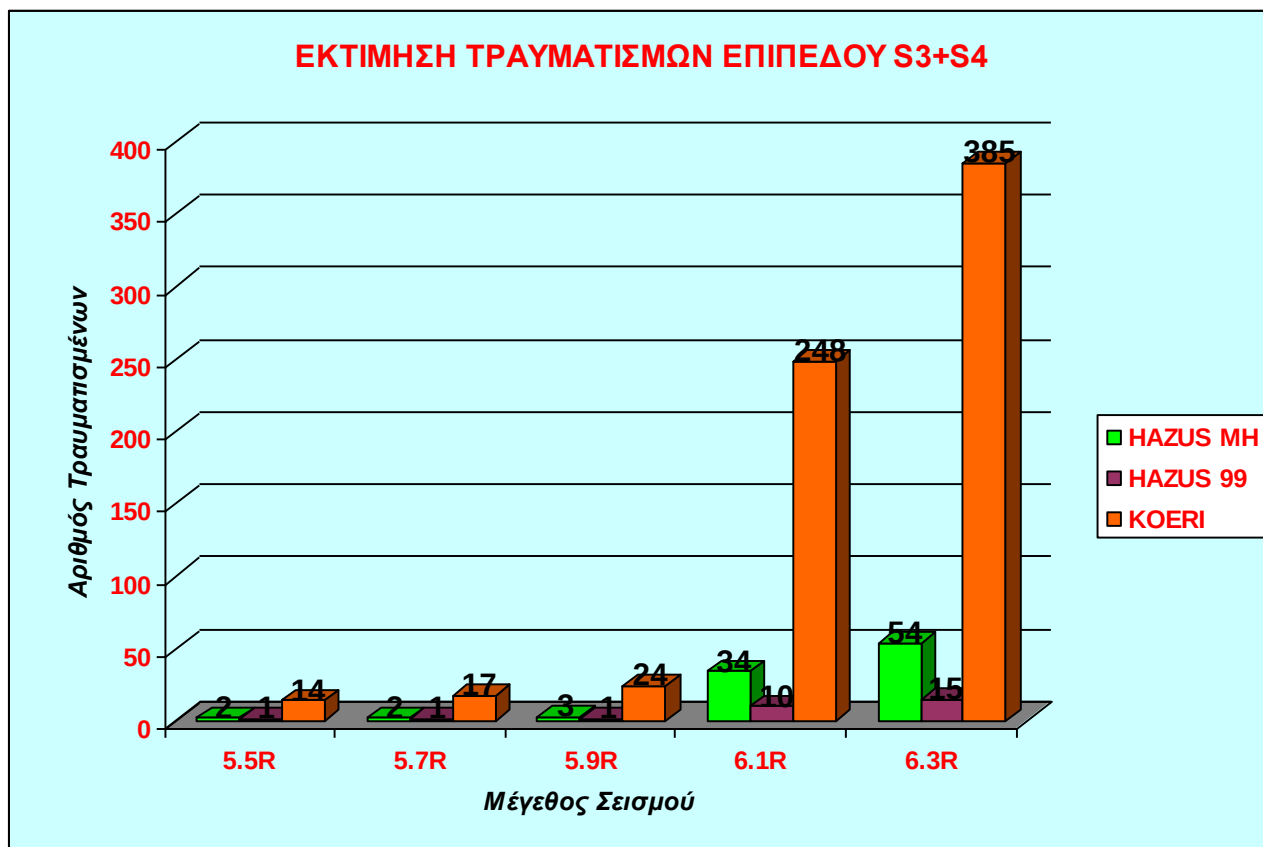
Εικόνα 4.12. Εκτίμηση βλάβης κτιρίου - τύπου RC32M- για όλα τα επίπεδα βλάβης



Εικόνα 4.13. Εκτίμηση οικονομικών απωλειών για αντικατάσταση των βλαβών των κτιρίων



Εικόνα 4.14. Εκτίμηση τραυματισμών χωρίς νοσοκομειακή περίθαλψη -επίπεδο S1- & με νοσοκομειακή περίθαλψη, αλλά χωρίς να υπάρχει κίνδυνος για την ζωή-επίπεδο S2

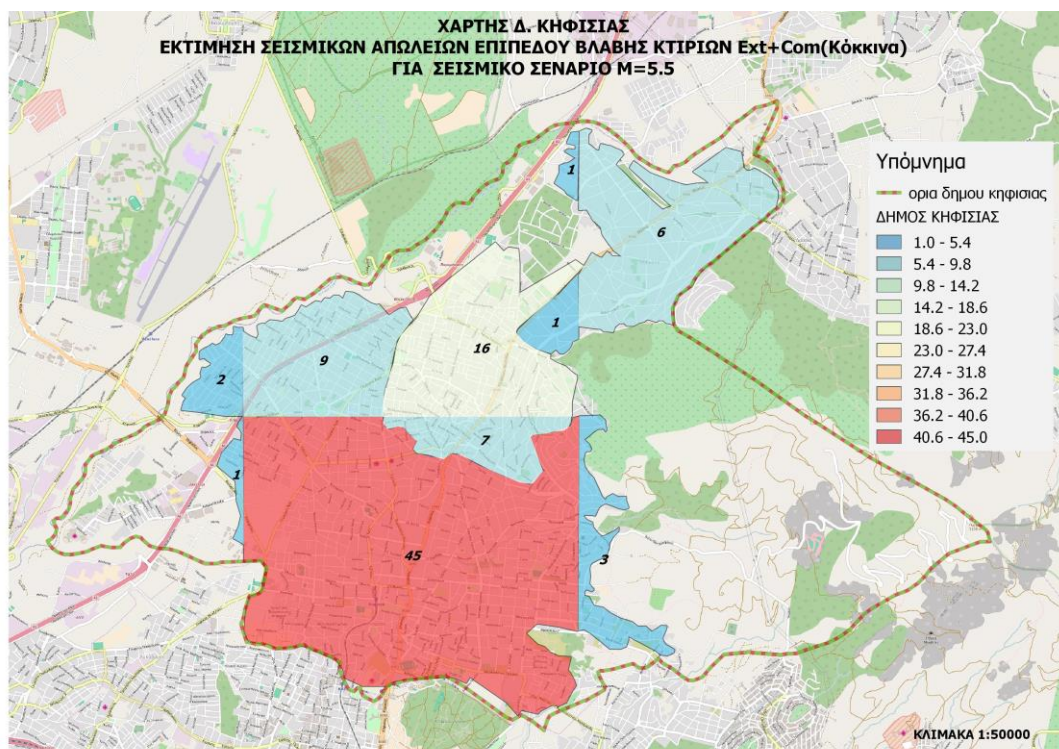


Εικόνα 4.15. Εκτίμηση τραυματισμών πολύ σοβαρών -επίπεδο S3- & θανάσιμων-επίπεδο S4

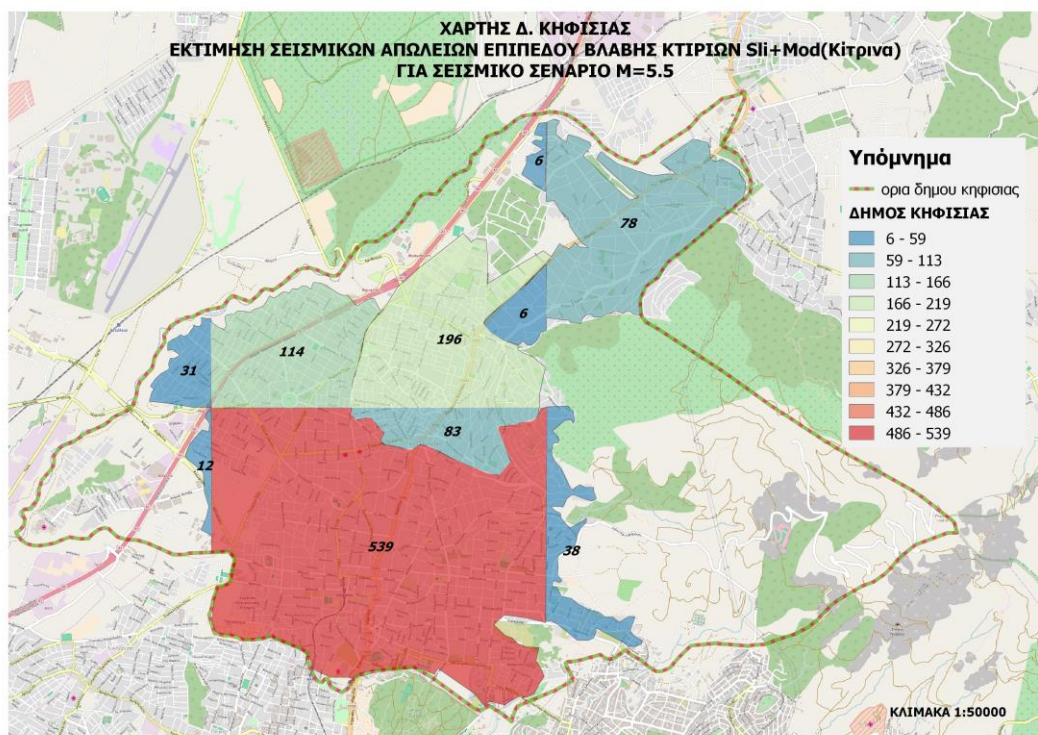
4.7.3 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων – Ψηφιακοί χάρτες

Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με την δημιουργία ψηφιακών χαρτών της περιοχής, που απεικονίζονται σε αυτούς η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών. Για την δημιουργία των ψηφιακών χαρτών εισάγουμε τα αποτελέσματα της παραγράφου 4.7.2. στο λογισμικό γεωπληροφορικής QGIS και με κατάλληλη επεξεργασία οπτικοποιούμε τα αποτελέσματα. Οι ψηφιακοί χάρτες αυτοί θα δίνουν πληροφορίες για όχι μόνο για το μέγεθος της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών σε μια περιοχή (ποσοτικός προσδιορισμός), αλλά και το που θα εμφανιστούν οι σεισμικές αυτές απώλειες (χωρικός προσδιορισμός). Τα χαρακτηριστικά αυτά των ψηφιακών χαρτών, τα καθιστά πολύτιμα εργαλεία σε φορείς που καλούνται να διαχειριστούν φυσικές καταστροφές όπως είναι οι σεισμοί.

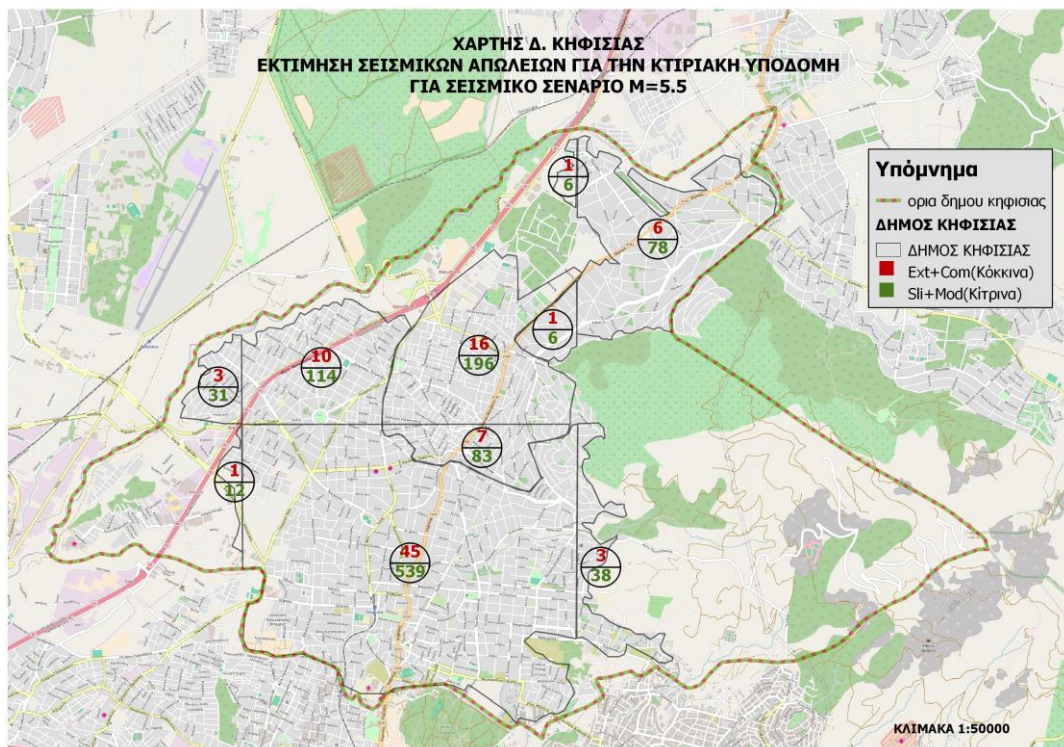
4.7.3.1. Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους $M=5.5$ (με επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας 1999)



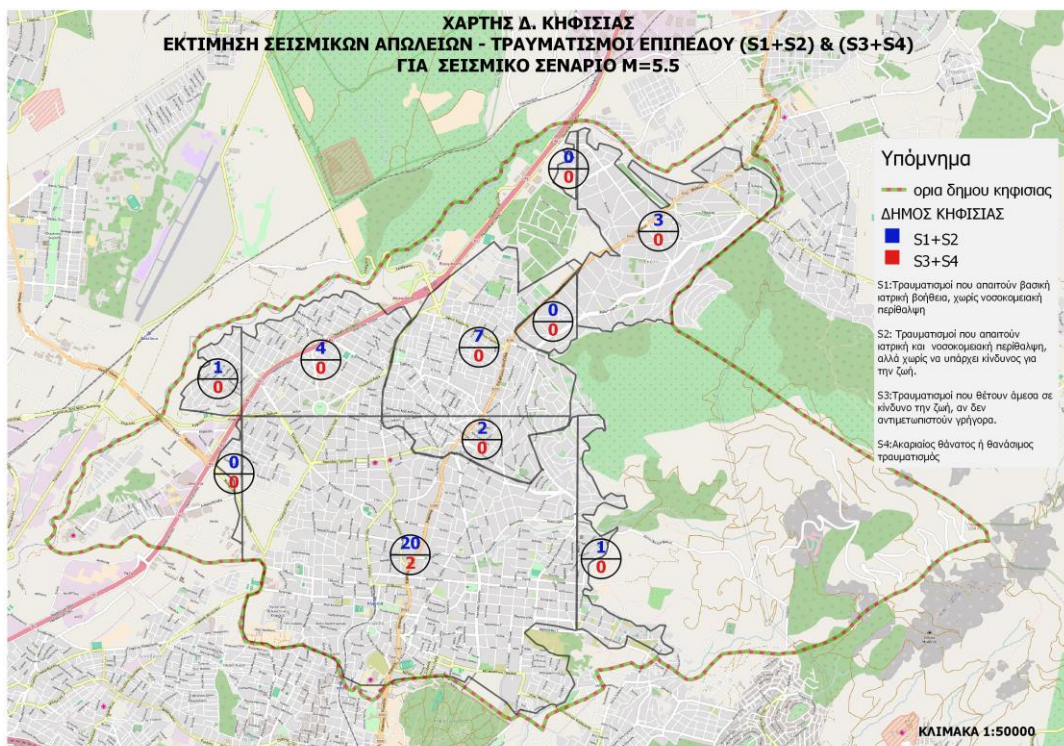
Εικόνα 4.16. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Ext+Com – κόκκινα- για μέγεθος σεισμού $M=5.5$



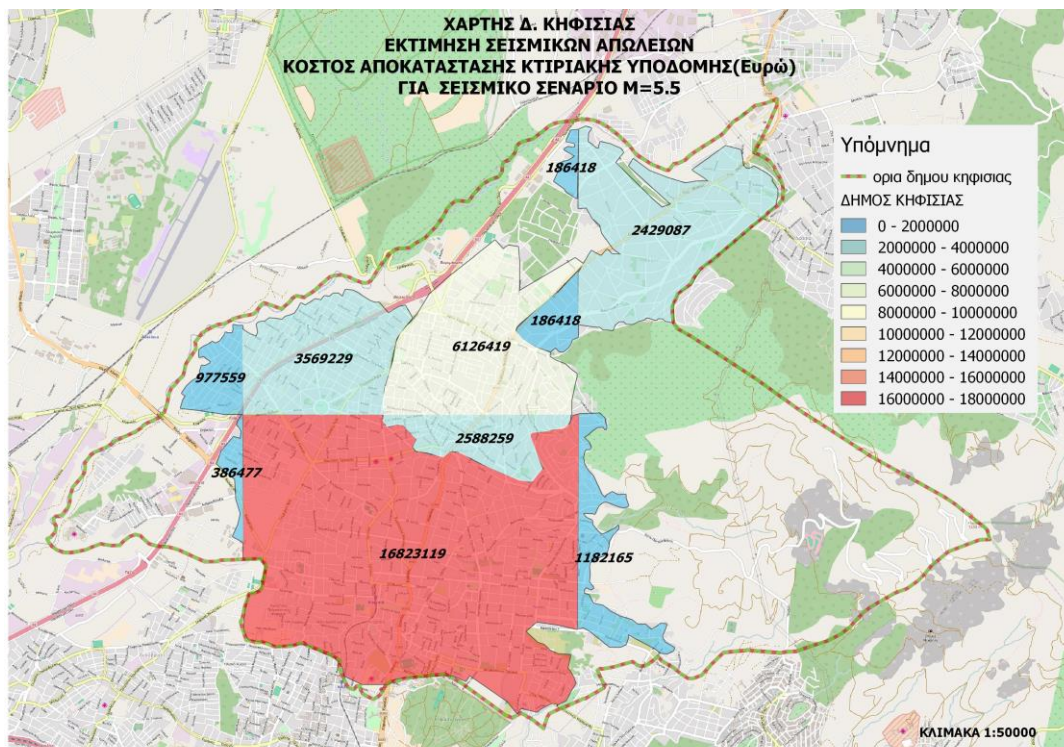
Εικόνα 4.17. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Sli+Mod – κίτρινα- για μέγεθος σεισμού $M=5.5$



Εικόνα 4.18. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων κόκκινα-κίτρινα για μέγεθος σεισμού $M=5.5$

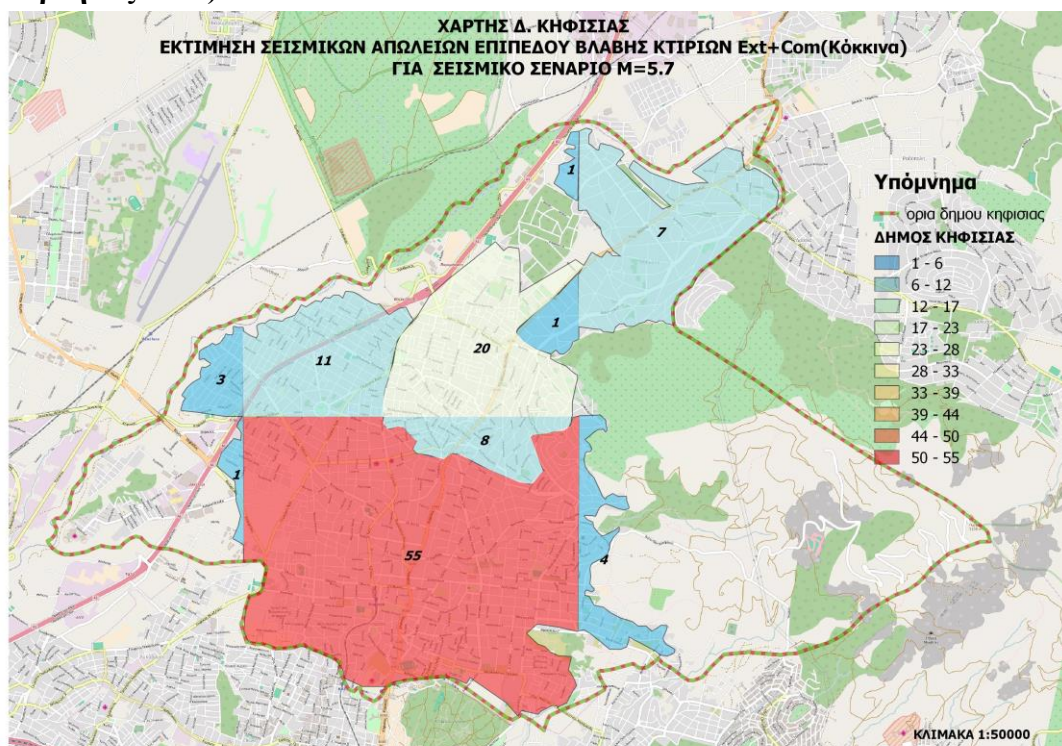


Εικόνα 4.19. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης τραυματισμών επιπέδων S1+S2 & S3+S4 για μέγεθος σεισμού $M=5.5$

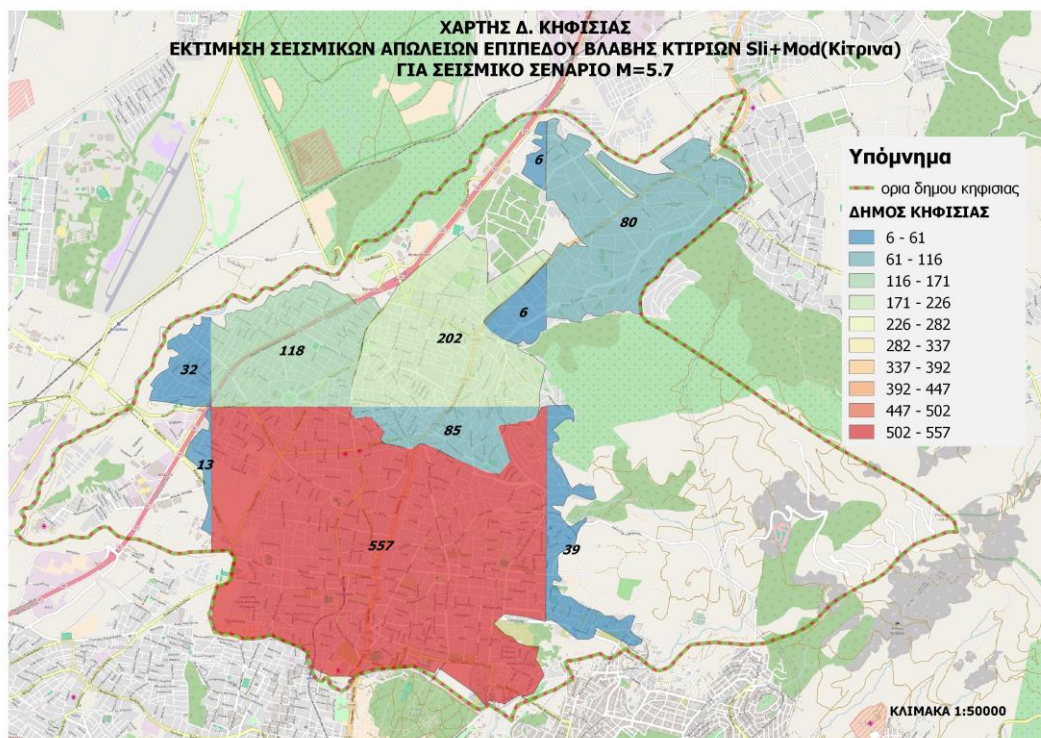


Εικόνα 4.20. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης κόστους αποκατάστασης βλαβών της κτιριακής υποδομής(ευρώ) για μέγεθος σεισμού M=5.5

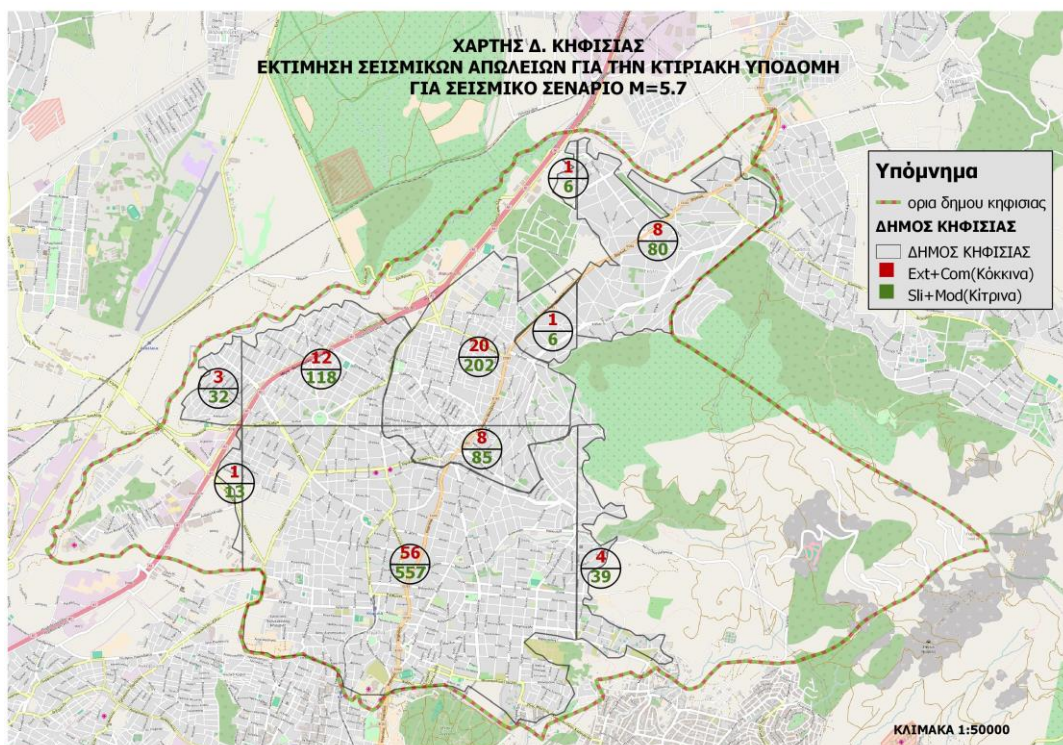
4.7.3.2. Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=5.7(με επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας 1999)



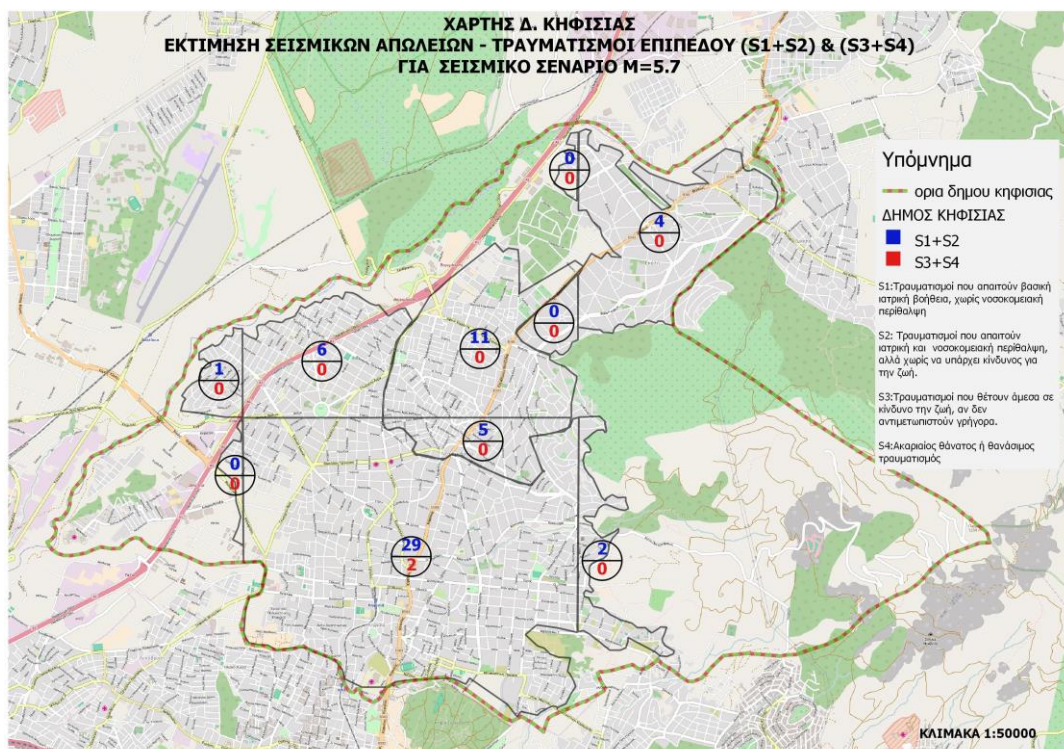
Εικόνα 4.21. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Ext+Com – κόκκινα- για μέγεθος σεισμού M=5.7



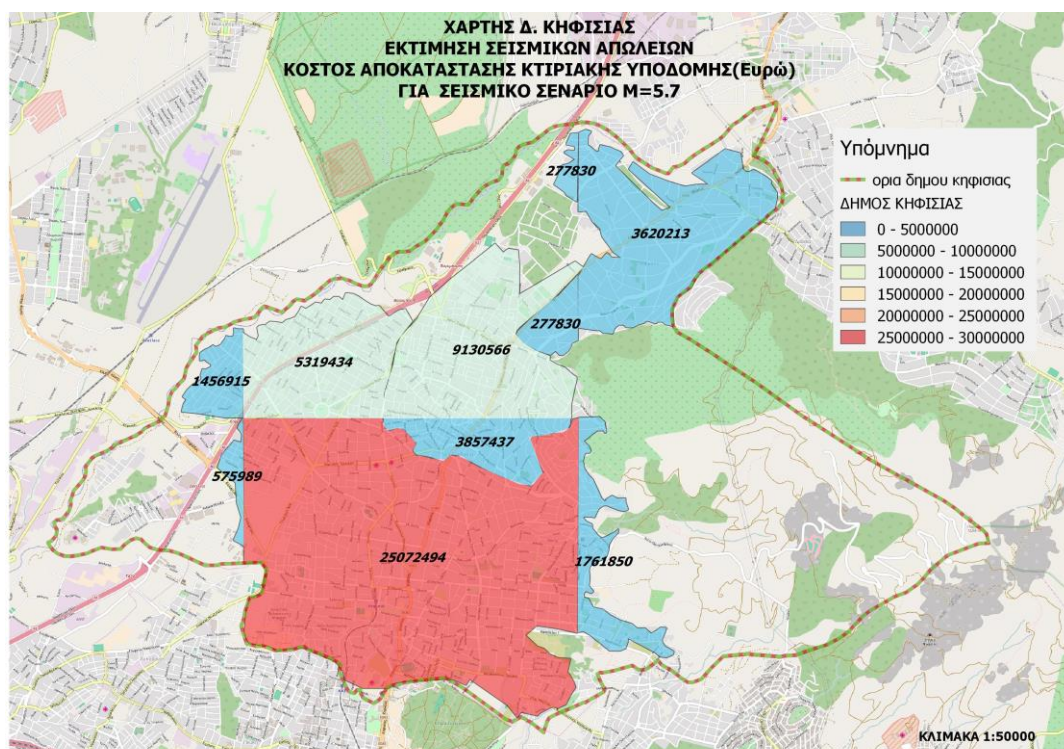
Εικόνα 4.22. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Sli+Mod – κίτρινα- για μέγεθος σεισμού M=5.7



Εικόνα 4.23. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων κόκκινα- κίτρινα για μέγεθος σεισμού M=5.7

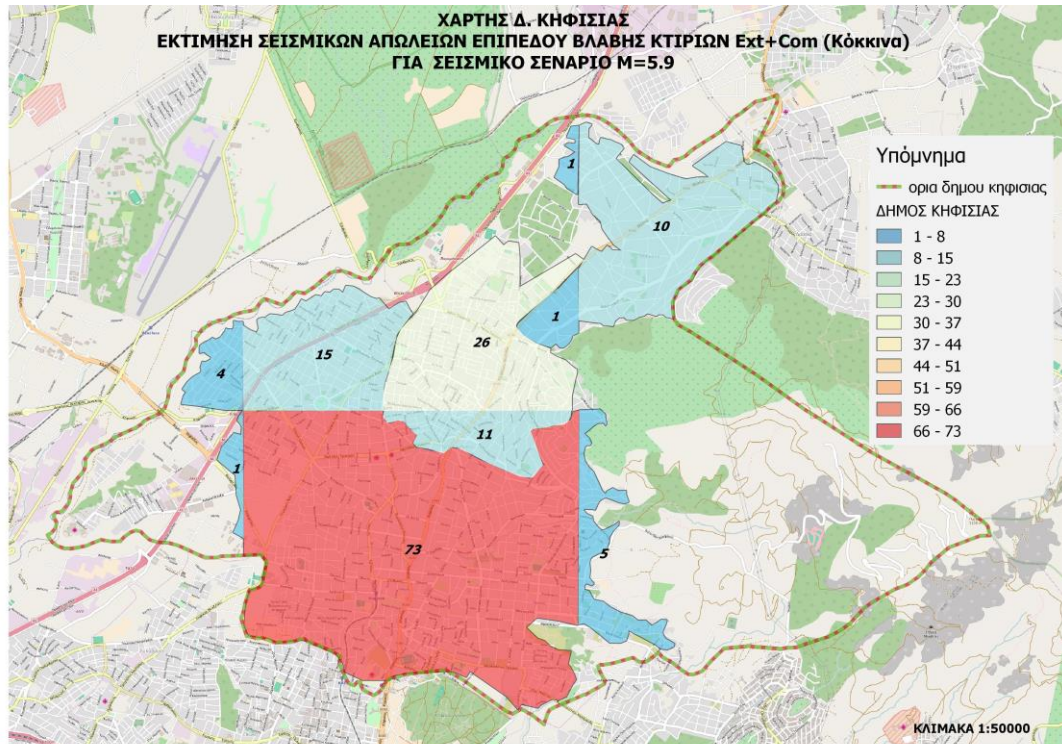


Εικόνα 4.24. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης τραυματισμών επιπέδου S1+S2 & S3+S4 για μέγεθος σεισμού M=5.7

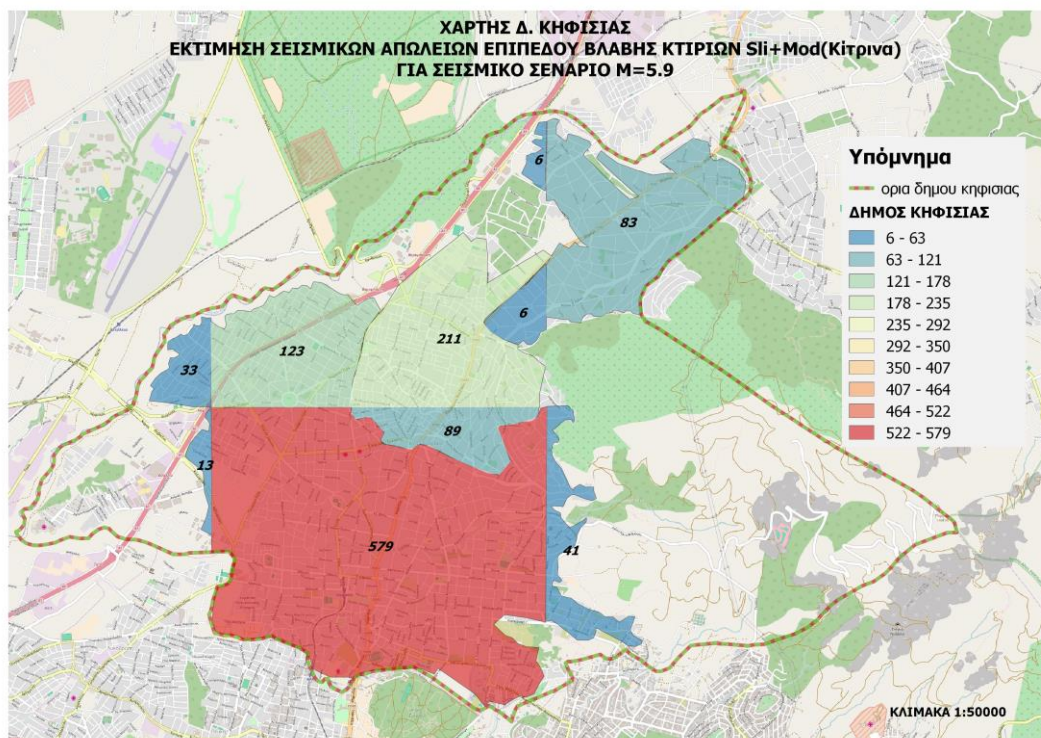


Εικόνα 4.25. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης κόστους αποκατάστασης βλαβών της κτιριακής υποδομής(ευρώ) για μέγεθος σεισμού M=5.7

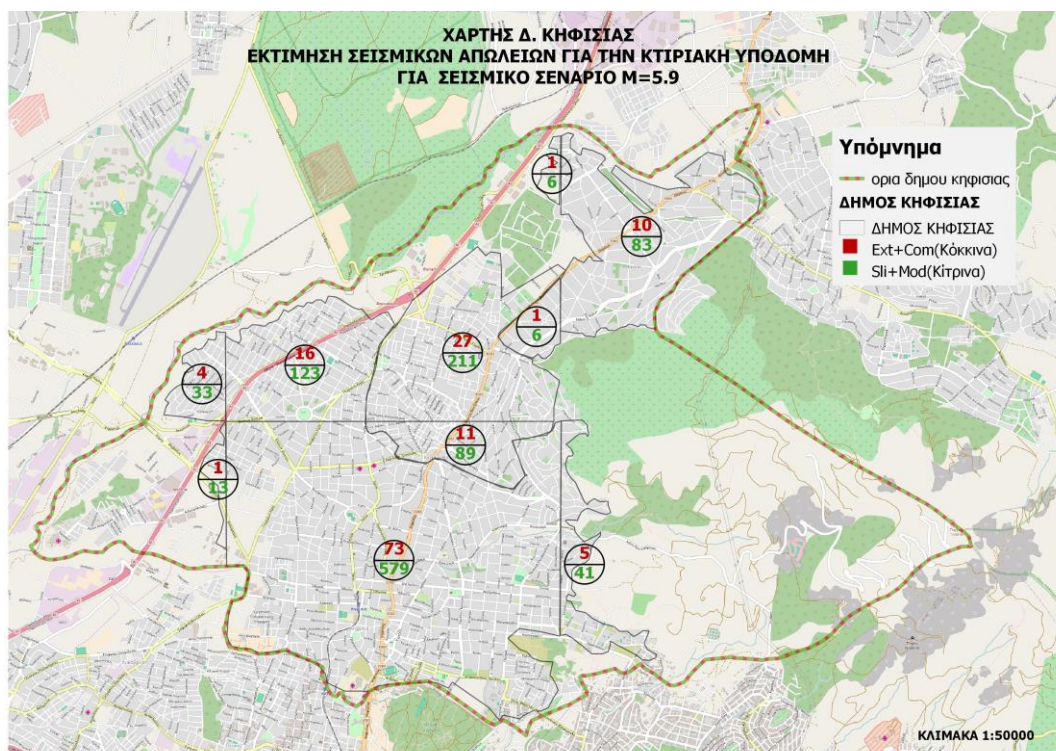
4.7.3.3. Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους $M=5.9$ (με επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας 1999)



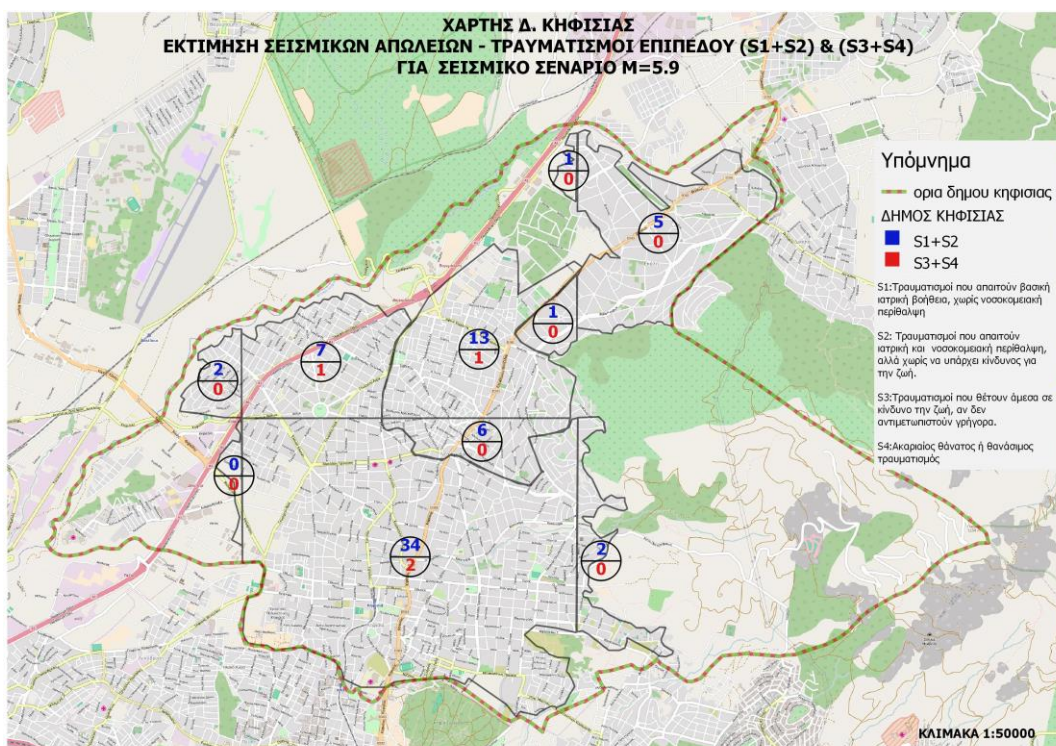
Εικόνα 4.26. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Ext+Com – κόκκινα- για μέγεθος σεισμού $M=5.9$



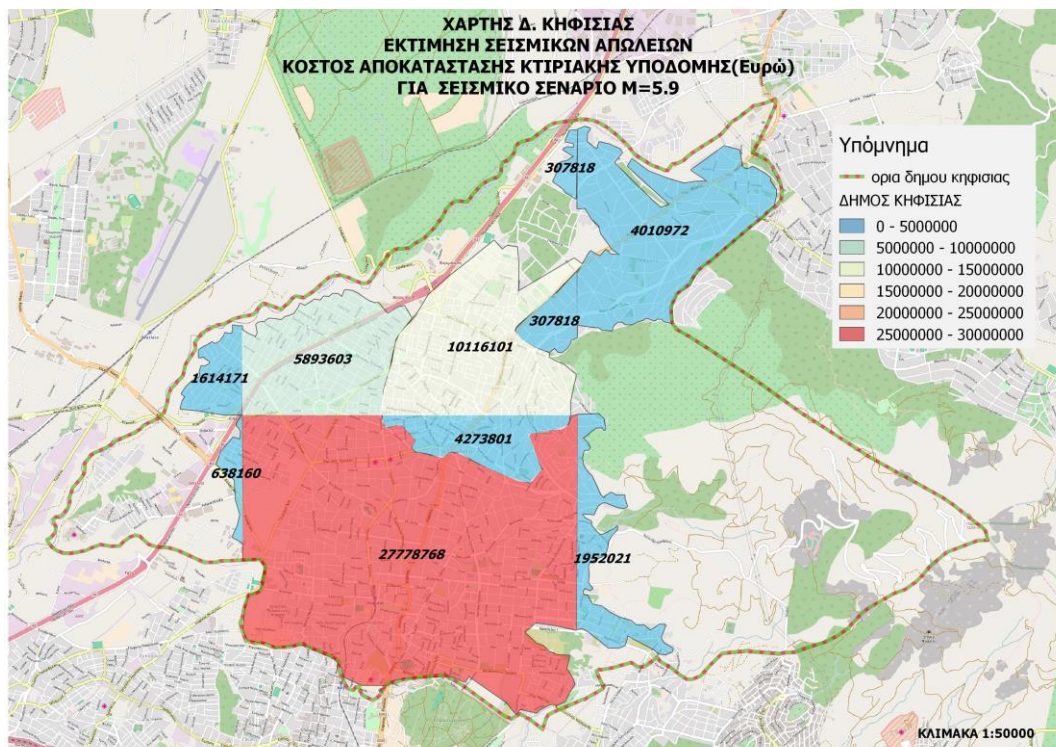
Εικόνα 4.27. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Sli+Mod – κίτρινα- για μέγεθος σεισμού $M=5.9$



Εικόνα 4.28. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων κόκκινα-κίτρινα για μέγεθος σεισμού $M=5.9$

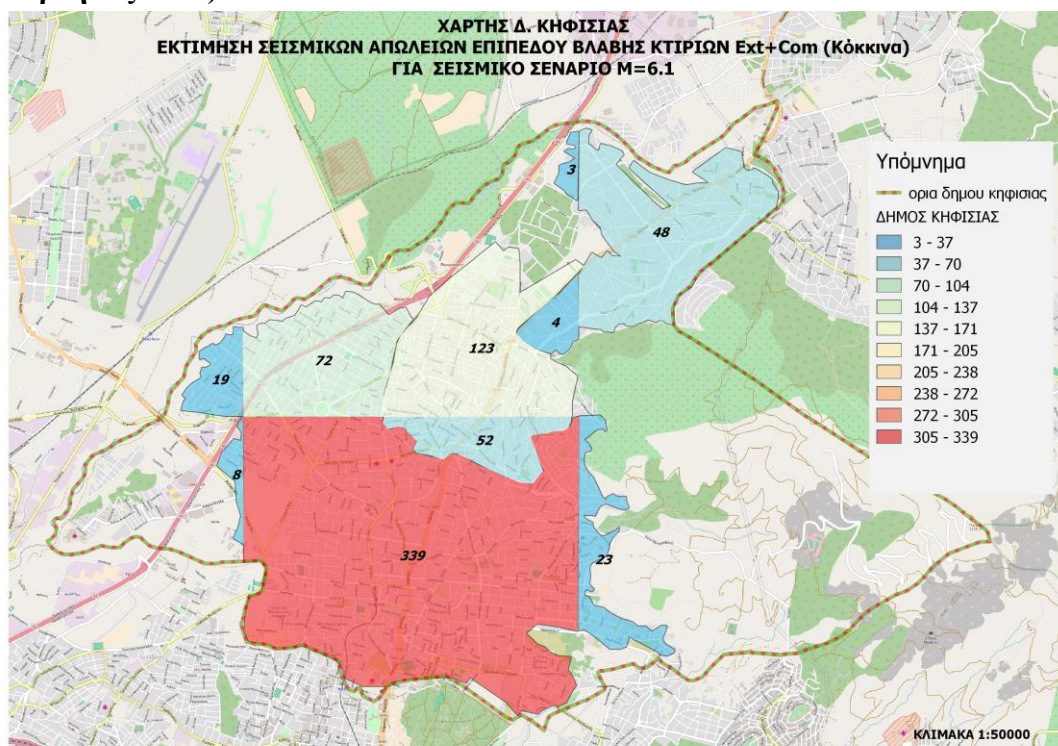


Εικόνα 4.29. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης τραυματισμών επιπέδου S1+S2 & S3+S4 για μέγεθος σεισμού $M=5.9$

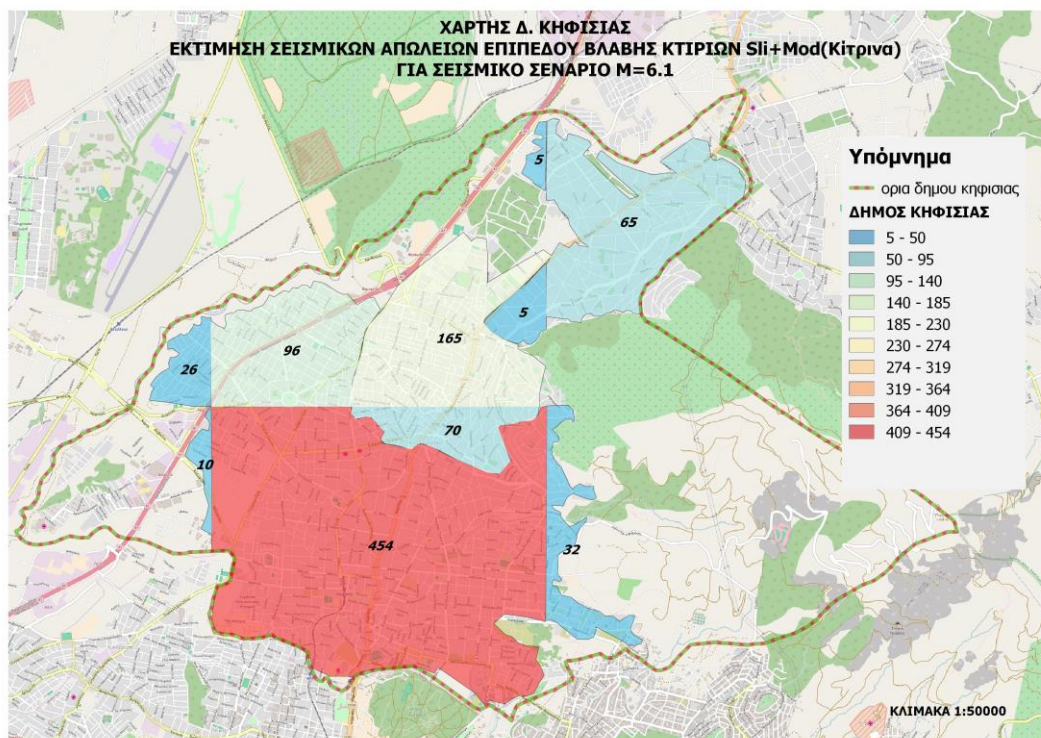


Εικόνα 4.30. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης κόστους αποκατάστασης βλαβών της κτιριακής υποδομής(ευρώ) για μέγεθος σεισμού M=5.9

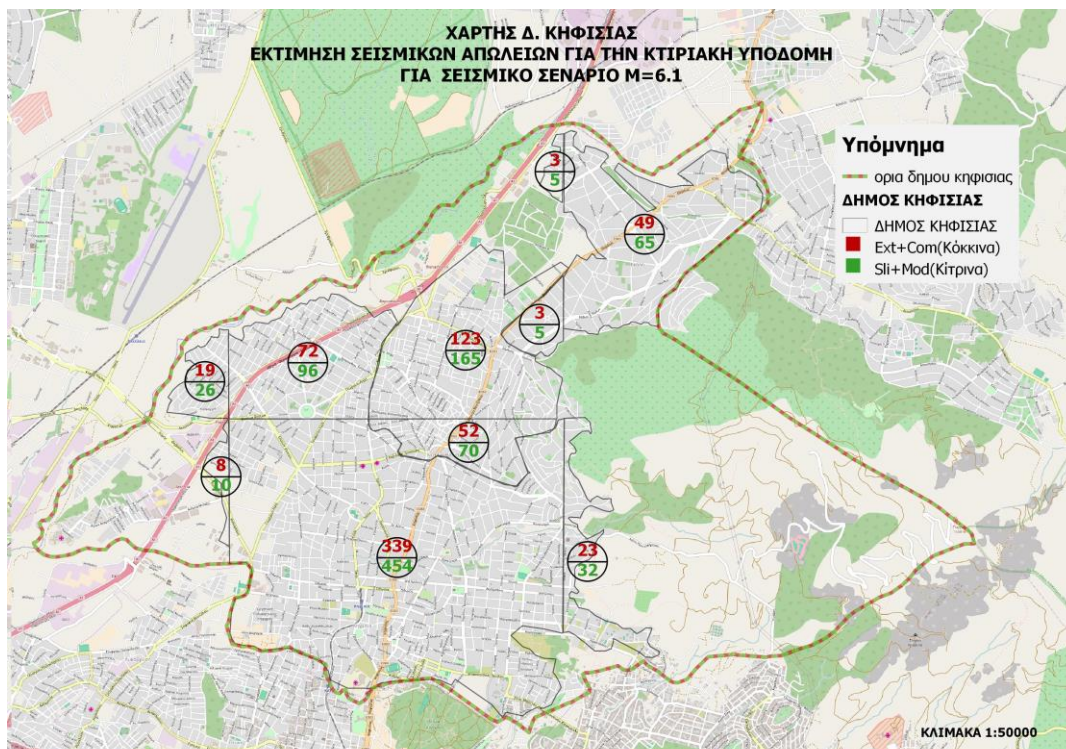
4.7.3.4. Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους M=6.1(με επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας 1999)



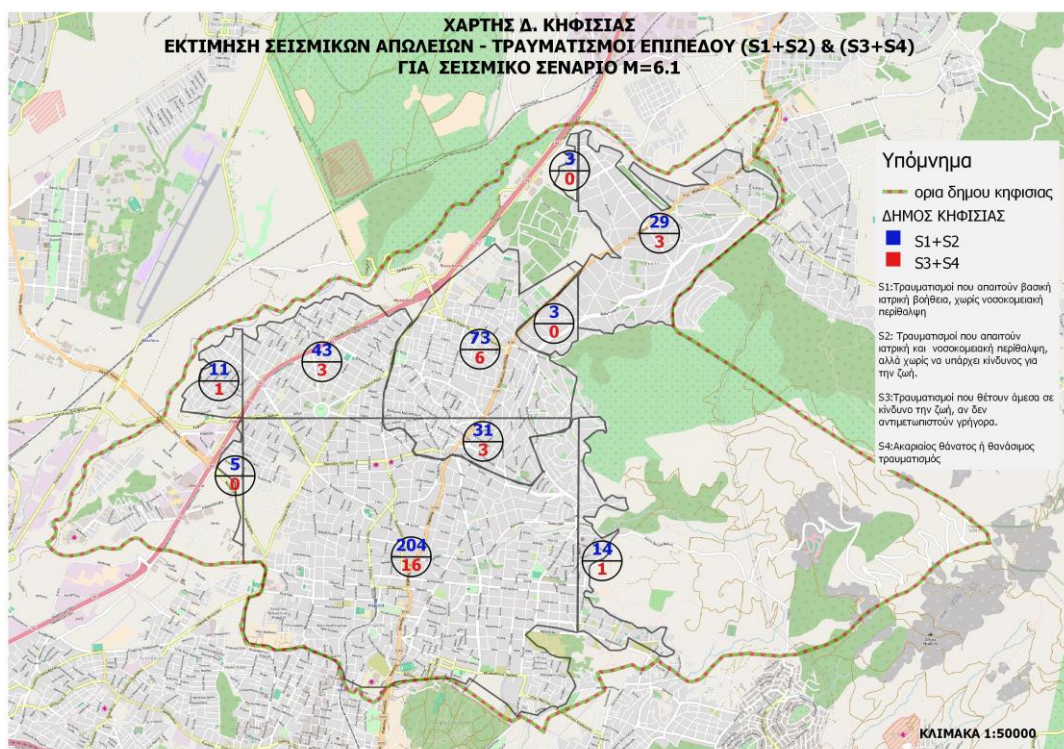
Εικόνα 4.31. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Ext+Com – κόκκινα- για μέγεθος σεισμού M=6.1



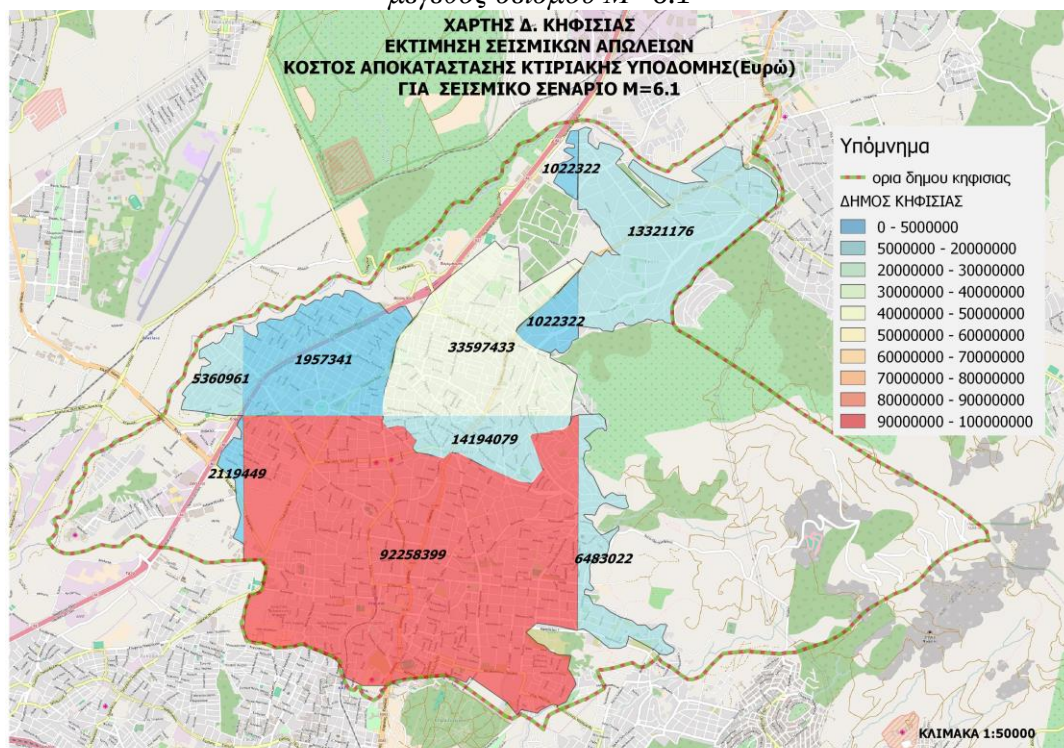
Εικόνα 4.32. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Sli+Mod – κίτρινα- για μέγεθος σεισμού M=6.1



Εικόνα 4.33. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων κόκκινα- κίτρινα για μέγεθος σεισμού M=6.1

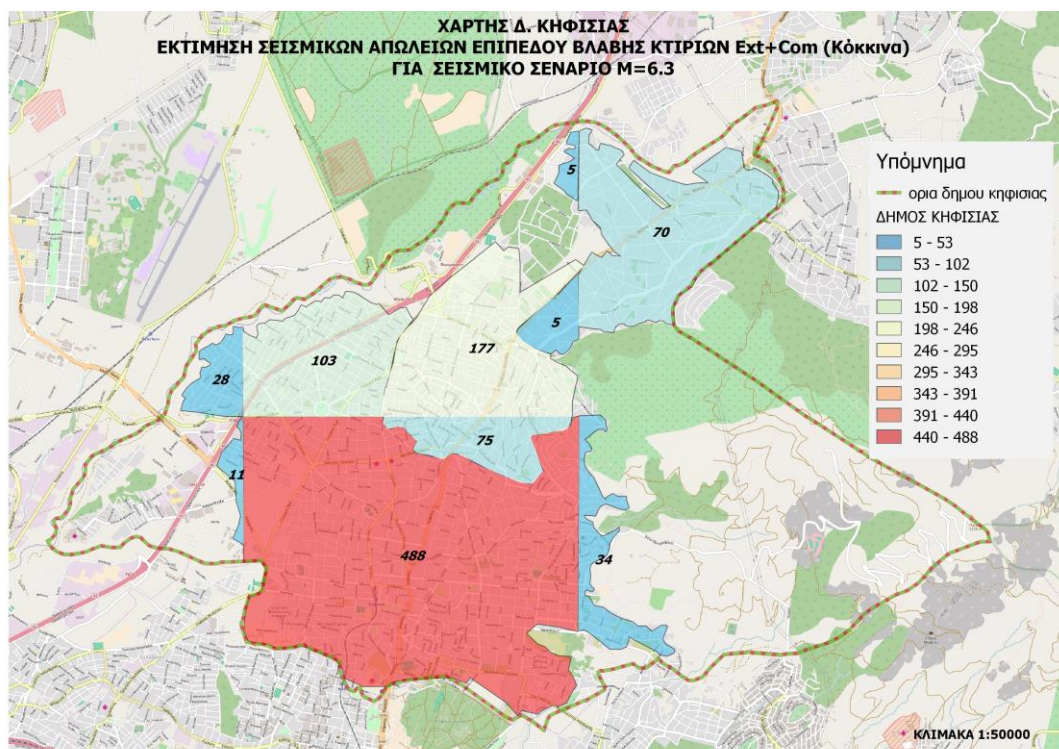


Εικόνα 4.34. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης τραυματισμών επιπέδου S1+S2 & S3+S4 για μέγεθος σεισμού M=6.1

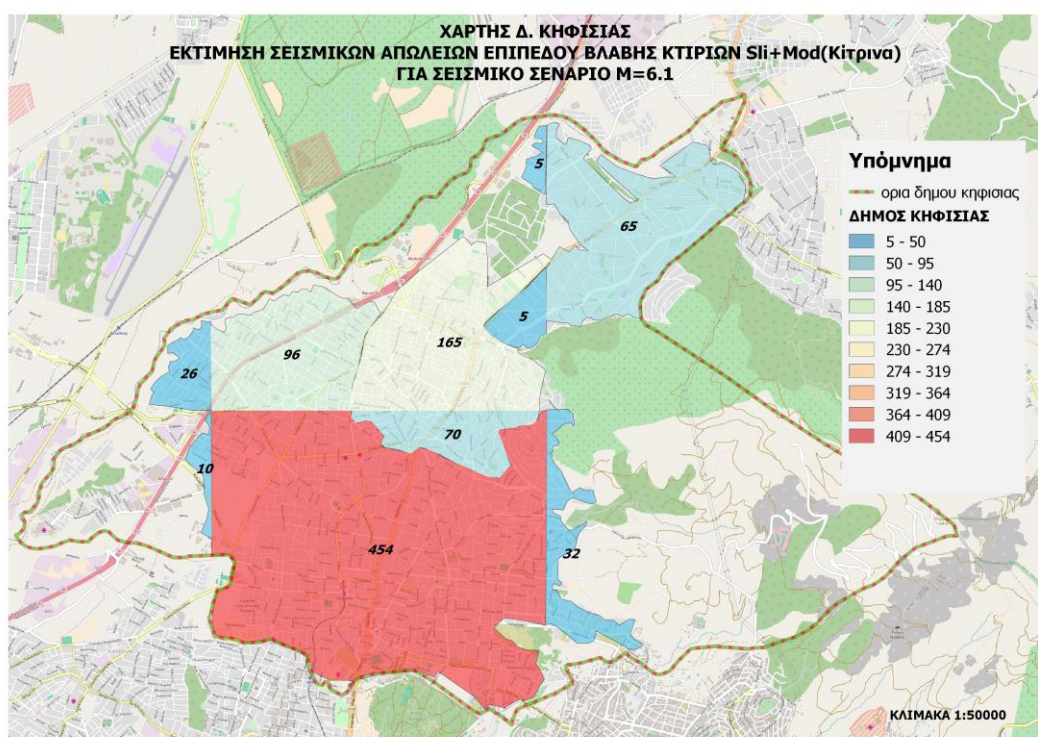


Εικόνα 4.35. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης κόστους αποκατάστασης βλαβών της κτιριακής υποδομής(ευρώ) για μέγεθος σεισμού M=6.1

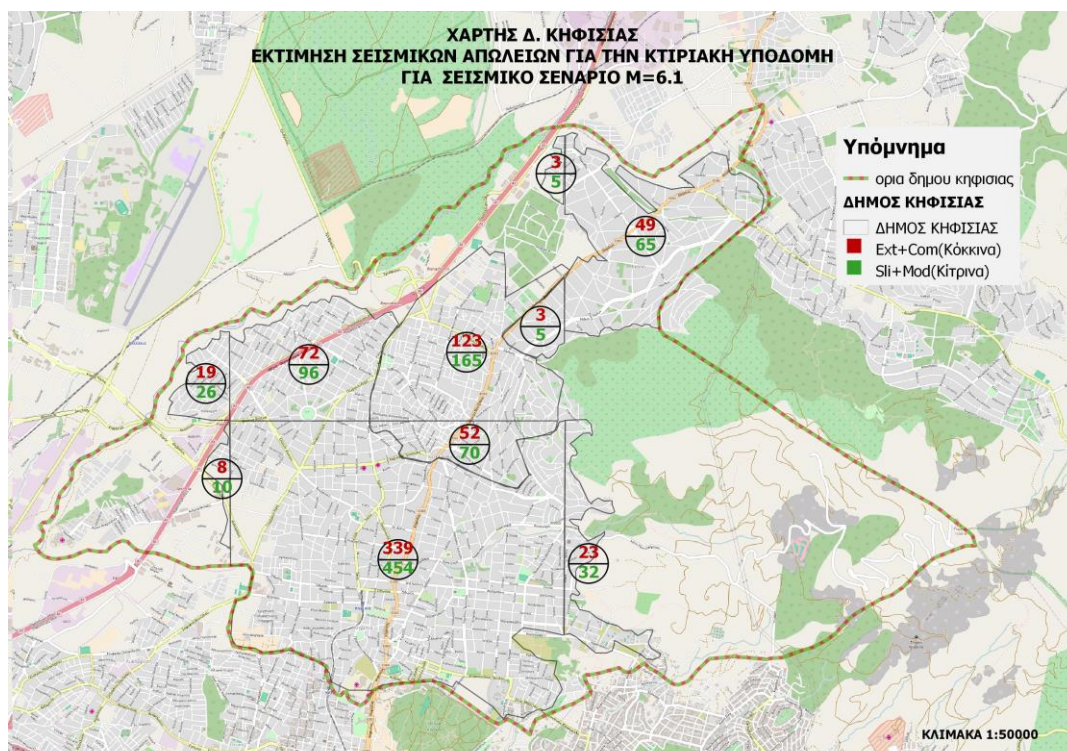
4.7.3.5. Χάρτες για σεισμικό σενάριο μεγέθους $M=6.3$ (με επίκεντρο του σεισμού της Πάρνηθας 1999)



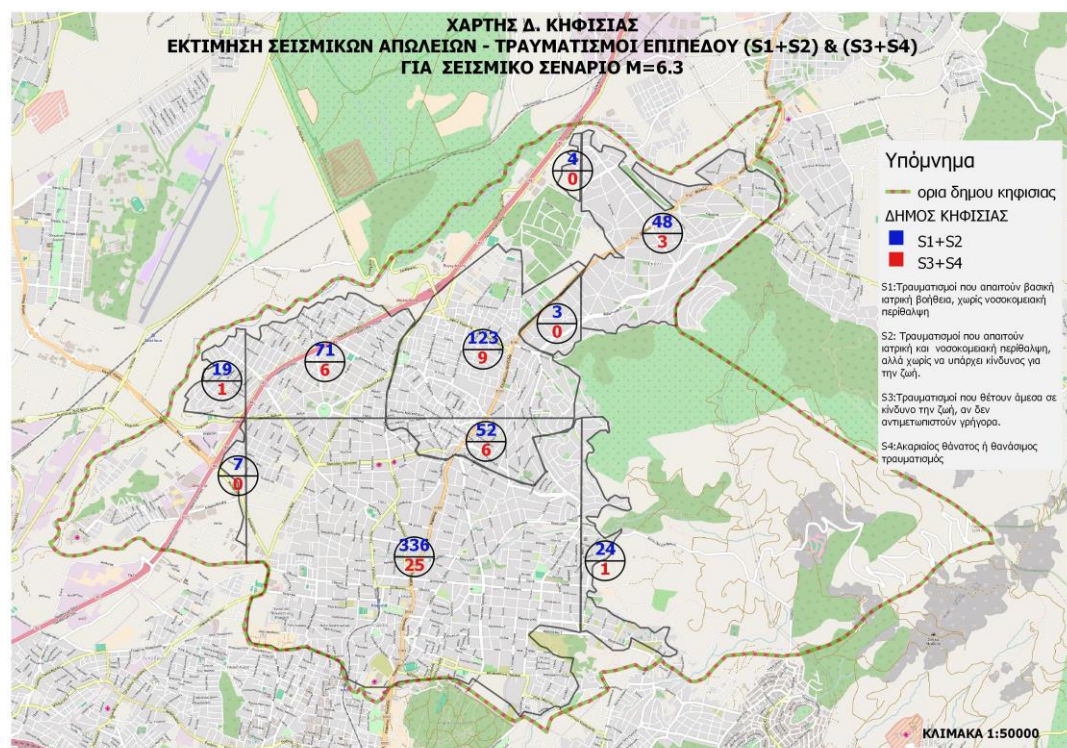
Εικόνα 4.36. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Ext+Com – κόκκινα- για μέγεθος σεισμού $M=6.3$



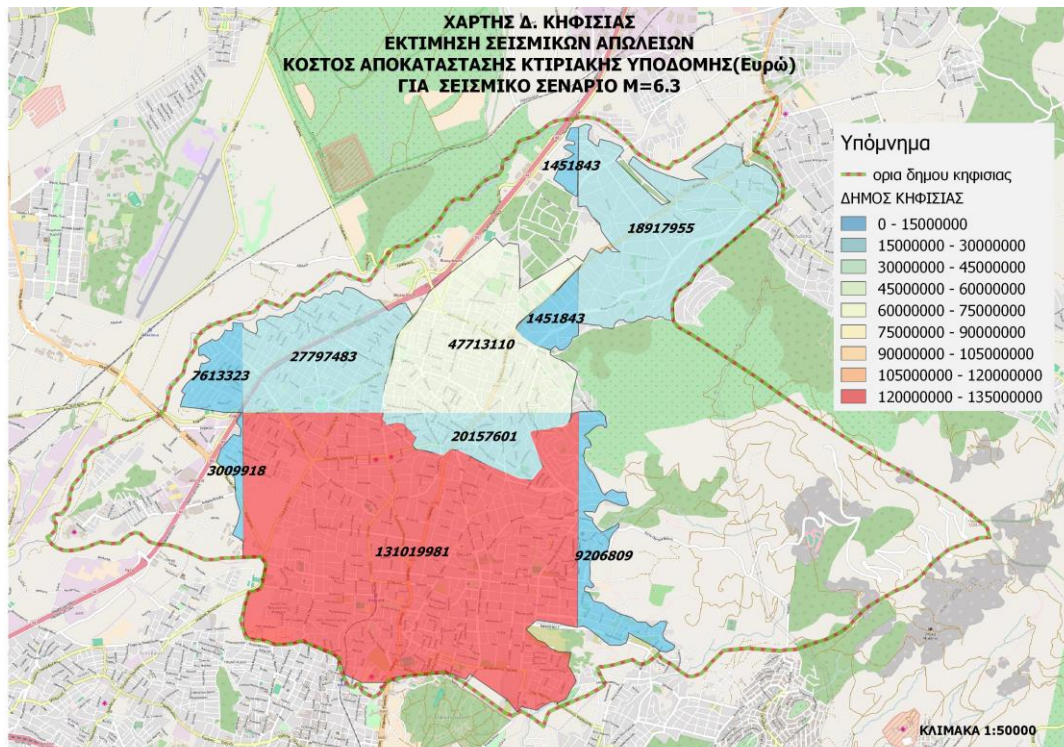
Εικόνα 4.37. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων επιπέδου Sli+Mod – κίτρινα- για μέγεθος σεισμού $M=6.3$



Εικόνα 4.38. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης σεισμικών απωλειών βλάβης κτιρίων κόκκινα-κίτρινα για μέγεθος σεισμού $M=6.3$



Εικόνα 4.39. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης τραυματισμών επιπέδου S1+S2 & S3+S4 για μέγεθος σεισμού $M=6.3$



Εικόνα 4.40. Χάρτης του Δ. Κηφισιάς εκτίμησης κόστους αποκατάστασης βλαβών της κτιριακής υποδομής(ευρώ) για μέγεθος σεισμού $M=6.3$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Συμπεράσματα

Η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών σε μια περιοχή είναι ένα εγχείρημα πολύ δύσκολο, γιατί σε αυτήν υπεισέρχονται παράγοντες με πολλές αβεβαιότητες. Από μόνος του ο σεισμός σαν φυσικό γεγονός, είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί και μόνο πιθανολογικά οι επιστήμονες μπορούν να υπολογίσουν το μέγιστο μέγεθος σεισμού που μπορεί να πλήξει μια περιοχή. Επίσης η απόκριση της κάθε κατασκευής, στην σεισμική δόνηση, επηρεάζεται από πολλά χαρακτηριστικά του κτηρίου αλλά και του εδάφους θεμελίωσης. Δηλαδή δεν φτάνει μόνο να γνωρίζουμε με ποιο κανονισμό κατασκευάστηκε το κτίριο, με ποια υλικά έγινε η κατασκευή του, το ύψους του και την κανονικότητα καθ' ύψος και στην κάτοψη (χαρακτηριστικά που μπορούν σχετικά εύκολα και γρήγορα να αποτυπωθούν), για να υπολογίσουμε με ακρίβεια την σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την διαδικασία της κατασκευής ενός κτιρίου επιδρούν παράγοντες που αλλοιώνουν σημαντικά την σεισμική αντοχή του κτιρίου όπως:

- Έλλειψη εδαφολογικής μελέτης για το έδαφος θεμελίωσης.
- Κακοτεχνίες
- Αστοχία υλικών
- Ανθρώπινοι παράγοντες (έλλειψη συνέπειας, οικονομικό συμφέρον)
- Χρήση κτιρίου (σχολείο, εμπορικό κέντρο, δημόσια κτίρια

Όμως η μελέτη των πιο πάνω παραγόντων για κάθε κτίριο ξεχωριστά, απαιτεί πολύ χρόνο και κόστος, γεγονός που αν το ζητούμενο είναι η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης μιας ολόκληρης περιοχής με πολλά κτίρια ή μιας περιφέρειας ή ακόμα και χώρας, αυτό να είναι πρακτικά αδύνατο.

Από την άλλη, οι φορείς που είναι επιφορτισμένοι με την διαχείριση καταστροφικών φυσικών φαινομένων όπως είναι ο σεισμός (δήμοι, περιφέρεια, πολιτική προστασία), χρειάζονται μια εκτίμηση και όχι κατά ανάγκη ακριβή υπολογισμό των σεισμικών απωλειών για μεγάλες περιοχές, γιατί έτσι θα μπορούν να οργανώσουν με το καλύτερο τρόπο σχέδια αντιμετώπισης των φυσικών αυτών καταστροφών. Συνεπώς, η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών που υπολογίζεται σε μια περιοχή από τα λογισμικά όπως είναι το ELER, παρότι δεν αποτελεί ακριβή πρόβλεψη αλλά εκτίμηση για τις σεισμικές απώλειες, καθώς υπεισέρχονται σε αυτή πολλές αβεβαιότητες, αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για τον καλύτερο σχεδιασμό και αντιμετώπισης των συνεπειών από τους σεισμούς. Ειδικά η δυνατότητα που δίνουν τα λογισμικά γεωπληροφορικής, για οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών σε μια περιοχή, έτσι ώστε οι φορείς να γνωρίζουν όχι μόνο το πόσο θα είναι οι απώλειες αλλά και που αυτές θα εμφανιστούν, τα καθιστούν πολύ σημαντική πηγή πληροφοριών.

Οι φορείς με βάση αυτές τις πληροφορίες, θα μπορούν να οργανώσουν συγκεκριμένες ομάδες οι οποίες θα εκπαιδευτούν, θα εξοπλιστούν και θα προετοιμαστούν κατάλληλα, έτσι ώστε να μπορούν

να δράσουν άμεσα μετά την εκδήλωση του σεισμικού φαινομένου και να επέμβουν όπου απαιτείται . Οι ομάδες αυτές μπορεί να είναι:

- Ομάδες τροφοδοσίας, με αρμοδιότητα να παρέχουν στους πληγέντες τρόφιμα, σκηνές, νερό και όλα τα απαραίτητα για την προσωρινή τους διαβίωση.
- Ομάδες πρώτων βοηθειών (ιατροί, βοηθητικό προσωπικό) , με αρμοδιότητα να παρέχουν ιατρική και φαρμακευτική περίθαλψη, καθώς και ψυχολογική υποστήριξη όπου απαιτείται.
- Ομάδες μηχανικών, με αρμοδιότητα τον έλεγχο των κτιρίων για τον χαρακτηρισμό τους (κατοικίσιμα, επισκευάσιμα, κατεδαφιστέα).
- Ομάδες από ειδικευμένο προσωπικό (μηχανικούς, τεχνίτες, εργάτες), με αρμοδιότητα την αποκατάσταση βλαβών σε δίκτυα αποχέτευσης, ύδρευσης, ηλεκτρικού και επικοινωνιών.
- Ομάδες πυρόσβεσης (συνεργασία με τον σταθμό πυροσβεστικής της περιοχής ή κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό), με αρμοδιότητα την κατάσβεση πυρκαγιών που προήλθαν από το σεισμό.
- Ομάδες ασφαλείας, με αρμοδιότητα την περιφρούρηση και προστασία από κλοπές και λεηλασίες των κτιρίων που έχουν πληγεί από τον σεισμό, καθώς και για απαγόρευση της διέλευσης από επικίνδυνα σημεία.
- Ομάδες παροχής πληροφοριών και συντονισμού.
- Ομάδες διάσωσης και απεγκλωβισμού παγιδευμένων ατόμων από κτίρια που έχουν καταρρεύσει.

Ο σχεδιασμός για την εκπαίδευση και προετοιμασία των ομάδων αυτών στηρίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε απαραίτητες πληροφορίες, που όπως αναφέραμε πιο πάνω μπορούμε να τις αντλήσουμε από την εκτίμηση σεισμικών απωλειών και την οπτικοποίηση τους. Οι πληροφορίες αυτές είναι:

1. Το αναμενόμενο μέγεθος ενός σεισμού
2. Το που θα εκδηλωθεί το φαινόμενο
3. Το μέγεθος της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών
4. Την χωρική κατανομή της εκτίμησης των σεισμικών αυτών απωλειών.

Για την επιτυχή υλοποίηση ενός σχεδίου αντιμετώπισης σεισμικών γεγονότων, όταν σε αυτό εμπλέκονται τόσοι άνθρωποι με διαφορετικές αρμοδιότητες, απαιτείται ένα πολύ καλό κέντρο συντονισμού και οργάνωσης. Το κέντρο αυτό συστήνεται μετά την εκδήλωση του σεισμικού φαινομένου και συνήθως σε αυτό προΐσταται η Δημόσια αρχή της περιοχής που έχει πληγεί, με την συνεργασία των στρατιωτικών, αστυνομικών αρχών. Η βασική αρμοδιότητα του είναι, ο σωστός συντονισμός των ομάδων, που εμπλέκονται στην αντιμετώπιση του σεισμού, Αυτό γίνεται αρχικά με την κατάλληλη προετοιμασία για την αντιμετώπιση των συνεπειών από τους σεισμούς, έτσι ώστε οι κάθε ομάδα να γνωρίζει το πώς και πόσο χρόνο θα χρηστεί για να επέμβει δραστικά στο πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει. Με βάση το προηγούμενο, το κέντρο θα πρέπει να συλλέγει πληροφορίες και να λαμβάνει τις κατάλληλες αποφάσεις όπου απαιτείται.

Οι φορείς θα πρέπει να προετοιμάζονται για να αντιμετωπίσουν τις συνέπειες από ενδεχόμενους σεισμούς όχι μόνο κατά το κρίσιμο χρονικό διάστημα μετά την εκδήλωση του σεισμού αλλά και κατά το χρονικό διάστημα πριν αυτός εκδηλωθεί. Η πρόληψη μάλιστα αυτή είναι πιο αποτελεσματική από την άμεση αντιμετώπιση των συνεπειών αμέσως μετά τον σεισμό. Ο ρόλος

της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών είναι και εδώ πολύ σημαντικός, αφού με βάση αυτές μπορούν οι φορείς γνωρίζουν ποια περιοχή ευθύνης τους είναι ευάλωτη σε σεισμικό κίνδυνο (seismic hazard), ποιος τύπος κτιρίου είναι πιο τρωτός στις εδαφικές κινήσεις και πόσο είναι το κόστος αντικατάστασης των πληγέντων κτιρίων. Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό μέτρων πρόληψης των σεισμικών συνεπειών όπως:

- Ενημέρωση των κατοίκων για τους τρόπους προφύλαξης από τους σεισμούς (ειδικά στις σεισμικά ευάλωτες περιοχές)
- Ενημέρωση των μαθητών και των καθηγητών για τους τρόπους προφύλαξης από τους σεισμούς (ειδικά στις σεισμικά ευάλωτες περιοχές)
- Παρεμβάσεις για βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς των τρωτών δημοσίων κτιρίων.
- Σχεδιασμός και υλοποίηση προγράμματος χρηματοδότησης για αντισεισμική ενίσχυση των κτιρίων με προτεραιότητα των τρωτών κτιρίων.

5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών (σε κτίρια και ανθρώπους), όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό αντιμετώπισης των συνεπειών από τους σεισμούς σε μια περιοχή. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται σε δυο βασικούς παράγοντες, τον σεισμικό κίνδυνο (seismic hazard) και την τρωτότητα των κτιρίων (vulnerability) που όμως σε αυτές υπεισέρχονται πολλές αβεβαιότητες. Η ακρίβεια των υπολογισμών για την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών, θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, όσο θα μειώνουμε τις αβεβαιότητες αυτές. Συνεπώς αντικείμενο για μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι οι τρόποι αντιμετώπισης των αβεβαιοτήτων τόσο για τον σεισμικό κίνδυνο όσο και για την τρωτότητα των κτιρίων. Καταλήγοντας οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η εκτίμηση σεισμικών απωλειών:

- Με σεισμικά σενάρια που προέρχονται από όλο το μήκος του ρήγματος και όχι από μια συγκεκριμένη εστία..
- Με σεισμικά σενάρια που προέρχονται από τον συνδυασμό των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής.
- Με περισσότερους τύπους κτιρίων.
- Με πιο αναλυτική χωρική κατανομή των απωλειών (ανά γειτονιά, ανά οικοδομικό τετράγωνο, ανά κατοικία).
- Με ποιο λεπτομερείς πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των κτιρίων (αριθμός ορόφων, αριθμός διαμερισμάτων, χρήση, και κόστος αντικατάστασης).
- Με ποιο λεπτομερείς πληροφορίες για την κατανομή του πληθυσμού στην περιοχή.

Οι προτάσεις αυτές θα οδηγήσουν σε αποτελέσματα, για την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών μιας περιοχής, που θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, αφού έχουν σαν στόχο να μειώσουν τις αβεβαιότητες των παραγόντων που καθορίζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών. Αυτό το επιτυγχάνουμε με τη όσο πιο ρεαλιστική προσομοίωση της περιοχής. Έτσι συγκεκριμενοποιούμε τις σεισμικές πηγές με βάση τα ενεργά ρήγματα της περιοχής, καθώς και τα

μέγιστα πιθανά σεισμικά μεγέθη με βάση το μήκος των ρηγμάτων. Ενώ αποτυπώνουμε τα χαρακτηριστικά της κτιριακής υποδομής της περιοχής με βάση πιο αναλυτικές πληροφορίες, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται πιο κοντά στην πραγματικότητα. Επίσης η χωρική κατανομή του πληθυσμού στην περιοχή, που στηρίζεται σε ενημερωμένες και λεπτομερείς πληροφορίες δίνει την δυνατότητα για αξιόπιστα αποτελέσματα της εκτίμησης για την επίδραση του σεισμικού σεναρίου στους ανθρώπους.

Η επάνδρωση, εκπαίδευση και οργάνωση ομάδων για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών είναι μια διαδικασία που απαιτεί πολύ καλό συντονισμό αλλά και μεγάλο κόστος, γεγονός που δυσκολεύει αρκετά την υλοποίηση της, στα πλαίσια των δυνατοτήτων ενός μικρού δήμου. Για αυτό θα ήταν πολύ ενδιαφέρον, η εκτίμηση σεισμικών απωλειών να εφαρμοστεί για ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές (νομοί, περιφέρειες ακόμα και για όλη την Ελλάδα). Άλλωστε η επίδραση των σεισμών δεν περιορίζεται σε γεωγραφικά όρια δήμων, νομών και περιφερειών. Με βάση αυτή την εκτίμηση, οι αρμόδιοι φορείς θα έχουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τις επιπτώσεις από τα σεισμικά γεγονότα στις περιοχές ευθύνης τους. Αυτό θα τους δώσει την δυνατότητα να συνεργαστούν σε οργανωτικό και οικονομικό επίπεδο, ώστε να οργανώσουν και να κατευθύνουν-συντονίσουν τις διάφορες ομάδες, που είναι επιφορτισμένες για την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών, καλύτερα και πιο αποδοτικά.

Παράρτημα

Αρχείο Excel (Πίνακας 1) που περιέχει για κάθε τύπο κτιρίου τις τιμές για κάθε απαραίτητη παράμετρο που απαιτείται για τον υπολογισμό της εκτίμησης των σεισμικών απωλειών, για το επίπεδο Level2 στο λογισμικό ELER.

Πίνακας 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		Fragility Curves								Capacity Curve						Economic Loss	Structural Behaviour				Building Characteristics	
2		Slight		Moderate		Extensive		Complete		Yield		Ultimate		Elastic			Degradation Factor					
3	Building Name	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Displacement	Acceleration	Displacement	Acceleration	Displacement	Damping	Building Cost	Short	Moderate	Long	Ductility Value	CO coefficient	Period
4	M3L	0.002	1.02	0.004	1.02	0.007	1.02	0.012	1.02	0.0024	2.63	0.0124	2.63	0.00153	5	259200	0.8	0.4	0.2	5.17	1.2	0.192
5	RC31L	0.091	0.73	0.184	0.73	0.26	0.73	0.4129	0.73	0.0046	8.4	0.01725	11.91	0.004	5	259200	0.8	0.4	0.2	3.75	1.2	0.44
6	RC31M	0.027	0.65	0.147	0.65	0.215	0.65	0.2798	0.65	0.0085	4.23	0.02625	6.35	0.008	5	1555200	0.9	0.6	0.3	3.09	1.4	0.64
7	RC32M	0.002	0.65	0.021	0.65	0.1	0.65	0.1599	0.65	0.0199	2.04	0.07575	2.3	0.018	5	1555200	0.9	0.6	0.3	3.8	1.4	0.69
8	RC41L	0.267	0.75	0.523	0.75	1.688	0.75	2.3983	0.75	0.00413	7.39	0.0545	8.61	0.004	5	259200	0.8	0.4	0.2	13.19	1.2	0.35
9	RC41M	0.128	0.68	0.336	0.68	1.197	0.68	2.8041	0.68	0.0116	3.29	0.12286	3.74	0.01	5	1555200	0.9	0.6	0.3	10.59	1.4	0.6
10	RC42M	0.126	0.68	0.358	0.68	1.057	0.68	2.7817	0.68	0.00978	5.29	0.08234	5.95	0.009	5	1555200	0.9	0.6	0.3	8.42	1.4	0.65
11	M6L	0.003	0.97	0.005	0.97	0.01	0.97	0.017	0.97	0.0036	3.24	0.0171	3.24	0.003	5	259200	0.8	0.4	0.2	3.75	1.2	0.211

Αρχείο shp file (Πίνακας 2) με το πλήθος των κτιρίων (για κάθε τύπο κτιρίου), στα τετράγωνα του GIS υπόβαθρου του λογισμικού ELER, που καταλαμβάνει η περιοχή μελέτης.

Πίνακας 2

[illegible]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- [1] Andrew Coburn & Robin Spence, «*Earthquake Protection*», Ed. by Joho Wiley & Sons Ltd/Baffins Lane, Chichester West Sussex PO191 UD, 1992
- [2] John G.Z.Q. Wang & K. Tim Law, «*Siting In Earthquake Zone*», Ed. by A.A Balkema/Rotterdam Brookfield, 1994
- [3] Βασίλης Παπαζάχος και Κατερίνα Παπαζάχου, «*Οι σεισμοί της Ελλάδας*», Εκδόσεις Π. Ζήτη & ΣΙΑ ΟΕ Θεσσαλονίκη-Περαίας, 2002
- [4] Β.Κ. Παπαζάχος, Γ.Φ. Καρακαίσης και Π.Μ. Χατζηδημητρίου, «*Εισαγωγή στη σεισμολογία*», Εκδόσεις Π. Ζήτη & ΣΙΑ ΟΕ Θεσσαλονίκη-Περαίας, 2005
- [5] Bogazici University, Department of Earthquake Engineering, «*ELER v 3.0 Technical Manual and Users Guide*», by Bogazici University Instabul 2010
- [6] ΣΠΥΡΟΣ Β. ΠΑΥΛΙΔΗΣ, «*Γεωλογία των Σεισμών*», Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη 2003
- [7] Eurocode 8, Αντισεισμικός κανονισμός (Ελληνική απόδοση). European Committee For Standardization. Βρυξέλες 2004
- [8] FEMA (2003) “HAZUS-MH Techical Manual”, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, U.S.A.
- [9] ΚΑΝ.ΕΠΕ, (1^η Αναθεώρηση Ιούλιος 2013), Ο.Α.Σ.Π.

Εργασίες

- [10] Ευδοκία Χρίστου, «*Εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης κατασκευών στην Κύπρο*», Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου-Σχολή Μηχανικής και Τεχνολογίας, Λεμεσό 2012
- [11] Τεχνίτης Γεώργιος, «*Διερεύνηση σεισμικής διακινδύνευσης στην περιοχή του Δ. Κηφισιάς με την χρήση λογισμικού Hazus*», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο-Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα 2007
- [12] Σταματίου Θ. Κωνσταντίνα & Τσάφου Γ. Στέλλα, «*Ταχεία αποτίμηση τρωτότητας κτηριακού αποθέματος δημόσιας χρήσης*» Ε.Μ.Π. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα 2013
- [13] Γκικάκη Αγγελίνας & Τραβασάρου Γεωργίου, «*Μελέτη σεισμικής διακινδύνευσης στο διεθνή και στο ελλαδικό χώρο*». Τ.Ε.Ι. Αθήνας, Πολιτικών Έργων Υποδομής, Αθήνα 2013
- [14] Maurise Power, Roger Borchardt and Jonathan Stewart, «*Site Amplification Factors From Empirical Studies*», September 2004
- [15] Φλίγκου Μαρία, «*Εκτίμηση Σεισμικού Κινδύνου και διακινδύνευσης στην Βοιωτία*», Ε.Μ.Π. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2012

Ηλεκτρονικές Πηγές

- [16] Ελληνική Στατιστική Αρχή, Απογράφη Πληθυσμού – Κατοικιών 2011, Ανάκτηση Απρίλιος 2016, από <http://www.statistics.gr>
- [17] THE EUROPEAN RISK-UE PROJECT: An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios. Ανάκτηση Απρίλιος 2016, από http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/.../13_3329.pdf
- [18] Boore et. al. 1997 Ανάκτηση Απρίλιος 2016, από https://www.google.gr/?hl=el&gws_rd=cr,ssl&ei=PvcTV73cIOnb6QSak5a4Dg#hl=el&q=boore+et+al+1997
- [19] USGS Science For a changing world, Ανάκτηση Απρίλιος 2016, από <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/custom.php>

Δημοσιεύσεις

- [20] Γεώργιος Παναγόπουλος & Ανδρέας Ι. Κάππος «Υπολογισμός καμπύλων τρωτότητας για ελληνικά κτίρια από O/Σ », 15^ο Συνέδριο σκυροδέματος ΤΕΕ ΕΤΕΚ Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου 2006.
- [21] Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου Αθηνάς, «Μελέτη γεωλογικής καταλληλότητας περιοχών οικιστικών επεκτάσεων στη χωρική υποενοότητα της κοιλάδας Ωροπού», Μάρτιος 2010
- [22] A. Elenas (Μάρτιος 2003). «*Athens Earthquake of 7 September 1999: Intensity and Observed Damages*». ISET Journal of Earthquake Technology **40**: 77-97.
- [23] «Κατάλογος Θυμάτων» Ριζοσπάστης, 15 Σεπτεμβρίου 1999, σελ. 14
- [24] Giovinazzi και Logomarsino (2004) «A MACROSEISMIC METHOD FOR THE VULNERABILITY ASSESSMENT OF BUILDINGS» 13th Word Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada. August 1-6-2004