



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας
και Γεωπληροφορικής

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:
**Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και απωλειών με
χρήση λογισμικού ανοιχτού κώδικα**

Όνο/μο Φοιτήτριας - Α.Μ.

Κουγιανού Θεοφίλη-Ελβίρα - 19391023

Επιβλέπων καθηγητής:

Χλούπης Γεώργιος
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ

Αθήνα, 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND
GEOINFORMATICS ENGINEERING

Diploma thesis:

**Seismic risk estimation and loss assessment
using open source software**

Surname/name – Registration Number

Kougianou Theofili-Elvira - 19391023

Supervisor:

Hloupis Georgios
Associate Professor, UNIWA

Athens, 2024



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας
και Γεωπληροφορικής

Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και απωλειών με χρήση
λογισμικού ανοιχτού κώδικα

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1.	Γεώργιος Χλούπης	Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ	
2.	Βασίλειος Ανδριτσάνος	Καθηγητής ΠΑΔΑ	
3.	Νικόλαος Πνευματικός	Καθηγητής ΠΑΔΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κουγιανού Θεοφίλη-Ελβίρα του Παναγιώτη με αριθμό μητρώου 19391023 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Η δηλούσα,
Κουγιανού Θεοφίλη-Ελβίρα



Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος και κυρίως τον κ. Γ. Χλούπη για την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και συμφοιτητές μου για την υποστήριξη και ενθάρρυνσή τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου, τον πατέρα μου και τον αδερφό μου για τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μια μελέτη σεισμικών απωλειών στη περιοχή της Σάμης στη Κεφαλονιά, η οποία εξετάζει τη συμπεριφορά των κτιρίων σε σεισμικές δονήσεις καθώς και τις κτιριακές φθορές και το κόστος αποκατάστασης τους αλλά και τις τυχόν ανθρώπινες απώλειες.

Αρχικά, αναλύονται κάποιες βασικές έννοιες των σεισμών και των φυσικών καταστροφών όπως ο σεισμός, η τρωτότητα των κατασκευών, η επικινδυνότητα, οι καμπύλες τρωτότητας, οι σεισμικές απώλειες και το κόστος αποκατάστασης. Επίσης, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές υπολογισμού των σεισμικών επιδράσεων και οι τρόποι αξιοποίησης της τεχνολογίας και της επιστήμης για την αντιμετώπισή τους. Στο θεωρητικό μέρος επίσης γίνεται αναφορά στους πιο σοβαρούς σεισμούς της Κεφαλονιάς.

Έπειτα, παρουσιάζεται αναλυτικά η μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό EVA_SE_LO. Προκειμένου να διεξαχθεί η μελέτη αξιοποιήθηκε και το QGIS για τη δημιουργία χαρτών. Εφαρμόζοντας τα κατάλληλα βήματα δημιουργήθηκαν καμπύλες ευθραυστότητας επιδιώκοντας και τη μελέτη της συμπεριφοράς των κτιρίων σε περίπτωση σεισμού. Τα υπόλοιπα αποτελέσματα που προέκυψαν αφορούν τις κτιριακές φθορές, τις οικονομικές επιπτώσεις και τις ανθρώπινες απώλειες.

Λέξεις κλειδιά: Σεισμός, φυσικές καταστροφές, τρωτότητα, καμπύλες ευθραυστότητας, QGIS, κτιριακές φθορές, οικονομικές επιπτώσεις, ανθρώπινες απώλειες

Abstract

This thesis presents a study of seismic losses in the area of Sami in Kefalonia, which examines the behavior of buildings in seismic vibrations as well as the building damages and their restoration costs as well as possible human losses.

Firstly, some basic concepts of earthquakes and natural disasters are analyzed such as earthquake, vulnerability of structures, hazard, fragility curves, seismic losses and restoration costs. Also, the basic principles of calculating seismic effects and the ways of using technology and science to deal with them are presented. The theoretical part also mentions the most serious earthquakes in Kefalonia.

Then, the study which was carried out using the software EVA_SE_LO is presented in detail. In order to conduct the study, QGIS was used to create maps. Applying the appropriate steps, fragility curves were created in order to study the behavior of buildings in the event of an earthquake. The rest of the results concern building, financial and human losses.

Keywords: Earthquake, natural disaster, vulnerability, fragility curves, QGIS, building damage, economic impact, human losses

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	10
Σκοπός-Στόχος.....	10
Μεθοδολογία.....	10
Δομή.....	10
1. Το φαινόμενο του σεισμού.....	11
1.1 Φυσικές καταστροφές	11
1.2 Βασικές έννοιες.....	12
1.3 Συνέπειες σεισμών.....	17
1.4 Είδη Σεισμών.....	17
1.5 Σεισμικά Κύματα.....	19
1.6 Ρήγματα	21
1.7 Σεισμικές Κλίμακες	23
1.8 Ιστορικό σεισμών στη Κεφαλονιά	24
2. Τρωτότητα Κατασκευών	27
2.1 Σεισμική διακινδύνευση	27
2.2 Σεισμική Επικινδυνότητα	31
2.3 Σεισμική Τρωτότητα.....	34
2.3 Καμπύλες τρωτότητας	38
3. Σεισμικές Απώλειες.....	44
3.1 Απώλειες Κτιρίων.....	44
3.2 Οικονομικές επιπτώσεις και απώλειες.....	47
3.3 Άμεσες και έμμεσες συνέπειες.....	48
3.4 Έμμεσες επιπτώσεις.....	49
3.5 Ανθρώπινες απώλειες.....	50
4. Αποκατάσταση κτιρίων.....	52
4.1 Ανάλυση κόστους αποκατάστασης	52
5. Μελέτη Εκτίμησης Σεισμικών Απωλειών.....	56
5.1 Επιλογή περιοχής μελέτης και ανάλυση ρήγματος.....	56
5.2 Τύποι κτιρίων.....	59
5.3 Πληθυσμός στη περιοχή μελέτης	62
5.4 Καμπύλες τρωτότητας για κάθε τύπο κτιρίου.....	65

5.5 Κτιριακές απώλειες.....	72
5.6 Οικονομικές απώλειες	77
5.6 Ανθρώπινες απώλειες.....	82
6. Συμπεράσματα.....	87
7. Βιβλιογραφία	89
Παράρτημα	91

Εισαγωγή

Σκοπός-Στόχος

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και των απωλειών σε μια περιοχή μελέτης συγκεκριμένα στη Κεφαλονιά με τη χρήση του λογισμικού ανοιχτού κώδικα EVA_SE_LO, το οποίο έχει βασιστεί στο SELENA. Επίσης, στόχο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί και η μελέτη συμπεριφοράς των κτιρίων λόγω των σεισμικών δονήσεων που δρουν επάνω τους και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε GIS περιβάλλον. Ειδικότερα η εργασία στοχεύει:

- ❖ Στη κατανόηση του φαινομένου του σεισμού
- ❖ Στη κατανόηση της τρωτότητας των κατασκευών
- ❖ Στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων
- ❖ Στην αξιοποίηση του λογισμικού EVA_SE_LO
- ❖ Στη δημιουργία χαρτών
- ❖ Στην εκτίμηση απωλειών και κόστους αποκατάστασης

Μεθοδολογία

Αρχικά έγινε ανάλυση κάποιων θεωρητικών εννοιών που αφορούν το σεισμό, τη τρωτότητα των κατασκευών, τις σεισμικές απώλειες και το κόστος αποκατάστασης των βλαβών. Επίσης έγινε η επιλογή της περιοχής μελέτης και επιλέχθηκε η περιοχή Σάμη της Κεφαλλονιάς γιατί είναι σεισμογενής περιοχή και η τρίτη μεγαλύτερη κωμόπολη του νησιού. Έπειτα με τη βοήθεια του QGIS έγινε ο διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε οικοδομικά τετράγωνα έτσι ώστε να μπορέσουν να γίνουν οι υπολογισμοί στο Excel EVA_SE_LO. Χρησιμοποιώντας το EVA_SE_LO παράχθηκαν αποτελέσματα που αφορούν τις κτιριακές, οικονομικές και ανθρώπινες απώλειες.

Δομή

Η εργασία είναι χωρισμένη σε έξι κύρια κεφάλαια. Τα πρώτα πέντε κεφάλαια αποτελούν την ανάλυση διάφορων εννοιών όπως:

- Έννοιες που αφορούν το σεισμό (π.χ. εστιακό βάθος, επίκεντρο, σεισμικές κλίμακες, ρήγματα κλπ.)
- Σεισμική τρωτότητα
- Καμπύλες τρωτότητας
- Επιπτώσεις σεισμού (πχ. ανθρώπινες απώλειες, οικονομικές επιπτώσεις κλπ.)
- Κόστος αποκατάστασης

Το έκτο κεφάλαιο αναλύει τα συμπεράσματα που προέκυψαν με βάση τη μελέτη εκτίμησης σεισμικών απωλειών που διενεργήθηκε.

1. Το φαινόμενο του σεισμού

1.1 Φυσικές καταστροφές

Οι σεισμοί θεωρούνται από τους πλέον καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους για την ανθρώπινη ζωή, έχοντας προκαλέσει σημαντικές καταστροφές σε πόλεις και χωριά σε όλο τον κόσμο. Παρά τη σοβαρότητα τους, η φύση τους παραμένει λιγότερο κατανοητή σε σύγκριση με άλλες φυσικές καταστροφές, γεγονός που έχει προκαλέσει έντονη ανησυχία στους ερευνητές.

Οι καταστροφές συνήθως διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς, ανάλογα με το είδος του φυσικού ή άλλου απειλητικού γεγονότος που τις προκαλεί. Ωστόσο, σήμερα παρατηρούμε πιο σύνθετες και πολύπλοκες μορφές καταστροφών, όπου η αιτία δεν είναι μονοδιάστατη και είναι πιο συνηθισμένες, ακόμα και σε αναπτυσσόμενες χώρες. Μια καταστροφή μπορεί να οδηγήσει σε μια δευτερογενή καταστροφή που ενισχύει τις επιπτώσεις της αρχικής. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι ο σεισμός που προκαλεί τσουνάμι, το οποίο μπορεί να προκαλέσει παράκτιες πλημμύρες.

Ο σεισμός θεωρείται μια φυσική καταστροφή. Φυσική καταστροφή είναι ένα σοβαρό, μεγάλης κλίμακας, δυσμενές γεγονός ως αποτέλεσμα φυσικών διαδικασιών της γης και της βιόσφαιρας. Οι φυσικές καταστροφές (natural disasters) ορίζονται ως «σοβαρές διαταραχές στη λειτουργία της κοινωνίας οι οποίες προκαλούν εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές ή περιβαλλοντικές απώλειες που υπερβαίνουν την ικανότητα της κοινωνίας να τις αντιμετωπίσει με ίδιους πόρους» (United Nations, 1992).

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με έναν σεισμό είναι σημαντικοί, και η αντιμετώπισή τους απαιτεί ειδική τεχνική προσέγγιση. Συχνά, οι κατασκευές που έχει επιφέρει ο άνθρωπος είναι υπεύθυνες για τη μεγαλύτερη μέρος της καταστρεπτικότητας των σεισμών, καθώς η κατάρρευσή τους συνεπάγεται συχνά σε ανθρώπινες απώλειες. Γι' αυτό, η πρόβλεψη των σεισμών και ο κατάλληλος σχεδιασμός των κατασκευών έναντι σεισμικών δονήσεων είναι ζωτικής σημασίας.

Ωστόσο, παρά την πρόοδο στην πρόβλεψη των σεισμών, δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθεί πλήρως ο κίνδυνος. Επομένως, η κατανόηση της αντισεισμικής μηχανικής είναι κρίσιμη για την αποφυγή καταστροφών και ανθρώπινων απωλειών, αντικρουόμενη με την ανάγκη πρόβλεψης των σεισμών.

Ένα άλλο τεχνικό πρόβλημα που αφορά τους σεισμούς είναι η αντίδραση των κατασκευών στη φόρτιση, όταν επέρχεται ισχυρός σεισμός. Τα κτίρια πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν σε δυνατούς σεισμούς, ενώ παράλληλα να είναι οικονομικά βιώσιμα.

Η ένταση της σεισμικής φόρτισης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, και η αντισεισμική αντοχή μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, όπως η ενίσχυση της δομής ή η μεταβολή της μάζας. Κάθε μικρή αλλαγή στον σχεδιασμό μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά της κατασκευής κατά του σεισμού.

1.2 Βασικές έννοιες

❖ Σεισμός:

είναι η αισθητή δόνηση της επιφάνειας της Γης, η οποία προκαλείται από την απελευθέρωση ενέργειας σε κάποιο βάθος. Οι αιτίες που προκαλούν τους σεισμούς είναι οι εξής: η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, στην οποία οφείλεται η πλειονότητα των σεισμών, η ηφαιστειότητα και οι υπόγειες κατακρημνίσεις πετρωμάτων.

❖ Εστιακή Επιφάνεια:

εστιακή επιφάνεια στους τεκτονικούς σεισμούς είναι η διάρρηξη που εισχωρεί στον φλοιό της Γης κατά μήκος μιας επιφάνειας. Η επιφάνεια της ασυνέχειας που ονομάζουμε ρήγμα προσαρμόζεται με ένα επίπεδο, το λεγόμενο επίπεδο ρήγματος. Η επιφάνεια αυτή, θεωρείται από τους σεισμολόγους σαν επίπεδη αλλά δεν είναι. Η εστιακή επιφάνεια μπορεί να έχει οποιαδήποτε θέση, δηλαδή κατακόρυφη ή ακόμα και οριζόντια. Το μήκος της μπορεί να είναι λίγα μέτρα ως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα.

❖ Εστία ή Υπόκεντρο:

ονομάζεται η ακριβής θέση όπου γίνεται η απελευθέρωση ενέργειας. Ανάλογα με το εστιακό τους βάθος, οι σεισμοί διακρίνονται σε επιφανειακούς ($h < 300$ km).

❖ Επίκεντρο:

ονομάζεται το σημείο της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται πάνω από την εστία.

❖ Εστιακό Βάθος:

είναι η κατακόρυφη απόσταση της εστίας ενός σεισμού από την επιφάνεια της Γης, δηλαδή από το επίκεντρο. Στη χώρα μας, λόγω της τεκτονικής της δομής, πολλά μεγάλα ρήγματα βρίσκονται τόσο στον υποθαλάσσιο χώρο όσο και στην ηπειρωτική περιοχή. Οι επιφανειακοί σεισμοί, με εστιακό βάθος μικρότερο από 35 χιλιόμετρα και συχνά πολύ μικρότερο (μέχρι 5-10 χιλιόμετρα), είναι οι πλέον καταστροφικοί.

❖ Υποκεντρική Απόσταση:

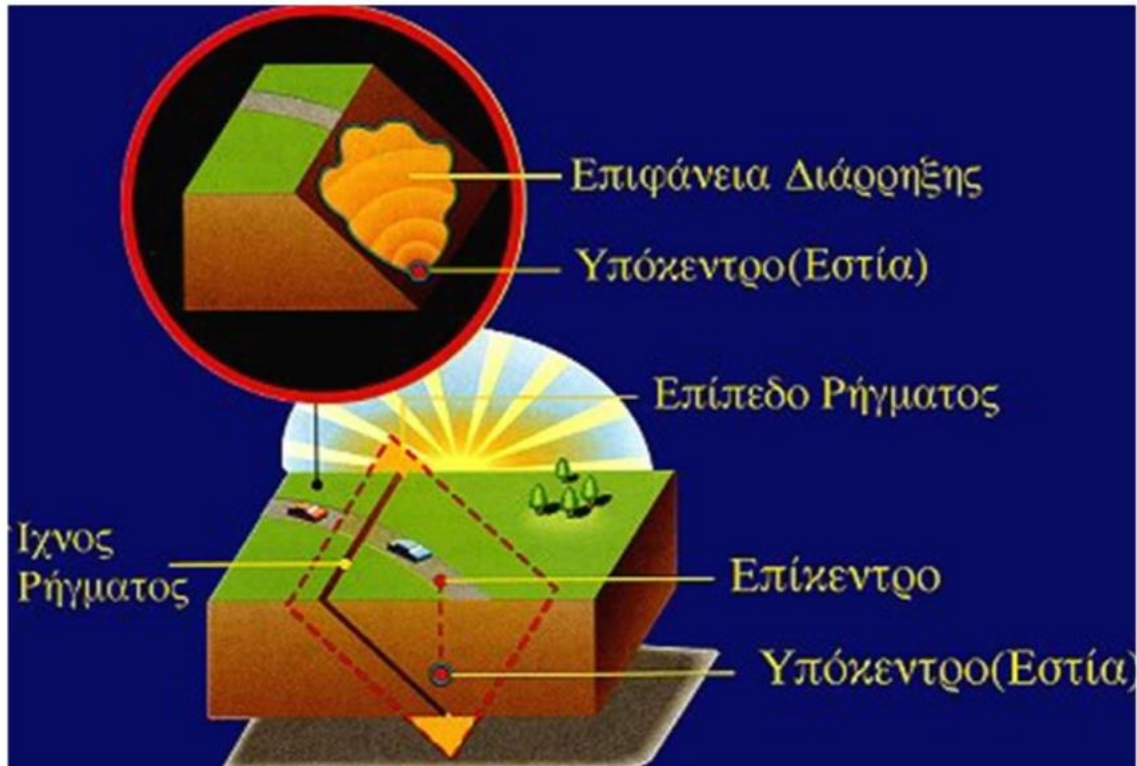
είναι η απόσταση μεταξύ της εστίας και της θέσης ενός παρατηρητή ή ενός δομικού έργου.

❖ **Επικεντρική Απόσταση:**

είναι η απόσταση μεταξύ του επικέντρου και της θέσης ενός παρατηρητή ενός δομικού έργου.

❖ **Περιοχή δόνησης:**

είναι η περιοχή στην οποία οι κινήσεις του εδάφους γίνονται αισθητές από τους ανθρώπους.



Εικόνα 1. Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σεισμού (Πηγή:

https://www.patt.gov.gr/koinonia/politiki_prostasia/pp_enimer_prostat/seismos-odigies-aftoprostasias-2/)

❖ **Κλίμακα Richter:**

πήρε το όνομά της από τον Charles F. Richter, ο οποίος την ανέπτυξε το 1935 σε συνεργασία με τον Beno Gutenberg. Αυτή η κλίμακα είναι λογαριθμική και το μέγεθος ενός σεισμού προσδιορίζεται από τη μέτρηση παραμέτρων όπως το πλάτος, η περίοδος και η διάρκεια των σεισμικών κυμάτων που καταγράφονται. Για παράδειγμα, ο σεισμός της Πάρνηθας στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 είχε μέγεθος 5,9 στην κλίμακα Richter. Ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει καταγραφεί παγκοσμίως είχε μέγεθος 9,5 και συνέβη στη θαλάσσια περιοχή νότια της Χιλής στις 22 Μαΐου 1960.

Βασικές Αρχές Κλίμακας Richter

Η κλίμακα Richter είναι λογαριθμική. Η αύξηση του μεγέθους ενός σεισμού κατά μία ακέραια μονάδα αντιπροσωπεύει δεκαπλασιασμό του πλάτους των δονήσεων που καταγράφονται από ένα σειсмоγράφο Wood-Anderson και 31,5 φορές μεγαλύτερη έκλυση ενέργειας. Αν η αύξηση είναι κατά δύο βαθμούς, αυτό σημαίνει 1.000 φορές μεγαλύτερη έκλυση ενέργειας. Η κλίμακα αρχίζει από το βαθμό 0, που αντιστοιχεί στην ασθενέστερη δόνηση που μπορούσε να καταγραφεί την εποχή που καθιερώθηκε η κλίμακα. Σήμερα, οι σύγχρονοι σειсмоγράφοι μπορούν να καταγράψουν και ασθενέστερες δονήσεις, που ορίζονται με αρνητικές τιμές. Η ασθενέστερη δόνηση που μπορεί να υπάρξει πρακτικά είναι -2,0 Richter, η οποία ισοδυναμεί με το σπάσιμο μιας πέτρας.

Για να υπάρχει μια εμπειρική αντίληψη, ο βαθμός 1 της κλίμακας αντιστοιχεί στη δόνηση που παράγεται από τη διέλευση ενός τρένου, ενώ ο βαθμός 2 αντιστοιχεί στη δόνηση που αντιλαμβάνονται οι θεατές μιας παρέλασης από τη διέλευση αρμάτων.

< 0 R	Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
0 - 0,9 R	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, χωρίς ζημιές.
4 - 4,9 R	Ασθενής	Αισθητός, με ελαφρές συνήθως ζημιές γύρω από το επίκεντρο.
5 - 5,9 R	Μέτριος	Ζημιές συνήθως εντός 10 km ²
6 - 6,9 R	Ισχυρός	Σοβαρότατες ζημιές εντός 100 km ²
7 - 7,9 R	Καταστροφικός	Μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο.
8 - 8,9 R	Εξαιρετικά Καταστροφικός	Εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο.
9 - 9,9 R	Ασύλληπτα Καταστροφικός	Τεράστιες καταστροφές και τεράστιες ανθρώπινες απώλειες, πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από το επίκεντρο. Ελάχιστοι αυτού του μεγέθους έχουν καταγραφεί στην παγκόσμια ιστορία. Ο ισχυρότερος ήταν 9,5 R.
≥ 10 R	Μετεωρικός	Δεν υπάρχει τόσο μεγάλου μήκους σειсмоγόνο ρήγμα στη Γη για να προκαλέσει κάτι τέτοιο. Μόνο από συμβάν πρόσκρουσης με αστεροειδή ή κομήτη μπορεί να συμβεί. Πρακτικώς, θα ισοδυναμούσε με παγκόσμιας κλίμακας καταστροφή.

Εικόνα 2. Μεγέθη σεισμού σύμφωνα με τη κλίμακα Richter (Πηγή: <https://www.seismos.gr/>)

❖ Κλίμακα Mercalli

Η κλίμακα Mercalli ή κλίμακα M.S.K είναι μια κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της έντασης των σεισμών και πήρε το όνομά της από τον δημιουργό της, τον Ιταλό ηφαιστειολόγο Τζουζέπε Μερκάλι, που την επινόησε το 1902. Σε αντίθεση με την κλίμακα Richter, η οποία μετρά την ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν σεισμό, η κλίμακα Mercalli ασχολείται με τις επιπτώσεις ενός σεισμού σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μέτρηση σεισμών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, αλλά λιγότερο αποτελεσματική σε αραιοκατοικημένες ή ακατοίκητες περιοχές.

Βασικές Αρχές Κλίμακας Mercalli

Η ένταση ενός σεισμού υπολογίζεται από την έκταση των καταστροφών που προκαλεί. Η κλίμακα Mercalli έχει 12 βαθμούς (οι οποίοι φέρουν λατινικούς αριθμούς και ξεκινούν από το I) . Ο βαθμός 1 περιγράφει σεισμούς που μετά βίας γίνονται αισθητοί από τον άνθρωπο, ενώ στον βαθμό 12 αντιστοιχούν οι σεισμοί που αφενός ισοπεδώνουν κυριολεκτικά όλα τα ανθρώπινα έργα και αφετέρου αλλάζουν την τοπογραφία της περιοχής.

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 α φορητό. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός.
IV. Μέτριος	Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει βαρύ α φορητό δίπλα στο σπίτι. Λιγότερο αισθητός στην ύπαιθρο. Τίθενται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Κρότοι πιάτων και παραθύρων, χτύπος στις πόρτες. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Την νύχτα μερικοί ξυπνούν.
V. Σχετικά Ισχυρός	Αισθητός από όλους μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει τράινο 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 α 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 καλά κατασκευασμένων 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 (ή Κατακλυσμιαίος)	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 καταρακτών. Παραμόρφωση της όρασης. Μεγάλα αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Το επίπεδο XII έχει καταγραφεί μόλις μία φορά στην ανθρώπινη ιστορία.

Εικόνα 3. Μεγέθη σεισμού σύμφωνα με τη κλίμακα Mercalli (Πηγή: <https://www.seismos.gr/>)

Διαφορές μεταξύ κλίμακας Richter και κλίμακας Mercalli

Η κλίμακα Ρίχτερ δεν πρέπει να συγχέεται με την κλίμακα Mercalli. Η κλίμακα Ρίχτερ προσδιορίζει το μέγεθος του σεισμού, ενώ η κλίμακα Mercalli προσδιορίζει την ένταση του σεισμικού φαινομένου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η ένταση εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού, την απόσταση από το επίκεντρο, το υπέδαφος και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Δεδομένου ότι η κλίμακα Mercalli μετρά τις επιπτώσεις του σεισμικού φαινομένου, δεν είναι κατάλληλη για μετρήσεις σε ακατοίκητες ή αραιοκατοικημένες περιοχές.

Κλίμακα MM(Mercalli)	Χαρακτηριστικά Σεισμών	Κλίμακα ML(Richter)
I	Μη αισθητός	2
II	Ελάχιστα αισθητός	3
III	Ασθενής	4
IV	Μέτριος	4
V	Σχετικά ισχυρός	5
VI	Ισχυρός	6
VII	Πολύ ισχυρός	7
VIII	Καταστροφικός	7
IX	Πολύ καταστροφικός	8
X	Εξαιρετικά καταστροφικός	8
XI	Ασύλληπτα καταστροφικός	9
XII	Ολική καταστροφή	9

Εικόνα 4. Διαφορές μεταξύ των δύο κλιμάκων (Πηγή: <https://www.seismos.gr/>)

1.3 Συνέπειες σεισμών

Άμεσες συνέπειες

Οι άμεσες συνέπειες της κίνησης του εδάφους στα δομικά έργα, τα έργα υποδομής, τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό προκαλούν ζημιές και πιθανές καταρρεύσεις.

Έμμεσες συνέπειες

Οι έμμεσες συνέπειες ενός σεισμού περιλαμβάνουν πυρκαγιές, πλημμύρες, τσουνάμι, μολύνσεις από αέρια που εκλύονται, ραδιενέργεια από αστοχία πυρηνικών εργοστασίων, βλάβες στο περιβάλλον, καθώς και οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Σε πόλεις με μειωμένη ετοιμότητα για την αντιμετώπιση αυτών των καταστροφών, οι έμμεσες συνέπειες μπορεί να είναι πιο δυσάρεστες από τις άμεσες.

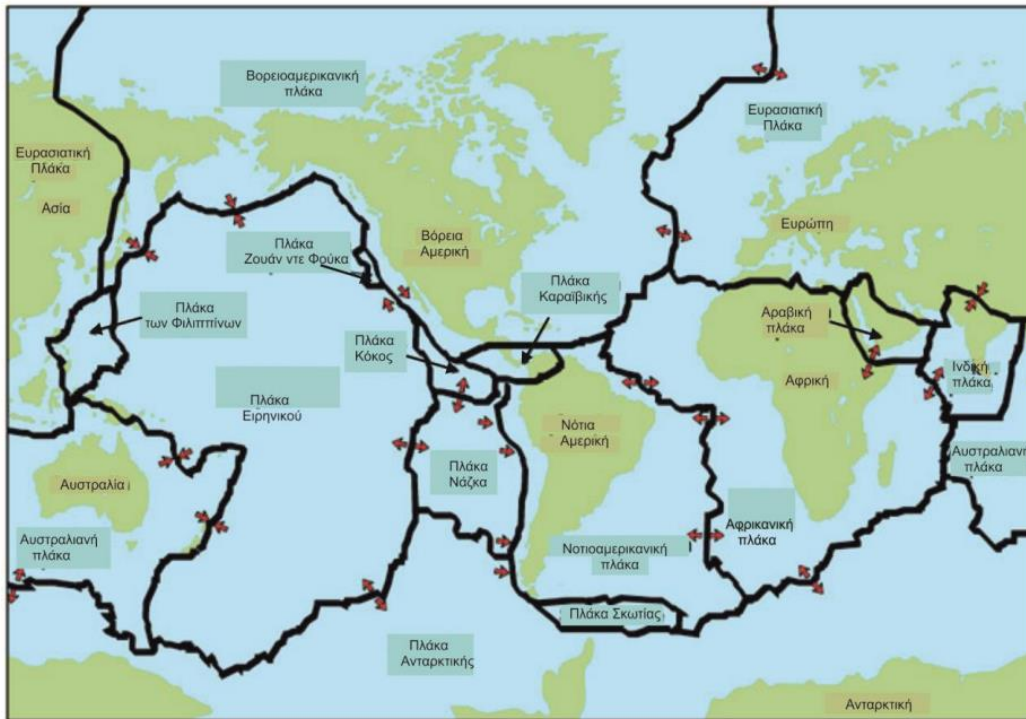
1.4 Είδη Σεισμών

Οι σεισμοί μπορεί να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Τεκτονικοί σεισμοί
- Ηφαιστειογενείς σεισμοί

- Σεισμοί εγκατακρημνίσεων
- Σεισμοί προκαλούμενοι από υδροηλεκτρικά φράγματα
- Τεχνητοί σεισμοί
- Κρυογενείς σεισμοί
- Και βάση του βάθος τους
 - Επιφανειακοί $h < 50$ km
 - Ενδιάμεσου βάθους $50 \text{ km} < h < 200$ km
 - Σεισμοί βάθους (όχι αισθητοί στην επιφάνεια της Γης) $200 \text{ km} < h$

Οι περισσότεροι σεισμοί που συμβαίνουν είναι οι τεκτονικοί σεισμοί οι οποίοι οφείλονται σε απότομες θραύσεις του φλοιού της Γης. Αναλυτικότερα, ο φλοιός της Γης είναι μια λεπτή επιδερμίδα με πάχος 0-10 km και 70 km στην ηπειρωτική χώρα. Ο φλοιός επιπλέει μέχρι κάποια έκταση στο μαλακό εσωτερικό της Γης και βρίσκεται, λόγω γεωθερμικών ρευμάτων και άλλων αιτιών σε συνεχή κίνηση. Οι μετατοπίσεις είναι πρώτα συνεχείς και εκδηλώνονται με αργό ρυθμό σαν ελαστικές παραμορφώσεις, καθώς και παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού και διαρροής και άρα η εντατική κατάσταση στον φλοιό της Γης διαρκώς αλλάζει. Στη ζώνη που θα γίνει η θραύση αυξάνονται οι τάσεις. Όταν οι τάσεις φτάσουν στην αντοχή θραύσης του πετρώματος, επέρχεται τότε η θραύση με απότομες μετατοπίσεις. Οι απότομες μετατοπίσεις συμβαίνουν συχνά σε μια παλιά επιφάνεια θραύσης. Τότε δημιουργείται ακαριαία μια νέα εντατική κατάσταση με μικρότερες τάσεις. Με αυτό το τρόπο, δημιουργείται ένας σεισμός.



Εικόνα 5. Η κατανομή των λιθσφαιρικών πλακών στη Γη. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τη κατεύθυνση της κίνησης (Πηγή: Κοκκίνου, 2015)

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί καλύπτουν περίπου το 7% του συνολικού αριθμού των σεισμών που πραγματοποιούνται στον πλανήτη. Αυτοί οι σεισμοί προκαλούνται από αλλαγές στην πίεση στο εσωτερικό της Γης λόγω εισροής ή εκροής μάγματος. Συχνά προηγούνται ηφαιστειακών εκρήξεων ή τις συνοδεύουν. Έπειτα, οι σεισμοί εγκατακρημνίσεων είναι τοπικοί σεισμοί και καλύπτουν το 3% περίπου των σεισμών. Αυτοί οι σεισμοί προκαλούνται από την κατάρρευση οροφών υπογείων κοιλωμάτων (π.χ. σπηλαίων) λόγω διάβρωσης ή την πτώση μεγάλων πετρωμάτων λόγω βαρύτητας και συνήθως είναι μικρού μεγέθους. Επιπλέον, υπάρχουν οι σεισμοί προκαλούμενοι από υδροηλεκτρικά φράγματα οι οποίοι μπορεί να συμβούν κατά την πλήρωση μιας τεχνητής λίμνης ενός φράγματος, το υδάτινο φορτίο μπορεί να προκαλέσει θραύσεις πετρωμάτων και αντίστοιχους σεισμούς. Τέλος, οι κρυογενείς σεισμοί συμβαίνουν λόγω απότομης πτώσης της θερμοκρασίας που προκαλεί το νερό να παγώσει και να διασταλεί, συμπιέζοντας τα πετρώματα και προκαλώντας θραύση. Είναι μικρού μεγέθους και τοπικοί, συνήθως παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες κατά τις κρύες περιόδους του χειμώνα.

Γενικά, οι σεισμοί εμφανίζονται με τη μορφή ακολουθίας:

- Προσεισμοί: οι σεισμοί που προηγούνται του κύριου σεισμού
- Κύριος σεισμός: ο μεγαλύτερος σεισμός της ακολουθίας
- Μετασεισμοί: οι σεισμοί που ακολουθούν τον κύριο σεισμό

1.5 Σεισμικά Κύματα

Όταν ένα πέτρωμα διαρρηχθεί, τότε θραύεται ο φλοιός της Γης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική, η οποία εξαπλώνεται στον χώρο μέσω σεισμικών κυμάτων. Τα σεισμικά κύματα ταξιδεύουν στο εσωτερικό της Γης ως διαμήκη και εγκάρσια κύματα χώρου, αλλά όταν φτάνουν στην επιφάνεια της Γης μετατρέπονται σε επιφανειακά κύματα.

Στα διαμήκη ή κύματα συμπίεσης, η κίνηση των σωματιδίων του ταλαντούμενου μέσου γίνεται παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων, ενώ στα εγκάρσια ή διατμητικά κύματα, η κίνηση των σωματιδίων γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων. Η διάδοση των διαμηκών κυμάτων μεταβάλλει τον όγκο του μέσου, ενώ η διάδοση των εγκάρσιων κυμάτων μεταβάλλει το σχήμα του.

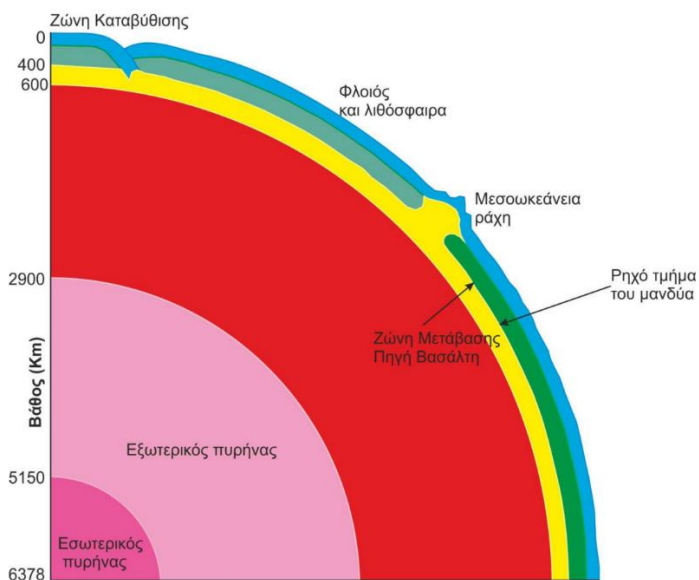
Γίνεται διάκριση μεταξύ δύο κύριων τύπων κυμάτων, των κυμάτων χώρου και των επιφανειακών κυμάτων. Ειδικότερα, τα κύματα χώρου διακρίνονται σε πρωτογενή κύματα (P) και πρωτογενή κύματα (S).

Τα πρωτογενή κύματα είναι τα κύματα συστολής-διαστολής (θλίψης-εφελκυσμού), δηλαδή διαμήκη κύματα. Τα σωματίδια κινούνται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος προς τα μπρος και προς τα πίσω, όπως στα ηχητικά κύματα. Αυτό ισχύει για τα σκληρά πετρώματα, το ρευστό μάγμα και το έδαφος. Στις διεπιφάνειες των εδαφικών στρωμάτων, τα διαμήκη κύματα

μπορεί να ανακλώνται και να διαθλώνται. Τα πρωτογενή κύματα φτάνουν στη θέση ενός παρατηρητή πριν από τα δευτερογενή κύματα (S) επειδή η ταχύτητα διάδοσής τους είναι μεγαλύτερη.

Τα δευτερογενή κύματα είναι τα διατμητικά κύματα, δηλαδή τα κύματα που μεταδίδονται εγκάρσια στην διεύθυνση διάδοσης τους. Τα σωματίδια κινούνται κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος και μάλιστα σε ένα οριζόντιο επίπεδο (SH) ή σε ένα κατακόρυφο (SV) επίπεδο ή σε συνδυασμό εννοώντας και τα 2 συγχρόνως. Αυτό συμβαίνει μόνο στα σκληρά πετρώματα, όχι στο ρευστό μάγμα ή στο νερό επειδή τότε δεν υπάρχει καμία διατμητική αντοχή. Τα δευτερογενή κύματα φτάνουν στην θέση ενός παρατηρητή μετά τα πρωτογενή κύματα επειδή η ταχύτητα διάδοσης τους είναι μικρότερη. Οι ταχύτητες των πρωτεύοντων κυμάτων κυμαίνονται μεταξύ 5-15 km/s ενώ οι ταχύτητες για τα δευτερεύοντα κύματα κυμαίνονται μεταξύ 3-7 km/s.

Τα επιφανειακά κύματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως βρίσκονται μόνο στην επιφάνεια της Γης και η κίνηση των σωματιδίων εξασθενεί προς τα κάτω σημαντικά. Το βάθος διείσδυσης αντιστοιχεί περίπου στο μήκος κύματος. Τα επιφανειακά κύματα φτάνουν πάντα στην θέση ενός παρατηρητή μετά τα δευτερογενή κύματα επειδή η ταχύτητα διάδοσης τους είναι κάπως μικρότερη. Τα επιφανειακά κύματα χωρίζονται σε κύματα L (Love) και σε κύματα R (Rayleigh). Τα κύματα L μοιάζουν με τα κύματα SH. Τα σωματίδια κινούνται οριζοντίως κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης φθίνοντας όμως έντονα προς τα κάτω. Τα κύματα R μοιάζουν με τα κύματα στην επιφάνεια του νερού μετά το ρίξιμο μιας πέτρας. Τα σωματίδια κινούνται με μια ελλειπτική τροχιά σε ένα κατακόρυφο επίπεδο, δηλαδή συνδυασμένα οριζοντίως προς τα μπρος και πίσω, καθώς και κατακορύφως πάνω και κάτω.



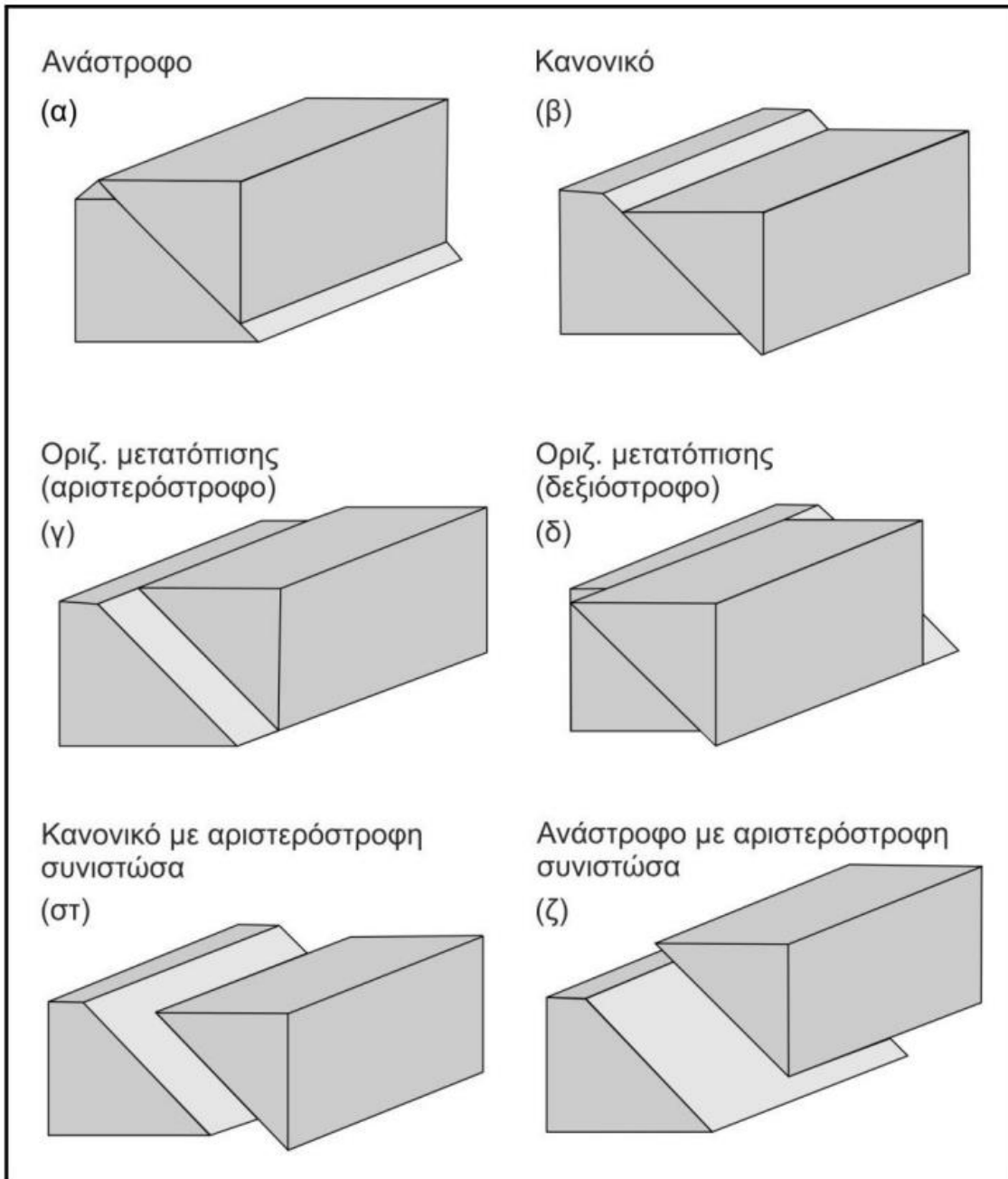
Εικόνα 6. Η δομή του εσωτερικού της Γης (Πηγή: Κοκκίνου, 2015)

1.6 Ρήγματα

Ρήγμα ονομάζεται κάθε διάρρηξη πετρώματος η οποία συνοδεύεται από μετακίνηση των τεμαχίων εκατέρωθεν της διάρρηξης. Η σχετική κίνηση των πλακών δημιουργεί μεγάλες εντάσεις οι οποίες όταν ξεπεράσουν τα όρια αντοχής των στρωμάτων δημιουργούνται σε αυτά ρήγματα και η σχετική μετακίνηση των δύο μαζών προκαλεί τη δόνηση, δηλαδή το φαινόμενο του σεισμού. Τα ρήγματα ταξινομούνται ανάλογα του τρόπου και του προσανατολισμού της σχετικής μετακίνησης των δύο τμημάτων. Έτσι διακρίνονται κυρίως σε τρία είδη ρηγμάτων: τα κανονικά ρήγματα, τα ανάστροφα ρήγματα και τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης.

Τα ρήγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις τάσεις που ασκούνται στα πετρώματα και την κατεύθυνση της κίνησης των τεμαχίων τους:

1. Ανάστροφα ρήγματα (ρήγματα σμίκρυνσης ή συμπίεσης): Αυτά τα ρήγματα δημιουργούνται από την άσκηση συμπιεστικών τάσεων στα πετρώματα. Στα ανάστροφα ρήγματα, το τέμαχος του πετρώματος πάνω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα πάνω, ενώ το τέμαχος κάτω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα κάτω.
2. Κανονικά ρήγματα (ρήγματα απομάκρυνσης ή έκτασης): Αυτή η κατηγορία ρηγμάτων προκαλείται από την άσκηση εφελκυστικών τάσεων στα πετρώματα. Στα κανονικά ρήγματα, το τέμαχος του πετρώματος πάνω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα κάτω, ενώ το τέμαχος κάτω από τη ρηξιγενή επιφάνεια κινείται προς τα πάνω.
3. Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης: Αυτά τα ρήγματα προκύπτουν κυρίως από την άσκηση διατμητικών τάσεων στα πετρώματα. Ονομάζονται έτσι επειδή τα τμήματα εκατέρωθεν της διάρρηξης κινούνται οριζόντια, χωρίς να αλλάζουν σημαντικά οι διαστάσεις του γεωλογικού σχηματισμού. Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης διακρίνονται σε δεξιόστροφα και αριστερόστροφα.
4. Σύνθετα ρήγματα: Σε ορισμένες περιπτώσεις, στη φύση συναντώνται σύνθετα ρήγματα, τα οποία παρουσιάζουν τόσο κανονική όσο και οριζόντια συνιστώσα ή αντίστροφη και οριζόντια συνιστώσα.



Εικόνα 7. Κατηγοριοποίηση ρηγμάτων (Πηγή: Κοκκίνου, 2015)

Τα ενεργά ρηγάτα είναι εκείνα τα οποία έχουν προκαλέσει τουλάχιστον ένα σεισμό κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δέκα χιλιάδων χρόνων. Η ιστορική και σεισμολογική έρευνα βοηθούν στο χρονικό καθορισμό του τελευταίου μεγάλου σεισμού σε ένα ρήγμα.

1.7 Σεισμικές Κλίμακες

Έτσι ώστε να γίνει ο χαρακτηρισμός ενός σεισμού χρησιμοποιούνται οι κλίμακες μεγέθους- που έχουν αναφερθεί ήδη μερικές- και οι κλίμακες έντασης.

Κλίμακες μεγέθους

Τη στιγμή που πραγματοποιείται ένας σεισμός προκαλείται απελευθέρωση ενέργειας, μέρος της οποίας μετατρέπεται σε κυματική ενέργεια στην οποία οφείλονται τα σεισμικά κύματα. Επειδή υπάρχει δυσκολία μέτρησης με ακρίβεια για την ενέργεια που απελευθερώνεται, οι σεισμολόγοι υπολογίζουν μια ποσότητα η οποία αποτελεί μέτρο της ενέργειας του σεισμού. Ο υπολογισμός αυτής της ποσότητας βασίζεται σε μετρήσεις πλατών, περιόδων, διάρκειας των σεισμικών κυμάτων με σειсмоγραφήματα και για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν διάφορες κλίμακες μεγεθών. Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί του μεγέθους όπως:

- Τοπικό μέγεθος ML ή κλίμακα Richter
- Επιφανειακό μέγεθος MS
- Χωρικό μέγεθος mb
- Μέγεθος σεισμικής ροπής Mw

Κλίμακα Έντασης

Η ένταση (I) είναι ένα μέτρο του πώς γίνεται αντιληπτός ένας σεισμός και της καταστροφικής του δύναμης. Αντιπροσωπεύει την επίδραση του σεισμού στο περιβάλλον, στους ανθρώπους, στα ζώα και στις τεχνικές κατασκευές. Η κλίμακα εντάσεων, γνωστή και ως μακροσεισμική κλίμακα, εκτιμάται με βάση τα μακροσεισμικά αποτελέσματα, τα οποία διαφέρουν από τόπο σε τόπο λόγω παραμέτρων όπως οι εδαφικές συνθήκες, ο τρόπος διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και η απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού. Επομένως, για τον ίδιο σεισμό, η ένταση μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές σε κάθε περιοχή.

Η τοπική καταστροφική δύναμη και οι συνέπειες ενός σεισμού εξαρτώνται κυρίως από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Μέγεθος
- Περιεχόμενο συχνοτήτων στη πηγή
- Εστιακό βάθος
- Εστιακή απόσταση από τη θέση του έργου
- Γεωλογία, τοπογραφία και ανάγλυφο
- Τοπικές συνθήκες υπεδάφους/ έδαφος θεμελίωσης
- Περιεχόμενο συχνοτήτων στην θέση του έργου

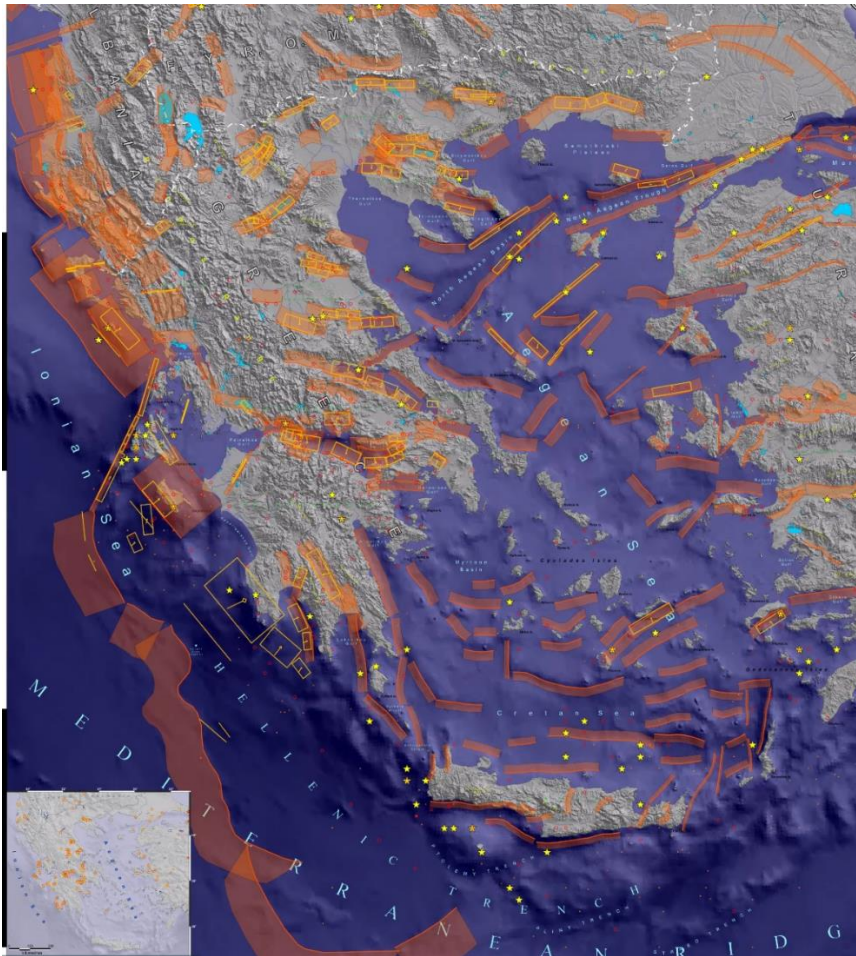
- Διάρκεια του σεισμού στη συγκεκριμένη θέση, ο αριθμός των κύκλων φόρτισης της ισχυρής δόνησης
- Εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετακίνηση

Επομένως, το μέγεθος είναι μόνο ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν τις συνέπειες ενός σεισμού.

Η ένταση προσδιορίζεται τόσο μέσω της δυνατότητας των ανθρώπων να αντιληφθούν το φαινόμενο όσο και μέσω των τοπικών ζημιών. Χρησιμοποιούνται διάφορες 12-βάθμιες κλίμακες έντασης, οι οποίες δεν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους.

1.8 Ιστορικό σεισμών στη Κεφαλονιά

Είναι γνωστό ότι η Κεφαλονιά είναι μια περιοχή που έχει χτυπηθεί πολλές φορές από σεισμούς. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη του δεξιόστροφου ρήγματος μετασχηματισμού της Κεφαλλονιάς το οποίο αποτελεί το βορειοδυτικό τμήμα του Ελληνικού τόξου.



Εικόνα 8. Τα κύρια ρήγματα στην Ελλάδα (Πηγή: Έθνος, 2021)

Ένας από τους ισχυρότερους σεισμούς που έχουν συμβεί στην Κεφαλονιά αλλά και γενικά στην Ελλάδα είναι ο σεισμός που συνέβη το 1953. Οι καταστροφικοί σεισμοί που έπληξαν τα Ιόνια νησιά το 1953 διήρκεσαν σχεδόν δύο μήνες, με τους μικρότερους μετασεισμούς να συνεχίζονται για πάνω από έξι μήνες. Οι σεισμοί κατέστρεψαν ολοκληρωτικά την Κεφαλονιά, την Ιθάκη και τη Ζάκυνθο, με τη Ζάκυνθο να υφίσταται επιπλέον ζημιές από μια μεγάλη πυρκαγιά. Ο πρώτος σεισμός, με επίκεντρο την Ιθάκη, σημειώθηκε στις 9 Αυγούστου. Ακολούθησαν ισχυροί μετασεισμοί για τρεις μέρες, ενεργοποιώντας σεισμικά ολόκληρη τη δυτική Ελλάδα. Ο μεγαλύτερος σεισμός, με μέγεθος πάνω από 7 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ, σημειώθηκε στις 12 Αυγούστου με επίκεντρο την Κεφαλονιά.

Οι σεισμοί άφησαν πίσω τους 455 νεκρούς, 2.412 τραυματίες και 21 αγνοούμενους, ενώ μεγάλο μέρος του πληθυσμού των νησιών αναγκάστηκε να εγκαταλείψει τις περιοχές λόγω της καταστροφής. Αυτοί οι σεισμοί θεωρούνται οι καταστροφικότεροι στην ιστορία της νεότερης Ελλάδας. Η δίμηνη σεισμική ακολουθία συμπληρώθηκε από δύο σεισμούς τον Οκτώβριο στο Ληξούρι και τον Νοέμβριο στην Ιθάκη, αν και η καταστροφή ήταν ήδη τόσο εκτεταμένη που δεν υπήρχε τίποτα άλλο για να καταστραφεί.

Στην Κεφαλονιά, το βόρειο τμήμα του νησιού, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής της Ερίσου και του Φισκάρδου, υπέστη μικρότερες ζημιές. Πολλά αρχοντικά άντεξαν τη καταστροφική manía των πάνω από 3.000 σεισμών και μετασεισμών που συνεχίστηκαν μέχρι την άνοιξη της επόμενης χρονιάς, αποτελώντας σήμερα από τα ελάχιστα διατηρητέα παραδοσιακά κτίσματα στο νησί.



Εικόνα 9. Πρωτοσέλιδο από εφημερίδα της εποχής για το σεισμό του 1953 (Πηγή: <https://kefalonia.gr/seismos-1953-i-imera-opou-isopedothike-i-kefalonia/>, 2024)

Το 1983, στις 17 Ιανουαρίου, σημειώθηκε μεγάλος σεισμός μεγέθους 7,0 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ στην Κεφαλονιά, ο μεγαλύτερος από το 1953. Παρά το μέγεθος του σεισμού, οι υλικές ζημιές στο νησί ήταν ελάχιστες. Ακολούθησε μια μεγάλη μετασεισμική ακολουθία στην περιοχή. Στις 19 Ιανουαρίου, ένας νέος σεισμός μεγέθους 5,8 Ρίχτερ έπληξε την περιοχή της Παλικής (Αγία Θέκλη), ενώ στις 23 Μαρτίου σημειώθηκε τρίτος ισχυρός σεισμός μεγέθους 6,2 Ρίχτερ στην ίδια περιοχή. Από τις 17 Ιανουαρίου μέχρι τις 14 Μαΐου, καταγράφηκαν στην περιοχή άλλοι 10 σεισμοί με μέγεθος πάνω από 5,0 Ρίχτερ.

Στις 25 Μαρτίου 2007, σημειώθηκε ισχυρός σεισμός μεγέθους 5,9 (κατά άλλες μετρήσεις 5,7) με επίκεντρο τη θαλάσσια περιοχή βορειοδυτικά της Κεφαλονιάς. Ο σεισμός προκάλεσε αρκετές υλικές ζημιές, κυρίως στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού.

Το 2014 συμβαίνουν δύο μεγάλοι σεισμοί που έπληξαν την Κεφαλονιά, με επίκεντρο το Ληξούρι. Ο 1^{ος} σεισμός έγινε στις 26 Ιανουαρίου ώρα 15:55 μεγέθους 6,1 Ρίχτερ και ο 2^{ος} σεισμός έγινε στις 3 Φεβρουαρίου ώρα 05:08 μεγέθους 5,7 Ρίχτερ. Η δόνηση ήταν τόσο ισχυρή που έβγαλε όλους τους κατοίκους του νησιού έξω από τα σπίτια τους, κάποια από τα οποία είχαν πάθει σημαντικές ζημιές σε σημείο να μην μπορούν να κατοικηθούν.

Οι σεισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι μερικοί από τους πιο αξιοσημείωτους που έχουν γίνει στο νησί της Κεφαλονιάς.



Εικόνα 10. Εκτεταμένη κατολίσθηση πάνω από τη παραλία του Μύρτου στο σεισμό του 2014(Πηγή: ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2014 ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ: ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΘΕΣΗ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ)

2. Τρωτότητα Κατασκευών

2.1 Σεισμική διακινδύνευση

Γενικά η διακινδύνευση (risk) ορίζεται ως η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυσάρεστου γεγονότος και των συνεπειών του (όπως θάνατοι, τραυματισμοί, οικονομικές απώλειες) που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών κινδύνων και τρωτότητας.

Η σεισμική διακινδύνευση είναι ένα μέγεθος που εκφράζει τις πιθανές απώλειες από σεισμούς και συμβολίζεται με το γράμμα R . Συγκεκριμένα, περιγράφει τον βαθμό απωλειών όλων των στοιχείων που εκτίθενται σε κίνδυνο. Προσδιορίζεται από τις ζημιές που θα υποστεί μια κατασκευή, καθώς και από τις ανθρώπινες και οικονομικές απώλειες που θα προκύψουν από την σεισμική δράση. Εξαρτάται από την εδαφική κίνηση που προκαλείται από τον σεισμό (σεισμική επικινδυνότητα, συμβολίζεται με το γράμμα H) και από την απόκριση της κατασκευής σε αυτές τις εδαφικές κινήσεις (τρωτότητα, συμβολίζεται με το γράμμα V). Συνοπτικά, εκφράζεται από τη σχέση:

$$R = H \times V$$

Η τρωτότητα (vulnerability) ορίζεται ως ο βαθμός των απωλειών που μπορεί να υποστεί ένα συγκεκριμένο στοιχείο όταν εκτίθεται σε ένα φυσικό φαινόμενο, εκφραζόμενος σε κλίμακα από 0 έως 1. Η εκτίμηση της τρωτότητας είναι μια περίπλοκη διαδικασία, καθώς περιλαμβάνει την ανάλυση κοινωνικών, φυσικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συνθηκών που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο μια κοινωνία αντιδρά στην εμφάνιση ενός φαινομένου. Για την εκτίμηση της τρωτότητας, συνήθως χρησιμοποιούνται καμπύλες τρωτότητας, οι οποίες συσχετίζουν τον βαθμό της βλάβης με την ένταση του φυσικού κινδύνου.

Αν E είναι ο αριθμός των ανθρώπινων ζώων που θα χαθούν, ο αριθμός των τραυματιών, οι καταστροφές σε περιουσίες και το κόστος από τη διακοπή των διαφόρων δραστηριοτήτων που προκλήθηκαν από το φαινόμενο, τότε η σεισμική διακινδύνευση επηρεάζεται επίσης από τον παράγοντα E , ο οποίος συνδυάζει όλες τις παραπάνω επιπτώσεις. Έτσι, η σεισμική διακινδύνευση εκφράζεται τελικά από τη σχέση:

$$R = H \times V \times E$$

Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει ότι αν μειωθεί ένας από τους δύο παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική διακινδύνευση R , τότε θα μειωθεί και η ίδια η διακινδύνευση. Ο σεισμικός κίνδυνος H δεν μπορεί να επηρεαστεί από τον άνθρωπο, καθώς καθορίζεται αποκλειστικά από φυσικούς παράγοντες. Η τρωτότητα V , ωστόσο, μπορεί να μειωθεί, δεδομένου ότι αφορά τις κατασκευές τις οποίες ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να ελέγξει και

να βελτιώσει. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η μείωση της σεισμικής διακινδύνευσης σε μια περιοχή.

Μέθοδοι εκτίμησης σεισμικής διακινδύνευσης

Για την εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι που επιτρέπουν στους μηχανικούς να λαμβάνουν υπόψη τις κινήσεις του εδάφους στην υπό εξέταση περιοχή και να τις ενσωματώνουν στους υπολογισμούς του σεισμικού σχεδιασμού. Ακολουθούν οι πέντε κύριες μέθοδοι:

Παρατηρησιακή Μέθοδος

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη συλλογή παρατηρήσεων και πληροφοριών από το παρελθόν. Χρησιμοποιείται το ιστορικό αρχείο της περιοχής για τον εντοπισμό των σεισμών που έχουν συμβεί. Αυτό επιτρέπει τη διαίρεση των περιοχών σε ζώνες με βάση τη συχνότητα των σεισμών και την παροχή πληροφοριών για την ένταση και τις συνέπειες των προηγούμενων σεισμών. Ωστόσο, δεν μπορεί να προβλέψει τις συνέπειες ενός σεισμού διαφορετικού μεγέθους από εκείνους του παρελθόντος. Παρόλα αυτά, είναι σχετικά απλή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως, εφόσον υπάρχουν επαρκή ιστορικά δεδομένα.

Ντετερμινιστική Μέθοδος

Αυτή η μέθοδος στοχεύει στον προσδιορισμό του χειρότερου δυνατού αποτελέσματος από έναν σεισμό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές με γνωστή σεισμική επικινδυνότητα και σε κατασκευές με μικρού βαθμού αναμενόμενες ζημιές. Περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: τον εντοπισμό του πλησιέστερου ενεργού ρήγματος, τον υπολογισμό του μέγιστου πιθανού σεισμού, την υπόθεση ότι αυτός ο σεισμός θα συμβεί στην κοντινότερη περιοχή και τον υπολογισμό της εδαφικής κίνησης. Αν και εύκολη στην εφαρμογή, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι δεν θα εμφανιστεί μεγαλύτερος σεισμός από εκείνους που έχουν καταγραφεί στο παρελθόν, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται συντηρητικές τιμές σεισμικού κινδύνου.

Στατιστική Μέθοδος

Αυτή η μέθοδος υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης μελλοντικών σεισμών με βάση τους σεισμούς του παρελθόντος, χρησιμοποιώντας τη θεωρία των ακραίων τιμών του μαθηματικού Gumbel. Ενώ απλή και γρήγορη, καθώς δεν απαιτεί την ανάλυση ολόκληρου του ιστορικού σεισμών, η μέθοδος αυτή προκαλεί αβεβαιότητα λόγω της απόρριψης μεγάλου μέρους των σεισμών.

Πιθανοτική Εκτίμηση Σεισμικού Κινδύνου

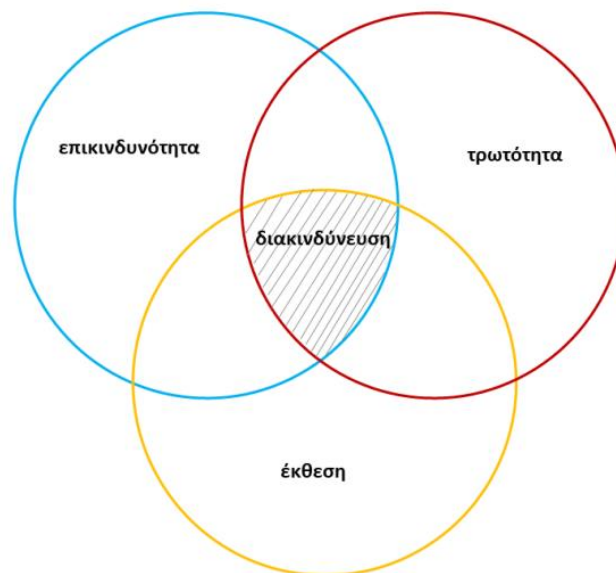
Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί πιθανοτικά μοντέλα και στατιστική ανάλυση με δεδομένα της περιοχής που μελετάται. Περιλαμβάνει την οριοθέτηση σεισμικών ζωνών βάσει των πηγών σεισμών και τη χρήση καταλόγων σεισμών για τον υπολογισμό της πιθανότητας σεισμών συγκεκριμένου μεγέθους σε μελλοντικά χρονικά διαστήματα. Η αξιοπιστία της την καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλή σήμερα.

Μέθοδος Εξάρτισης Χρόνου

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι οι σεισμοί δεν εμφανίζονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Μετά από παρατηρήσεις περιοχών που έχουν υποστεί μεγάλους σεισμούς, διαπιστώθηκε ότι περιοχές μπορούν να παρουσιάζουν μεγάλους σεισμούς σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ άλλες περιοχές παραμένουν σε αδράνεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ο μέσος χρόνος εμφάνισης ενός σεισμού υπολογίζεται από την τελευταία εκδήλωση του φαινομένου. Αυτή η μέθοδος είναι εφικτή σε μεγάλες περιοχές με γνωστή χρονική εξάρτηση.

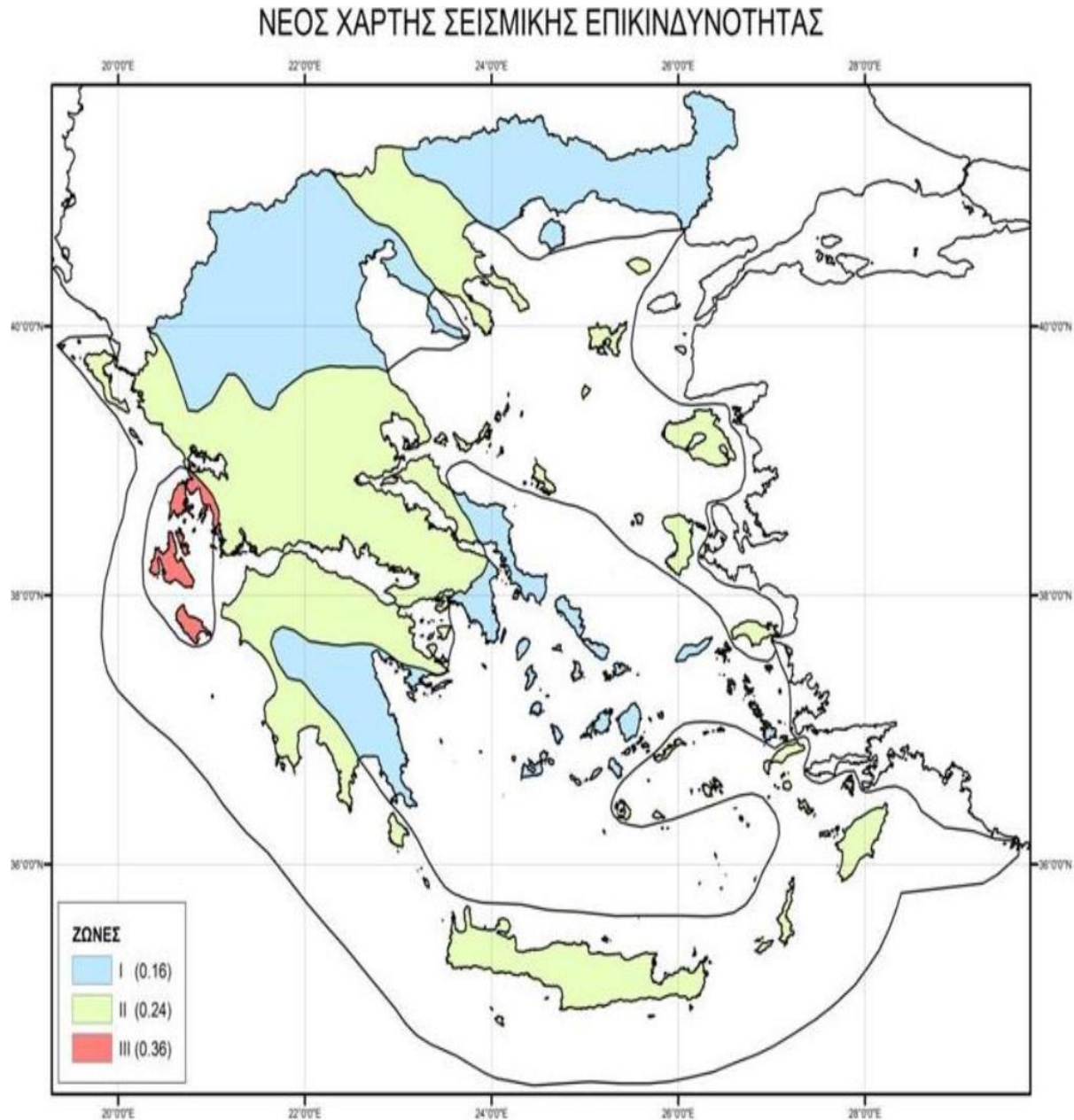
Σχέση διακινδύνευσης-επικινδυνότητας

Κάθε περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί με βάση το επίπεδο διακινδύνευσης και επικινδυνότητάς της. Αυτά τα δύο στοιχεία δεν είναι πάντα ανάλογα, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις όπου μια περιοχή έχει υψηλή διακινδύνευση αλλά χαμηλή επικινδυνότητα. Η σεισμική διακινδύνευση αναφέρεται στις αναμενόμενες σεισμικές απώλειες, ενώ η σεισμική επικινδυνότητα περιγράφει την ένταση ενός πιθανού σεισμικού επεισοδίου με βάση την εδαφική απόκριση.



Εικόνα 11. Συσχέτιση της επικινδυνότητας ενός φαινομένου, της τρωτότητας και της έκθεσης σε κίνδυνο των στοιχείων που υπάρχουν σε μια περιοχή με τελικό στόχο την εκτίμηση της διακινδύνευσης της κοινωνίας απέναντι στο φαινόμενο (Πηγή: Παπαθανασίου, 2022)

Ένα παράδειγμα είναι τα νησιά του Νοτίου Ιονίου, τα οποία βρίσκονται στη ζώνη μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (ζώνη III), αλλά ταυτόχρονα έχουν ελάχιστη διακινδύνευση. Αντίθετα, πόλεις όπως η Αθήνα και η Πάτρα, που βρίσκονται στις ζώνες εδαφικής επιτάχυνσης I και II αντίστοιχα, παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές διακινδύνευσης. Αυτά τα παραδείγματα γίνονται πιο κατανοητά μέσω των εικόνων που ακολουθούν.



Εικόνα 12. Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας (2003) (Πηγή: Σαπουντζάκη, Δανδουλάκη, 2015)

2.2 Σεισμική Επικινδυνότητα

Στον τομέα των φυσικών καταστροφών, ως κίνδυνος θεωρείται οποιοδήποτε φυσικό γεγονός, φαινόμενο ή ανθρώπινη δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Ειδικότερα, η σεισμική επικινδυνότητα ορίζεται ως η πιθανότητα κάποια παράμετρος της εδαφικής κίνησης να υπερβεί μια ορισμένη τιμή σε μια συγκεκριμένη θέση ή περιοχή, μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Οι εδαφικές παράμετροι μπορεί να περιλαμβάνουν την εδαφική επιτάχυνση, την εδαφική ταχύτητα, την εδαφική μετατόπιση, την ένταση και τη διάρκεια. Ως μέτρο σεισμικής επικινδυνότητας, μπορεί να οριστεί η πιθανότητα κάποια εδαφική παράμετρος να υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, όπως η πιθανότητα η σεισμική επιτάχυνση να υπερβεί την τιμή 0,5 g. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να οριστεί ως η τιμή μιας εδαφικής παραμέτρου που έχει συγκεκριμένη πιθανότητα να ξεπεραστεί (ή όχι), π.χ. η τιμή της σεισμικής επιτάχυνσης που έχει 90% πιθανότητα να μην ξεπεραστεί (10% να ξεπεραστεί) τα επόμενα Χ χρόνια (π.χ. 50 χρόνια). Η σεισμική επικινδυνότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η σεισμικότητα και οι τοπικές εδαφικές συνθήκες. Η εκτίμησή της είναι μια σύνθετη διαδικασία, και η μέθοδος εκτίμησης που θα επιλεγεί εξαρτάται από την κλίμακα που μας ενδιαφέρει, τον σκοπό για τον οποίο γίνεται η εκτίμηση, τα σεισμικά χαρακτηριστικά της περιοχής και τα διαθέσιμα δεδομένα και πόρους.

Μέτρα σεισμικής επικινδυνότητας

Το μέτρο σεισμικής επικινδυνότητας ορίζεται σαν πιθανότητα. Για παράδειγμα, αν κάποια εδαφική παράμετρος υπερβεί 5% ένα προκαθορισμένο όριο των π.χ. 0,5g, αλλά και τη τιμή εδαφικής παραμέτρου με συγκεκριμένη πιθανότητα να ξεπεραστεί ή όχι. Ενδεικτικά, η τιμή 0,5g έχει 90% πιθανότητα να μη ξεπεραστεί και 10% να ξεπεραστεί.

Κατανομή της συχνότητας μεγεθών-Σχέση Gutenberg-Richter

Ο Utsu το 1961 απέδειξε ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο αριθμός των σεισμών μεγαλύτερο ή ίσο από την συσσωρευτική συχνότητα η οποία συμβολίζεται με το γράμμα M.

- $\log N_k(M) = a_k - Bm$

όπου $N_k(M) = \sum_{n(M)} dm$ (Συσσωρευτική Συχνότητα)

Όσο αυξάνει το μέγεθος " $a_k - Bm$ " μειώνεται ο αριθμός των σεισμών σε μία περιοχή.

- $\log N_y(M) = a_y - bY$

όπου $\log N_y(M) = \sum_{n(M)} dm$ (Συσσωρευτική Συχνότητα σεισμών με ένταση μεγαλύτερη από Y)

Ποσοτικά Μέτρα

Από τη σχέση Gutenberg-Richter προκύπτουν διάφορα ποσοτικά μέτρα για τον στατιστικό καθορισμό της σεισμικότητας.

- Ο ετήσιος αριθμός σεισμών με μέγεθος M ή μεγαλύτερο:

$$NM = 10^a / 10^{bM}$$

- Η μέση περίοδος επανάληψης των σεισμών:

$$TM = 10^{bM} / 10^a = 1/N_M$$

- Το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος M^* , σε k χρόνια:

$$M^* = a + \log k/b$$

- Το συχνότερα παρατηρούμενο μέγιστο ετήσιο μέγεθος:

$$M1 = a/b$$

- Η πιθανότητα P να συμβεί σεισμός μεγέθους M (Y) ή μεγαλύτερου σε χρόνο t :

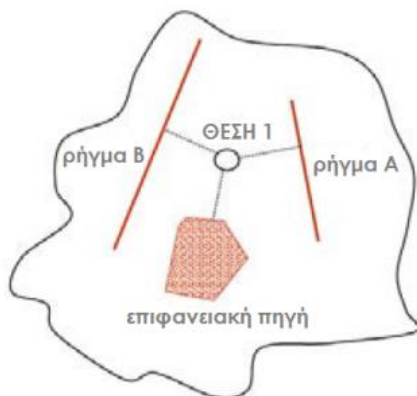
$$P = 1 - \exp(-10^{a-bMt})$$

Μέθοδοι υπολογισμού σεισμικής επικινδυνότητας

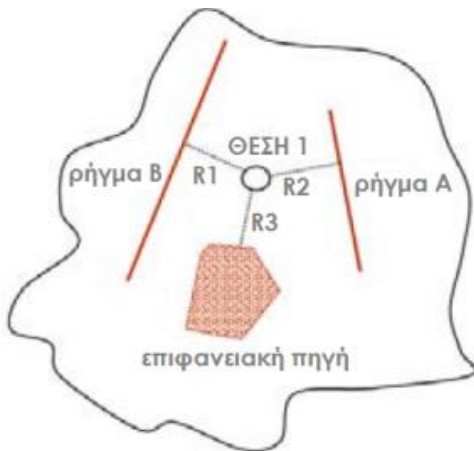
Οι μέθοδοι εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις μεθοδολογίες αιτιοκρατικού υπολογισμού που χρησιμοποιούν διακριτές τιμές ή μοντέλα για να εκφράσουν τη σεισμική επικινδυνότητα σε μια θέση και τις μεθοδολογίες πιθανολογικού υπολογισμού που βασίζονται σε μοντέλα που εισάγουν στις αναλύσεις την πιθανότητα να συμβεί ένα σεισμικό γεγονός.

Μεθοδολογία αιτιοκρατικού υπολογισμού:

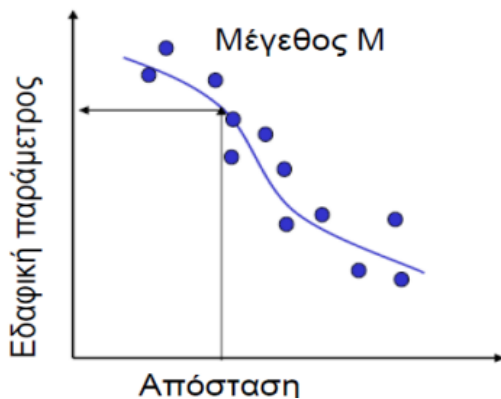
- Επιλογή των πιθανών σεισμικών πηγών που εκτιμάται ότι μπορεί να επηρεάσουν τη θέση που μας ενδιαφέρει.



- Υπολογισμός των ελάχιστων αποστάσεων από τη θέση μελέτης.



- Επιλογή σχέσης εξασθένισης και μέγιστου μεγέθους ανά σεισμική πηγή.



- Υπολογισμός των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων στη θέση μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση εξασθένισης και την απόσταση. Παρακάτω φαίνεται η σχέση εξασθένισης.

$$\ln \hat{Y} = \ln b_1 + f_1(M) + \ln f_2(R) + \ln f_3(M, R) + \ln f_4(P_1) + \ln \varepsilon$$

Μεθοδολογία πιθανολογικού υπολογισμού:

- Καθορισμός σεισμικών πηγών
- Χαρακτηρισμός της σεισμικότητας των σεισμικών ζωνών ή πηγών (ρήγματα, σεισμικές πηγές, επιφανειακές πηγές)
- Επιλογή σχέσης εξασθένισης και μέγιστου μεγέθους ανά σεισμική πηγή
- Υπολογισμός των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων στη θέση μελέτης

2.3 Σεισμική Τρωτότητα

Σύμφωνα με το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001), ως τρωτότητα (vulnerability) ορίζεται ο βαθμός επιρρέπειας ενός συστήματος, ή έλλειψης ικανότητας να ανταπεξέλθει, έναντι των δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών διακυμάνσεων και ακραίων καταστάσεων. Η τρωτότητα είναι συνάρτηση του χαρακτήρα, του μεγέθους και του ρυθμού των κλιματικών διακυμάνσεων στις οποίες είναι εκτεθειμένο το σύστημα, της ευαισθησίας του συστήματος, αλλά και της ικανότητάς του για προσαρμογή.

Η τρωτότητα των κτιρίων χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: τη ρυπαντική και τη σεισμική. Η ρυπαντική τρωτότητα εκφράζει το μέγεθος της φθοράς ενός κτιρίου από την έκθεση του σε καιρικά φαινόμενα σε συνάρτηση με τον χρόνο και από τυχόν ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα στη θεμελίωση του. Η σεισμική τρωτότητα αφορά τις αστοχίες του κτιρίου μετά από έναν σεισμό και προκαλεί πρώτα τα εξής φαινόμενα:

- **Εδαφική ταλάντωση:** Αιφνίδιες παραμορφώσεις του εδάφους που οφείλονται στη διάδοση των σεισμικών κυμάτων.
- **Διασταυρώσεις με ρήγματα:** Στις περιοχές των ρηγμάτων εμφανίζονται τοπικές μόνιμες παραμορφώσεις.
- **Καθιζήσεις:** Σε ζώνες μετάβασης από ένα καλύτερο έδαφος σε χειρότερο.
- **Κατολισθήσεις:** Μαζικές κινήσεις εδαφικών πρηνών λόγω αστοχίας του εδάφους από την κατά μήκος διάτμηση μιας επιφάνειας.
- **Ρευστοποίηση:** Η μετατροπή κορεσμένου, μη συνεκτικού εδάφους από στερεά μορφή σε υγρή, και άρα η απώλεια της αντοχής.

Επιπλέον, η σεισμική τρωτότητα χωρίζεται σε δύο άλλες υποκατηγορίες: τη δομική και τη μη δομική τρωτότητα.

Δομική τρωτότητα: Αναφέρεται στις βλάβες των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου που προέρχονται από σεισμό. Για την αποφυγή αυτών, η πολιτεία δεσμεύει τον μελετητή να ακολουθήσει τους Ευρωπαϊκούς αντισεισμικούς κανονισμούς, οι οποίοι συντάχθηκαν το 1997 και εφαρμόζονται μέχρι και σήμερα.

Μη δομική τρωτότητα: Σχετίζεται με παραμέτρους που θα μπορούσαν να βλάψουν τον άνθρωπο, όπως ντουλάπια, φωτιστικά, συσκευές κ.α. Για αυτή την υποκατηγορία, δεν υπάρχουν δεσμεύσεις για την κατασκευή του κτιρίου εκτός αν αυτό προορίζεται για σχολείο ή νοσοκομείο, όπου σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν δεσμευτικές οδηγίες που πρέπει να τηρηθούν.



Εικόνα 13. Εν δυνάμει τρωτά στοιχεία του περιβλήματος του κτιρίου (Πηγή: Σαπουντζάκη, Δανδουλάκη, 2015)

Για την εκτίμηση της δομικής τρωτότητας ενός κτιρίου υπάρχουν δύο τρόποι. Ο εμπειρικός, ο οποίος έχει να κάνει με την ικανότητα ενός ανθρώπου που έχει αναπτύξει με την πολυετή εμπειρία του και την ειδική εκτίμηση που δίνεται από ειδικό εμπειρογνώμονα, η δεύτερη είναι πιο χρονοβόρα αλλά θεωρείται αναλυτικότερη και ακριβέστερη. Στην Ελληνική πολιτεία με αφορμή το σεισμό του 1978 στη Θεσσαλονίκη υποβλήθηκε οδηγία από επιτελείο μηχανικών για την κατηγοριοποίηση τρωτότητας κτιρίων η οποία έγινε δεκτή το 2001 έπειτα από το σεισμό της Αθήνας το 1999 στη Πάρνηθα, και παρουσιάζεται η εξής κλιμάκωση παρακάτω.

ΕΠΙΠΕΔΟ ΒΛΑΒΗΣ	ΤΥΠΟΙ ΒΑΑΒΩΝ		
	ΟΔΗΓΙΕΣ 1984 [8]	ΟΔΗΓΙΕΣ 1997-2001 [9&10]	
Καμμία	Καμμία		Δεν επηρεάζεται η γενική ευστάθεια
Μηδαμνή	<p>ΠΡΑΣΙΝΑ</p> <p>Λεπτές ρωγμές στις τοιχοποιίες πλήρωσης και στα επιχρίσματα, χωρίς βλάβες τα φέροντα στοιχεία</p> <p>Ρωγμές σε τοιχοποιίες πλήρωσης και επιχρίσματα, μεγάλες βλάβες σε καμινάδες-στηθαία, αμελητέες βλάβες σε φέροντα στοιχεία</p>	<p>ΠΡΑΣΙΝΑ</p> <p>Ελαφριά ρηγάτωση στις τοιχοποιίες πλήρωσης και στα επιχρίσματα, χωρίς βλάβες τα φέροντα στοιχεία</p> <p>Σοβαρές ρωγμές σε τοιχοποιίες πλήρωσης, τριχοειδείς ρωγμές σε δοκούς-υποστυλώματα που οφείλονται σε τοπικές αδυναμίες</p>	
Μικρή	<p>ΚΙΤΡΙΝΑ</p> <p>Διαγώνιες ρωγμές σε τοιχοποιίες πλήρωσης, μερική ή ολική κατάρρευση καμινάδων, ρωγμές σε φέροντα στοιχεία</p>	<p>ΚΙΤΡΙΝΑ</p> <p>Σοβαρές βλάβες σε δοκούς και πλάκες, αποδιοργάνωση σκυροδέματος, πολλές καμκτικές ή μεμονωμένες διατμητικές (<0.5mm) σε υποστυλώματα χωρίς μετακινήσεις</p>	Επηρεάζεται η γενική ευστάθεια
Μέτρια	<p>ΚΙΤΡΙΝΑ</p> <p>Μεγάλες ρωγμές σε δοκούς-υποστυλώματα-τοιχώματα, μικρή παραμόρφωση φερόντων στοιχείων ή κτιρίου, αποδιοργάνωση σκυροδέματος, θρυμματισμα τούβλων</p>	<p>ΚΙΤΡΙΝΑ</p> <p>Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές σε υποστυλώματα, αποδιοργάνωση σκυροδέματος, μικρές παραμεινουσες παραμορφώσεις, ρωγμές σε τοιχώματα και κόμβους</p>	
Εκτεταμένη	<p>ΚΟΚΚΙΝΑ</p> <p>Μεγάλες βλάβες-παραμορφώσεις φερόντων στοιχείων, σοβαρές βλάβες στους κόμβους, σημαντικές παραμορφώσεις, στρέβλωση στέγης, αρκετά θρυμματισμένα στοιχεία</p>	<p>ΚΟΚΚΙΝΑ</p> <p>Λυγισμός των ράβδων υποστυλωμάτων και πλήρης αποδιοργάνωση σκυροδέματος, διαρροή ή θραύση συνδετήρων, ασυνέχεια του στοιχείου, σχετικά μικρές παραμορφώσεις, σοβαρή αποδιοργάνωση σε κόμβους</p>	
Μερική κατάρρευση	<p>ΚΟΚΚΙΝΑ</p> <p>Αστοχία φερόντων στοιχείων, μεγάλες παραμορφώσεις, μερική κατάρρευση</p>	<p>ΚΟΚΚΙΝΑ</p> <p>Κάθε παραπάνω βλάβη με επιπλέον σημαντικές μετακινήσεις είναι ένα επίπεδο παραπάνω, μερική ή πλήρης κατάρρευση υποστυλωμάτων</p>	
Κατάρρευση	<p>ΜΑΥΡΑ</p> <p>Ολική ή επικείμενη κατάρρευση</p>	<p>ΜΑΥΡΑ</p> <p>Ολική ή επικείμενη κατάρρευση</p>	

Πίνακας 1. Σύγκριση των διατάξεων ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ 1984 & 1997-2001 (Πηγή: Ελευθεριάδου, Καραμπίνης, 2010)

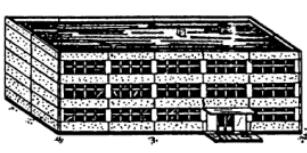
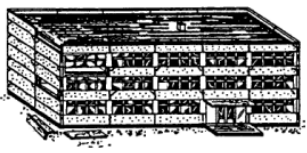
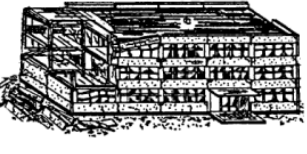
Ακόμη όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της σεισμικής τρωτότητας και την σεισμική ανεπάρκεια των υφιστάμενων κτιρίων, αρκεί ένας ταχύς οπτικός έλεγχος για να εντοπιστούν τα προβλήματα από τους ειδικούς. Άρα από μια επί τόπου αυτοψία, που αποτελεί την απλούστερη μέθοδο για την βαθμονόμηση των κτιρίων σύμφωνα με την τρωτότητα τους, οφείλει να αναζητήσει και καταγράψει τα παθογενή χαρακτηριστικά που κατηγοριοποιούνται ενδεικτικά στον ακόλουθο πίνακα :

Ύψος κτιρίου	Αριθμός ορόφων Ύπαρξη υπογείου
Κατακόρυφα φέροντα στοιχεία	Μεταξύ τους απόσταση Επιφάνεια φερόντων τοίχων
Προβλήματα πατωμάτων-στέγης	Εύκαμπτα, ταλαντούμενα δάπεδα Ελλιπής στατική λειτουργίας στέγης
Κακή ποιότητα δόμησης	Σύνδεση εγκάρσιων τοίχων Διάβρωση υλικών Ανυπαρξία ενισχυμένων ζωνών
Προβλήματα στη κάτοψη	Ανικανότητα στη κάτοψη Πρόβολοι εκτός κάτοψης
Ακανονικότητα καθ' ύψος	Εύκαμπτος όροφος Στροφή λόγω εκκεντρότητας
Προβλήματα θεμελίων	Υποσκαφή Εύκαμπτα θεμέλια Ρωγμές λόγω καθιζήσεων
Δυσμενής σχέση με τα γειτονικά κτίρια	Σύγκρουση με γειτονικά στην πλάκα και στα κατακόρυφα φέροντα Συνεχές-γωνιακό

Πίνακας 2. Κύρια τρωτά δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων στην Ελλάδα

	<p>Βαθμός 1: Ελάχιστες και Ελαφρές Βλάβες</p> <p>Τριχοειδείς ρωγμές σε μερικές τοιχοποιίες· πτώση μόνο μερικών μικρών κομματιών από σοβάδες. Πτώση χαλαρών πλίνθων από τα ανώτερα τμήματα του κτιρίου, όμως σε πολύ λίγες περιπτώσεις.</p>
	<p>Βαθμός 2: Μέτριες Βλάβες</p> <p>Ρωγμές σε πολλές τοιχοποιίες· πτώση αρκετά μεγάλων κομματιών σοβάδων· πτώση τμημάτων καμινάδων.</p>
	<p>Βαθμός 3: Αφθονες έως Μεγάλες Βλάβες</p> <p>Μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στις περισσότερες τοιχοποιίες· διαφυγή κεραμιδιών. Οι καμινάδες διαρρηγνύονται κατά μήκος της γραμμής της σκεπής· βλάβη σε μεμονωμένα μη δομικά στοιχεία.</p>
	<p>Βαθμός 4: Πολύ Μεγάλες Βλάβες</p> <p>Σημαντική βλάβη στις τοιχοποιίες.</p> <p>Μερική δομική βλάβη.</p>
	<p>Βαθμός 5: Καταστροφικές Βλάβες</p> <p>Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση.</p>

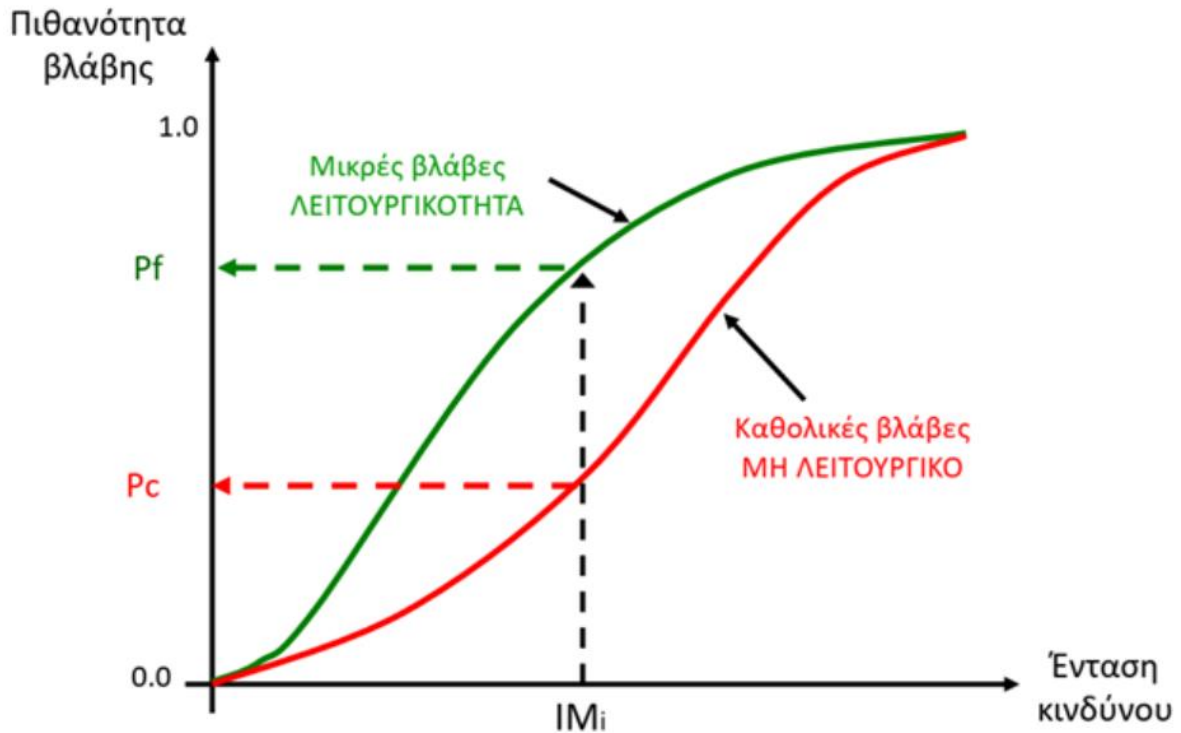
Εικόνα 14. Κατηγορίες αστοχιών σε κτίρια από τοιχοποιία (Πηγή: Σαπουντζάκη, Δανδουλάκη, 2015)

	<p>Βαθμός 2: Μέτριες Βλάβες</p> <p>Τριχοειδείς ρωγμές σε κολόνες ή δοκούς· πτώση σοβάδων από αρμούς αιωρούμενων κομματιών τοίχου· ρωγμές σε μεσοτοιχία· πτώση κομματιών εύθραυστης επένδυσης και σοβάδων.</p>
	<p>Βαθμός 3: Αφθονες έως Μεγάλες Βλάβες</p> <p>Ρωγμές σε κολόνες με αποκόλληση κομματιών μπετόν· ρωγμές σε δοκούς.</p>
	<p>Βαθμός 4: Πολύ Μεγάλες Βλάβες</p> <p>Σοβαρή βλάβη των κόμβων του κτιριακού σκελετού με καταστροφή στο μπετόν και σιδηροπλισμού· μερική κατάρρευση· κλίση σε κολόνες.</p>
	<p>Βαθμός 5: Καταστροφικές Βλάβες</p> <p>Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση.</p>

Εικόνα 15. Κατηγορίες αστοχιών σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα (Πηγή: Σαπουντζάκη, Δανδουλάκη, 2015)

2.3 Καμπύλες τρωτότητας

Ο συνήθης τρόπος αποτίμησης της τρωτότητας ενός κτιρίου είναι μέσω των καμπυλών τρωτότητας. Οι καμπύλες τρωτότητας είναι γραφικές αναπαραστάσεις που δείχνουν τη συσχέτιση μεταξύ της έντασης ενός φυσικού φαινομένου και του βαθμού των απωλειών ή της δομικής βλάβης που προκαλείται. Αυτές οι καμπύλες χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις ενός σεισμού ή άλλου φυσικού φαινομένου σε διάφορα στοιχεία που εκτίθενται σε κίνδυνο, όπως κτίρια, υποδομές, και άλλες δομές.



Εικόνα 16. Απεικόνιση της σχέσης "Ένταση κινδύνου(σεισμική διέγερση) - βλάβη" (Πηγή: Παπαθανασίου, 2022)

Στο σχήμα παρουσιάζονται δύο καμπύλες τρωτότητας:

- Πράσινη Καμπύλη: Αντιπροσωπεύει στοιχεία με υψηλή τρωτότητα.
- Κόκκινη Καμπύλη: Αντιπροσωπεύει στοιχεία με χαμηλή τρωτότητα.

Οι καμπύλες τρωτότητας κατασκευάζονται με βάση την παρατήρηση ή την ανάλυση δεδομένων από προηγούμενα φαινόμενα. Η συσχέτιση γίνεται μεταξύ της έντασης του φαινομένου (π.χ. μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, εδαφική μετακίνηση, ύψος νερού) και του βαθμού των απωλειών (π.χ. οικονομικές απώλειες, δομική βλάβη).

Μέθοδοι Δημιουργίας Καμπυλών Τρωτότητας

Οι καμπύλες τρωτότητας είναι κρίσιμες για την εκτίμηση των πιθανών ζημιών σε κατασκευές και υποδομές λόγω φυσικών καταστροφών. Οι μέθοδοι για τη δημιουργία αυτών των καμπυλών διακρίνονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

- i. Κρίσης
- ii. Εμπειρικές
- iii. Αναλυτικές
- iv. Υβριδικές

Κρίσης

Οι καμπύλες τρωτότητας που βασίζονται στη γνώμη και την κρίση των μηχανικών ή εμπειρογνομόνων. Έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν περιορίζονται από την ποσότητα και την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων και είναι γρήγορες στην εφαρμογή. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η υποκειμενικότητα και η δυσκολία στην επικύρωση των αποτελεσμάτων.

Εμπειρικές

Οι εμπειρικές καμπύλες στηρίζονται σε παρατηρήσεις από πραγματικά δεδομένα και πειραματικά αποτελέσματα. Παρέχουν ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα, αλλά η έλλειψη δεδομένων αποτελεί συχνά εμπόδιο. Επιπλέον, οι διαδικασίες για τη λήψη δεδομένων μπορεί να είναι δαπανηρές και χρονοβόρες.

Αναλυτικές μέθοδοι

Αυτές οι καμπύλες βασίζονται σε δομικά μοντέλα που χαρακτηρίζουν την οριακή κατάσταση συμπεριφοράς μιας κατασκευής. Είναι ακριβείς και επιτρέπουν την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων, αλλά απαιτούν εξειδικευμένη γνώση και σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους. Οι αναλυτικές προσεγγίσεις μπορούν να διακριθούν σε ρητές και άρρητες συναρτήσεις της οριακής κατάστασης, καθώς και σε μεθόδους που χρησιμοποιούν αναλυτικές ή αριθμητικές μεθόδους για τον υπολογισμό της πιθανότητας αστοχίας.

Υβριδικές μέθοδοι

Οι υβριδικές μέθοδοι συνδυάζουν δύο ή περισσότερες από τις παραπάνω προσεγγίσεις για να ξεπεράσουν τους περιορισμούς που σχετίζονται με κάθε μέθοδο ξεχωριστά. Συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των διαφόρων μεθόδων για πιο ολοκληρωμένες και αξιόπιστες εκτιμήσεις, αλλά είναι πιο πολύπλοκες στην εφαρμογή και διαχείριση.

Οι υβριδικές προσεγγίσεις μπορούν να εφαρμοστούν με διάφορους τρόπους, όπως η χρήση διαφορετικών προσεγγίσεων για διαφορετικά τμήματα του φορτίου ή ο συνδυασμός καμπυλών τρωτότητας που έχουν αναπτυχθεί με διαφορετικές μεθόδους.

Ημιεμπειρική Μέθοδος

Ο καθορισμός της τρωτότητας των κατασκευών απαιτεί πληθώρα πληροφοριών και γνώσεων από διάφορους επιστήμονες και φορείς, κάτι που συχνά καθίσταται δύσκολο να συνδεθούν μεταξύ τους λόγω της ποσότητας και της ακρίβειας των απαραίτητων δεδομένων. Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους υπολογισμού της τρωτότητας σήμερα είναι η ημιεμπειρική μέθοδος. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη στατιστική συσχέτιση των βλαβών και της σεισμικής συμπεριφοράς σε προηγούμενους σεισμούς με τα δομικά χαρακτηριστικά των κατασκευών. Τα τελευταία χρόνια, σε πολλές χώρες με υψηλή σεισμικότητα, έχουν αναπτυχθεί ημιεμπειρικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της τρωτότητας των κατασκευών. Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στην αποτίμηση των κατασκευών μέσω στοιχείων και πληροφοριών που συλλέγονται με την συμπλήρωση ειδικών εντύπων. Η αξιολόγηση των πληροφοριών από αυτά τα έντυπα καταλήγει στον υπολογισμό μιας βαθμολογίας, η οποία κατατάσσει την κατασκευή όσον αφορά τη σεισμική της τρωτότητα και επικινδυνότητα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ημιεμπειρικής μεθόδου είναι η δυνατότητα γρήγορης αποτίμησης ενός μεγάλου αριθμού κτιρίων από μια δημόσια αρχή ή φορέα, επιτρέποντας έτσι έναν ταχύ έλεγχο της τρωτότητας των κατασκευών στην περιοχή ευθύνης της.

Για παράδειγμα στις Η.Π.Α., για τον ημιεμπειρικό καθορισμό της τρωτότητας των κατασκευών, έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος που περιγράφεται στο εγχειρίδιο FEMA 154 (1988), το οποίο αναθεωρήθηκε το 2001. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη συμπλήρωση ενός εντύπου που περιγράφει τα βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, αφού πρώτα καταταχθεί το κτίριο που ελέγχεται σε έναν από τους 12 βασικούς τύπους κτηρίων που ορίζει η μέθοδος. Τα στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με τη FEMA (Federal Emergency Management Agency) είναι τα εξής:

- Κατάταξη κτιρίου: γίνεται κατάταξη του κτιρίου σε έναν από τους 12 βασικούς τύπους κτιρίων
- Καθορισμός αρνητικών στοιχείων κτιρίου: γίνεται μείωση της “βασικής βαθμολογίας” 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
- Καθορισμός αντισεισμικού σχεδιασμού: 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

- Τελική βαθμολογία: γίνεται η αξιολόγηση της τρωτότητας του κτιρίου με βάση την τελική βαθμολογία. Αν η τελική βαθμολογία είναι μικρότερη του 2 τότε το κτιρίου χρίζει περαιτέρω διερεύνησης. Η τελική βαθμολογία (x) σημαίνει πιθανότητα (10x) βαρείας βλάβης ή κατάρρευσης του κτιρίου από το σεισμό σχεδιασμού.

Ελληνική Μέθοδος – Προσεισμικός έλεγχος Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Όσον αφορά την Ελληνική Μέθοδο-Προσεισμικός έλεγχος Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. το πρώτο σκέλος του προσεισμικού ελέγχου των κτιρίων είναι βασισμένο στο εγχειρίδιο FEMA 154 του 1988 που έγινε η ανάλυση του προηγουμένως. Ο στόχος του πρώτου επιπέδου είναι η αρχική εκτίμηση του βαθμού τρωτότητας της κατασκευής συνολικά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συλλογής κατάλληλων παραμέτρων σεισμικής τρωτότητας, για την οποία χρησιμοποιείται το Δελτίο του Προσεισμικού Ελέγχου. Το δελτίο αυτό αποτελείται από πέντε ενότητες:

1^η ενότητα: στοιχεία ταυτότητας του κτιρίου όπως ο νομός, ο δήμος, η διεύθυνση η χρήση του κτιρίου κτλ.

2^η ενότητα: τεχνικά στοιχεία του κτιρίου όπως ο αριθμός των ορόφων, η επιφάνεια κάτοψης, το έτος της κατασκευής του κτιρίου κτλ.

3^η ενότητα: σεισμολογικά και γεωτεχνικά στοιχεία της συγκεκριμένης περιοχής όπως η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας κατά Ε.ΑΚ. 2000 , τη κατηγορία εδάφους κτλ.

4^η ενότητα: δομικός τύπος του κτιρίου

5^η ενότητα: στοιχεία τρωτότητας του κτιρίου

Αφού γίνει η συλλογή όλων των παραπάνω στοιχείων, γίνεται η βαθμολόγηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής λαμβάνοντας επίσης υπόψη την εδαφική κίνηση που αναμένεται να υπάρξει αλλά και τους κυριότερους συντελεστές δομικής τρωτότητας.

Παρακάτω ακολουθεί το δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου κτιρίων κατά τον ΟΑΣΠ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

1. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: _____
2. ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: _____
3. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ: _____ Τ.Κ.: _____
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ φ: _____ λ: _____
4. ΟΝΟΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ: _____ Τηλ: _____
5. ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ: _____
6. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ: _____
7. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ: _____
8. ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ: _____
9. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ: _____
10. ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ ΜΕΧΡΙ 10 10 – 100 > 100
ΠΟΥ ΣΥΝΑΘΡΟΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:

ΕΝΟΤΗΤΑ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

11. ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΡΟΦΩΝ: _____ ΥΠΟΓΕΙΩΝ: _____
12. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ: _____
13. ΟΛΙΚΗ ΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ: _____
14. ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: _____
15. ΕΤΟΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ: _____
16. ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ Η ΜΕΛΕΤΗ: ΝΑΙ ΟΧΙ
17. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ: ΝΑΙ ΟΧΙ
18. ΕΧΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ: ΝΑΙ ΟΧΙ
19. ΕΧΕΙ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΕΙ / ΕΝΙΣΧΥΘΕΙ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ: ΝΑΙ ΟΧΙ
20. ΑΝ ΝΑΙ ΓΙΑ ΠΟΙΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΠΟΤΕ: _____
21. ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ-2000 Σ1 Σ2 Σ3 Σ4
22. ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ: _____

23. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ:
1. ΟΝΟΜΑ: _____ 2. ΟΝΟΜΑ: _____
ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: _____ ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: _____
ΤΗΛ: _____ ΤΗΛ: _____

24. ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ: _____



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
Σάνθου 32 15451, Ν. Ψυχικό Τηλ. 210 6728000, 210 6725233, e-mail info@oasp.gr

Εικόνα 17. Δελτίο Προσεισμικού ελέγχου κατά τον ΟΑΣΠ (1η σελίδα) (Πηγή: ΟΑΣΠ, 2020)

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ : ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

25. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ.-2000 (σύμφωνα με τροπ. 2003)

I II III

26. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά το χρόνο μελέτης του Κτιρίου

Πριν το 1995 I II III

Μεταξύ

1995 και 2003 I II III IV Μετά το 2004 I II III

27. Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.Α.Κ. - 2000

A B Γ Δ X

Άγνωστη κατηγορία εδάφους

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ : ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

28. Δομικός τύπος του κτιρίου

(Σύμφωνα με το συνημμένο πίνακα 1)

ΟΣα ΟΣβ ΟΣγ ΠΟΣ1 ΠΟΣ2 ΑΤ ΔΤ ΟΤ ΕΤ ΧΛ1α ΧΛ1β ΧΛ2α ΧΛ2β **ΕΝΟΤΗΤΑ Ε : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ**

(Σημειώστε με X τις θετικές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα)

29. Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό
30. Έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης
31. Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις
32. Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων
33. Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια
34. Μαλακός όροφος
35. Μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη
36. Μεγάλο ύψος
37. Μη κανονικότητα καθ' ύψος
38. Οριζόντια μη κανονικότητα
39. Ενδεχόμενο στρέψης
40. Κοντά υποστυλώματα

Σημείωση: Για τυχόν πρόσθετες πληροφορίες παρακαλούμε απευθύνεστε στον ΟΑΣΠ / Τμήμα Αντισεισμικής Τεχνολογίας (e-mail: "info@oasp.gr").Όλες οι οδηγίες, οι πίνακες και τα Δελτία Ελέγχου που περιλαμβάνονται ή αναφέρονται στο τεύχος αυτό, βρίσκονται επίσης στην ιστοσελίδα του ΟΑΣΠ στη διεύθυνση "<http://www.oasp.gr>". Στη σελίδα αυτή θα δημοσιεύονται πληροφορίες ή διευκρινίσεις που αφορούν τον Προσεισμικό Έλεγχο.ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
Ξάνθου 32 15451, Ν. Ψυχικό Τηλ. 210 6728000, 210 6725233 Fax 210 6779561, e-mail info@oasp.gr

Εικόνα 18. Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου κατά τον ΟΑΣΠ (2η σελίδα) (Πηγή: ΟΑΣΠ, 2020)

3. Σεισμικές Απώλειες

3.1 Απώλειες Κτιρίων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν οι μέθοδοι που μπορούν να προσδιορίσουν την πιθανότητα εμφάνισης ελαφριών, μέτριων ή εκτεταμένων ζημιών στα οικοδομικά κτίρια. Ένα γενικό οικοδομικό κτίριο αντιπροσωπεύεται από τα τυπικά κτίρια ενός συγκεκριμένου μοντέλου οικοδόμησης, το οποίο έχει σχεδιαστεί με υψηλούς, μέτριους ή χαμηλούς σεισμικούς κώδικες προτύπων, ή μπορεί να μην έχει σχεδιαστεί καθόλου με βάση σεισμικούς κώδικες. Οι βλάβες και οι ζημιές που μπορεί να προκληθούν από μια σεισμική δόνηση σε κατασκευές εξαρτώνται από διάφορες παραμέτρους, όπως το μέγεθος του σεισμού, το εστιακό βάθος, η θέση του επικέντρου και η απόσταση της εστίας από τον τόπο παρατήρησης. Επιπλέον, ένα άλλο ποιοτικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει τη συμπεριφορά των κατασκευών κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι το έδαφος θεμελίωσης. Με την περάτωση ενός σεισμού συχνά παρατηρούνται βλάβες και φθορές σε κτίρια, σε ιστορικά μνημεία, στο οδικό δίκτυο, καθώς και σε δίκτυα ύδρευσης και τηλεπικοινωνιών.

Οι τρόποι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των βλαβών σε κτίρια λόγω σεισμού περιλαμβάνουν:

- Καμπύλες ευθραυστότητας: αυτές περιγράφουν την πιθανότητα να φτάσουν ή να υπερβούν οι κατασκευές διάφορες καταστάσεις βλάβης. Το σύνολο των καμπυλών ευθραυστότητας εκφράζει την πιθανότητα δομικής βλάβης από την άποψη της μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους (PGA).
- Καμπύλες δομής: αυτές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της μέγιστης απόκρισης του κτιρίου.

Παρόλο που ο σεισμός αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα πρόκλησης ζημιών στα κτίρια, η αστοχία του εδάφους, η οποία χαρακτηρίζεται από μόνιμες παραμορφώσεις, μπορεί επίσης να συμβάλλει αρκετά στη δημιουργία καταστροφών.

Για να γίνει η εκτίμηση της βλάβης ενός κτιρίου, χρησιμοποιώντας τις καμπύλες ευθραυστότητας και χωρητικότητας, απαιτούνται δύο βασικά στοιχεία:

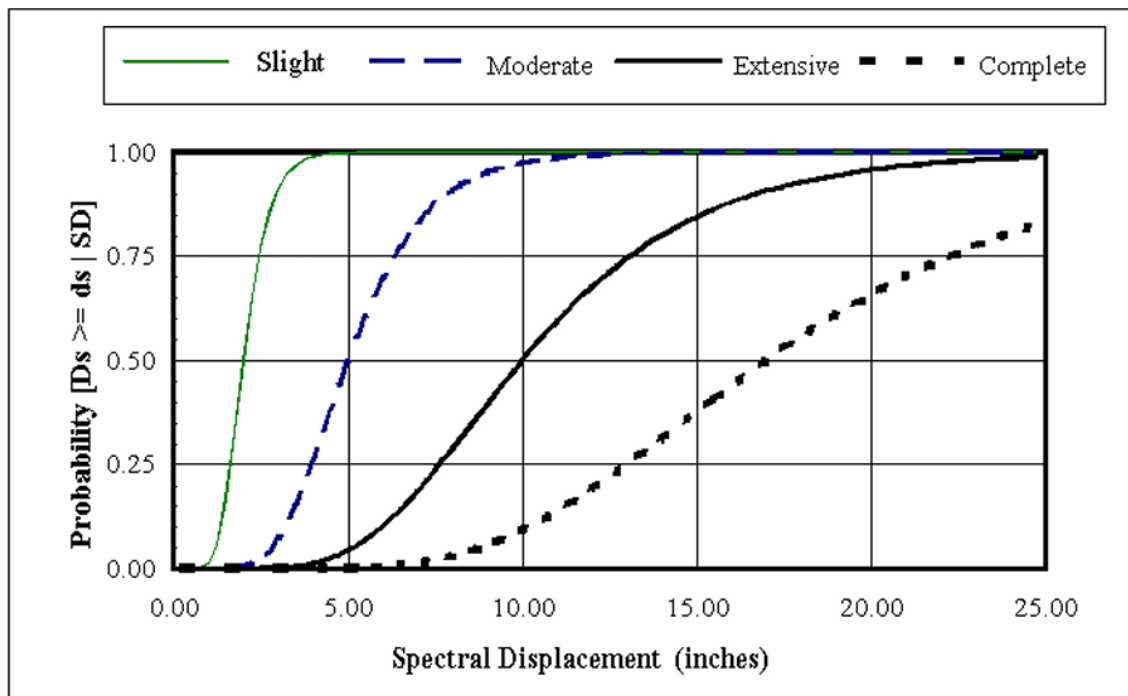
1. Το μοντέλο κτιρίου, που περιλαμβάνει το ύψος και το επίπεδο σεισμικού σχεδιασμού που αντιπροσωπεύει το κτίριο ή την ομάδα κτιρίων που μας ενδιαφέρει.
2. Το φάσμα απόκρισης στο χώρο του κτιρίου ή στο κέντρο της περιοχής απογραφής όπου βρίσκεται το κτίριο ή η ομάδα κτιρίων.

Συνήθως, το μοντέλο του κτιρίου δεν είναι γνωστό για κάθε κτίριο και πρέπει να προσδιορίζεται από τον πίνακα των εγκαταστάσεων, χρησιμοποιώντας τη σχέση τύπου κτιρίου. Τα

αποτελέσματα των καμπυλών ευθραυστότητας παρέχουν μια εκτίμηση των υπερβάσεων σε κάθε κατάσταση βλάβης στο έδαφος.

Παρότι οι καμπύλες ευθραυστότητας και χωρητικότητας εφαρμόζονται θεωρητικά σε ένα μεμονωμένο κτίριο ή σε όλα τα κτίρια του ίδιου τύπου, είναι πιο αξιόπιστες για την πρόβλεψη ζημιών σε μεγάλες ομάδες πληθυσμού παρά σε μικρές. Δεν πρέπει να θεωρούνται αξιόπιστες για την πρόβλεψη βλάβης σε συγκεκριμένη εγκατάσταση χωρίς επιβεβαίωση από εμπειρογνώμονα σεισμικών ή δομικών μηχανικών.

Οι λειτουργίες βλάβης στην οικοδόμηση έχουν τη μορφή καμπυλών κανονικής ευθραυστότητας, οι οποίες σχετίζονται με την πιθανότητα εμφάνισης ή υπέρβασης μιας κατάστασης βλάβης του κτιρίου.



Εικόνα 19. Παράδειγμα καμπυλών ευθραυστότητας για τις τέσσερις καταστάσεις βλάβης (Πηγή: SEISMIC FRAGILITY ANALYSIS OF REGULAR AND SETBACK RCC FRAMES – A FEW HYPOTHETICAL CASE STUDIES, 2015)

Ο πίνακας που παρατίθεται παρακάτω περιέχει τους 36 τύπους κτιρίων που βασίζονται στο σύστημα ταξινόμησης FEMA 178 για τη σεισμική αξιολόγηση υφιστάμενων κτιρίων.

No.	Label	Description
1	W1	Wood, Light Frame
2	W2	Wood, Commercial and Industrial
3	S1L	Steel Moment Frame
4	S1M	
5	S1H	
6	S2L	Steel Braced Frame
7	S2M	
8	S2H	
9	S3	Steel Light Frame
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place
11	S4M	Concrete Shear Walls
12	S4H	
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls
14	S5M	
15	S5H	
16	C1L	Concrete Moment Frame
17	C1M	
18	C1H	
19	C2L	Concrete Shear Walls
20	C2M	
21	C2H	
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls
23	C3M	
24	C3H	
25	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls
26	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls
27	PC2M	
28	PC2H	
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms
30	RM1M	
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms
32	RM2M	
33	RM2H	
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls
35	URMM	
36	MH	Mobile Homes

Πίνακας 3. Τύποι Κτιρίων σύμφωνα με το FEMA 178

Τα αποτελέσματα των μεθόδων εκτίμησης βλαβών χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των εξής:

- Απώλειες λόγω δομικών βλαβών
- Οικονομικές Απώλειες εξαιτίας βλάβης του κτιρίου (κόστος επισκευής ή αντικατάστασης)

Οι προβλέψεις ζημιών σε ένα κτίριο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη των αναμενόμενων ζημιών σε μια περιοχή για διάφορους τύπους σεισμών. Αυτές οι προβλέψεις επιτρέπουν στους ειδικούς να υπολογίσουν την έκταση της ζημιάς σε ένα κτίριο, διασφαλίζοντας την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής. Οι φθορές των κτιρίων περιγράφονται καλύτερα με βάση τα δομικά τους μέρη, όπως τα υποστηλώματα, οι δοκοί, οι τοιχοποιίες, οι οροφές και οι οπλισμοί.

3.2 Οικονομικές επιπτώσεις και απώλειες

Υπάρχουν επιπτώσεις που, ενώ μπορούν να μετρηθούν με οικονομικούς όρους, δεν είναι εφικτό να αποτιμηθούν σε συνθήκες στενότητας χρόνου, όπως στην περίπτωση των εκτιμήσεων επείγοντος χαρακτήρα. Πρόκειται για τα κόστη χαμένων ευκαιριών λόγω των συνεπειών της καταστροφής στις δομές και τη λειτουργία της οικονομίας, για τα διανεμητικά και αναδιανεμητικά αποτελέσματα των επιπτώσεων, καθώς και για τις απώλειες ανθρώπινου κεφαλαίου που αντιπροσώπευαν τα θύματα της καταστροφής.

- ❖ Μειωμένη παραγωγή αγαθών ή παροχή υπηρεσιών λόγω της ολικής ή μερικής παράλυσης σχετικών δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, οι βλάβες από την απώλεια ενός σχολικού εξαμήνου ή τα κόστη από τη μη τήρηση συμβολαίων εξαγωγικού εμπορίου.
- ❖ Πρόσθετα κόστη για εναλλακτικά μέσα παραγωγής δηλαδή, δαπάνες που προκύπτουν από την ανάγκη χρήσης εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ή παροχής βασικών υπηρεσιών, όπως η κατασκευή οδικού δικτύου έκτακτης ανάγκης.
- ❖ Αυξημένα λειτουργικά κόστη. Αυτά προκύπτουν από καταστροφές στις υποδομές και τα αποθέματα ή από απώλειες στην παραγωγή και το εισόδημα. Παραδείγματα περιλαμβάνουν απώλειες στις πωλήσεις αγαθών που δεν μπορούσαν να αποθηκευτούν και απρόσμενα κόστη για την αντικατάσταση χαμένων αρχείων του συστήματος περιθάλψης.
- ❖ Πρόσθετα κόστη από αναπροσαρμογή προϋπολογισμών.
- ❖ Μείωση εισοδήματος από τη διακοπή παροχής δημόσιων υπηρεσιών (ηλεκτρικού και πόσιμου νερού), ή και στην απώλεια εργασίας και τη μετάβαση σε μερική απασχόληση.
- ❖ Κόστη και δαπάνες κατά το στάδιο έκτακτης ανάγκης.
- ❖ Πρόσθετα κόστη για τις νέες συνθήκες μετά την καταστροφή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα κόστη ενημερωτικών εκστρατειών για την προστασία της υγείας από επιδημίες.

- ❖ Χαμένη παραγωγή ή εισόδημα. Για παράδειγμα, η καταστροφή ενός εργοστασίου μειώνει την οικονομική δραστηριότητα των προμηθευτών του που δεν έχουν πρόσβαση σε εναλλακτικές αγορές ή των πελατών του που δεν έχουν άλλους προμηθευτές.
- ❖ Κόστη ή ωφέλειες εξωτερικών παραγόντων, δηλαδή επιπτώσεις ή παράπλευρες συνέπειες ου επηρεάζουν τρίτους, οι οποίοι δεν ανήκουν στα άμεσα θύματα ή δικαιούχους από την καταστροφή. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι οι ωφέλειες από την εκπαίδευση των εργαζομένων στον μηχανισμό έκτακτης ανάγκης.

Επίσης, η αρχική γεωγραφική οριοθέτηση της πληγείσας περιοχής είναι κρίσιμη για τις οικονομικές εκτιμήσεις των απωλειών. Η μέθοδος προσδιορισμού της πληγείσας περιοχής εξαρτάται από τον τύπο του συμβάντος που προκάλεσε την καταστροφή. Για παράδειγμα, στην περίπτωση σεισμού, το επίκεντρο χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς. Στη συνέχεια, χαράσσεται κύκλος με κέντρο το επίκεντρο και ακτίνα την απόσταση μέχρι το πιο απομακρυσμένο σημείο όπου έχει γίνει αισθητή σεισμική ένταση επιπέδου V της κλίμακας Mercalli ή ισχυρότερη. Αυτή η προσεγγιστική αναπαράσταση της πληγείσας περιοχής πρέπει να αναπροσαρμόζεται με την απόκτηση ακριβέστερων πληροφοριών για τις σεισμικές εντάσεις. Επιπλέον, μπορούν να κατασκευαστούν άλλοι κύκλοι που δείχνουν πληγείσες περιοχές σε σχέση με συγκεκριμένο τύπο βλαβών ή απωλειών. Για παράδειγμα, ένας μικρότερος κύκλος μπορεί να αναπαριστά περιοχές που έχουν υποστεί διακοπές στα δίκτυα παροχών, με ακτίνα που προσδιορίζεται από το πιο απομακρυσμένο σημείο του αντίστοιχου δικτύου που έχει υποστεί μερική ή ολική καταστροφή.

3.3 Άμεσες και έμμεσες συνέπειες

Οι οικονομικές συνέπειες των σεισμών συνδέονται είτε με βλάβες στις κατασκευές είτε με την ανατροπή των συνθηκών διαβίωσης των πληγέντων. Στην πρώτη περίπτωση, οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν απώλειες κατοικιών και εργασιακών χώρων ή, γενικότερα, μέρος της ακίνητης ή κινητής περιουσίας των ανθρώπων (π.χ. οικιακός εξοπλισμός, αυτοκίνητα). Στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις αφορούν την αποδιοργάνωση της καθημερινής ζωής. Μετά από έναν σεισμό, δημιουργούνται νέες συνθήκες στην εργασία και γενικότερα στη διαβίωση, με όλα τα επακόλουθα προβλήματα. Οι κάτοικοι των πληγείσων περιοχών δεν μπορούν να εργαστούν τουλάχιστον για το πρώτο χρονικό διάστημα, είτε εξαιτίας τραυματισμών είτε λόγω της αναστολής των επαγγελματικών τους δραστηριοτήτων λόγω του σεισμού. Συχνά, τα κτίρια που στεγάζουν επιχειρήσεις ή δημόσιες υπηρεσίες έχουν υποστεί βλάβες και δεν είναι δυνατόν να επαναλειτουργήσουν άμεσα. Επίσης, για ένα μικρό χρονικό διάστημα, διακόπτονται οι εκπαιδευτικές, πολιτιστικές και άλλες δραστηριότητες. Στην ευρύτερη πληγείσα περιοχή παρατηρείται μείωση των ευκαιριών απασχόλησης, μείωση της αξίας της ακίνητης περιουσίας

και κατακόρυφη αύξηση των ενοικίων. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι όλα αυτά συνεπάγονται ένα τεράστιο οικονομικό κόστος σε ατομικό, οικογενειακό και εθνικό επίπεδο.

Η οικοδομική φθορά μπορεί επίσης να προκαλέσει επιπλέον απώλειες περιορίζοντας την ικανότητα του κτιρίου να λειτουργεί σωστά. Για να ληφθεί υπόψη αυτό, εκτιμώνται οι απώλειες εσόδων από τη διακοπή των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων και ενοικίων. Οι πρόσθετες εκτιμήσεις των επακόλουθων απωλειών δίνουν μια ένδειξη για τον άμεσο αντίκτυπο αυτής της οικοδομικής ζημίας στην κοινότητα: τις οικονομικές συνέπειες για τις επιχειρήσεις της κοινότητας λόγω της διακοπής των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, τους οικονομικούς πόρους που θα χρειαστούν για να αποκατασταθεί η ζημιά από τις απώλειες εργασίας και στέγασης.

Γενικά, τα δεδομένα εισροών για άμεσες οικονομικές απώλειες αποτελούνται από εκτιμήσεις ζημιών για κτίρια λόγω φυσικής ζημίας. Οι εκτιμήσεις ζημιών έχουν τη μορφή πιθανότητας για κάθε κατάσταση βλάβης, για κάθε δομικό τύπο ή τάξη πληρότητας. Οι πιθανότητες αυτές παρέχονται από το στοιχείο που δέχτηκε τον σεισμό και η καταστροφή ήταν είτε δομική είτε μη δομική. Αυτές οι πιθανολογούμενες καταστροφές μετατρέπονται σε χρηματικές απώλειες χρησιμοποιώντας πληροφορίες από οικονομικά δεδομένα.

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ευρείας χρήσης:

- Κατοικίες
- Εμπορικά
- Βιομηχανικά

3.4 Έμμεσες επιπτώσεις

Οι καταστροφές προκαλούν επίσης σημαντικές έμμεσες επιπτώσεις που είναι δύσκολο να αναγνωριστούν και αδύνατο να ποσοτικοποιηθούν. Αυτές περιλαμβάνουν άυλες βλάβες ή ωφέλειες, όπως τα ανθρώπινα βάσανα, το αίσθημα ανασφάλειας, την υπερηφάνεια ή την περιφρόνηση, καθώς και τη δυσαρέσκεια για τον τρόπο με τον οποίο οι αρχές αντιμετώπισαν τις συνέπειες της καταστροφής. Άλλες επιπτώσεις μπορεί να είναι η αλληλεγγύη, τα αισθήματα αλτρουισμού, οι συνέπειες για την εθνική ασφάλεια και πολλές άλλες που επηρεάζουν την ευημερία και την ποιότητα ζωής. Παρόλο που οι άυλες βλάβες ή ωφέλειες δεν μπορούν να μετρηθούν ποσοτικά, πρέπει να συμπεριλαμβάνονται έστω και ποιοτικά στον συνολικό απολογισμό της καταστροφής, καθώς έχουν σημαντική επίδραση στις συνθήκες και τα πρότυπα ζωής.

Οι κοινωνικές επιπτώσεις των καταστροφών περιλαμβάνουν τις ψυχοκοινωνικές, κοινωνικο-δημογραφικές, κοινωνικο-οικονομικές και κοινωνικο-πολιτικές διαστάσεις. Όλες αυτές οι

επιπτώσεις μπορεί να εκδηλωθούν κατά τη διάρκεια μιας μακράς περιόδου μετά την καταστροφή και είναι δύσκολο να εκτιμηθούν ακόμη και μετά την εκδήλωσή τους. Παρά τις δυσκολίες μέτρησής τους, πρέπει να παρακολουθούνται, καθώς μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στη μακροπρόθεσμη λειτουργία των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων της πληγείσας κοινότητας. Η καλή κατανόηση των κοινωνικών επιπτώσεων των καταστροφών είναι η βάση για την πρόβλεψη και την κατάρτιση σχεδίων έκτακτης ανάγκης (Lindell & Prater, 2003).

3.5 Ανθρώπινες απώλειες

Είναι αυτονόητο ότι οι σημαντικότερες απώλειες που μπορούν να μετρηθούν είναι οι ανθρώπινες απώλειες δηλαδή, νεκροί και τραυματίες. Εκτός από τους τραυματισμούς και τους θανάτους που μπορεί να προκληθούν κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής δόνησης, η συμπεριφορά του πληθυσμού τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού όσο και στην περίοδο που ακολουθεί αποτελεί θέμα σοβαρού προβληματισμού. Πολλοί άνθρωποι πανικοβάλλονται σε περίπτωση σεισμού, οδηγούμενοι σε λανθασμένες και επικίνδυνες αποφάσεις. Για παράδειγμα, κάποιιοι πηδούν από μπαλκόνια υπό την πίεση του άγχους και της επιβίωσης, μπαίνουν σε ανελκυστήρες με αποτέλεσμα να εγκλωβιστούν, ή συνωστίζονται σε εξόδους κτιρίων, αυξάνοντας τον κίνδυνο τραυματισμών και θανάτων που θα μπορούσαν να αποφευχθούν εάν υπήρχε μεγαλύτερη αυτοσυγκράτηση, σωστή ενημέρωση και πειθαρχία.

Κατά την μετασεισμική περίοδο, οι πληγέντες νιώθουν ανασφάλεια, ειδικά για τα σπίτια τους που πλέον δεν θεωρούν ασφαλή καταφύγια. Ο φόβος για νέους ισχυρούς μετασεισμούς, η ήδη υπάρχουσα ανησυχία και η ανασφάλεια, συντελούν σε συναισθήματα τρόμου, πανικού και αναστάτωσης. Αυτά τα συναισθήματα μπορεί να παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα και να επηρεάσουν την ψυχολογική τους κατάσταση, ακόμη και όταν έχουν επιστρέψει στην καθημερινότητά τους.

Επιπλέον, η έλλειψη γνώσης μπορεί να οδηγήσει στη διασπορά φημών που επιτείνουν το κλίμα ανησυχίας, όπως για τον πιθανό επερχόμενο πιο ισχυρό σεισμό. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο σεισμός της Πάρνηθας το 1999, όπου η φήμη για έναν επερχόμενο νέο σεισμό προκάλεσε σύγχυση και πανικό στους πληγέντες. Η παροχή έγκυρης και αξιόπιστης πληροφόρησης από την πολιτεία και τους αρμόδιους φορείς είναι κρίσιμη για την όσο το δυνατόν ταχύτερη επιστροφή στην ομαλότητα.

Οι σεισμοί επίσης συχνά προκαλούν σοβαρές υγειονομικές επιπτώσεις, με την εκδήλωση ασθενειών και την εξάπλωση επιδημιών στις πληγείσες περιοχές. Οι κύριες αιτίες για την εμφάνιση τέτοιων προβλημάτων είναι:

- i. Μη τήρηση κανόνων υγιεινής στους καταυλισμούς και τις σκηνές: Αυτό μπορεί να προκύψει από την έλλειψη τρεχούμενου νερού, την αδυναμία αποκομιδής απορριμμάτων και την γενικότερη δυσκολία στη διαχείριση αποβλήτων. Η απουσία βασικών υποδομών υγιεινής δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την εξάπλωση μικροβίων και ασθενειών.
- ii. Κατανάλωση αλλοιωμένων τροφίμων: Κατά την περίοδο μετά από έναν σεισμό, η διατήρηση των τροφίμων μπορεί να είναι προβληματική λόγω διακοπών στο ηλεκτρικό ρεύμα ή της ακατάλληλης διαχείρισης πρώτων υλών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δηλητηριάσεις και άλλα προβλήματα υγείας.
- iii. Κατανάλωση ή χρήση μη πόσιμου νερού: Οι βλάβες στο δίκτυο ύδρευσης, που συχνά ακολουθούν έναν σεισμό, μπορεί να οδηγήσουν σε μόλυνση του νερού. Η χρήση τέτοιου νερού για καθημερινές ανάγκες αυξάνει τον κίνδυνο για ασθένειες.

Ιστορικά παραδείγματα επιδημιών μετά από σεισμούς περιλαμβάνουν την επιδημία που ξέσπασε στη Θεσσαλονίκη το 1759 μετά από ισχυρό σεισμό, καθώς και την περίπτωση της Μεσσηνίας μετά τον σεισμό του 1846. Στον πιο πρόσφατο σεισμό της Πάρνηθας το 1999, το Υπουργείο Υγείας ανέλαβε δράση, προσφέροντας εμβολιασμούς σε σεισμόπληκτους για να προστατεύσει τις ευπαθείς ομάδες από τις επιπτώσεις του επερχόμενου χειμώνα.

Ένα ακόμα παράδειγμα είναι η καταστροφή στον Ινδικό Ωκεανό στις 26 Δεκεμβρίου 2004, όταν ένας σεισμός μεγέθους 9,1 Ρίχτερ και το επακόλουθο τσουνάμι οδήγησαν σε μεγάλη υγειονομική κρίση. Παρά τις υπεράνθρωπες προσπάθειες των τοπικών φορέων και διεθνών οργανισμών, πολλοί προσβλήθηκαν από τυφοειδή και δάγκειο πυρετό, ενώ υπήρχαν και αρκετά γαστρεντερικά προβλήματα. Ωστόσο, αποφεύχθηκε η εξάπλωση επιδημιών, παρά το τεράστιο μέγεθος της καταστροφής.

Εκτός από τις υγειονομικές επιπτώσεις, οι σεισμοί μπορούν να οδηγήσουν και σε μαζικές μετακινήσεις πληθυσμών λόγω του φόβου για νέες καταστροφές. Στην Ελλάδα, υπάρχουν παραδείγματα όπου ολόκληρες πόλεις και χωριά εγκαταλείφθηκαν και μεταφέρθηκαν αλλού μετά από ισχυρούς σεισμούς. Μετά τον σεισμό στην Κόρινθο το 1858, η πόλη μεταφέρθηκε κοντά στη θάλασσα, ενώ το χωριό Μασάρι στη Ρόδο ξαναχτίστηκε δυο χιλιόμετρα μακρύτερα από την αρχική του θέση μετά τον σεισμό του 1863. Ακόμη παλαιότερα, μετά τον καταστροφικό σεισμό τον 6ο μ.Χ. αιώνα, οι κάτοικοι της Οιάνθης δημιούργησαν το Γαλαξίδι κοντά στη θάλασσα.

Αυτές οι κινήσεις πληθυσμών δείχνουν τον βαθύ και διαρκή αντίκτυπο που μπορούν να έχουν οι σεισμοί, όχι μόνο στην άμεση υγεία και ασφάλεια, αλλά και στη μακροχρόνια κοινωνική και γεωγραφική δομή των κοινοτήτων.

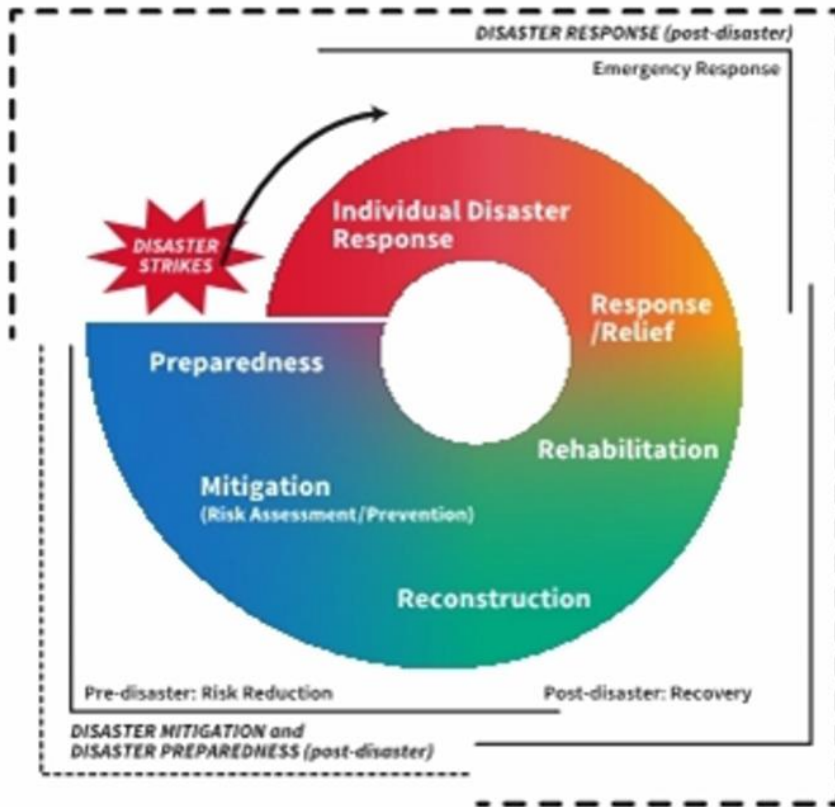
Τέλος, στις ανθρώπινες απώλειες πρέπει να προστεθούν και οι άνθρωποι που οι ζωές τους έχουν επηρεαστεί από τον σεισμό. Αυτοί οι άνθρωποι μπορεί να μην τραυματίστηκαν αλλά μπορεί να καταστράφηκε η κατοικία τους ή να έχουν προκληθεί σοβαρές ζημιές με αποτέλεσμα οι κάτοικοι να μην έχουν κατοικία. Άλλη περίπτωση μπορεί να είναι οι άνθρωποι που ο χώρος εργασίας τους μπορεί να καταστράφηκε λόγω του σεισμού.

4. Αποκατάσταση κτιρίων

4.1 Ανάλυση κόστους αποκατάστασης

Σε σεισμικά ευάλωτες περιοχές, η απόφαση για την αποκατάσταση των ζημιών στα κτίρια είναι σύνθετη και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κόστους επισκευής και της αναβάθμισης της αντοχής των κτιρίων. Οι ιδιοκτήτες και οι ειδικοί πρέπει να αξιολογήσουν τις ζημιές και να αποφασίσουν αν αξίζει να πραγματοποιηθεί η αποκατάσταση, ιδιαίτερα όταν το κόστος εξοπλισμού και εργασιών μπορεί να είναι τεράστιο.

Το έργο "CM-4" του Mid-America Earthquake (MAE) με τίτλο "Structure Retrofit Strategies" ασχολείται με τις στρατηγικές σεισμικής παρέμβασης και την εκτίμηση των ζημιών και του κόστους επισκευής. Στόχος αυτού του έργου είναι να προωθήσει τις τεχνικές ανακατασκευής, παρουσιάζοντας τις δυνατότητες ενίσχυσης των κτιρίων. Ενώ τα κτίρια που κατασκευάστηκαν σύμφωνα με παλαιούς και ανεπαρκείς σεισμικούς κώδικες δεν έχουν δοκιμαστεί πρόσφατα από μεγάλο σεισμό στη Νέα Σεισμική Ζώνη της Μαδρίτης, η αυξημένη πυκνότητα πληθυσμού και οι παλιές υποδομές δημιουργούν την ανάγκη για σεισμική αναβάθμιση. Το MAE Center εργάζεται με βάση τη φιλοσοφία της "Consequence-Based Engineering" (CBE), η οποία επικεντρώνεται στη μείωση του σεισμικού κινδύνου μέσω μιας στρατηγικής που λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τις τεχνικές ανακατασκευής αλλά και τις συνέπειες των επιλογών αυτών για την κοινωνία και την οικονομία. Στόχος είναι να περιοριστούν οι ζημιές, να ελαχιστοποιηθούν οι τραυματισμοί και οι θάνατοι και να μειωθούν τα οικονομικά κόστη των σεισμών, προτρέποντας τους ιδιοκτήτες κτιρίων να αναβαθμίσουν τα κτίρια τους πριν από την εμφάνιση ενός σεισμού.



Εικόνα 20. Ο κύκλος της καταστροφής Πηγή: GAR, 2015 (<http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/>)

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν οδηγοί, όπως το FEMA 156 και το FEMA 157, που καλύπτουν το κόστος για τη σεισμική αποκατάσταση και μετασκευή των κτιρίων, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με το κόστος πλήρους επισκευής κατεστραμμένων κτιρίων. Αυτές οι πληροφορίες θα ήταν κρίσιμες για τους αρμόδιους, καθώς θα τους βοηθούσαν να λάβουν πιο ορθολογικές αποφάσεις για το εάν αξίζει να αναβαθμιστεί ένα κτίριο ή αν η επισκευή μετά από έναν πιθανό σεισμό θα ήταν πιο οικονομικά αποδοτική.

Η ανάλυση του κόστους και των πιθανών σεισμικών απωλειών είναι κεντρικής σημασίας για την επιλογή της σωστής στρατηγικής. Για παράδειγμα, αν η πιθανότητα ενός μεγάλου σεισμού είναι χαμηλή και το κόστος επισκευής δεν είναι σημαντικό, ίσως να είναι πιο οικονομικό να μη γίνει αναβάθμιση. Αντίθετα, αν το κόστος επισκευής μετά από μικρότερο σεισμό είναι υψηλό, η προληπτική ανακατασκευή ή αναβάθμιση θα ήταν πιο συνετή επιλογή. Έτσι, είναι ζωτικής σημασίας η δημιουργία προγραμμάτων που θα επικεντρώνονται στη σεισμική αναβάθμιση και την αποκατάσταση των κτιρίων, αφού πρώτα έχουν εκτιμηθεί οι πιθανές απώλειες. Ένα τέτοιο πρόγραμμα, όπως το "Consequence-Based Engineering" (CBE), αποτελεί παράδειγμα προσπάθειας για τη διαχείριση των σεισμικών κινδύνων με βάση τις συνέπειες και την οικονομική αποδοτικότητα.

Η εκτίμηση των ορίων μετατόπισης ή ολίσθησης που σχετίζονται με τις βλάβες σε κτίρια αποτελεί σύνθετο ζήτημα, καθώς η έκταση των ζημιών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το δομικό σύστημα, η κατανομή των ζημιών, ο τρόπος αποτυχίας των στοιχείων, τα μη δομικά στοιχεία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σεισμού. Αυτοί οι παράγοντες υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει μια γενική προσέγγιση για τον καθορισμό ορίων μετατόπισης που να εφαρμόζεται σε όλα τα κτίρια, αλλά απαιτείται εξατομικευμένη ανάλυση ανάλογα με τον τύπο του κάθε δομικού συστήματος. Σύμφωνα με τον Ghobarah (2004), οι καταστάσεις βλάβης μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Καμία ζημιά: Σε αυτήν την περίπτωση δεν παρατηρείται βλάβη στα δομικά στοιχεία του κτιρίου.
- Κατασκευάσιμη ζημιά: Πρόκειται για ελαφριές βλάβες, όπως ρωγμές, οι οποίες μπορούν να επιδιορθωθούν χωρίς να απαιτείται σημαντική ανακατασκευή.
- Ανεπανόρθωτη ζημιά: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ζημιές που απαιτούν σημαντικές επισκευές, όπως η ενίσχυση του χάλυβα, σε περιπτώσεις όπου οι ρωγμές είναι μεγαλύτερες από δύο χιλιοστά.
- Σοβαρή ζημιά: Σε αυτήν την κατάσταση, υπάρχει μερική κατάρρευση των πλευρικών και βαρυτικών στοιχείων του φέροντα οργανισμού, καθώς και αποτυχία στην διάτμηση των υποστηλωμάτων και των τοιχοποιιών.

Αυτή η ανάλυση παρέχει μια εννοιολογική προσέγγιση για την αξιολόγηση των ζημιών στα κτίρια και τον καθορισμό της σοβαρότητας τους. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η εκτίμηση των ζημιών απαιτεί λεπτομερή ανάλυση και προσαρμογή ανάλογα με το κάθε κτίριο, τα χαρακτηριστικά του και τις ιδιαίτερες συνθήκες του σεισμού.

Σύμφωνα με την προσέγγιση του Ghobarah, όταν αξιολογείται η απόδοση κτιρίων κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων, τρία βασικά δομικά χαρακτηριστικά έχουν κυρίαρχο ρόλο: η δυσκαμψία, η δύναμη, και η παραμόρφωση. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι δύσκολο να διαχωριστούν, καθώς η αλληλεπίδραση τους μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του κτιρίου με διαφορετικούς τρόπους. Ο Ghobarah καθόρισε πέντε δομικά συστήματα για την ταξινόμηση των κτιρίων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Αυτά είναι τρεις κατηγορίες σπλισμένου σκυροδέματος:

- Όλκιμο
- Μη όλκιμο
- Ανθεκτικό πλαίσιο με τοιχοποιία

και δύο κατηγορίες τοιχωμάτων:

- Δομικά τοιχώματα κάμψης με αναλογία διαστάσεων (ύψος/μήκος) μεγαλύτερο από 1,5
- Τοίχωμα κατακόρυφης όψης με λόγο διαστάσεων μικρότερο από 1,5

Εκτίμηση κόστους αποκατάστασης βλάβης κτιρίου

Η εκτίμηση της ζημιάς μετά από έναν σεισμό είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων σχετικά με την επισκευή ή την ενίσχυση κτιρίων. Η πρόβλεψη των απωλειών, αν και δύσκολη λόγω της αβεβαιότητας, μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό των οικονομικών επιπτώσεων και των κινδύνων για την ανθρώπινη ζωή. Η εκτίμηση των απωλειών απαιτεί πρώτα από όλα να εξεταστεί η σεισμικότητα της περιοχής και η εξασθένηση της γης. Αυτά τα στοιχεία είναι κρίσιμα για την κατανόηση του κινδύνου που αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη περιοχή. Επιπρόσθετα, δευτερεύουσες συνέπειες, όπως οι πυρκαγιές, τα τσουνάμι, οι κατολισθήσεις και η απελευθέρωση επικίνδυνων υλικών μπορούν να επιδεινώσουν τις ζημιές και να αυξήσουν το κόστος επισκευής. Αυτές οι συνέπειες πρέπει να υπολογιστούν κατά την εκτίμηση της συνολικής ζημιάς.

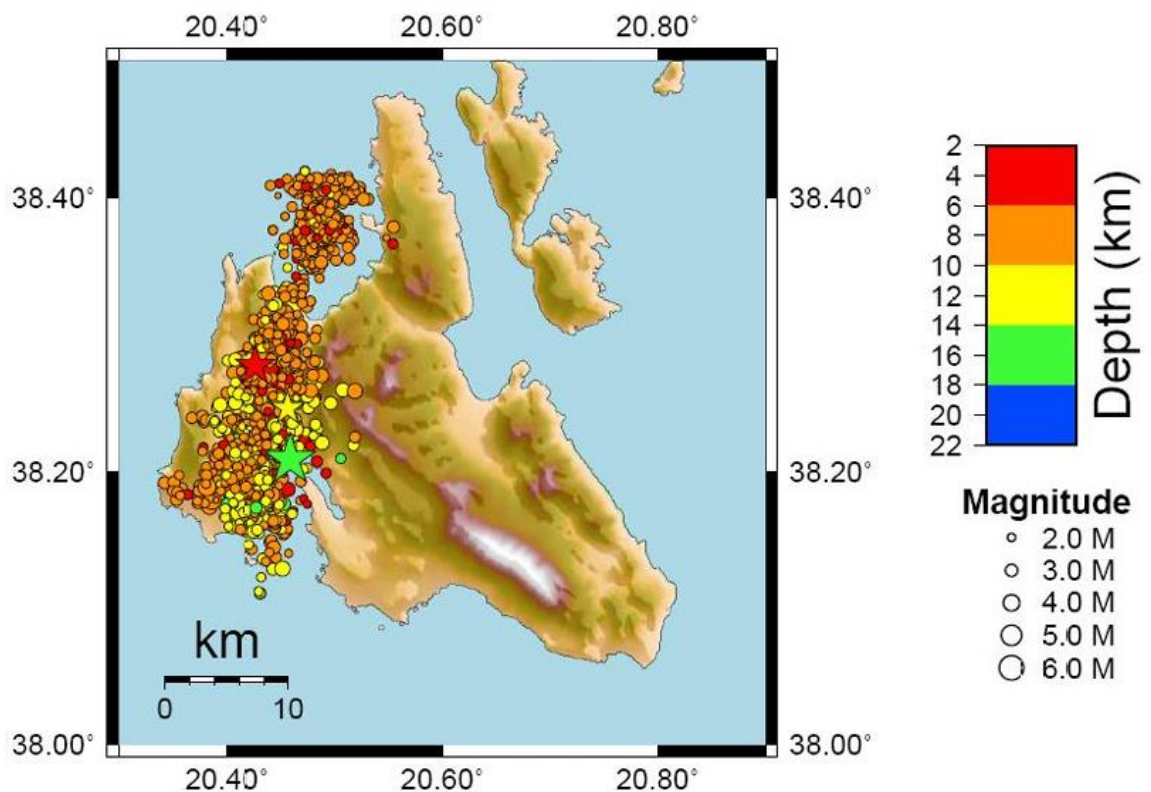
Το δομικό σύστημα ενός κτιρίου είναι επίσης καίριο σημείο για την εκτίμηση του κόστους επισκευής. Η ανθεκτικότητα των υλικών, η ποιότητα κατασκευής και το είδος της δόμησης επηρεάζουν άμεσα τις ζημιές που θα υποστεί το κτίριο σε έναν σεισμό. Η ηλικία και το μέγεθος του κτιρίου παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο, καθώς τα παλαιότερα κτίρια είναι πιθανό να έχουν κατασκευαστεί με παλαιότερους κανονισμούς και υλικά που δεν ανταποκρίνονται στα σύγχρονα πρότυπα σεισμικής προστασίας.

Στην ανάλυση των βλαβών που έχουν υποστεί τα κτίρια μετά από σεισμό είναι κρίσιμο να διαχωρίζουμε τις διάφορες κατηγορίες κόστους, καθώς αυτές επηρεάζουν τον τρόπο αποκατάστασης των κτιρίων και τη συνολική οικονομική επιβάρυνση. Οι κύριες κατηγορίες κόστους που θα αναλυθούν είναι δύο, η κατηγορία του άμεσου κόστους και η κατηγορία του έμμεσου κόστους. Το άμεσο κόστος είναι το κόστος που σχετίζεται άμεσα με την αποκατάσταση των ζημιών που προκλήθηκαν στο κτίριο λόγω του σεισμού όπως είναι δομικές ζημιές (αφορούν τον βασικό σκελετό του κτιρίου), μη δομικές ζημιές (παράθυρα, πλακάκια οροφής, υδραυλικά συστήματα) και ζημιές στο περιεχόμενο (εξοπλισμός, έπιπλα προσωπικά αντικείμενα). Το έμμεσο κόστος περιλαμβάνει τις ευρύτερες οικονομικές επιπτώσεις που προκύπτουν μετά από έναν σεισμό και δεν αφορούν άμεσα την αποκατάσταση του κτιρίου όπως είναι η προσωρινή στέγαση, η πιθανή αύξηση στην ανεργία και γενικά οι οικονομικές επιπτώσεις στη κοινότητα.

5. Μελέτη Εκτίμησης Σεισμικών Απωλειών

5.1 Επιλογή περιοχής μελέτης και ανάλυση ρήγματος

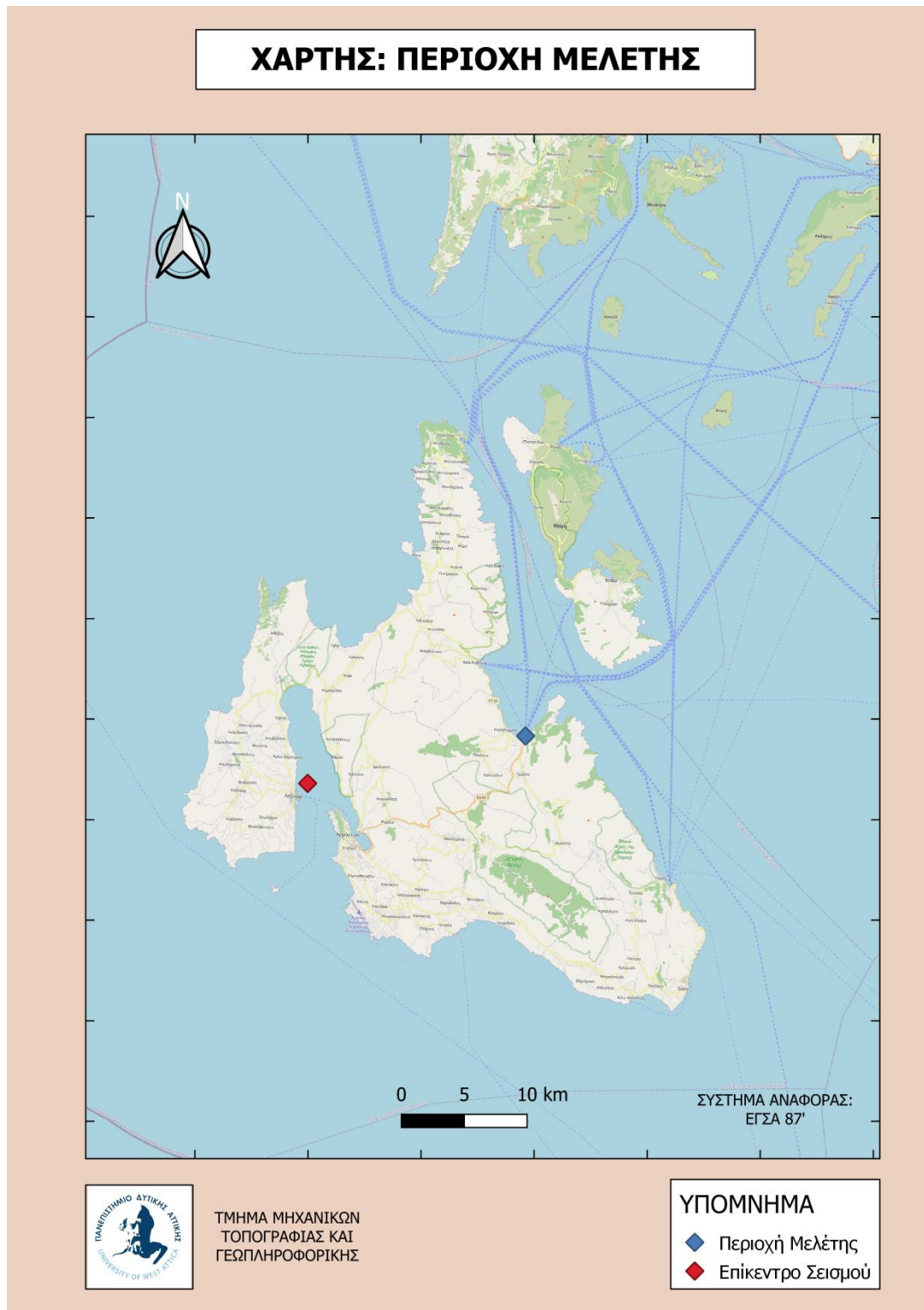
Αρχικά, για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση ενός σεισμού και όλων των παραμέτρων του, δηλαδή να γίνει ο υπολογισμός των κτιριακών, οικονομικών και ανθρώπινων απωλειών πρέπει να επιλεγεί μια περιοχή μελέτης, στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η Κεφαλονιά. Επιλέχθηκε αυτό το νησί γιατί όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι μια πολύ σεισμογενής περιοχή της Ελλάδας. Προκειμένου να επιλεγεί το σημείο που θα είναι το επίκεντρο του σεισμού στη προσομοίωση αξιοποιήθηκε μια έκθεση από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που αφορά την ακολουθία σεισμών του Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου του 2014. Στη παρακάτω εικόνα φαίνονται οι τοποθεσίες των τριών μεγαλύτερων σεισμών που έχουν συμβολιστεί με αστέρια.



Εικόνα 21. Οι τρεις μεγαλύτεροι σεισμοί στη Κεφαλονιά το 2014 (Πηγή: ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2014 ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ: ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΘΕΣΗ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ)

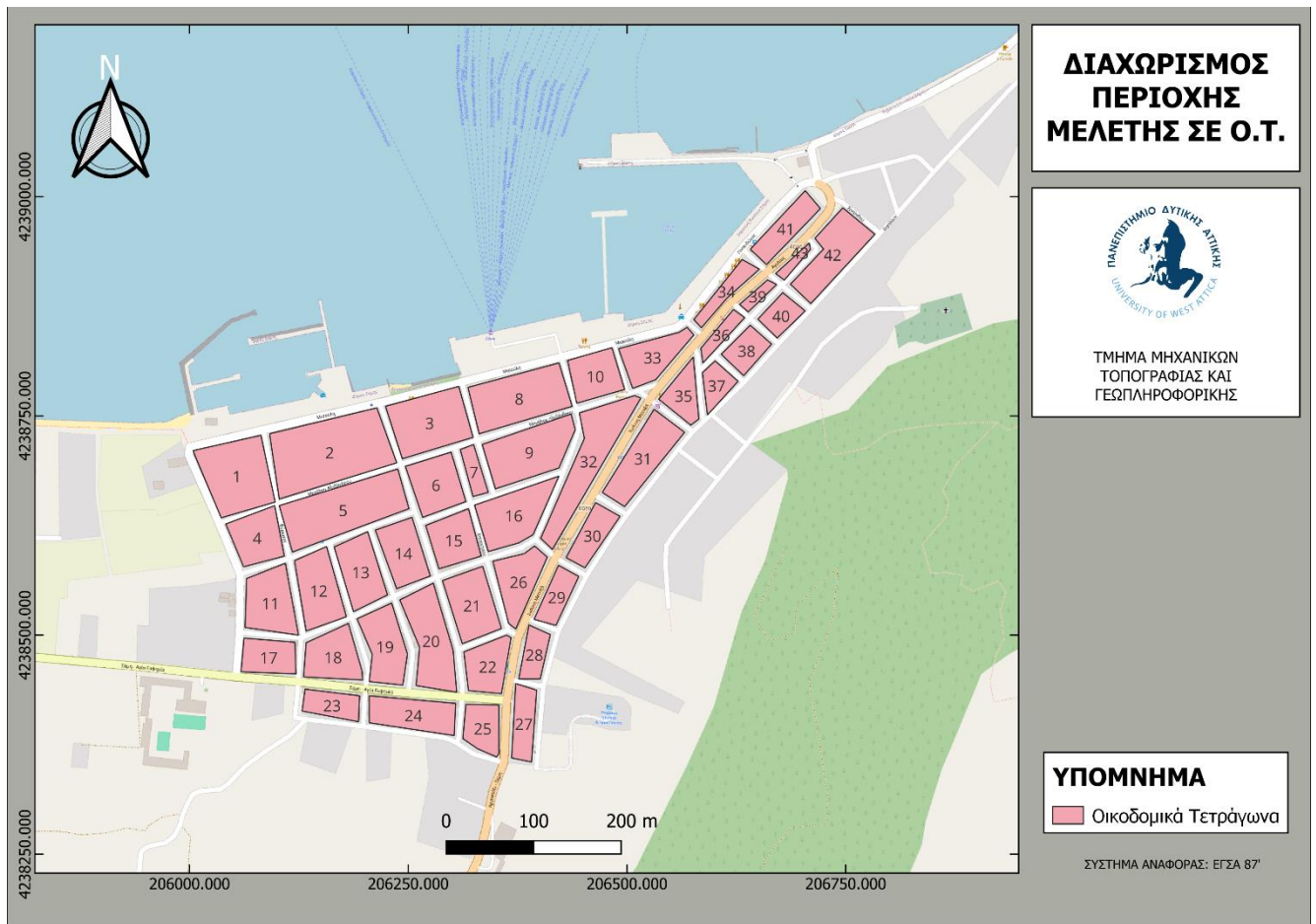
Παρακάτω παρατίθεται ένας χάρτης που απεικονίζει τη τοποθεσία του επίκεντρου του σεισμού που επιλέχθηκε σύμφωνα με αυτά που αναλύθηκαν προηγουμένως και η τοποθεσία της

περιοχής μελέτης που είναι η κωμόπολη της Σάμης στη Κεφαλονιά. Η απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού μέχρι το κέντρο της Σάμης υπολογίζεται περίπου στα 17.380 Km.



Εικόνα 22. Χάρτης που απεικονίζει τη περιοχή μελέτης και το επίκεντρο του σεισμού

Έπειτα, έγινε ο διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε 43 οικοδομικά τετράγωνα. Αυτή η διαίρεση επιτρέπει την ανάλυση των επιπτώσεων του σεισμού σε μικρότερες μονάδες και διευκολύνει την εκτίμηση των ζημιών. Για κάθε οικοδομικό τετράγωνο έχουν υπολογιστεί οι συντεταγμένες του, αλλά και η απόσταση (R) κάθε οικοδομικού τετραγώνου από το επίκεντρο του σεισμού. Στον πίνακα που φαίνεται παρακάτω έχουν ενσωματωθεί οι επιταχύνσεις, οι οποίες μετρήθηκαν σε m/sec^2 . Τα αποτελέσματα υπολογίζονται βάσει της απόστασης από το επίκεντρο (R) και του τύπου του εδάφους (S), ανάλογα με το οικοδομικό τετράγωνο κάθε περιοχής. Για τη μετατροπή της επιτάχυνσης σε g (επιτάχυνση λόγω βαρύτητας), διαίρεσαμε την υπολογισμένη τιμή της επιτάχυνσης με το 100.



Εικόνα 23. Χάρτης που απεικονίζει τα οικοδομικά τετράγωνα της περιοχής μελέτης

5.2 Τύποι κτιρίων

Αφού συγκεντρώθηκαν όλα τα παραπάνω δεδομένα, έγιναν εισαγωγή σε ένα αρχείο Excel. Βάσει της γνώσης της περιοχής καθορίστηκε ο τύπος του εδάφους σε δύο κατηγορίες βραχώδες και χωμάτινο. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του Google Earth Pro εκτιμήθηκε το είδος, η χρονολογία κατασκευής και ο αριθμός των ορόφων για κάθε κτίριο. Επίσης, σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία από την απογραφή των κτιρίων του 2011. Οι κατηγορίες που πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός των κτιρίων είναι ο εξής:

Με βάση το υλικό κατασκευής:

- C1 (Reinforced Concrete Moment Resisting Frames): Κτίρια με σκελετό που αποτελείται μόνο από υποστηλώματα και υλικό κατασκευής το οπλισμένο σκυρόδεμα.
- C2 (Concrete Shear Walls): Κτίρια με υποστηλώματα και τοιχεία, επίσης από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- S1 (Steel Moment Frame): Κτίρια με κατασκευές μόνο από μεταλλικά πλαίσια και δοκάρια.
- S2 (Steel Braced Frame): Κτίρια με μεταλλικά πλαίσια και δοκάρια, ενισχυμένα με χιαστί.
- URM (Unreinforced Masonry Bearing Walls): Κτίρια κατασκευασμένα από φέρουσα τοιχοποιία.

Με βάση τη χρονολογία κατασκευής:

- Pre Code: Κτίρια που χτίστηκαν πριν το 1980.
- Low Code: Κτίρια που χτίστηκαν από το 1980 έως το 2000.
- High Code: Κτίρια που χτίστηκαν μετά το 2000.

Με βάση τον αριθμό των ορόφων:

- Low-Rise (L): Κτίρια με 1 έως 3 ορόφους.
- Mid-Rise (M): Κτίρια με 3 έως 7 ορόφους.

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες που φαίνονται αναλυτικά τα στοιχεία για κάθε οικοδομικό τετράγωνο. Στο πρώτο πίνακα έχουμε για κάθε οικοδομικό τετράγωνο τις συντεταγμένες X, Y που έχουν υπολογιστεί μέσω του QGIS σε σύστημα αναφοράς EPSG: 2100 (Greek Grid). Έπειτα υπολογίστηκε η απόσταση R που είναι η απόσταση από το κέντρο κάθε οικοδομικού τετραγώνου μέχρι το επίκεντρο το σεισμού. Στην επόμενη στήλη δηλώνεται ο τύπος του εδάφους αν είναι βραχώδες ή χωμάτινο (0,1). Στο δεύτερο πίνακα φαίνεται αναλυτικά για κάθε οικοδομικό τετράγωνο πόσα κτίρια έχει και σε τι τύπου ανήκουν το κάθε ένα από αυτά.

ID	X (m)	Y (m)	R (km)	soil, S	ϵ	InPGA	Acceleration PGA (m/sec ²)	Acceleration PGA (g)
O.T.1	206054.157	4238682.193	17.45	1	0	5.86270468	3.516740247	0.351674025
O.T.2	206160.156	4238709.218	17.534	1		5.85843901	3.501770951	0.350177095
O.T.3	206274.459	4238742.922	17.675	1		5.85130348	3.476872898	0.34768729
O.T.4	206077.354	4238611.657	17.468	1		5.86178968	3.513523899	0.35135239
O.T.5	206175.493	4238643.433	17.532	1		5.85854045	3.502126173	0.350212617
O.T.6	206281.797	4238672.066	17.683	1		5.85089955	3.475468771	0.347546877
O.T.7	206325.117	4238686.994	17.748	1		5.84762129	3.464093923	0.346409392
O.T.8	206376.843	4238770.677	17.772	1		5.8464125	3.459909087	0.345990909
O.T.9	206388.298	4238709.333	17.774	1		5.84631181	3.459560717	0.345956072
O.T.10	206463.838	4238796.201	17.89	1		5.84048212	3.439451242	0.343945124
O.T.11	206092.624	4238537.362	17.465	1		5.86194214	3.514059629	0.351405963
O.T.12	206147.738	4238551.542	17.532	1		5.85854045	3.502126173	0.350212617
O.T.13	206195.682	4238572.605	17.583	1		5.85595579	3.49308606	0.349308606
O.T.14	206244.479	4238593.985	17.634	1		5.85337517	3.484083368	0.348408337
O.T.15	206302.085	4238608.957	17.691	1		5.85049572	3.474065555	0.347406556
O.T.16	206370.696	4238637.24	17.75	1		5.84752052	3.463744876	0.346374488
O.T.17	206090.521	4238475.318	17.45	1		5.86270468	3.516740247	0.351674025
O.T.18	206164.137	4238475.624	17.519	1		5.85919993	3.504436525	0.350443653
O.T.19	206223.391	4238487.683	17.591	1		5.85555072	3.491671404	0.34916714
O.T.20	206276.087	4238494.115	17.642	1		5.85297074	3.482674562	0.348267456
O.T.21	206323.078	4238534.619	17.697	1		5.85019292	3.47301374	0.347301374
O.T.22	206340.849	4238464.906	17.7	1		5.85004153	3.472488024	0.347248802
O.T.23	206162.921	4238420.648	17.509	1		5.8597074	3.506215386	0.350621539
O.T.24	206255.876	4238409.406	17.581	1		5.85605707	3.493439868	0.349343987
O.T.25	206335.126	4238394.351	17.683	1		5.85089955	3.475468771	0.347546877
O.T.26	206376.147	4238561.467	17.757	1		5.84716789	3.462523657	0.346252366
O.T.27	206382.169	4238399.623	17.733	1		5.84837723	3.466713576	0.346671358
O.T.28	206394.119	4238478.509	17.759	1		5.84706715	3.462174865	0.346217486
O.T.29	206419.74	4238544.093	17.79	1		5.84550649	3.456775785	0.345677578
O.T.30	206460.499	4238614.276	17.84	1		5.84299239	3.448096039	0.344809604
O.T.31	206518.385	4238702.291	17.896	1		5.84018115	3.438416206	0.343841621
O.T.32	206456.111	4238699.083	17.816	1		5.84419868	3.452257943	0.345225794
O.T.33	206529.276	4238817.553	17.95	1		5.83747483	3.429123348	0.342912335
O.T.34	206613.661	4238892.923	18.041	1		5.83292421	3.413554151	0.341355415
O.T.35	206564.649	4238773.924	17.982	1		5.83587318	3.423635488	0.342363549
O.T.36	206607.779	4238843.445	18.04	1		5.83297415	3.413724624	0.341372462
O.T.37	206602.582	4238785.484	18.033	1		5.83332376	3.414918316	0.341491832
O.T.38	206636.727	4238825.145	18.063	1		5.83182594	3.409807207	0.340980721
O.T.39	206649.409	4238887.315	18.096	1		5.8301799	3.404199162	0.340419916
O.T.40	206676.145	4238865.034	18.113	1		5.82933259	3.401315949	0.340131595
O.T.41	206681.561	4238964.418	18.122	1		5.82888418	3.399791129	0.339979113
O.T.42	206735.154	4238934.857	18.158	1		5.82709179	3.393702815	0.339370281
O.T.43	206690.005	4238924.309	18.144	1		5.8277886	3.39606841	0.339606841

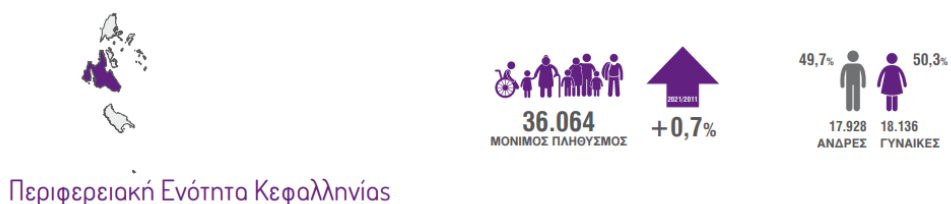
Πίνακας 4. Συντεταγμένες, απόσταση από επίκεντρο σεισμού, επιτάχυνση

Model Buildings Type																TOTAL/OT
ID	C1L_Pre code	C1L_Low code	C1L_High code	C1M_Pre code	C1M_Low code	C1M_High code	C2L_Pre code	C2L_Low code	C2L_High code	C2M_Pre code	C2M_Low code	C2M_High code	S1L_High code	S2L_High code	URML_Low code	TOTAL/OT
O.T.1	6	0	0	0	0	0	10	6	0	0	0	0	0	0	0	22
O.T.2	6	3	1	0	0	0	11	6	5	0	0	0	0	0	0	32
O.T.3	5	0	0	0	0	0	10	7	2	0	0	0	0	0	0	24
O.T.4	1	3	1	0	0	0	5	3	3	0	0	0	0	0	1	17
O.T.5	5	5	2	0	0	0	12	8	6	0	0	0	0	0	0	38
O.T.6	3	2	0	0	0	0	7	5	4	0	0	0	0	0	0	21
O.T.7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
O.T.8	7	2	1	0	0	0	9	7	5	0	0	0	0	0	0	31
O.T.9	4	2	3	0	0	0	6	9	4	0	0	0	0	0	0	28
O.T.10	3	5	2	0	0	0	7	5	2	0	0	0	0	0	0	24
O.T.11	6	7	1	0	0	0	10	7	5	0	0	0	0	0	0	36
O.T.12	3	5	3	0	0	0	5	10	5	0	0	0	0	0	0	31
O.T.13	5	4	2	0	0	0	11	3	3	0	0	0	0	0	0	28
O.T.14	6	2	2	0	0	0	9	5	6	0	0	0	0	0	0	30
O.T.15	2	3	6	0	0	0	6	4	6	0	0	0	0	0	0	27
O.T.16	8	2	0	0	0	0	6	8	5	0	0	0	0	0	0	29
O.T.17	7	5	2	0	0	0	8	3	7	0	0	0	0	0	0	32
O.T.18	8	6	3	0	0	0	9	5	4	0	0	0	0	0	0	35
O.T.19	4	8	5	0	0	0	10	6	4	0	0	0	0	0	0	37
O.T.20	7	5	3	0	0	0	7	11	5	0	0	0	0	0	0	38
O.T.21	8	6	2	0	0	0	9	5	6	0	0	0	0	0	0	36
O.T.22	6	5	0	0	0	0	7	6	9	0	0	0	0	0	0	33
O.T.23	2	6	3	0	0	0	6	5	3	0	0	0	0	0	0	25
O.T.24	7	5	4	0	0	0	8	6	5	0	0	1	0	0	0	36
O.T.25	5	3	2	0	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	19
O.T.26	6	5	3	0	0	0	7	6	3	0	0	0	0	0	0	30
O.T.27	4	7	3	0	0	0	6	4	7	0	0	0	0	0	0	31
O.T.28	5	8	5	0	0	0	4	8	3	0	0	0	0	0	0	33
O.T.29	4	4	5	0	0	0	3	7	4	0	0	0	0	0	0	27
O.T.30	5	6	6	0	0	0	7	5	6	0	0	0	0	0	0	35
O.T.31	5	7	3	0	0	0	9	7	5	0	0	0	0	0	0	36
O.T.32	7	5	4	0	0	0	12	5	6	0	0	1	0	0	0	40
O.T.33	6	3	2	0	0	0	8	6	3	0	0	0	0	0	0	28
O.T.34	4	5	5	0	0	0	5	8	3	0	0	0	0	0	0	30
O.T.35	3	6	2	0	0	0	4	7	4	0	0	1	0	0	0	27
O.T.36	4	5	2	0	0	0	5	4	1	0	0	0	0	0	0	21
O.T.37	4	6	2	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	20
O.T.38	5	6	0	0	0	0	4	5	2	0	0	0	0	0	0	22
O.T.39	4	5	2	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	0	17
O.T.40	6	4	3	0	0	0	5	4	3	0	0	0	0	0	0	25
O.T.41	5	8	4	0	0	0	5	7	3	0	0	1	0	0	0	33
O.T.42	7	5	3	0	0	0	7	9	4	0	0	0	0	0	0	35
O.T.43	5	4	1	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	16
Total/type	213	193	103	0	0	0	294	246	162	0	0	4	0	0	1	1216

Πίνακας 5. Τύπος κτιρίων σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο

Εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κάποιος ότι τα περισσότερα κτίρια ανήκουν στη κατηγορία Low-Rise ενώ ελάχιστα ανήκουν στη Mid-Rise. Επίσης κάποιοι τύποι κτιρίων δεν υπάρχουν καθόλου, ενώ παράλληλα υπάρχουν αρκετά κτίρια που είναι πιο καινούργια πιθανότατα λόγω του ότι η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε νησί και έχουν δημιουργηθεί ξενοδοχειακές μονάδες και καταλύματα για την ανάπτυξη του τουρισμού.

5.3 Πληθυσμός στη περιοχή μελέτης



Δήμος	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ	23.499	23.574	11.606	11.682	11.893	11.892
ΛΗΞΟΥΡΙΟΥ	7.098	6.989	3.579	3.487	3.519	3.502
ΣΑΜΗΣ	5.204	5.501	2.649	2.759	2.555	2.742

Εικόνα 24. Πληθυσμός Κεφαλονιάς Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2021 (<https://www.statistics.gr/>)

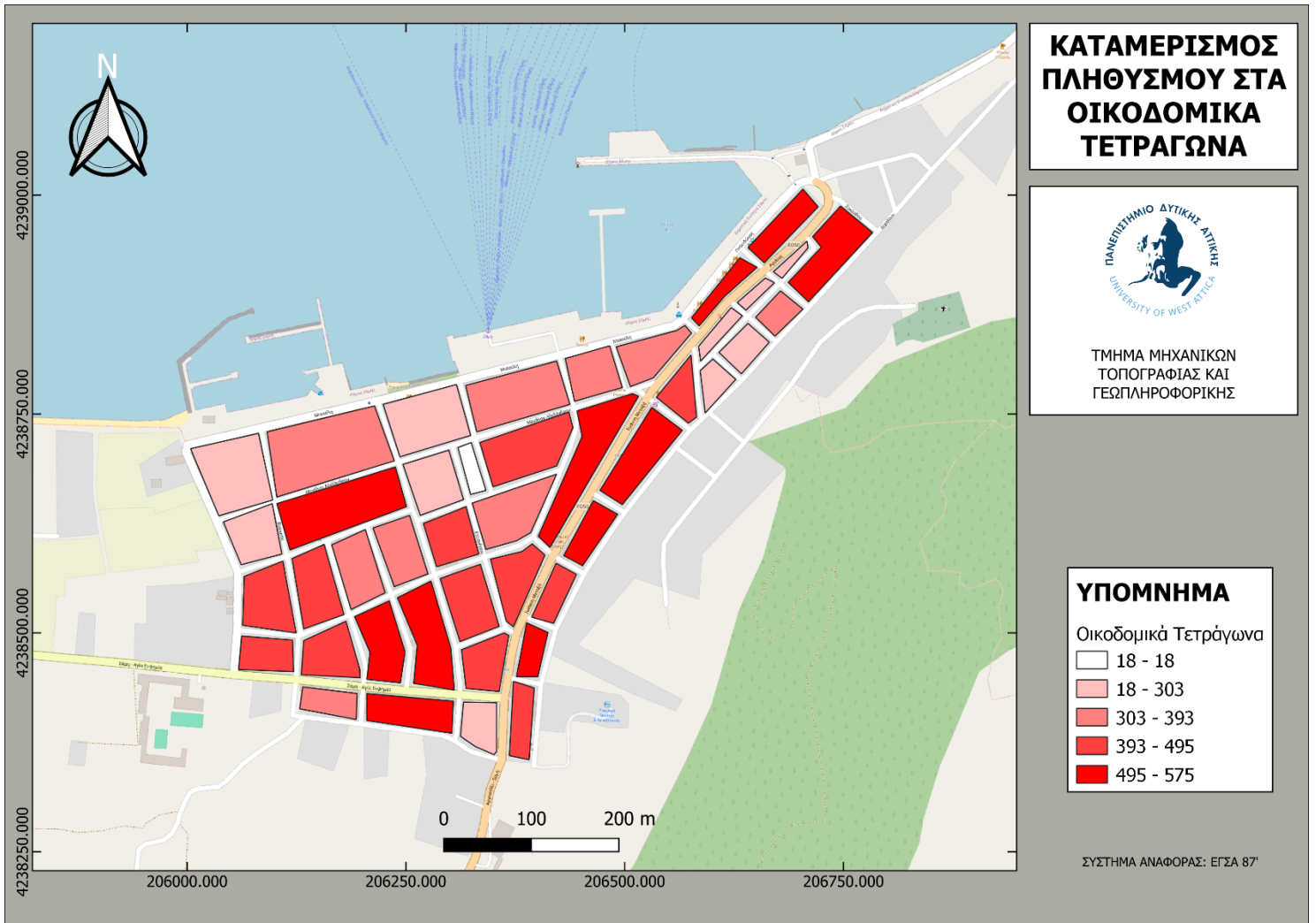
Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Σάμης είναι 5.501. Η περιοχή μελέτης που έχει επιλεχθεί δεν είναι ολόκληρος ο Δήμος Σάμης αλλά ένα κομμάτι του οπότε προφανώς ο μόνιμος πληθυσμός είναι μικρότερος. Βέβαια επειδή είναι τουριστικός προορισμός τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός θα αυξάνεται κατά πολύ.

Αφού μετρήθηκε και καταγράφηκε ο αριθμός των κτιρίων που βρίσκεται σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο, υπολογίστηκε ο αριθμός των ατόμων που θα είναι μέσα σε αυτά τα κτίρια. Για το σενάριο αυτό, χωρίστηκε η μέρα σε τρεις ζώνες δηλαδή, στις 2 το πρωί, στις 2 το μεσημέρι και στις 6 το απόγευμα.

Building Name	Number of occupant		
	2:00 AM	2:00 PM	6:00 PM
C1L_Pre code	3	8	2
C1L_Low code	8	16	5
C1L_High code	15	32	10
C1M_Pre code	20	50	15
C1M_Low code	22	47	13
C1M_High code	25	52	14
C2L_Pre code	5	7	3
C2L_Low code	10	18	4
C2L_High code	12	16	2
C2M_Pre code	23	48	12
C2M_Low code	11	34	20
C2M_High code	17	41	23
S1L_High code	0	7	0
S2L_High code	0	5	0
URML_Low code	0	3	0

Πίνακας 6. Πλήθος ατόμων μέσα στα κτίρια

Με βάση τον παραπάνω πίνακα υπολογίστηκε πόσα άτομα βρίσκονται εντός των κτιρίων αναλόγως την ώρα. Επίσης ισχυρότερη ζώνη από τις τρεις θεωρήθηκε αυτή των 2 το μεσημέρι. Όποτε για τον υπολογισμό του συνολικού πλήθους σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο και με βάση τη κατηγορία κάθε τύπο κτιρίου, χρησιμοποιήθηκε ο εξής τύπος:
Συνολικός αριθμός ατόμων = Αριθμός Κτιρίων × Αριθμός Ατόμων ανά Κτίριο



Εικόνα 25. Χάρτης που απεικονίζει τον καταμερισμό του πληθυσμού στα οικοδομικά τετράγωνα

Οι υπολογισμοί φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

	ID	C1L_Pre code	C1L_Low code	C1L_High code	C1M_Pre code	C1M_Low code	C1M_High code
	O.T.1	48	0	0	0	0	0
	O.T.2	48	48	32	0	0	0
	O.T.3	40	0	0	0	0	0
	O.T.4	8	48	32	0	0	0
	O.T.5	40	80	64	0	0	0
	O.T.6	24	32	0	0	0	0
	O.T.7	0	0	0	0	0	0
	O.T.8	56	32	32	0	0	0
	O.T.9	32	32	96	0	0	0
	O.T.10	24	80	64	0	0	0
	O.T.11	48	112	32	0	0	0
	O.T.12	24	80	96	0	0	0
	O.T.13	40	64	64	0	0	0
	O.T.14	48	32	64	0	0	0
	O.T.15	16	48	192	0	0	0
	O.T.16	64	32	0	0	0	0
	O.T.17	56	80	64	0	0	0
	O.T.18	64	96	96	0	0	0
	O.T.19	32	128	160	0	0	0
	O.T.20	56	80	96	0	0	0
	O.T.21	64	96	64	0	0	0
	O.T.22	48	80	0	0	0	0
	O.T.23	16	96	96	0	0	0
	O.T.24	56	80	128	0	0	0
	O.T.25	40	48	64	0	0	0
	O.T.26	48	80	96	0	0	0
	O.T.27	32	112	96	0	0	0
	O.T.28	40	128	160	0	0	0
	O.T.29	32	64	160	0	0	0
	O.T.30	40	96	192	0	0	0
	O.T.31	40	112	96	0	0	0
	O.T.32	56	80	128	0	0	0
	O.T.33	48	48	64	0	0	0
	O.T.34	32	80	160	0	0	0
	O.T.35	24	96	64	0	0	0
	O.T.36	32	80	64	0	0	0
	O.T.37	32	96	64	0	0	0
	O.T.38	40	96	0	0	0	0
	O.T.39	32	80	64	0	0	0
	O.T.40	48	64	96	0	0	0
	O.T.41	40	128	128	0	0	0
	O.T.42	56	80	96	0	0	0
	O.T.43	40	64	32	0	0	0
TOTAL POPULATION/ BUILDING TYPE		1208	2400	2528	0	0	0

POPULATION									2:00 PM
C2L_Pre code	C2L_Low code	C2L_High code	C2M_Pre code	C2M_Low code	C2M_High code	S1L_High code	S2L_High code	URML_Low code	TOTAL_POPULATION
70	108	0	0	0	0	0	0	0	226
77	108	80	0	0	0	0	0	0	393
70	126	32	0	0	0	0	0	0	268
35	54	48	0	0	0	0	0	3	228
84	144	96	0	0	0	0	0	0	508
49	90	64	0	0	0	0	0	0	259
0	18	0	0	0	0	0	0	0	18
63	126	80	0	0	0	0	0	0	389
42	162	64	0	0	0	0	0	0	428
49	90	32	0	0	0	0	0	0	339
70	126	80	0	0	0	0	0	0	468
35	180	80	0	0	0	0	0	0	495
77	54	48	0	0	0	0	0	0	347
63	90	96	0	0	0	0	0	0	393
42	72	96	0	0	0	0	0	0	466
42	144	80	0	0	0	0	0	0	362
56	54	112	0	0	0	0	0	0	422
63	90	64	0	0	0	0	0	0	473
70	108	64	0	0	0	0	0	0	562
49	198	80	0	0	0	0	0	0	559
63	90	96	0	0	0	0	0	0	473
49	108	144	0	0	0	0	0	0	429
42	90	48	0	0	0	0	0	0	388
56	108	80	0	0	41	0	0	0	549
42	54	0	0	0	0	0	0	0	248
49	108	48	0	0	0	0	0	0	429
42	72	112	0	0	0	0	0	0	466
28	144	48	0	0	0	0	0	0	548
21	126	64	0	0	0	0	0	0	467
49	90	96	0	0	0	0	0	0	563
63	126	80	0	0	0	0	0	0	517
84	90	96	0	0	41	0	0	0	575
56	108	48	0	0	0	0	0	0	372
35	144	48	0	0	0	0	0	0	499
28	126	64	0	0	41	0	0	0	443
35	72	16	0	0	0	0	0	0	299
21	90	0	0	0	0	0	0	0	303
28	90	32	0	0	0	0	0	0	286
14	54	16	0	0	0	0	0	0	260
35	72	48	0	0	0	0	0	0	363
35	126	48	0	0	41	0	0	0	546
49	162	64	0	0	0	0	0	0	507
28	36	0	0	0	0	0	0	0	200
1232	2880	1696	0	0	164	0	0	0	12108

Πίνακας 7. Συνολικός αριθμός ατόμων στα Ο.Τ.

5.4 Καμπύλες τρωτότητας για κάθε τύπο κτιρίου

Σε κάθε τύπο κτιρίου που αναφέρθηκε προηγουμένως αντιστοιχεί μια καμπύλη τρωτότητας ανάλογα με το ποσοστό ή αλλιώς το επίπεδο βλάβης που προκαλείται στα κτίρια. Αυτές οι καμπύλες παρουσιάζονται σε διαγράμματα, όπου στον οριζόντιο άξονα καταγράφεται η επιτάχυνση του εδάφους και στον κάθετο άξονα η πιθανότητα ζημιάς του κτιρίου.

- DS1 : Ελαφρές ζημιές (λίγες ρωγμές στη τοιχοποιία πλήρωσης)
- DS2 : Μετρίου μεγέθους ζημιές
- DS3 : Μερική κατάρρευση, σοβαρές ζημιές
- DS4 : Πλήρης κατάρρευση

Για τον υπολογισμό του ποσοστού των ζημιών σε κάθε κατηγορία:

- Το ποσοστό ζημιάς της κατηγορίας DS1 προκύπτει από τη διαφορά των τιμών μεταξύ της καμπύλης της DS1 και της DS2.
- Το ποσοστό ζημιάς της DS2 υπολογίζεται ως η διαφορά των τιμών μεταξύ των καμπυλών DS2 και DS3.
- Αντίστοιχα, το ίδιο γίνεται για κάθε κατηγορία ζημιάς, μέχρι την DS4.

Για κάθε επίπεδο ζημιάς, καθορίζεται και ένα ποσοστό σχετικής μετακίνησης των ορόφων (ID: Interstory Drift), το οποίο αντλήθηκε από τον οδηγό Hazus (Πίνακες 5.9a, c, d) και εκφράζεται σε ποσοστά (%). Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του μεγέθους της μετατόπισης των ορόφων και τον αντίκτυπο στις ζημιές του κτιρίου. Παρακάτω φαίνεται ο σχετικός πίνακας.

Building Type	Slight DS1	Moderate DS2	Extensive DS3	Complete DS4
C1L_Pre code	0.4	0.6	1.6	4
C1L_Low code	0.5	0.8	2	5
C1L_High code	0.5	1	3	8
C1M_Pre code	0.2	0.4	1	2.6
C1M_Low code	0.3	0.5	1.3	3.3
C1M_High code	0.3	0.6	2	5.3
C2L_Pre code	0.3	0.6	1.5	4
C2L_Low code	0.4	0.7	2	5
C2L_High code	0.4	1	3	8
C2M_Pre code	0.2	0.4	1	2.6
C2M_Low code	0.2	0.5	1.3	3.3
C2M_High code	0.2	0.6	2	5.3
S1L_High code	0.6	1.2	3	8
S2L_High code	0.5	1	3	8
URML_Low code	0.3	0.6	1.5	3.5

Πίνακας 8. Τιμές για κατηγορίες ζημιών για κάθε κατηγορία κτιρίου

Για τη διαμόρφωση των διαγραμμάτων των καμπυλών τρωτότητας, είναι απαραίτητο να έχουμε για κάθε περίπτωση τις τιμές της μέσης τιμής (μ) και της τυπικής απόκλισης (β). Αυτά τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από τους πίνακες του Hazus (Πίνακες 5.16a, c, d).

Building Name	Fragility Curves P_PGA							
	Slight DS1		Moderate DS2		Extensive DS3		Complete DS4	
	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
C1L_Pre code	0.1	0.64	0.12	0.64	0.21	0.64	0.36	0.64
C1L_Low code	0.12	0.64	0.15	0.64	0.27	0.64	0.45	0.64
C1L_High code	0.21	0.64	0.35	0.64	0.7	0.64	1.37	0.64
C1M_Pre code	0.09	0.64	0.13	0.64	0.26	0.64	0.43	0.64
C1M_Low code	0.12	0.64	0.17	0.64	0.32	0.64	0.54	0.64
C1M_High code	0.15	0.64	0.27	0.64	0.73	0.64	1.61	0.64
C2L_Pre code	0.11	0.64	0.15	0.64	0.24	0.64	0.42	0.64
C2L_Low code	0.14	0.64	0.19	0.64	0.3	0.64	0.52	0.64
C2L_High code	0.24	0.64	0.45	0.64	0.9	0.64	1.55	0.64
C2M_Pre code	0.1	0.64	0.15	0.64	0.3	0.64	0.5	0.64
C2M_Low code	0.12	0.64	0.19	0.64	0.38	0.64	0.63	0.64
C2M_High code	0.17	0.64	0.36	0.64	0.87	0.64	1.95	0.64
S1L_High code	0.19	0.64	0.31	0.64	0.64	0.64	1.49	0.64
S2L_High code	0.24	0.64	0.41	0.64	0.76	0.64	1.46	0.64
URML_Low code	0.19	0.64	0.28	0.64	0.47	0.64	0.68	0.64

Πίνακας 9. Μέση και τυπική απόκλιση καμπυλών τρωτότητας για κάθε κατηγορία κτιρίου

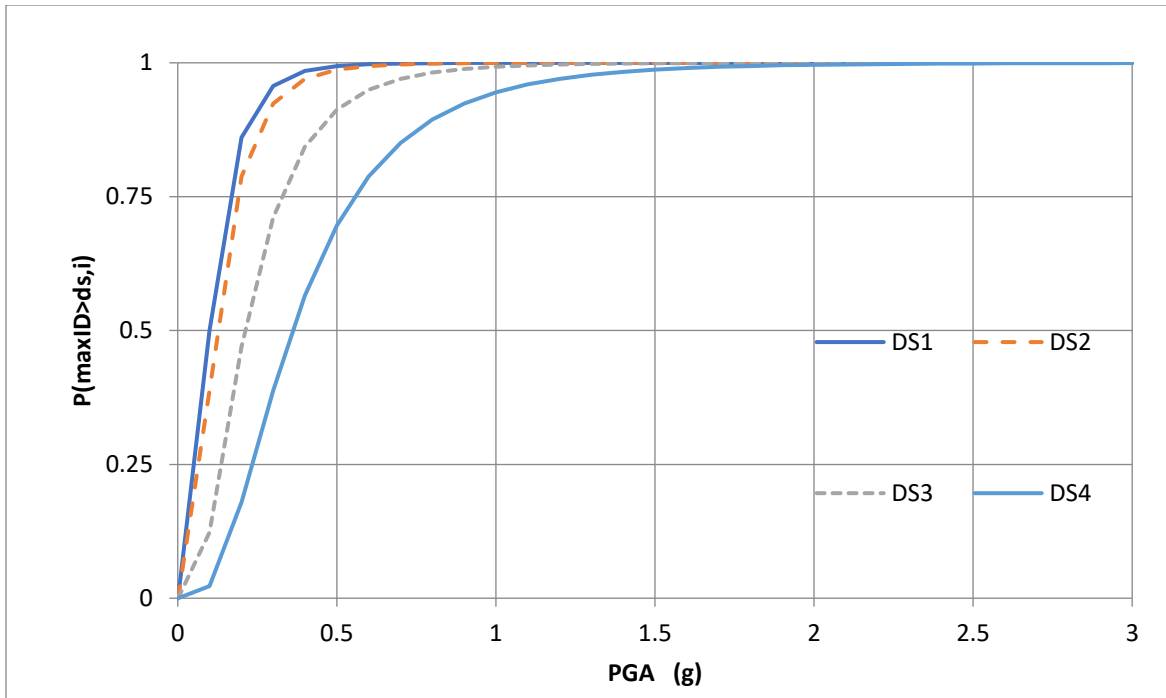
Από τις τιμές της μέσης τιμής (μ) και της τυπικής απόκλισης (β), προκύπτουν οι τιμές Z και $\Phi(Z)$, όπου ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πιθανότητας σχηματισμού των καμπυλών τρωτότητας είναι ο εξής:

$$P(MaxID > ID) = \Phi\left(\frac{\ln(ag) - \ln(\mu)}{\beta}\right)$$

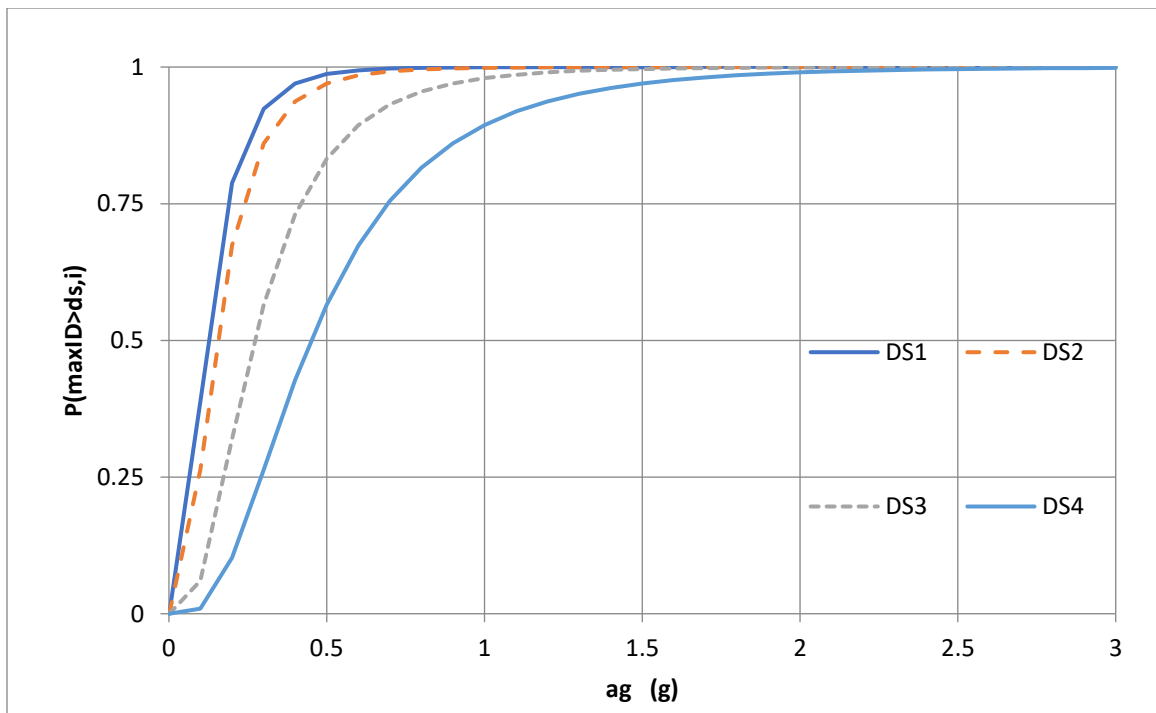
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα των καμπυλών τρωτότητας για κάθε τύπο κτιρίου που υπάρχει στη περιοχή μελέτης.

➤ C1L PRE CODE, C1L LOW CODE, C1L HIGH CODE

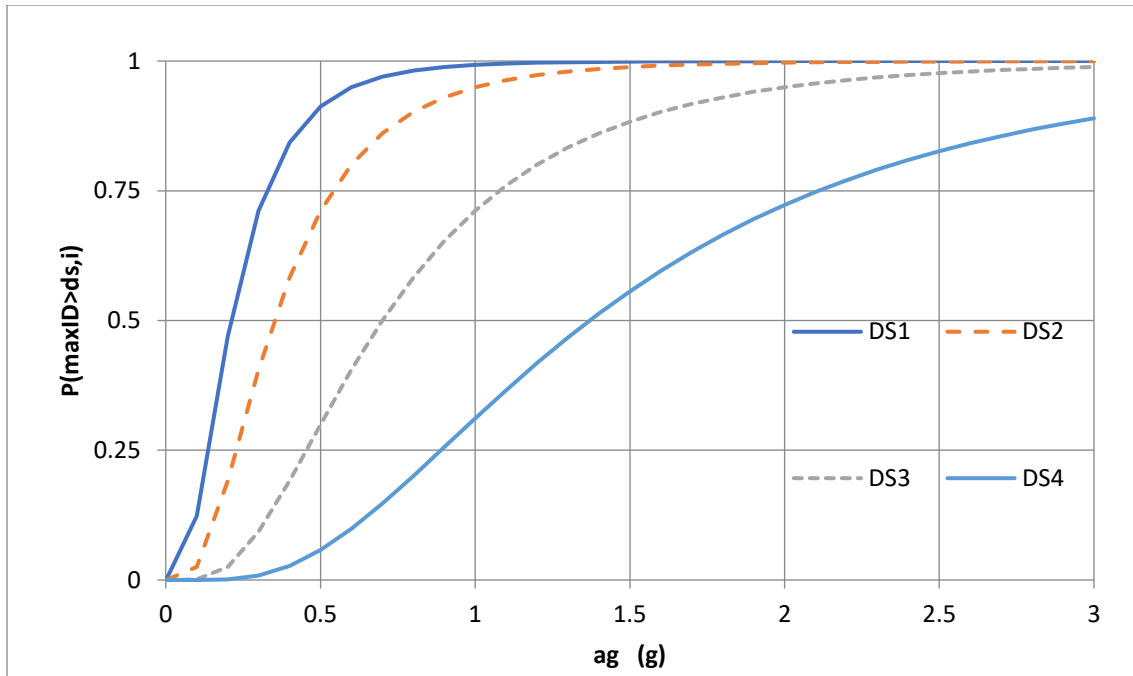
Αυτά τα διαγράμματα δείχνουν τη συμπεριφορά των χαμηλών κτιρίων από σπλισμένο σκυρόδεμα (C1L) για διαφορετικούς αντισεισμικούς κανονισμούς. Οι καμπύλες για τα κτίρια PRE CODE έχουν υψηλότερες πιθανότητες βλάβης ακόμα και σε χαμηλές τιμές PGA, πράγμα που υποδεικνύει ότι τα παλαιότερα κτίρια χωρίς επαρκείς αντισεισμικές προδιαγραφές είναι πιο ευάλωτα. Στα HIGH CODE κτίρια, οι πιθανότητες βλάβης είναι πολύ χαμηλότερες για την ίδια σεισμική ένταση, κάτι που δείχνει τη βελτίωση της αντοχής.



Διάγραμμα 1. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C1L Pre Code



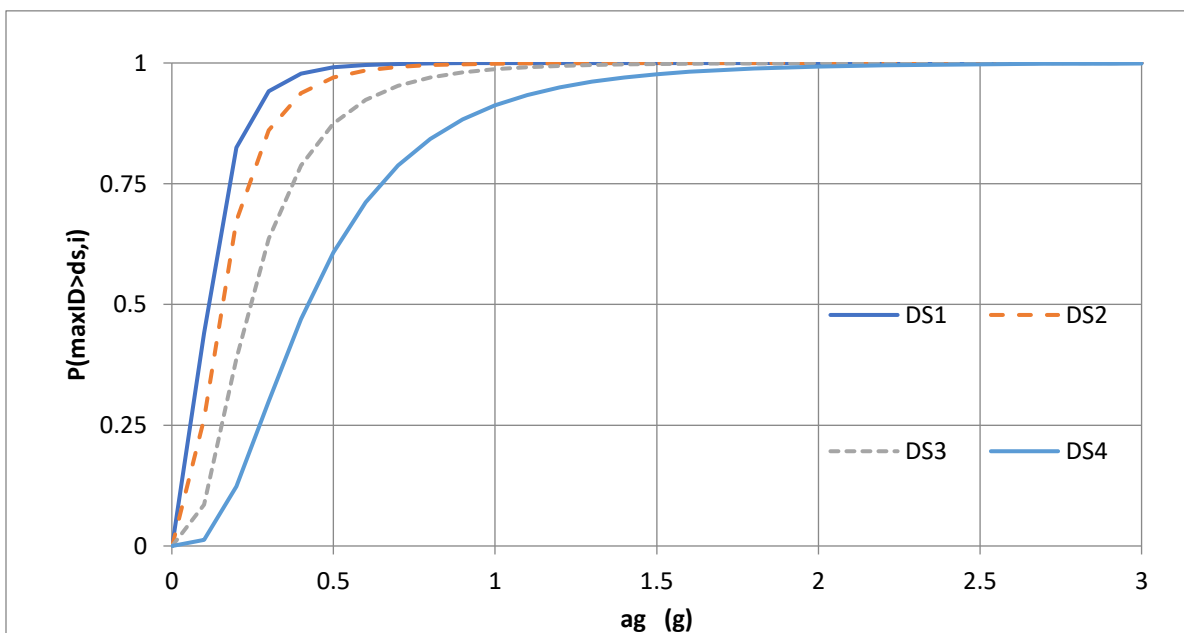
Διάγραμμα 2. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C1L Low Code



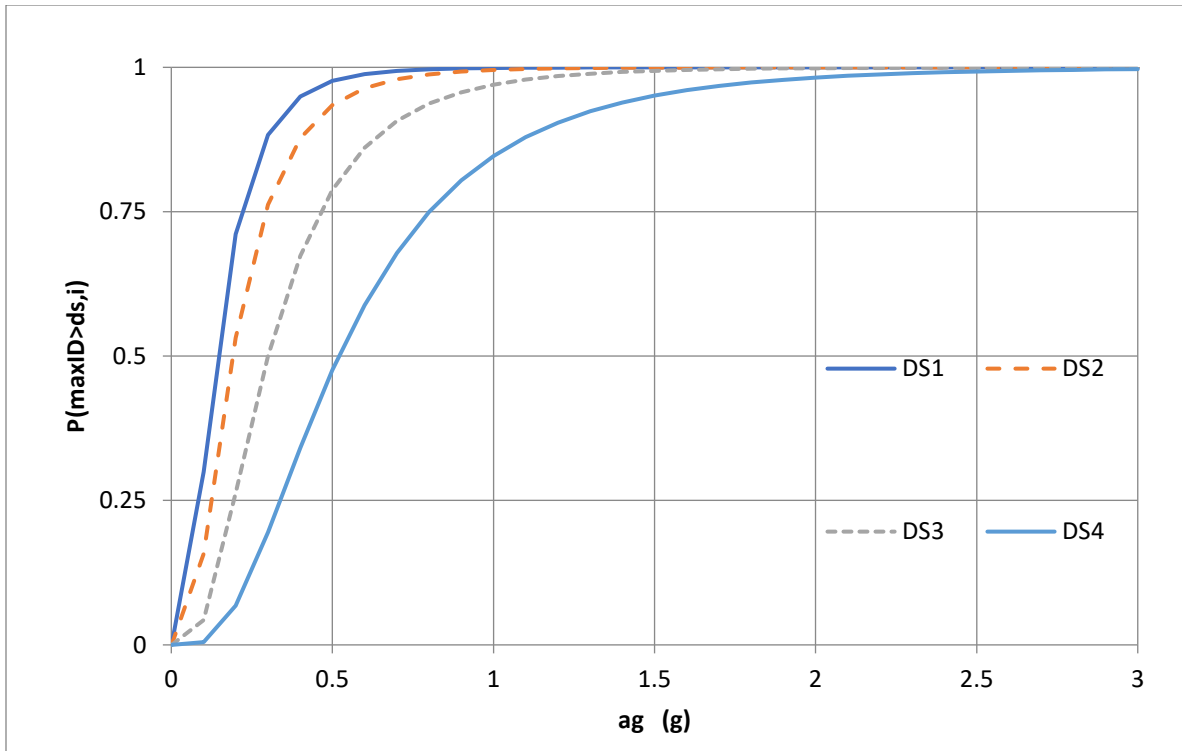
Διάγραμμα 3. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C1L High Code

➤ C2L PRE CODE, C2L LOW CODE, C2L HIGH CODE

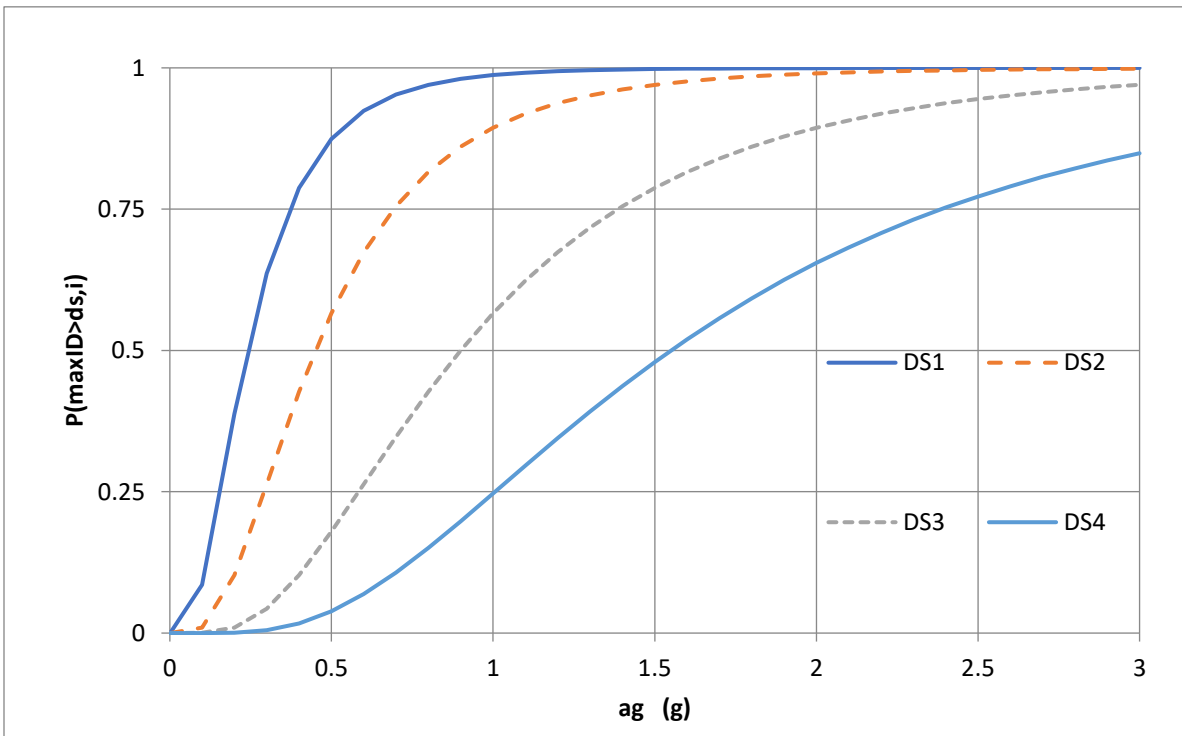
Αυτά τα διαγράμματα αναφέρονται στα χαμηλά κτίρια από χαλύβδινο σκελετό (C2L). Οι χαλύβδινες κατασκευές τείνουν να είναι πιο ανθεκτικές, και αυτό αποτυπώνεται στις καμπύλες όπου ακόμη και για τα PRE CODE κτίρια, η πιθανότητα βλάβης είναι μικρότερη από ό,τι στα κτίρια από σκυρόδεμα.



Διάγραμμα 4. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C2L Pre Code



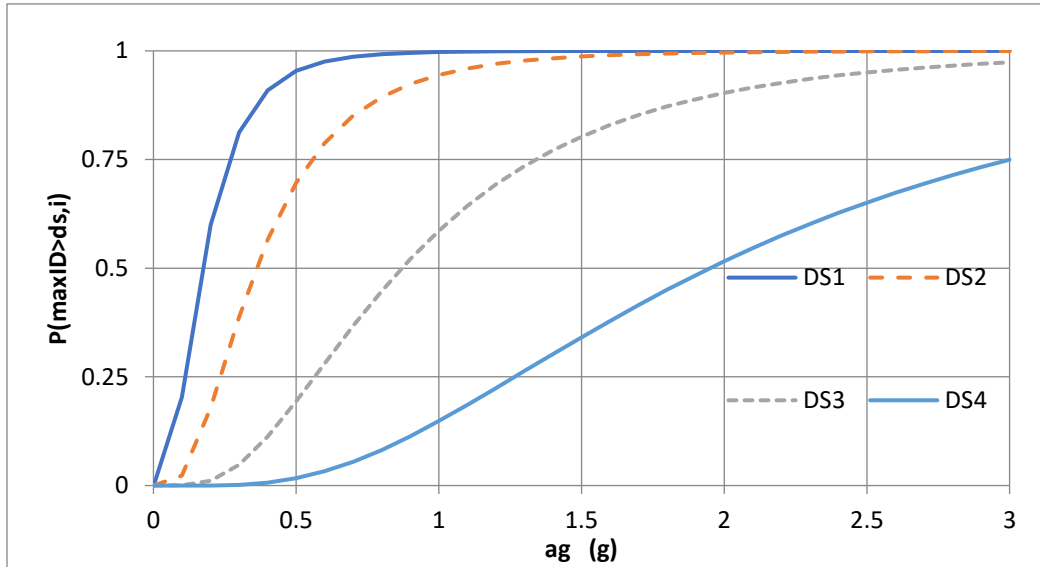
Διάγραμμα 5. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C2L Low Code



Διάγραμμα 6. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C2L High Code

➤ C2M HIGH CODE

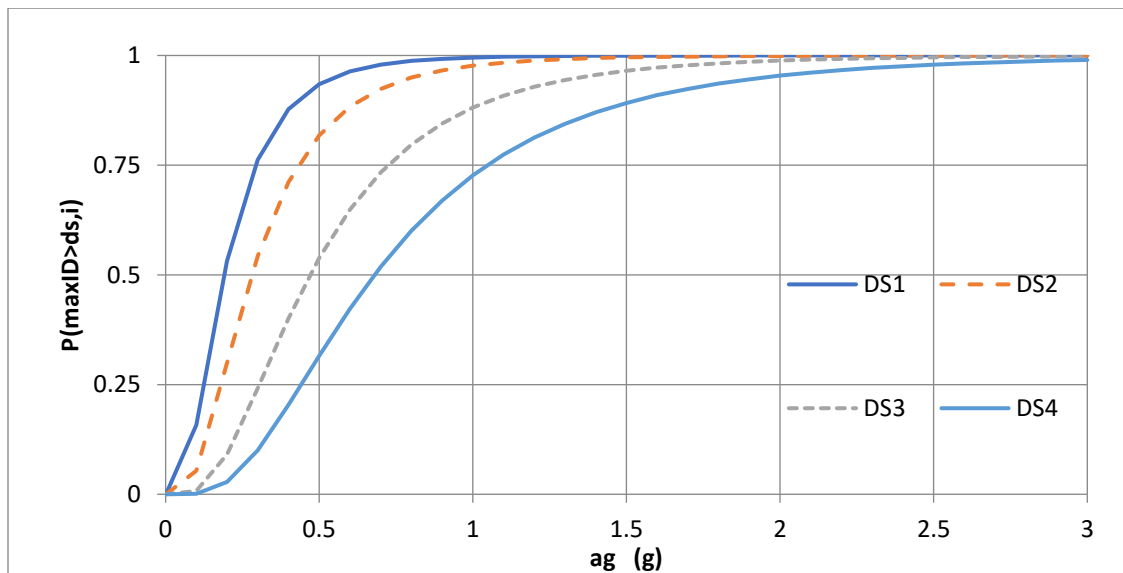
Σαυτό το διάγραμμα εξετάζονται μεσαίου ύψους χαλύβδινα κτίρια (C2M). Τα κτίρια αυτά, που ανήκουν στη κατηγορία HIGH CODE, δείχνουν εξαιρετική αντοχή, με τις καμπύλες να δείχνουν πολύ μικρές πιθανότητες βλάβης ακόμα και σε υψηλές τιμές PGA.



Διάγραμμα 7. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου C2M High Code

➤ URML Low Code

Αυτό το διάγραμμα αφορά τα χαμηλά κτίρια από τοιχοποιία χωρίς ενισχύσεις. Αυτά τα κτίρια είναι από τα πιο ευάλωτα σε σεισμούς, και οι καμπύλες το δείχνουν με την πιθανότητα βλάβης να αυξάνεται γρήγορα ακόμα και σε σχετικά χαμηλές τιμές PGA.



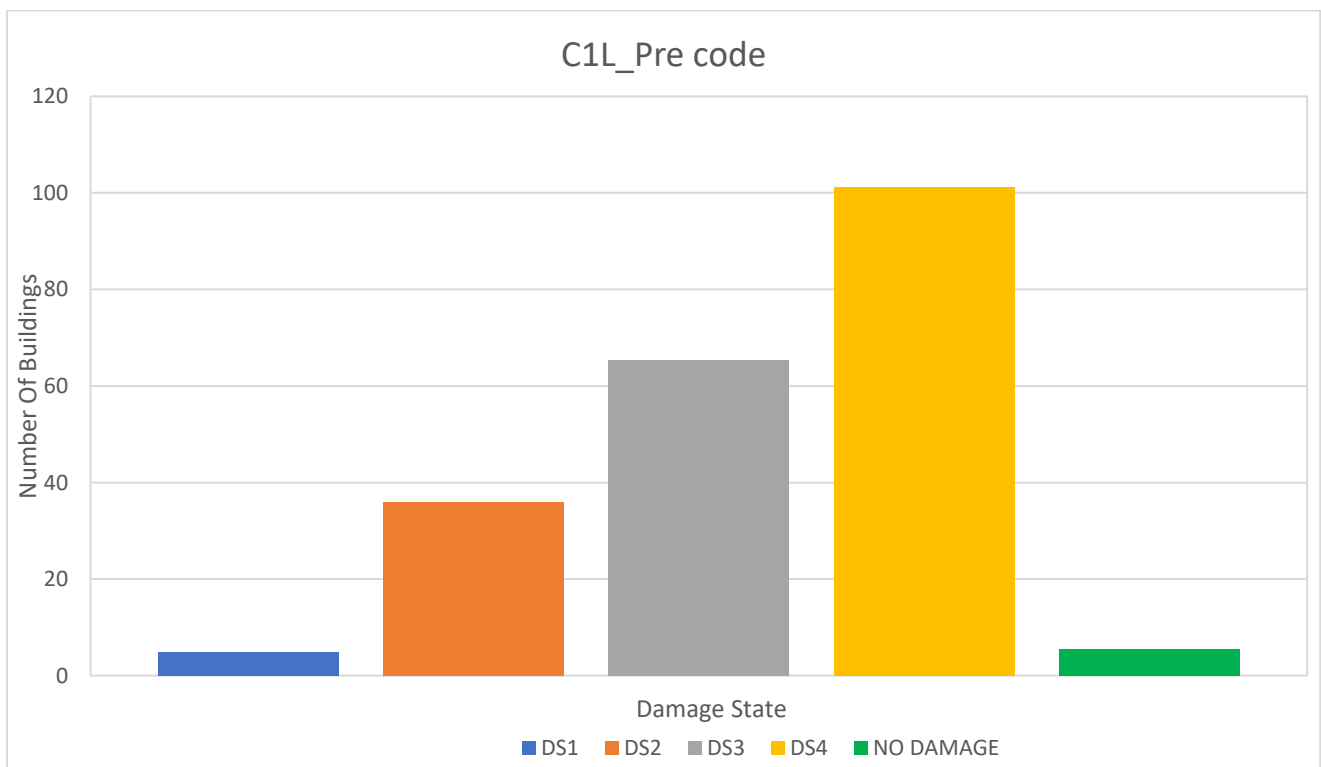
Διάγραμμα 8. Καμπύλη τρωτότητας για κτίρια τύπου URML Low Code

5.5 Κτιριακές απώλειες

Στη περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε για κάθε οικοδομικό τετράγωνο, με βάση το τύπο του κτιρίου υπολογίστηκε το ποσοστό ζημιάς που θα προκύψει από την πιο ελαφριά κατηγορία DS1 έως και την πιο σοβαρή DS4. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ποσοστά ζημιών (N_{DS1} , N_{DS2} , N_{DS3} , N_{DS4}) υπολογίζονται με τη διαφορά των ποσοστών της προηγούμενης κατηγορίας από την επόμενη. Ωστόσο, υπάρχουν κτίρια που δεν έχουν υποστεί καμία βλάβη (No Damage). Έτσι ώστε να γίνει ο υπολογισμός αυτής της κατηγορίας, αφαιρέθηκε το άθροισμα όλων των ποσοστών βλαβών από το συνολικό αριθμό των κτιρίων σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο. Συγκεντρώθηκαν λοιπόν τα συνολικά ποσοστά βλάβης ανά οικοδομικό τετράγωνο και ανά τύπο κτιρίου.

C1L Pre Code

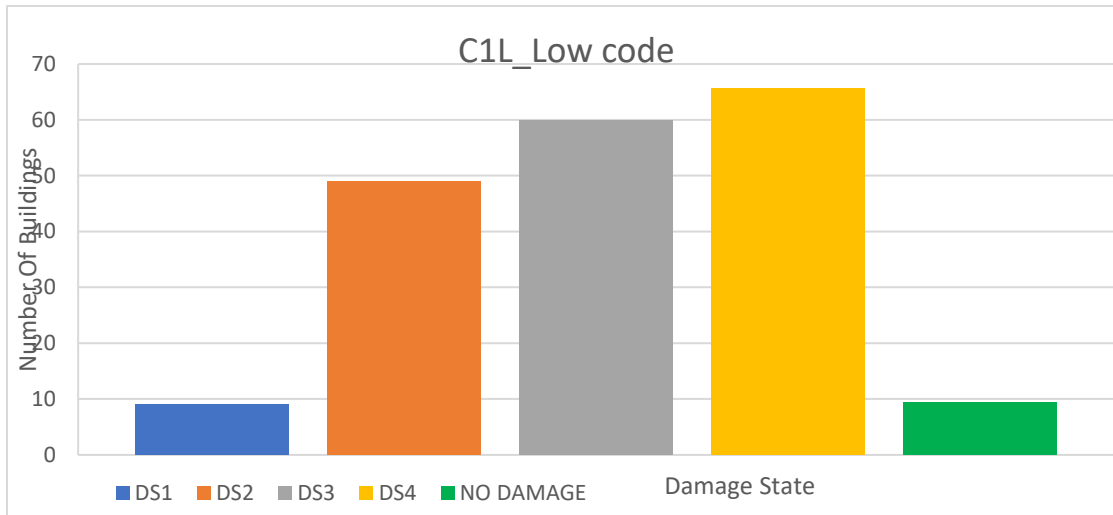
Τα κτίρια τύπου C1L Pre Code, είναι κατασκευασμένα πριν από την εφαρμογή των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών και τείνουν να είναι τα πιο ευάλωτα σε ζημιές. Αυτά τα κτίρια παρουσιάζουν υψηλές πιθανότητες βλάβης και, κατά συνέπεια, σημαντικές οικονομικές ζημιές, ακόμα και σε σχετικά μέτρια σεισμική δραστηριότητα. Ειδικά για μεγάλες σεισμικές εντάσεις, οι απώλειες εκτιμώνται πολύ υψηλές λόγω της ευθραυστότητας αυτών των κτιρίων. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα παρατίθεται παρακάτω και το σχετικό διάγραμμα.



Διάγραμμα 9. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C1L Pre Code

C1L Low Code

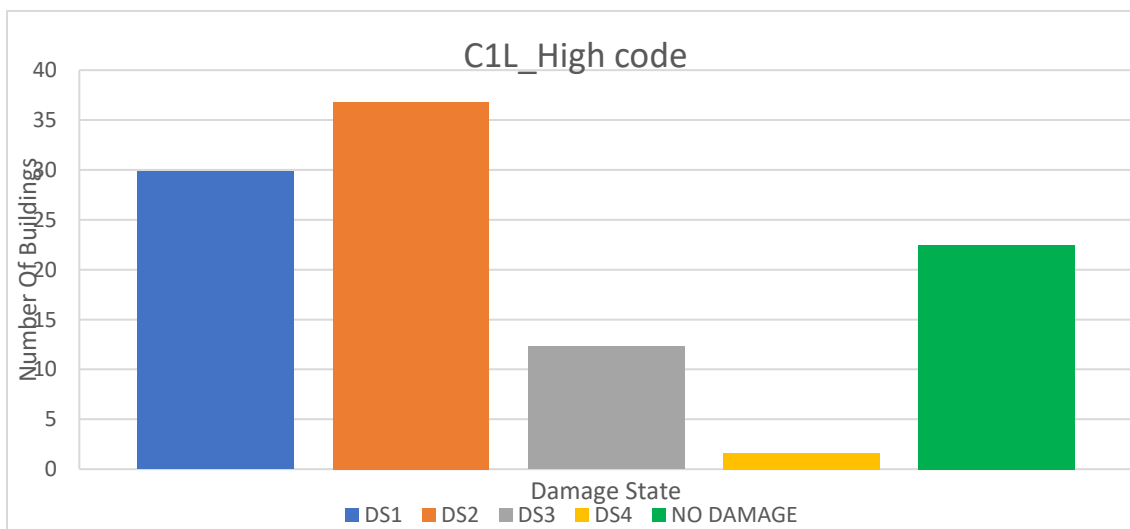
Αυτά τα κτίρια έχουν κατασκευαστεί με ορισμένα αντισεισμικά μέτρα, αλλά όχι σύμφωνα με τους πιο αυστηρούς κώδικες. Εμφανίζουν βελτιωμένη αντοχή σε σχέση με τα Pre Code κτίρια, αλλά παραμένουν ευάλωτα σε μέτριες έως υψηλές σεισμικές δονήσεις.



Διάγραμμα 10. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C1L Low Code

C1L High Code

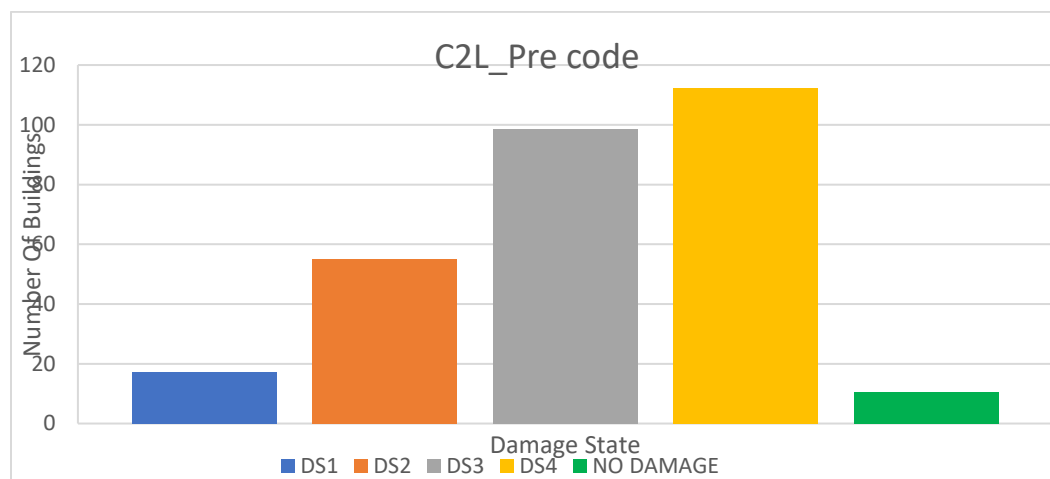
Τα κτίρια αυτά έχουν κατασκευαστεί με βάση τους πιο σύγχρονους και αυστηρούς. Σε χαμηλές και μέτριες σεισμικές δονήσεις, οι απώλειες είναι ελάχιστες, ενώ ακόμα και σε υψηλές σεισμικές δονήσεις, οι ζημιές είναι σημαντικά περιορισμένες σε σύγκριση με τα κτίρια Low Code και Pre Code.



Διάγραμμα 11. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C1L High Code

C2L Pre Code

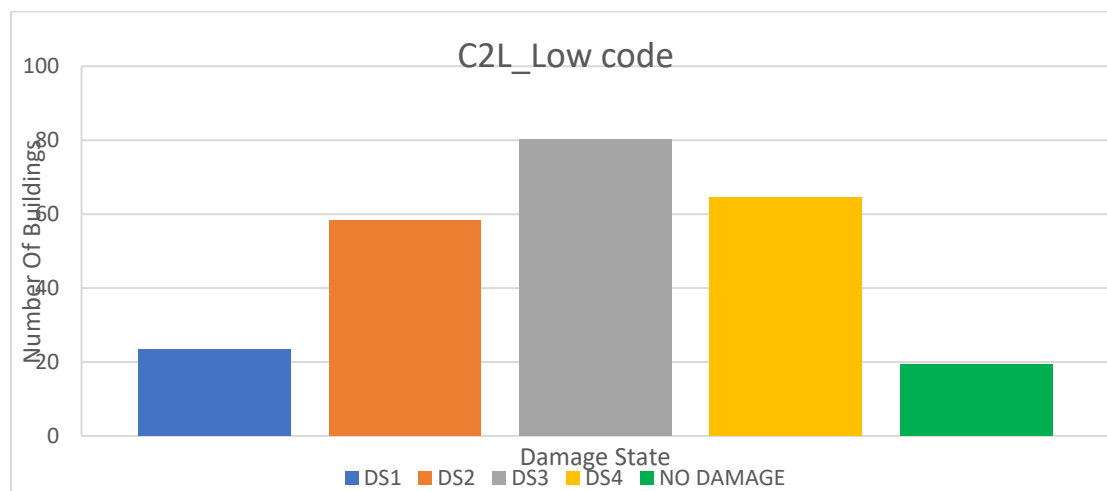
Κτίρια με χαλύβδινο σκελετό που χτίστηκαν πριν την εφαρμογή αντισεισμικών κωδίκων. Αυτά τα κτίρια είναι κάπως πιο ανθεκτικά από τα αντίστοιχα σκυροδέματος Pre Code, αλλά εξακολουθούν να είναι ευάλωτα. Εμφανίζουν μικρότερες ζημιές σε σχέση με τα Pre Code κτίρια από σκυρόδεμα, λόγω της ευελιξίας των χαλύβδινων κατασκευών. Παρ' όλα αυτά, η απουσία αντισεισμικών κανονισμών αφήνει αυτά τα κτίρια εκτεθειμένα σε μεγάλες σεισμικές δονήσεις.



Διάγραμμα 12. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C2L Pre Code

C2L Low Code

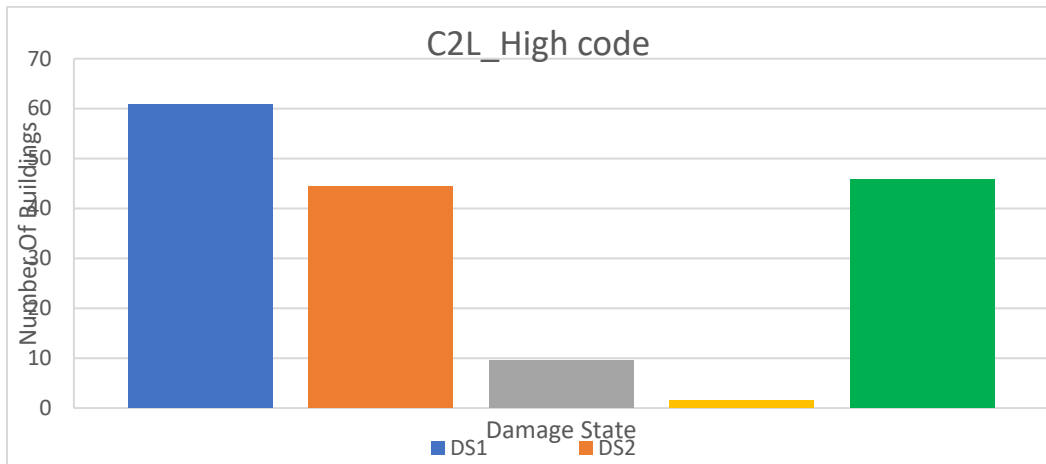
Χαλύβδινα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί με μερικούς αντισεισμικούς κανονισμούς, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητά τους. Αυτά τα κτίρια είναι πιο ανθεκτικά από τα Pre Code, με αισθητά χαμηλότερο κόστος ζημιών. Παρέχουν βελτιωμένη προστασία σε χαμηλές και μέτριες σεισμικές δονήσεις, αλλά η προστασία τους μειώνεται σε έντονους σεισμούς.



Διάγραμμα 13. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C2L Low Code

C2L High Code

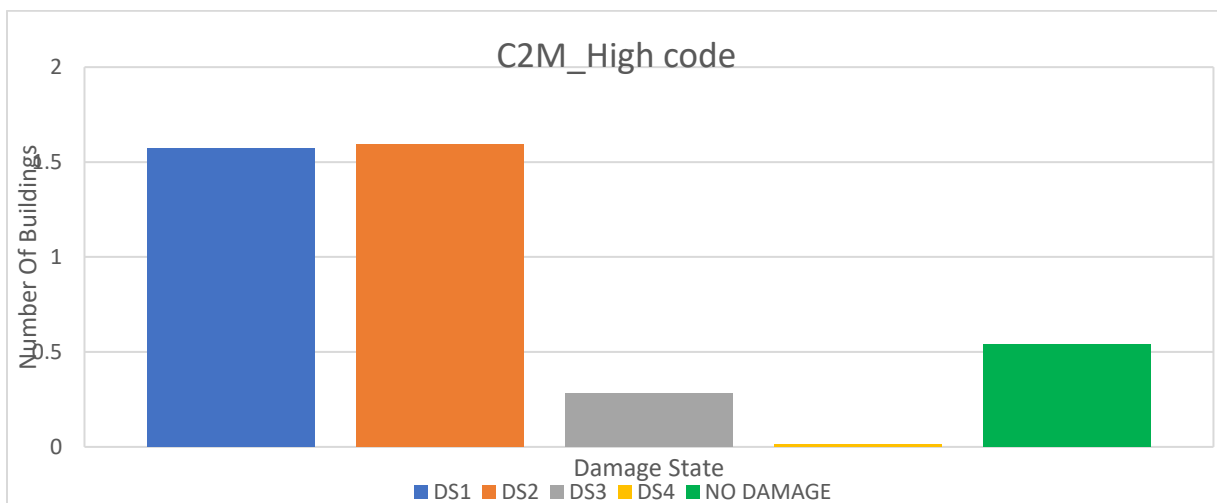
Τα κτίρια αυτά έχουν κατασκευαστεί με βάση τους πιο αυστηρούς αντισεισμικούς κανονισμούς και είναι από τα πιο ανθεκτικά. Τα χαλύβδινα κτίρια κατασκευασμένα από το 2000 και έπειτα έχουν τις μικρότερες πιθανότητες ζημιών και τα χαμηλότερα κόστη αποκατάστασης. Σε μεγάλες σεισμικές δονήσεις, οι ζημιές είναι πολύ περιορισμένες, και οι απώλειες παραμένουν χαμηλές, αποδεικνύοντας την αντοχή τους.



Διάγραμμα 14. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C2L High Code

C2M High Code

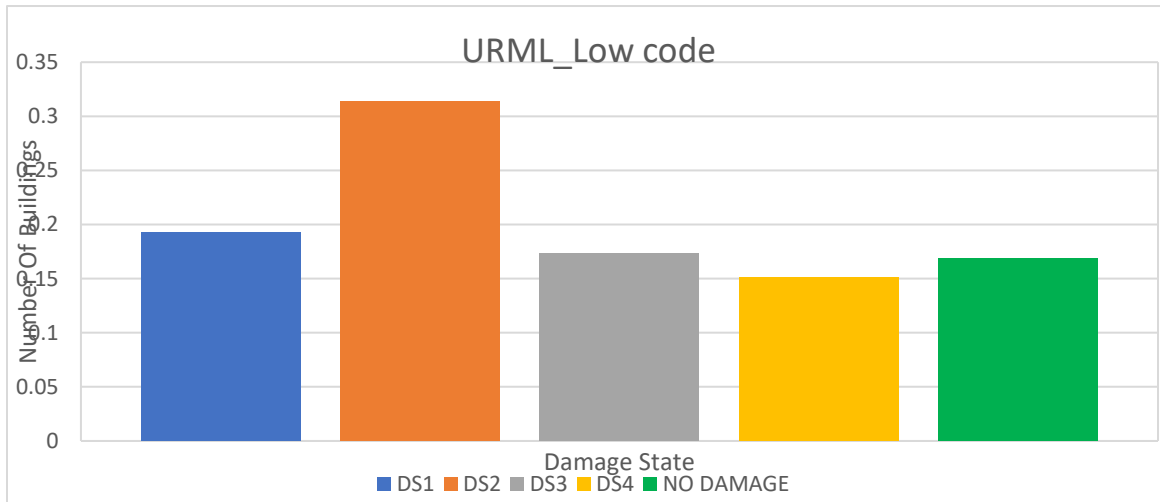
Μεσαίου ύψους κτίρια από χαλύβδινο σκελετό που κατασκευάστηκαν με βάση τους πιο αυστηρούς αντισεισμικούς κανονισμούς. Όπως και τα χαμηλότερα κτίρια χαλύβδινου σκελετού, αυτά τα κτίρια είναι εξαιρετικά ανθεκτικά. Οι πιθανότητες βλάβης και το κόστος αποκατάστασης παραμένουν χαμηλά, ακόμα και σε έντονους σεισμούς.



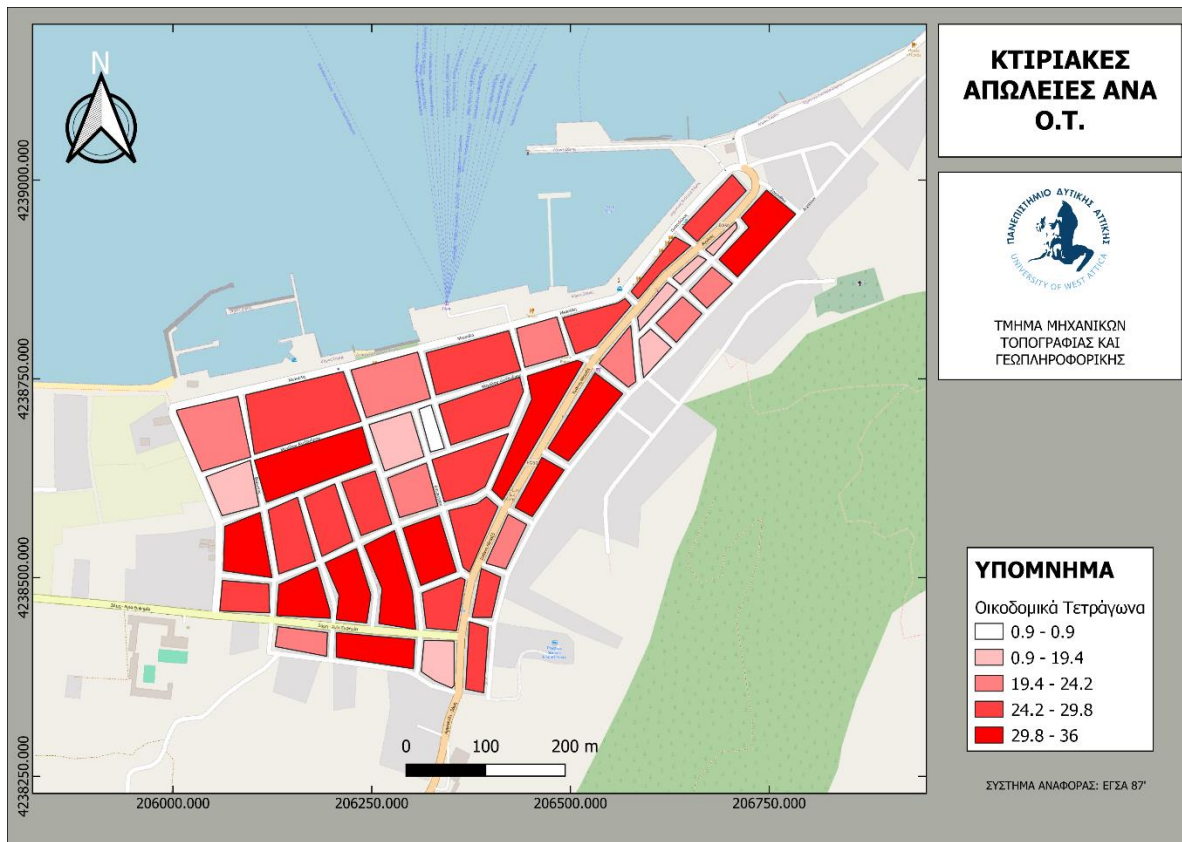
Διάγραμμα 15. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων C2M High Code

URML Low Code

Κτίρια από μη ενισχυμένη τοιχοποιία που έχουν κατασκευαστεί με κάποιους αντισεισμικούς κανονισμούς, αλλά παραμένουν ευάλωτα λόγω της φύσης τους. Σε μεγάλες σεισμικές δονήσεις, οι ζημιές μπορεί να είναι καταστροφικές, και το κόστος αποκατάστασης είναι σημαντικό

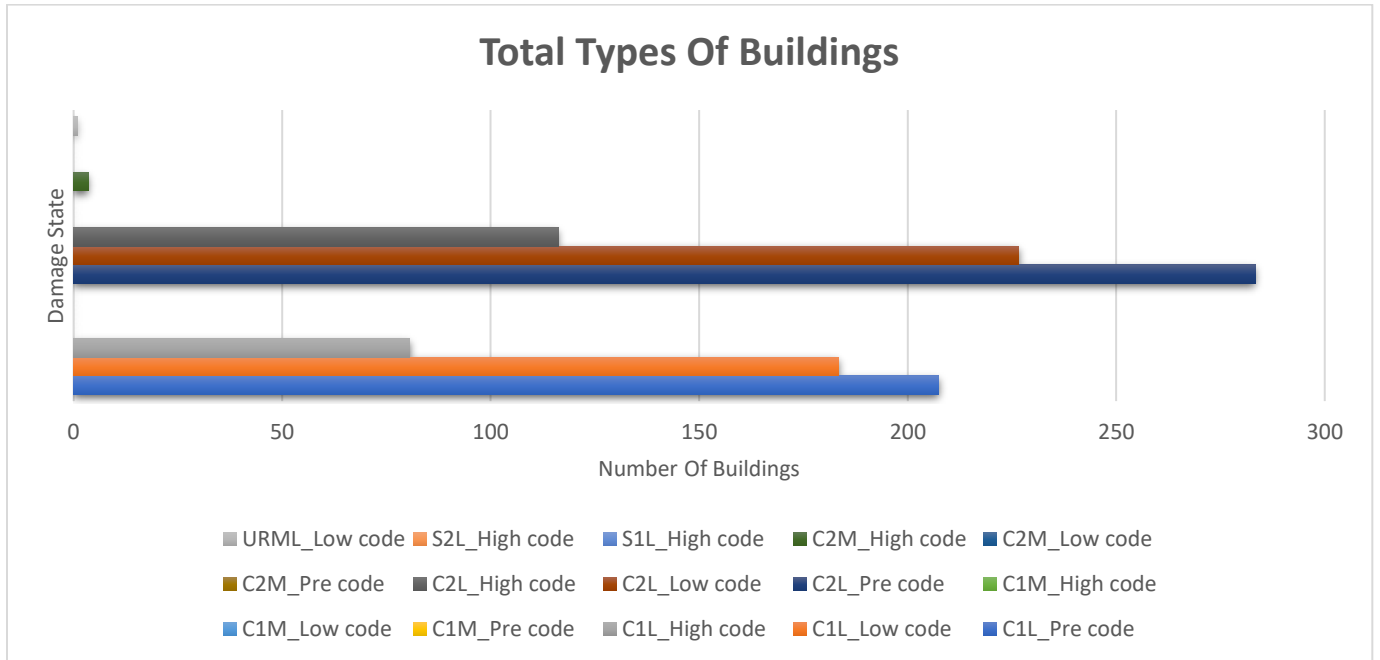


Διάγραμμα 16. Κτιριακές απώλειες για τύπο κτιρίων URML Low Code



Εικόνα 26. Χάρτης που απεικονίζει τις κτιριακές απώλειες ανά οικοδομικό τετράγωνο

Τέλος, δημιουργήθηκε ένα συνολικό διάγραμμα που περιέχει όλες τις κατηγορίες των κτιρίων.



Διάγραμμα 17. Συγκεντρωτικό διάγραμμα

5.6 Οικονομικές απώλειες

Με σκοπό να υπολογιστεί το κόστος αποκατάστασης ενός κτιρίου θεωρήθηκε ότι το ένα τετραγωνικό μέτρο κοστολογείται στα 800 ευρώ. Παρακάτω φαίνονται οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε κατηγορία βλάβης:

- DS1: 0.1
- DS2: 0.25
- DS3: 0.6
- DS4: 0.8

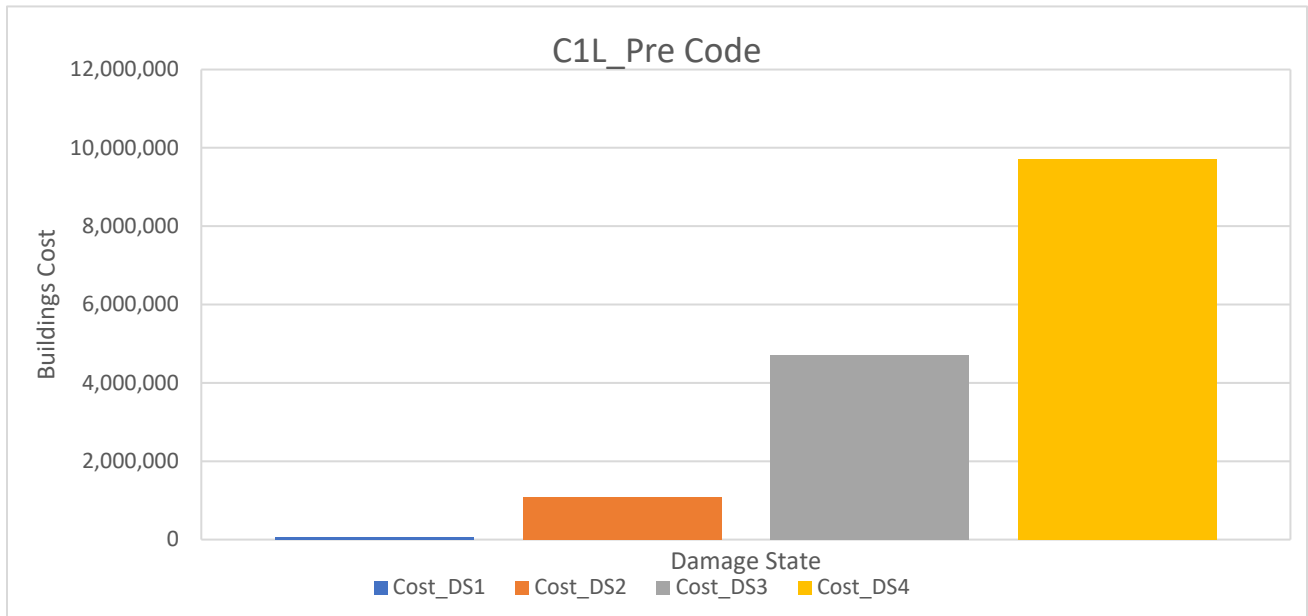
Οι συντελεστές αυτοί προτείνονται από τους επαγγελματίες μηχανικούς και λειτουργούν ως εξής : Αν ένα κτίριο πάθαινε ζημιά κατηγορίας DS1, τότε το κόστος αποκατάστασης για το τετραγωνικό μέτρο θα ήταν 800 ευρώ * 0,1 για συντελεστή DS1.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των οικονομικών απωλειών θεωρήθηκε αρχικά εμβαδόν για τη κατηγορία Low-Rise 150 τ.μ. (3 όροφοι * 50 τ.μ. κατά μέσο όρο) και για τη κατηγορία Mid-Rise 450 τ.μ. (4 όροφοι * 90 τ.μ. κατά μέσο όρο). Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του κόστους αποκατάστασης είναι:

$$\text{Κόστος Αποκατάστασης} = \text{Κόστος ανά } m^2 \times \text{Συντελεστής Κατηγορίας Ζημιάς} \times \text{Εμβαδόν Κατηγορίας}$$

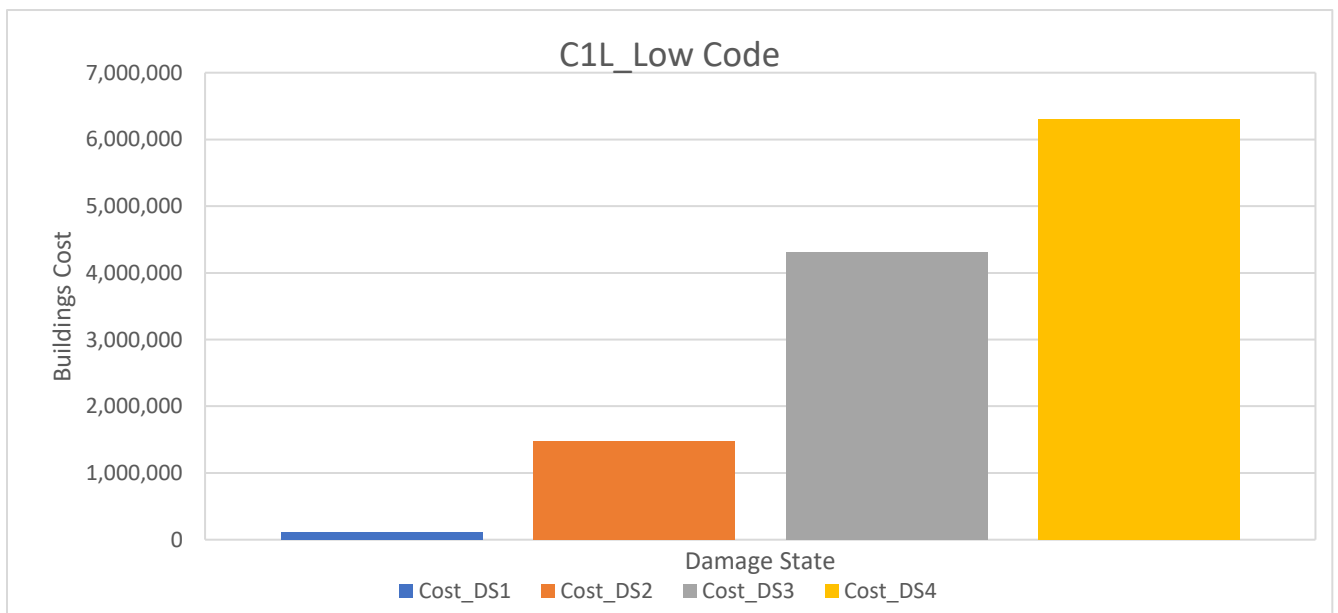
Το συνολικό κόστος αποκατάστασης προκύπτει από το άθροισμα των 4 επιμέρους κοστών για κάθε κτίριο. Παρακάτω παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα για κάθε κατηγορία κτιρίου.

C1L Pre Code



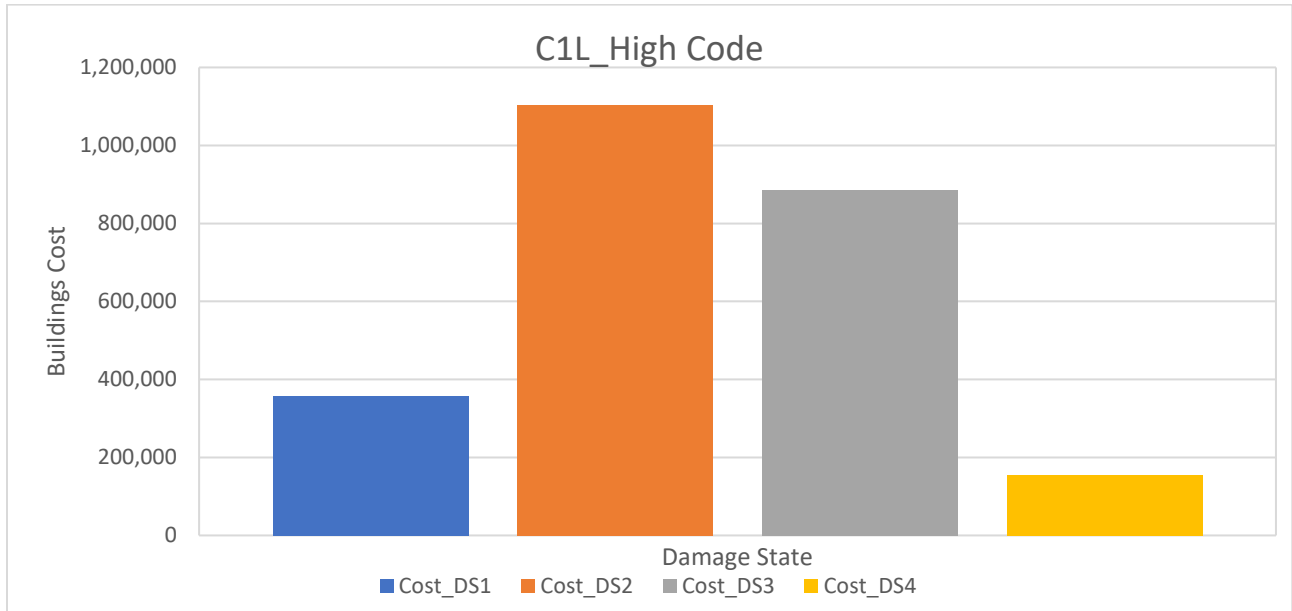
Διάγραμμα 18. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C1L Pre Code

C1L Low Code



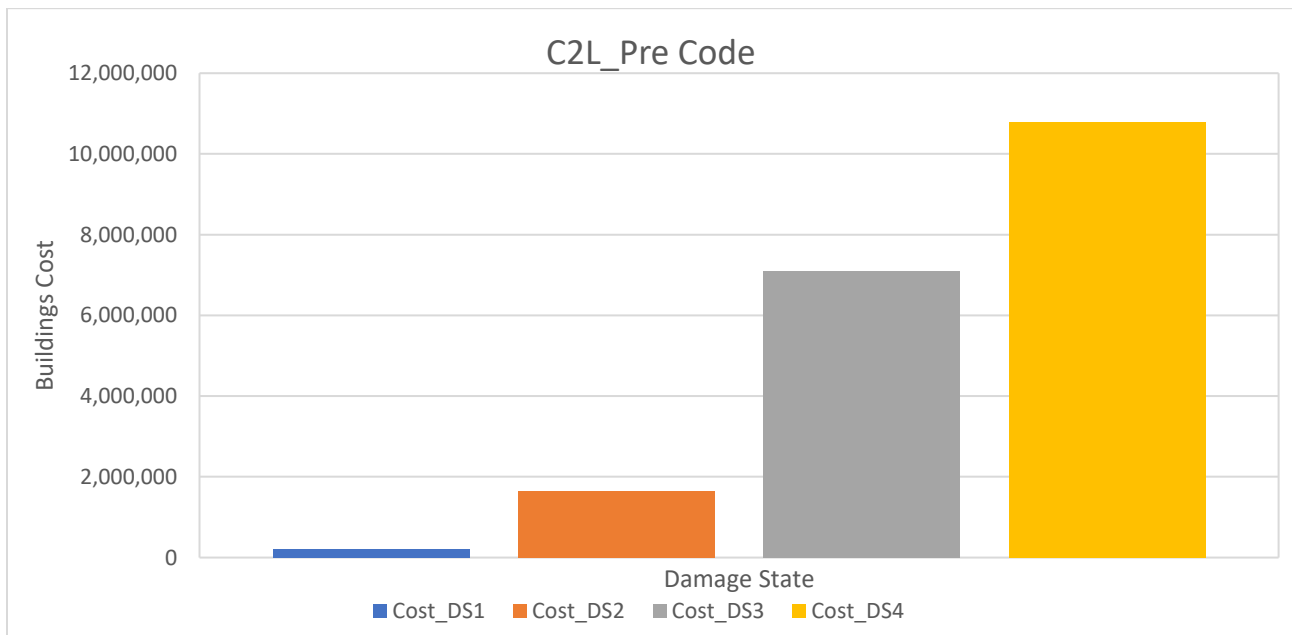
Διάγραμμα 19. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C1L Low Code

C1L High Code



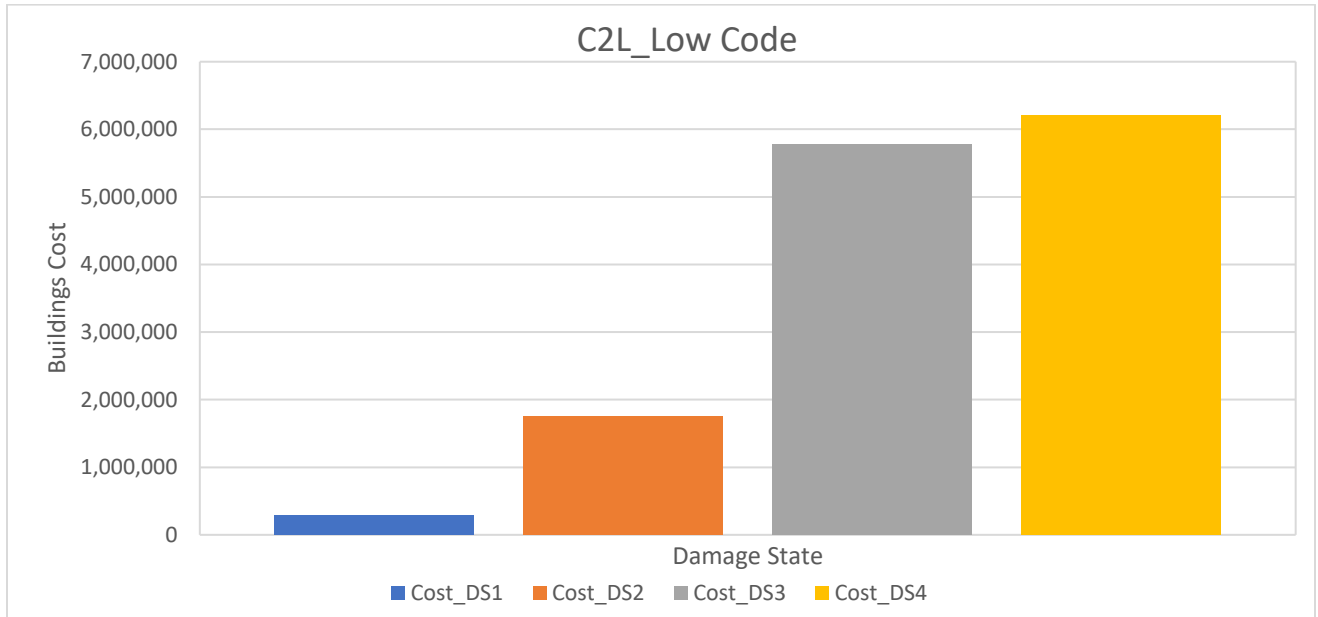
Διάγραμμα 20. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C1L High Code

C2L Pre Code



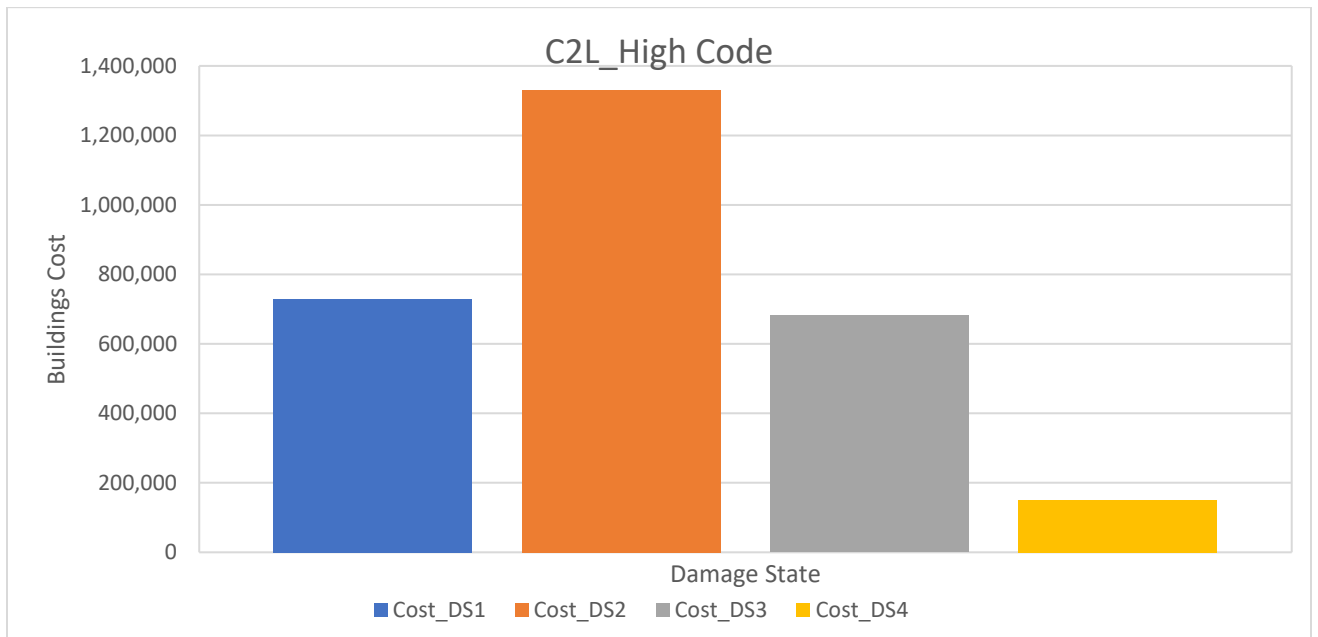
Διάγραμμα 21. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C2L Pre Code

C2L Low Code



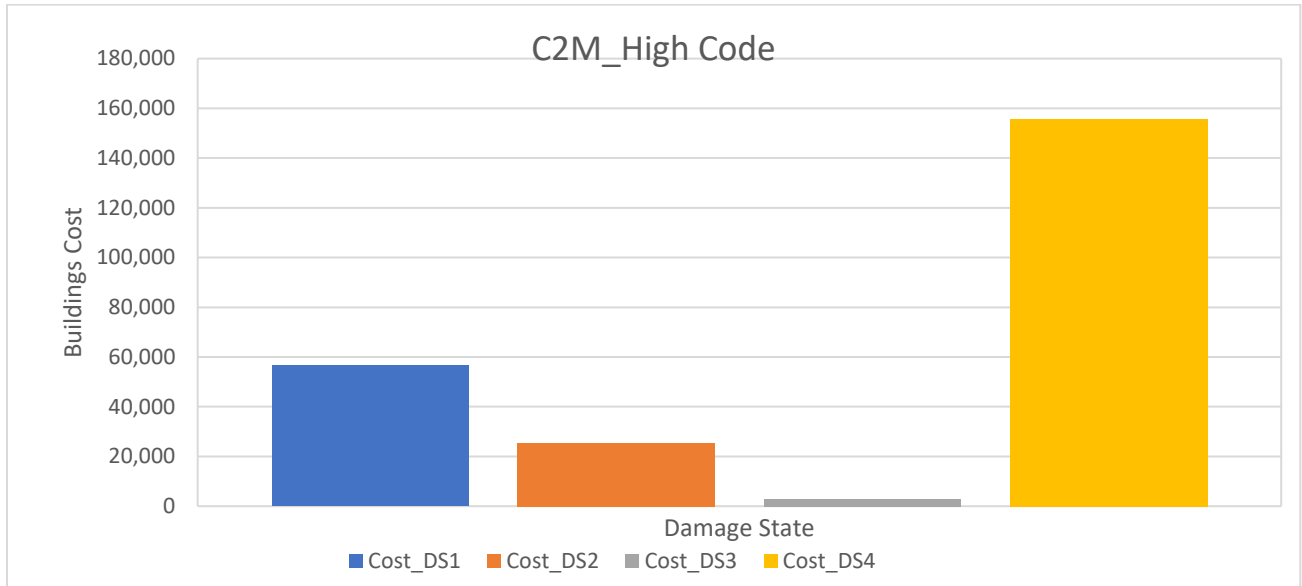
Διάγραμμα 22. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C2L Low Code

C2L High Code



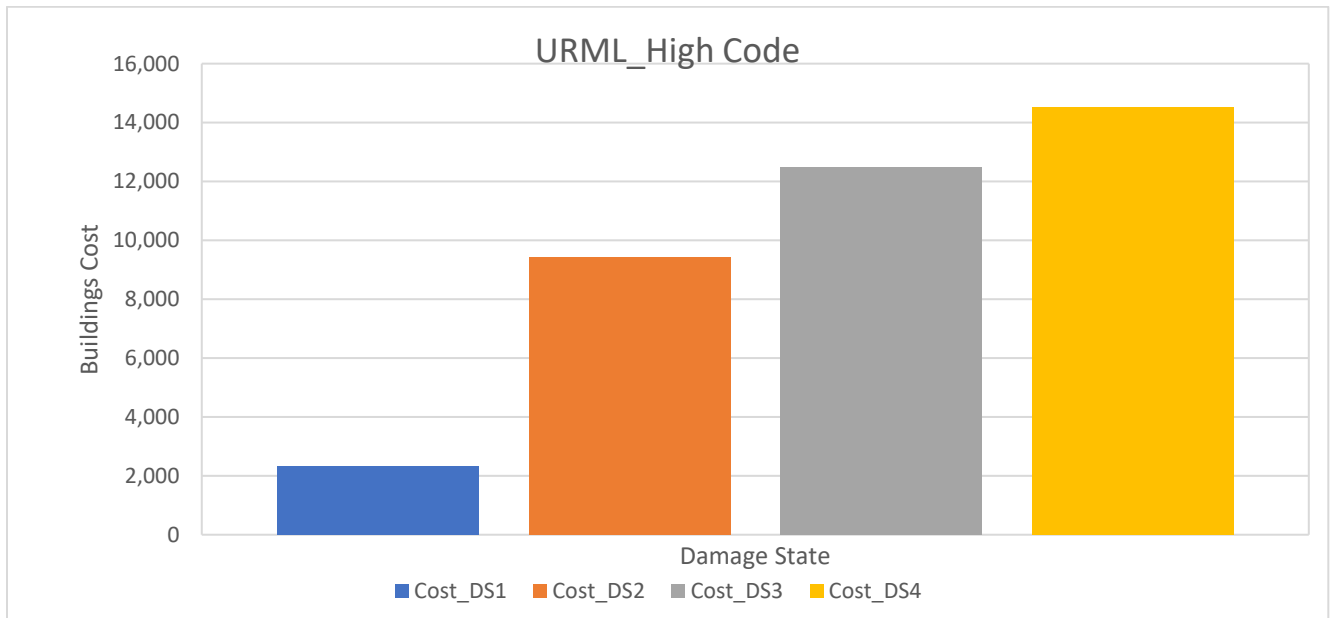
Διάγραμμα 23. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C2L High Code

C2M High Code

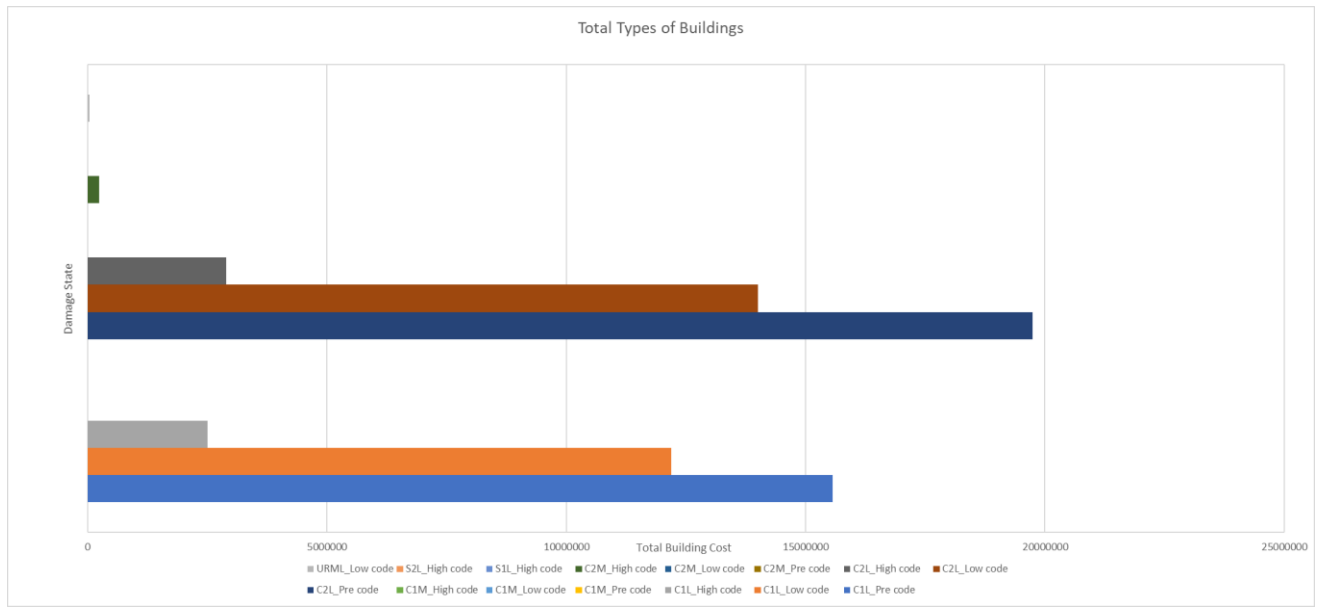


Διάγραμμα 24. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης C2M High Code

URML High Code

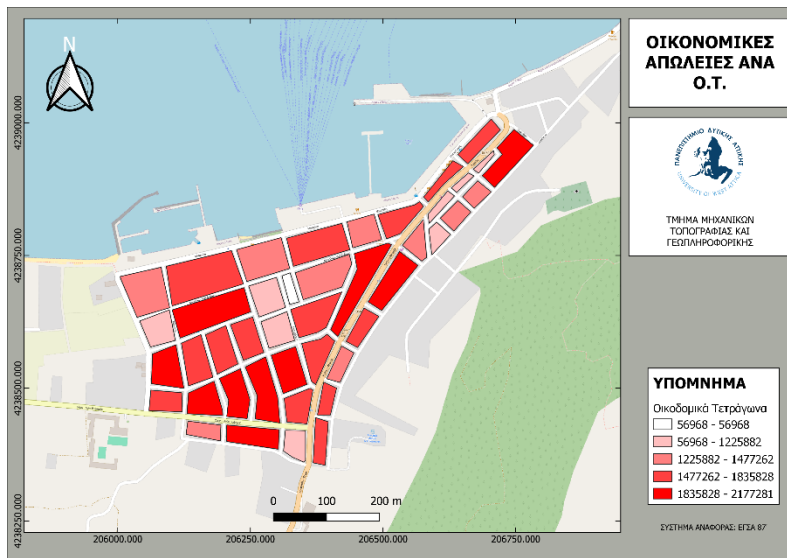


Διάγραμμα 25. Διάγραμμα κόστους αποκατάστασης URML High Code



Διάγραμμα 26. Συγκεντρωτικό διάγραμμα

Συνοπτικά τα Pre Code κτίρια έχουν το χαμηλότερο κόστος κατασκευής, αλλά είναι τα πιο ευάλωτα σε σεισμικές δονήσεις, οδηγώντας σε αυξημένο κόστος αποκατάστασης μετά από σεισμό. Τα Low Code κτίρια προσφέρουν βελτιωμένη αντισεισμική προστασία με μέτρια αύξηση στο κόστος κατασκευής, αλλά δεν παρέχουν την ίδια ανθεκτικότητα με τα High Code. Τα High Code κτίρια, αν και έχουν το υψηλότερο κόστος κατασκευής, είναι τα πιο ανθεκτικά, ελαχιστοποιώντας τις ζημιές και το κόστος αποκατάστασης σε περίπτωση σεισμού.



Εικόνα 27. Χάρτης οικονομικών απωλειών

5.6 Ανθρώπινες απώλειες

Προκειμένου να υπολογιστούν οι ανθρώπινες απώλειες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Hazus (Table 13.3,4,5) για να αντλήσουμε τους συντελεστές που αντιστοιχούν σε κάθε

κατηγορία βλάβης των κτιρίων, οι οποίες κυμαίνονται από ελαφριές ζημιές (DS1) έως πλήρη κατάρρευση (DS4). Κάθε κατηγορία ζημιάς έχει τέσσερα επίπεδα βλάβης: Severity S1%, Severity S2%, Severity S3%, και Severity S4%. Για την κατηγορία DS4 (πλήρης κατάρρευση), γίνεται ένας επιπλέον διαχωρισμός μεταξύ κτιρίων που θα καταρρεύσουν πλήρως και αυτών που δεν θα καταρρεύσουν. Σημειώνεται ότι για το Severity S4% στην πλήρη κατάρρευση DS4, ο συντελεστής προσαρμόστηκε από 10% σε 2%, όπως προτείνεται από το Hazus, ώστε να γίνει πιο ρεαλιστική η εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Στην κατηγορία DS4, υπάρχουν δύο είδη κατάρρευσης:

- Collapse Buildings: κτίρια που θα καταρρεύσουν πλήρως.
- No Collapse Buildings: κτίρια που δεν θα καταρρεύσουν πλήρως.

Αρχικά, υπολογίστηκαν οι ανθρώπινες απώλειες σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο και για κάθε τύπο κτιρίου, με βάση τις 4 κατηγορίες ζημιάς (DS1, DS2, DS3, DS4). Στη συνέχεια, αθροίστηκαν οι ανθρώπινες απώλειες ανά τύπο κτιρίου και κατηγορία ζημιάς, καθώς και συνολικά για όλες τις κατηγορίες ζημιάς.

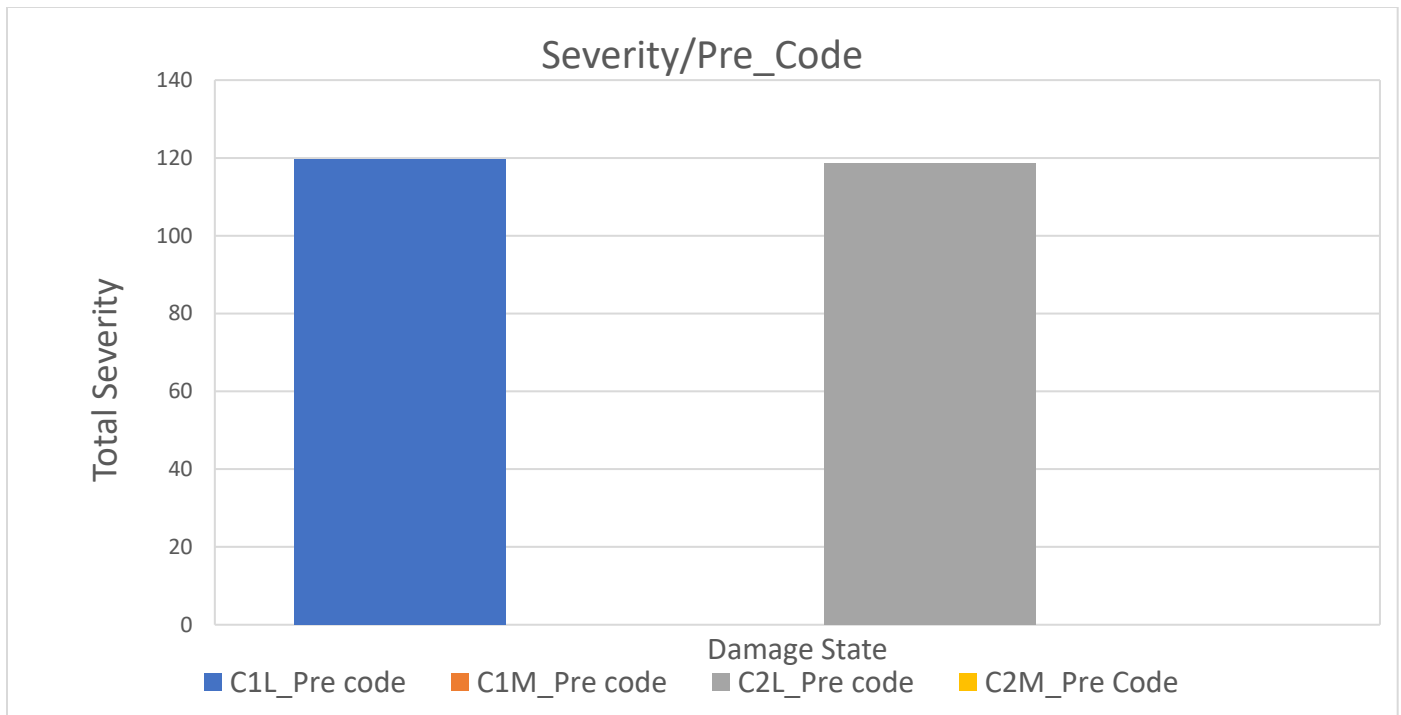
Τέλος, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που προέκυψαν, υπολογίστηκαν οι συνολικές ανθρώπινες απώλειες για την περιοχή μελέτης, χωρισμένες στις τέσσερις κατηγορίες: S1, S2, S3, και S4.

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ανθρώπινων απωλειών με τη μορφή πιθανότητας είναι ο εξής:

$$\begin{aligned} \text{Απώλειες} &= \text{Πληθυσμός ανά τύπο κτιρίου} \\ &\times \text{Κτιριακές Απώλειες της αντίστοιχης κατηγορίας βλάβης} \\ &\times \text{Συντελεστής της αντίστοιχης κατηγορίας βλάβης} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα που βοηθούν στην ανάδειξη των αποτελεσμάτων.

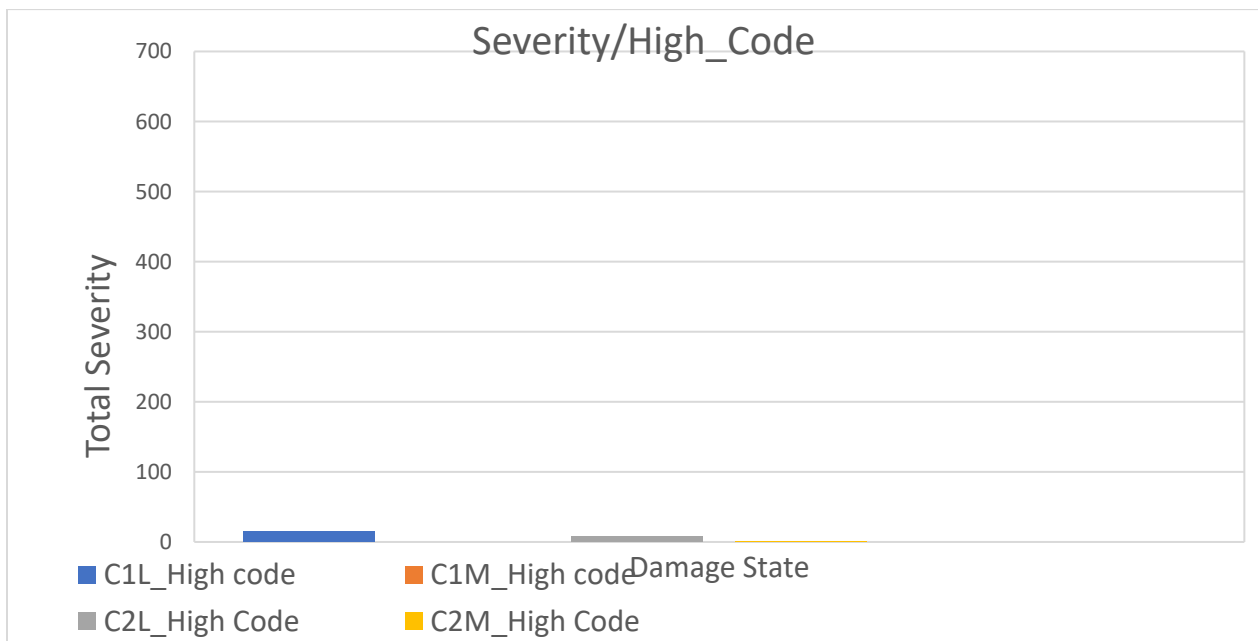
Η πρώτη κατηγορία διαγραμμάτων είναι αυτή που περιέχει τα δεδομένα για τις κατασκευές που δημιουργήθηκαν πριν το 1980 (Pre Code).



Διάγραμμα 27. Severity Pre Code

Παρατηρείται ότι και στις δύο κατηγορίες που συγκρίνονται μεταξύ τους ο αριθμός των τραυματιών είναι σχεδόν ο ίδιος με τη κατηγορία C2L Pre Code να έχει ελάχιστα λιγότερους.

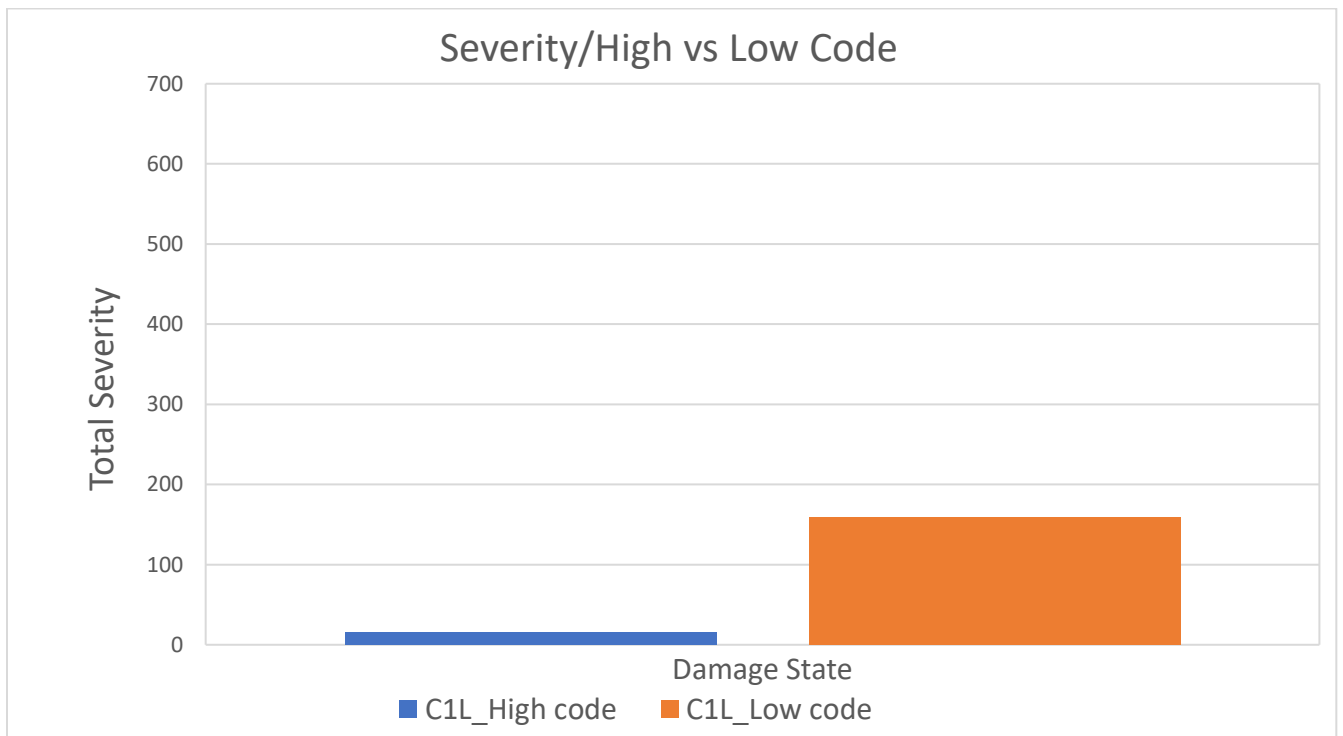
Έπειτα δημιουργήθηκε το ίδιο διάγραμμα για τις κατηγορίες High Code.



Διάγραμμα 28. Severity High Code

Οι περισσότεροι τραυματίες και εδώ βρίσκονται στη κατηγορία C1L High Code. Εδώ βέβαια υπάρχει η διαφορά πως τα νούμερα είναι αρκετά χαμηλότερα σε σχέση με των Pre Code. Οι ανθρώπινες απώλειες είναι σχεδόν μηδενικές μπροστά σε αυτές των Pre Code.

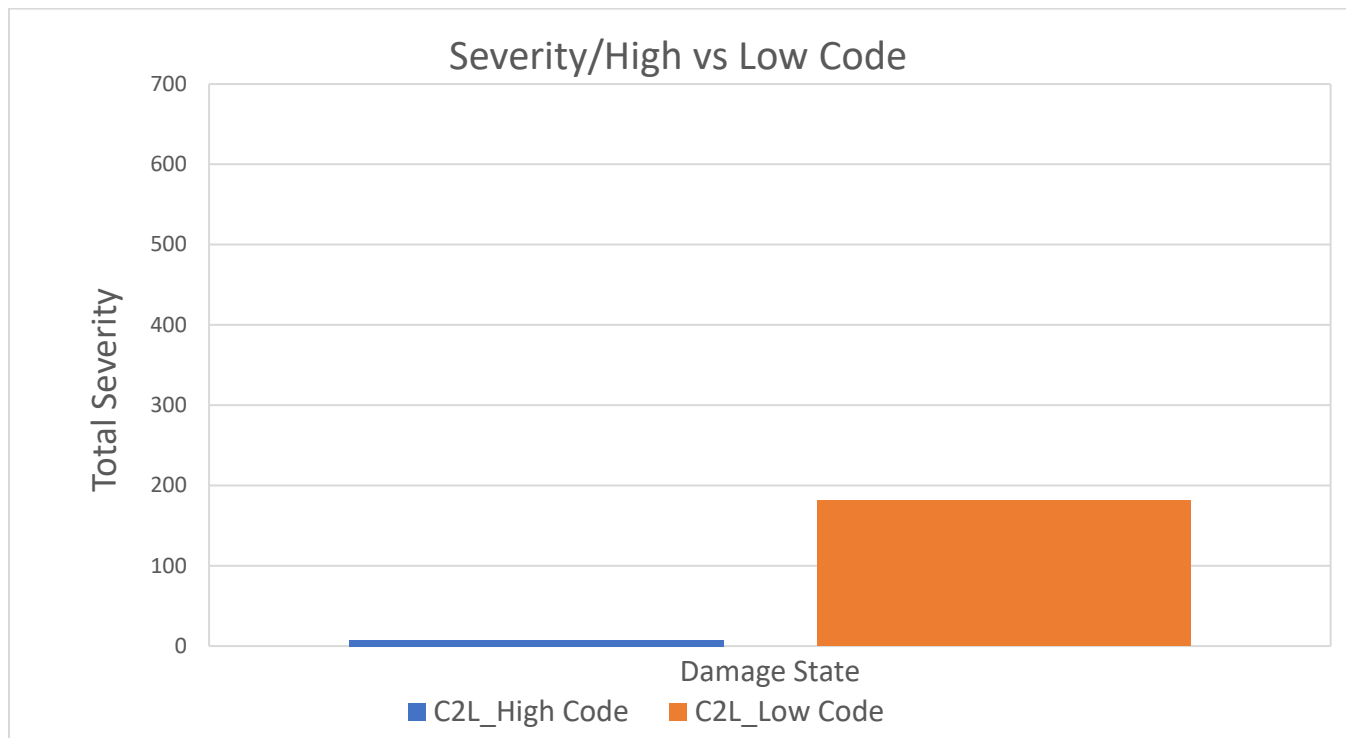
Στη συνέχεια, η δεύτερη κατηγορία διαγραμμάτων είναι αυτή όπου συγκρίνεται η κατηγορία Low Code με τη κατηγορία High Code μεταξύ τους με βάση το υλικό κατασκευής και τον αριθμό των ορόφων τους.



Διάγραμμα 29. Severity High Code vs Low Code

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα, συγκρίνονται τα κτίρια με 1 ως 3 ορόφους και υλικό κατασκευής το οπλισμένο σκυρόδεμα με σκελετό αποτελούμενο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε αυτή στη περίπτωση, οι περισσότερες απώλειες με μεγάλη διαφορά σε σχέση με το High Code εμφανίζονται για τη κατηγορία Low Code.

Στο παρακάτω διάγραμμα, συγκρίνονται τα κτίρια με 1 ως 3 ορόφους και υλικό κατασκευής το οπλισμένο σκυρόδεμα με σκελετό αποτελούμενο από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχεία. Σε αυτή στη περίπτωση, οι περισσότερες απώλειες εμφανίζονται για τη κατηγορία Low Code.

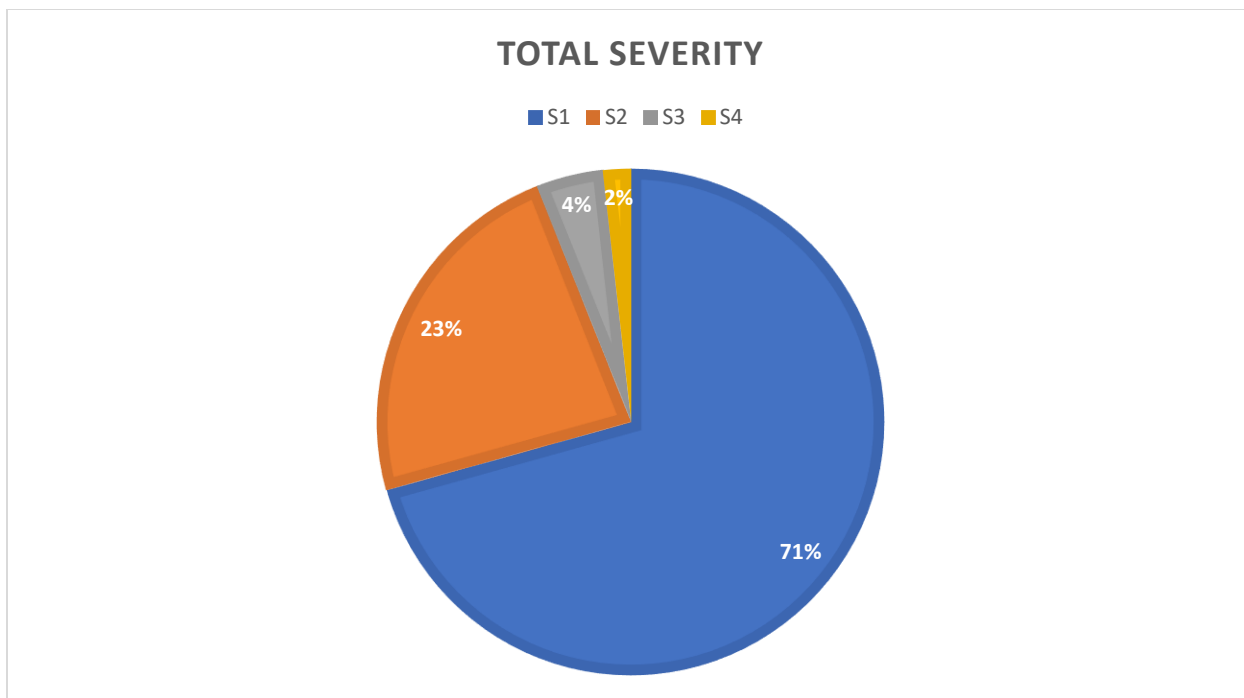


Διάγραμμα 30. Severity C2L High Code vs Low Code

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, συγκρίνονται τα κτίρια με 1 έως 3 ορόφους, κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου ο σκελετός αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχεία. Παρατηρείται ότι οι περισσότερες απώλειες εμφανίζονται στην κατηγορία Low Code, δηλαδή στα κτίρια που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1980 και 2000.

Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τις τέσσερις περιπτώσεις που αναλύθηκαν είναι ότι σε όλες τις κατηγορίες τα κτίρια με τις περισσότερες απώλειες είναι αυτά της κατηγορίας Low Code. Τα κτίρια αυτής της κατηγορίας, που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1980 και 2000, φαίνεται να είναι πιο ευάλωτα σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες, λόγω των λιγότερο αυστηρών κανονισμών που εφαρμόστηκαν κατά την κατασκευή τους.

Συνολικά, δημιουργήθηκε ένα τελικό διάγραμμα στο οποίο ενσωματώθηκαν όλα τα συνολικά δεδομένα για κάθε κατηγορία βλάβης (S1, S2, S3, S4), παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των ζημιών και των απωλειών σε κάθε τύπο κτιρίου.



Διάγραμμα 31. Συνολικό διάγραμμα Severity

Είναι εμφανές, λοιπόν, ότι οι περισσότερες ανθρώπινες απώλειες παρατηρούνται στην κατηγορία βλάβης S1, που αντιπροσωπεύει τις ελαφρύτερες ζημιές. Αντίθετα, οι λιγότερες απώλειες καταγράφονται στην κατηγορία S4, η οποία αντιπροσωπεύει τις πιο σοβαρές ζημιές ή την πλήρη κατάρρευση. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι οι πιο σοβαρές βλάβες συνήθως επηρεάζουν λιγότερα κτίρια ή μικρότερα τμήματα πληθυσμού, ενώ οι ελαφρύτερες βλάβες ενδέχεται να επηρεάζουν μεγαλύτερο αριθμό ατόμων που βρίσκονται σε κτίρια με χαμηλότερη αντισεισμική προστασία.

6. Συμπεράσματα

Τα κτίρια της κατηγορίας Pre Code, που χτίστηκαν πριν από το 1980, καθώς και τα Low Code, που χτίστηκαν μεταξύ 1980 και 2000, δεν πληρούν τα αυστηρά πρότυπα αντισεισμικής θωράκισης που υιοθετήθηκαν σε μεταγενέστερους κανονισμούς. Αυτά τα κτίρια έχουν σχεδιαστεί με βάση παλαιότερους κώδικες κατασκευής που δεν έλαβαν υπόψη τις σύγχρονες απαιτήσεις για ανθεκτικότητα σε σεισμικές δονήσεις, με αποτέλεσμα να είναι πιο επιρρεπή σε σοβαρές ζημιές, όπως αυτές κατηγοριοποιούνται από τις καμπύλες τρωτότητας. Αντιθέτως, τα κτίρια High Code, κατασκευασμένα μετά το 2000, έχουν σχεδιαστεί με βελτιωμένες προδιαγραφές αντισεισμικής προστασίας, που μειώνουν σημαντικά τις πιθανότητες σοβαρών ζημιών κατά τη διάρκεια σεισμού. Ενώ τα κτίρια High Code είναι πιο ακριβά στη κατασκευή

τους, έχουν πιο μικρό κόστος αποκατάστασης σε περίπτωση σεισμού σε αντίθεση με τις άλλες κατηγορίες.

Το λογισμικό EVA_SE_LO είναι ένα αρκετά εύχρηστο και εύκολο στη κατανόηση λογισμικό το οποίο επικεντρώνεται κυρίως στην εκτίμηση των κτιριακών απωλειών. Μέσω απλών εντολών, επιτρέπει την εκτίμηση των απωλειών που προκαλούνται από σεισμούς, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως το είδος του κτιρίου, τα χαρακτηριστικά του σεισμού και τη σοβαρότητα των ζημιών. Το λογισμικό αυτό διευκολύνει τις προβλέψεις και τις αναλύσεις που σχετίζονται με την καταγραφή και την εκτίμηση των σεισμικών ζημιών.

Η χαρτογράφηση των δεδομένων σε σχέση με τις σεισμικές απώλειες είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο, καθώς διευκολύνει την οπτικοποίηση και την κατανόηση της έκτασης και της σοβαρότητας των ζημιών. Οι χάρτες που δημιουργούνται από συστήματα GIS ή άλλα εργαλεία επιτρέπουν την απεικόνιση των σεισμικών επιπτώσεων ανά γεωγραφική περιοχή, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους μελετητές, να αναγνωρίσουν τις περιοχές με το μεγαλύτερο κίνδυνο και τις μεγαλύτερες απώλειες. Η χρήση χαρτών καθιστά πιο άμεση και κατανοητή την παρουσίαση των δεδομένων, βοηθώντας στη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση των συνεπειών του σεισμού.

7. Βιβλιογραφία

- ❖ Σαπουντζάκη, Κ., Δανδουλάκη, Μ., 2015. Κίνδυνοι και Καταστροφές Έννοιες και Εργαλεία Αξιολόγησης, Προστασίας, Διαχείρισης. (e-book) Κάλλιπος ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις. Διαθέσιμο από: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6297> [Ημερομηνία πρόσβασης: 28/5/2024]
- ❖ Παπαθανασίου, Γ., 2022. Τεχνική Γεωλογία και Γεωλογικοί Κίνδυνοι. (e-book) Κάλλιπος ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις. Διαθέσιμο από: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/8584> [Ημερομηνία πρόσβασης: 29/4/2024]
- ❖ Καρκάνη, Α., Ευελπίδου, Ν., 2023. Εφαρμοσμένη και Αστική Γεωμορφολογία. (e-book) Κάλλιπος ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις. Διαθέσιμο από: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/10830> [Ημερομηνία πρόσβασης: 9/5/2024]
- ❖ Κοκκίνου, Ε., 2015. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ. (e-book) Κάλλιπος ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις. Διαθέσιμο από: <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/325> [Ημερομηνία πρόσβασης: 27/5/2024]
- ❖ Γ.Α. Παπαδόπουλος, Μ. Σαχπάζη, Β. Καραστάθης, Α. Γκανάς, Ι. Μπασκούτας, Γ. Χουλιάρης, Α. Μόσχου, Α. Μουζακιώτης, Ε. Δασκαλάκη, Σ. Λιακόπουλος, Α. Παπαγεωργίου, Ι. Τριανταφύλλου, 2014. ΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ-ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2014 ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ: ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΘΕΣΗ. [online] Διαθέσιμο από: https://www.gein.noa.gr/Documents/pdf/Kefalonia2014_ekthesi_G_I.pdf [Ημερομηνία πρόσβασης: 12/6/2024]
- ❖ Περιφέρεια Αττικής, 2019. Σεισμός: Πληροφορίες για το φαινόμενο και σύντομες οδηγίες αυτοπροστασίας. [online] Διαθέσιμο από: https://www.patt.gov.gr/koinonia/politiki_prostasia/pp_enimer_prostat/seismos-odigies-aftoprostasias-2/ [Ημερομηνία πρόσβασης: 10/6/2024]
- ❖ Seismos.gr, 2024. Κλίμακα Mercalli. [online] Διαθέσιμο από: <https://www.seismos.gr/klimaka-mercalli> [Ημερομηνία πρόσβασης: 20/5/2024]
- ❖ Seismos.gr, 2024. Κλίμακα Ρίχτερ. [online] Διαθέσιμο από: <https://www.seismos.gr/klimaka-richter> [Ημερομηνία πρόσβασης: 10/6/2024]
- ❖ Έθνος, 2021. Σεισμός: Αυτά είναι τα σημαντικότερα ρήγματα στην Ελλάδα. [online] Διαθέσιμο από: <https://www.ethnos.gr/greece/article/176276/seismosaytaeinaitashmantikoterarhgmatasthnellada> [Ημερομηνία πρόσβασης: 22/6/2024]
- ❖ eKefalonia, 2024. Σεισμός 1953: Η ημέρα όπου «ισοπεδώθηκε» η Κεφαλονιά. [online] Διαθέσιμο από: <https://ekefalonia.gr/seismos-1953-i-imeras-opou-isopedothike-i-kefalonia/> [Ημερομηνία πρόσβασης: 15/6/2024]
- ❖ ΟΑΣΠ, 2020. Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων. [online] Διαθέσιμο από: <https://oasp.gr/proseismikos-eleghos/proseismikos-eleghos-ktirion> [Ημερομηνία πρόσβασης: 25/6/2024]
- ❖ Sripathi Siva Bhanu Sai Kumar, Venkata Rama Rao Garikipati, Markandeya Raju, 2016. 'Seismic fragility analysis of regular and setback RCC frames - A few hypothetical case

studies', Asian Journal of Civil Engineering, No 5, pp. 551-569. Διαθέσιμο από: https://www.researchgate.net/publication/288825143_Seismic_fragility_analysis_of_regular_and_setback_RCC_frames_-_A_few_hypothetical_case_studies [Ημερομηνία πρόσβασης: 29/7/2024]

- ❖ Earthquake Engineering Research Institute, 2024. NEHRP Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (FEMA 178). [online] Διαθέσιμο από: <https://mitigation.eeri.org/resource-library/building-professionals/nehrrp-handbook-for-seismic-evaluation-of-existing-buildings-fema-178> [Ημερομηνία πρόσβασης: 25/7/2024]
- ❖ United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction [online] Διαθέσιμο από: <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/> [Ημερομηνία πρόσβασης: 5/8/2024]
- ❖ Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2021. Δημογραφικά χαρακτηριστικά / 2021 [online] Διαθέσιμο από: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/-> [Ημερομηνία πρόσβασης: 25/8/2024]

Παράρτημα

Στο παράρτημα παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες για τους υπολογισμούς των κτιριακών απωλειών, των οικονομικών απωλειών και των ανθρώπινων απωλειών

ID	Acceleration, PGA(g)	C1L_Pre code								No DAMAGE	Total damage building/Type/OT
		P %_D51	P %_D52	P %_D53	P %_D54	N_D51	N_D52	N_D53	N_D54		
O.T.1	0.351674025	0.975286957	0.953523309	0.789769162	0.485417326	0.130581893	0.982524877	1.826111017	2.912503957	0.148278255	5.851721745
O.T.2	0.350177095	0.974898634	0.952871295	0.787841875	0.482760454	0.132164032	0.990176522	1.830488527	2.896562722	0.150608197	5.849391803
O.T.3	0.34768729	0.974237624	0.951764246	0.784594956	0.478317857	0.112366893	0.835846449	1.531385495	2.391589285	0.128811879	4.871188121
O.T.4	0.35135239	0.975204088	0.953384063	0.789356621	0.484847359	0.021820025	0.164027442	0.304509262	0.484847359	0.024795912	0.975204088
O.T.5	0.350212617	0.974907927	0.952886884	0.787887824	0.482823624	0.110105213	0.8249953	1.525321	2.414118122	0.125460365	4.874539635
O.T.6	0.347546877	0.974199774	0.951700961	0.784410296	0.478066445	0.06749644	0.501871995	0.919031552	1.434199336	0.077400678	2.922599322
O.T.7	0.346409392	0.973890859	0.951184883	0.782908213	0.476026334	0	0	0	0	0	0
O.T.8	0.345990909	0.973776176	0.950993482	0.782352829	0.475274241	0.159478856	1.180484571	2.149550116	3.326919688	0.183566769	6.816433231
O.T.9	0.345956072	0.973766604	0.950977511	0.782306529	0.475211596	0.091156369	0.674683931	1.228379732	1.900846382	0.104933585	3.895066415
O.T.10	0.343945124	0.973207415	0.950045759	0.779616244	0.471585772	0.069484967	0.511288545	0.924091417	1.414757315	0.080377756	2.919622244
O.T.11	0.351405963	0.975217913	0.953407288	0.789425395	0.48494233	0.130863745	0.98389136	1.826898392	2.909653978	0.148692525	5.851307475
O.T.12	0.350212617	0.974907927	0.952886884	0.787887824	0.482823624	0.066063128	0.49499718	0.9151926	1.484847083	0.075276219	2.924723781
O.T.13	0.349308606	0.974670228	0.952488367	0.78671518	0.481214122	0.110909308	0.828865936	1.527505286	2.406070612	0.126648858	4.873351142
O.T.14	0.348408337	0.974431022	0.952087783	0.785540606	0.479607443	0.134059437	0.999283059	1.835598979	2.877644658	0.153413866	5.846586134
O.T.15	0.347406556	0.974161887	0.951637625	0.784225589	0.477815104	0.045048524	0.334824072	0.612820971	0.955630207	0.051676227	1.948323773
O.T.16	0.346374488	0.973881315	0.951168951	0.782861947	0.475963635	0.181698917	1.346456031	2.455186494	3.807709081	0.208949477	7.791050523
O.T.17	0.351674025	0.975286957	0.953523309	0.789769162	0.485417326	0.152345542	1.146279023	2.130462854	3.397921284	0.172991298	6.827008702
O.T.18	0.350443653	0.974968276	0.952988137	0.788186423	0.483234339	0.175841114	1.318413711	2.439616673	3.865874712	0.200253791	7.799746209
O.T.19	0.34916714	0.974632806	0.952425667	0.78653106	0.480961907	0.088828555	0.663578428	1.22227661	1.923847629	0.101468778	3.898531222
O.T.20	0.348267456	0.974393363	0.952024759	0.785356186	0.479355672	0.15658023	1.16668001	2.142003595	3.355489705	0.1792464	6.82075354
O.T.21	0.347301374	0.974133447	0.951590089	0.784087029	0.477626644	0.180346857	1.340024488	2.45168308	3.821013148	0.206932427	7.793067573
O.T.22	0.347248802	0.974119219	0.951566311	0.784017738	0.477532428	0.135317446	1.005291436	1.838911861	2.86519457	0.155284688	5.844715312
O.T.23	0.350621539	0.975014632	0.953065932	0.788416028	0.483550397	0.0438974	0.329299808	0.609731262	0.967100795	0.049970736	1.950029264
O.T.24	0.349343987	0.974679578	0.952504034	0.786761202	0.481277187	0.15522881	1.160199822	2.138388105	3.368940309	0.177242953	6.822757047
O.T.25	0.347546877	0.974199774	0.951700961	0.784410296	0.478066445	0.112494067	0.836453325	1.531719253	2.390332226	0.12900113	4.87099887
O.T.26	0.346252366	0.973847893	0.951113162	0.782699993	0.475744224	0.136408386	1.010479015	1.841734609	2.854465346	0.156912645	5.843087355
O.T.27	0.346671358	0.973962366	0.951304276	0.783255118	0.476496715	0.090632359	0.672196633	1.227033611	1.905986862	0.104150536	3.895849464
O.T.28	0.346217486	0.973883338	0.951097215	0.782653713	0.475681546	0.113705616	0.842217507	1.534860839	2.378407728	0.13080831	4.86919169
O.T.29	0.345677578	0.973689942	0.950849631	0.781936021	0.474710591	0.091361247	0.675654438	1.228901722	1.898842363	0.105240231	3.894759769
O.T.30	0.344809604	0.973449411	0.95044869	0.780777013	0.473146785	0.115003604	0.848358382	1.538151142	2.365733926	0.132752946	4.867247054
O.T.31	0.343841621	0.973178277	0.949997274	0.779476834	0.471398638	0.115905015	0.852602197	1.540390979	2.356993192	0.134108616	4.865891384
O.T.32	0.345225794	0.973565048	0.95064139	0.78133558	0.473897064	0.160465611	1.185154821	2.152055457	3.31727945	0.185044661	6.814955339
O.T.33	0.342912335	0.972915083	0.949559615	0.778221021	0.469716261	0.140132809	1.028031564	1.851028554	2.818297569	0.162509504	5.837490496
O.T.34	0.341355415	0.972467669	0.948816822	0.776100208	0.466888607	0.094603385	0.690866457	1.236846405	1.867554428	0.110129325	3.889870675
O.T.35	0.342363549	0.972758307	0.949299165	0.777475885	0.468720851	0.070377425	0.515469839	0.926265104	1.406162552	0.08172508	2.91827492
O.T.36	0.341372462	0.972472612	0.948825021	0.776123544	0.466919629	0.094590364	0.690805906	1.236815662	1.867678516	0.110109552	3.889890448
O.T.37	0.341491832	0.972507198	0.948882387	0.776286879	0.467136815	0.094499241	0.690382033	1.236600258	1.868547259	0.109971209	3.890028791
O.T.38	0.340980721	0.97235877	0.948636256	0.77558664	0.466206412	0.118612568	0.86524808	1.54690114	2.33103206	0.138206152	4.861793848
O.T.39	0.340419916	0.972194885	0.948364683	0.774815678	0.465184157	0.095320807	0.694196021	1.238526084	1.860736627	0.111220461	3.888779539
O.T.40	0.340131595	0.972110208	0.948224443	0.774418231	0.464658027	0.143314588	1.042837272	1.858561223	2.787948164	0.167338753	5.832661247
O.T.41	0.339979113	0.97206531	0.948150105	0.77420774	0.464379622	0.119576022	0.869711825	1.549140589	2.321898112	0.139673452	4.860326548
O.T.42	0.339370281	0.971885237	0.947852108	0.77336524	0.463266934	0.168231903	1.221408076	2.170688137	3.242868541	0.196803343	6.803196657
O.T.43	0.339606841	0.971955356	0.947968118	0.773692981	0.463699469	0.11993619	0.871375688	1.549967558	2.318497346	0.140223218	4.85976782

Πίνακας 10. Κτιριακές απώλειες για C1L Pre Code

C1L_Low code									
P %_DS1	P %_DS2	P %_DS3	P %_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	Total damage building/type/OT
0.953523309	0.908464447	0.660175355	0.350035996	0	0	0	0	0	0
0.952871295	0.907363554	0.657730329	0.34757034	0.136523225	0.748899675	0.930479964	1.042711021	0.141386114	2.858613886
0.951764246	0.905500155	0.653625559	0.343460262	0	0	0	0	0	0
0.953384063	0.908229122	0.659651451	0.349506568	0.135464822	0.745733013	0.930434651	1.048519703	0.139847811	2.860152189
0.952886884	0.907389845	0.657788547	0.347628898	0.227485195	1.24800649	1.550798245	1.738144491	0.235565578	4.764434422
0.951700961	0.905393851	0.65339265	0.343228145	0.092614219	0.504002404	0.62032901	0.68645629	0.096598079	1.903401921
0.951184883	0.904527832	0.651500232	0.341346493	0	0	0	0	0	0
0.950993482	0.904207037	0.650801487	0.340653664	0.093572891	0.506811099	0.620295647	0.681307327	0.098013036	1.901986964
0.950977511	0.904180279	0.650743259	0.340595975	0.093594665	0.506874041	0.620294567	0.68119195	0.098044977	1.901955023
0.950045759	0.902621713	0.647366046	0.337262439	0.23712023	1.276278337	1.550518032	1.686312197	0.249771205	4.750228795
0.953407288	0.908268365	0.65973877	0.349594765	0.315972462	1.739707167	2.171008034	2.447163355	0.326148981	6.673851019
0.952886884	0.907389845	0.657788547	0.347628898	0.227485195	1.24800649	1.550798245	1.738144491	0.235565578	4.764434422
0.952488367	0.906718184	0.656303918	0.346137935	0.183080732	1.001657064	1.24066393	1.384551741	0.190046533	3.809953467
0.952087783	0.906043989	0.654819201	0.34465168	0.092087588	0.502449575	0.620335043	0.68930336	0.095824434	1.904175566
0.951637625	0.905287485	0.653159739	0.342996144	0.139050419	0.756383238	0.930490786	1.028988431	0.145087126	2.854912874
0.951168951	0.90450112	0.651442004	0.341288717	0.093335662	0.506118233	0.620306573	0.682577434	0.097662099	1.902337901
0.953523309	0.908464447	0.660175355	0.350035996	0.225294307	1.241445462	1.550696792	1.750179982	0.232383457	4.767616543
0.952988137	0.907560647	0.658166965	0.3480097	0.272564937	1.496362092	1.860943591	2.088058202	0.282071178	5.717928822
0.952425667	0.906612595	0.656071026	0.345904486	0.366504574	2.00433255	2.481332323	2.767235887	0.380594666	7.619405334
0.952024759	0.905938003	0.654586298	0.344418969	0.230433777	1.256758524	1.550836646	1.722094845	0.239876207	4.760123793
0.951590089	0.90520767	0.652985056	0.342822219	0.278294518	1.513335685	1.860977019	2.056933315	0.290459463	5.709540537
0.951566311	0.905167749	0.652897714	0.342735281	0.23199281	1.261350176	1.550812163	1.713676406	0.242168444	4.757831556
0.953065932	0.907691921	0.658458051	0.348302833	0.272244066	1.495403221	1.86093131	2.089816997	0.281604406	5.718395594
0.952504034	0.906744571	0.65636214	0.346196316	0.228797314	1.251912154	1.550829123	1.730981579	0.237479831	4.762520169
0.951700961	0.905393851	0.65339265	0.343228145	0.138921328	0.756003605	0.930493514	1.029684434	0.144897118	2.855102882
0.951113162	0.904407599	0.651238203	0.341086559	0.233527814	1.265846979	1.550758218	1.705432797	0.244434192	4.755565808
0.951304276	0.904728045	0.651936947	0.341780041	0.326033617	1.769537689	2.171098345	2.392460285	0.340870065	6.659129935
0.951097215	0.90438087	0.651179974	0.341028816	0.373730759	2.025607165	2.481209262	2.728230532	0.391222282	7.608777718
0.950849631	0.903966076	0.650277429	0.340134727	0.18753422	1.014754588	1.240570807	1.360538908	0.196601478	3.803398522
0.95044869	0.903295098	0.648821721	0.338696317	0.282921548	1.526840266	1.860752421	2.032177904	0.297307861	5.702692139
0.949997274	0.902540745	0.647191368	0.337090679	0.332195698	1.787445641	2.170704825	2.359634751	0.350019084	6.649890916
0.95064139	0.903617468	0.649520458	0.339386188	0.235119607	1.270485052	1.550671347	1.696930942	0.246793052	4.753206948
0.949559615	0.90181048	0.64561931	0.335547769	0.143247404	0.768573508	0.930214624	1.006643307	0.151321156	2.848678844
0.948816822	0.900573527	0.642970332	0.332959645	0.241216476	1.288015976	1.550053437	1.664798224	0.255915888	4.744084112
0.949299165	0.901376411	0.644687764	0.334635948	0.287536527	1.54013188	1.860310898	2.007815685	0.30420501	5.69579499
0.948825021	0.900587163	0.64299944	0.332988004	0.241189288	1.287938617	1.550057179	1.664940021	0.255874895	4.744125105
0.948882387	0.900682588	0.643203195	0.33318657	0.289198798	1.544876356	1.86009975	1.999119421	0.306705676	5.693294324
0.948636256	0.900273296	0.642329975	0.332336199	0.290177758	1.547659925	1.859962661	1.994017192	0.308182464	5.691817536
0.948364683	0.899822085	0.641369489	0.331402675	0.242712991	1.29226298	1.549834066	1.657013377	0.258176585	4.741823415
0.948224443	0.899589238	0.640874717	0.33092254	0.194540821	1.034858084	1.239808706	1.323690161	0.207102228	3.792897772
0.948150105	0.899465855	0.640612786	0.330668563	0.389474004	2.070824548	2.479553781	2.645348507	0.414799159	7.585200841
0.947852108	0.898971552	0.639565115	0.329654125	0.244402778	1.297032186	1.549554951	1.648270623	0.260739461	4.739260539
0.947968118	0.899163927	0.639972532	0.330048349	0.195216765	1.036765579	1.239696732	1.320193397	0.208127527	3.791872473

Πίνακας 11. Κτιριακές απώλειες για C1L Low Code

C1L_High code									
P %_DS1	P %_DS2	P %_DS3	P %_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	Total damage building/type/OT
0.789769162	0.50297429	0.141056011	0.016802348	0	0	0	0	0	0
0.787841875	0.500315325	0.139570269	0.016526108	0.28752655	0.360745056	0.123044162	0.016526108	0.212158125	0.787841875
0.784594956	0.495867486	0.137108815	0.016072708	0	0	0	0	0	0
0.789356621	0.50240394	0.140736414	0.016742763	0.286952681	0.361667526	0.123993651	0.016742763	0.210643379	0.789356621
0.787887824	0.500378555	0.139605476	0.016532631	0.575018539	0.721546158	0.246145689	0.033065262	0.424224351	1.575775649
0.784410296	0.495615712	0.136970369	0.016047363	0	0	0	0	0	0
0.782908213	0.493572405	0.135850285	0.015842936	0	0	0	0	0	0
0.782352829	0.492819018	0.135438864	0.015768123	0.289533811	0.357380154	0.119670741	0.015768123	0.217647171	0.782352829
0.782306529	0.492756262	0.135404631	0.015761905	0.8686508	1.072054893	0.35892818	0.047285714	0.653080414	2.346919586
0.779616244	0.489123294	0.133432796	0.015405463	0.580985901	0.711380996	0.236054666	0.030810925	0.440767512	1.559232488
0.789425395	0.502498977	0.140789634	0.016752679	0.286926418	0.361709343	0.124036955	0.016752679	0.210574605	0.789425395
0.787887824	0.500378555	0.139605476	0.016532631	0.862527809	1.082319237	0.369218533	0.049597893	0.63636527	2.363663473
0.78671518	0.498767417	0.138710276	0.016367094	0.575895525	0.720114282	0.244686363	0.032734188	0.426569641	1.573430359
0.785540606	0.497158819	0.137820385	0.016203234	0.576763575	0.718676868	0.243234302	0.032406468	0.428918788	1.571081212
0.784225589	0.495364002	0.136832052	0.01602206	1.733169523	2.151191698	0.724859956	0.096132358	1.294646466	4.705353534
0.782861947	0.493509601	0.135815955	0.015836688	0	0	0	0	0	0
0.789769162	0.50297429	0.141056011	0.016802348	0.573589745	0.723836559	0.248507326	0.033604695	0.420461675	1.579538325
0.788186423	0.500789641	0.139834516	0.016575097	0.862190347	1.082865375	0.369778256	0.049725291	0.635440731	2.364559269
0.78653106	0.498514919	0.138570335	0.01634128	1.440080703	1.799722924	0.611145273	0.0817064	1.067344701	3.932655299
0.785356186	0.496906721	0.137681274	0.016177681	0.865348393	1.077676342	0.364510779	0.048533044	0.643931443	2.356068557
0.784087029	0.495175261	0.1367284	0.016003108	0.577823536	0.716899722	0.241450583	0.032006217	0.431825943	1.568174057
0.784017738	0.495080904	0.136676601	0.015993641	0	0	0	0	0	0
0.788416028	0.501105972	0.140010937	0.016607838	0.861930167	1.083285106	0.370209296	0.049823515	0.634751916	2.365248084
0.786761202	0.498830551	0.138745281	0.016373554	1.151722604	1.440341078	0.48948691	0.065494216	0.852955192	3.147044808
0.784410296	0.495615712	0.136970369	0.016047363	0.577589167	0.717290687	0.241846011	0.032094727	0.431179408	1.568820592
0.782699993	0.493289818	0.135695866	0.015814839	0.868230524	1.072781854	0.359643083	0.047444516	0.651900022	2.348099978
0.783255118	0.494043565	0.13610801	0.015889876	0.867634661	1.073806664	0.360654402	0.047669628	0.650234645	2.349765355
0.782653713	0.493227031	0.135661573	0.015808602	1.44713341	1.787827291	0.599264857	0.07904301	1.086731433	3.913268567
0.781936021	0.492254357	0.135131057	0.015712248	1.448408323	1.785616499	0.597094044	0.07856124	1.090319894	3.909680106
0.780777013	0.490687562	0.134279436	0.01555809	1.740536711	2.138448754	0.712328078	0.093348538	1.315337919	4.684662081
0.779476834	0.488935752	0.133331532	0.01538725	0.871623246	1.066812659	0.353832848	0.046161749	0.661569497	2.338430503
0.781333558	0.491439309	0.134687591	0.015631894	1.159576997	1.427006872	0.476222789	0.062527574	0.874665767	3.125334233
0.778221021	0.48724953	0.132423368	0.015224311	0.58194298	0.709652325	0.234398115	0.030448621	0.443557959	1.556442041
0.776100208	0.484414707	0.130905934	0.014953672	1.458427508	1.767543863	0.579761309	0.074768361	1.119498959	3.880501041
0.777475885	0.486251697	0.131887911	0.01512858	0.582448376	0.708727571	0.233518663	0.03025716	0.44504823	1.55495177
0.776123544	0.484445812	0.130922521	0.01495662	0.583355465	0.707046582	0.231931803	0.029913239	0.447752911	1.552247089
0.776286879	0.484663579	0.131038684	0.014977268	0.5832466	0.707249791	0.232122832	0.029954536	0.447426242	1.552573758
0.77558664	0.483730649	0.130541516	0.014888978	0	0	0	0	0	0
0.774815678	0.482705506	0.12996659	0.014792468	0.584220344	0.705417695	0.230408381	0.029584936	0.450368645	1.549631355
0.774418231	0.482177845	0.129716801	0.014742998	0.876721158	1.057383132	0.344921408	0.044228995	0.676745307	2.323254693
0.77420774	0.481898617	0.129568868	0.014716877	1.169236492	1.409318997	0.459407966	0.058867506	0.903169039	3.096830961
0.77336524	0.480782555	0.128978706	0.014612857	0.877748055	1.055411546	0.343097546	0.043838572	0.679904281	2.320095719
0.773692981	0.481216418	0.129207915	0.01465322	0.292476563	0.352008502	0.114554695	0.01465322	0.226307019	0.773692981

Πίνακας 12. Κτιριακές απώλειες για C1L High Code

C2L_Pre code									
P %_DS1	P %_DS2	P %_DS3	P %_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	Total damage building/type/OT
0.965312934	0.908464447	0.72473888	0.390728075	0.568484868	1.837255668	3.340108057	3.907280747	0.346870659	9.653129341
0.964798602	0.907363554	0.722509466	0.388171843	0.631785531	2.033394958	3.677713853	4.269890277	0.38721538	10.61278462
0.963924261	0.905500155	0.718760529	0.383906689	0.584241053	1.867396259	3.348538402	3.839066893	0.360757394	9.639242606
0.965203131	0.908229122	0.724261407	0.390179352	0.284870044	0.919838577	1.670410275	1.950896761	0.173984344	4.826015656
0.964810905	0.907389845	0.722562583	0.388232574	0.68905271	2.217927149	4.011960114	4.658790883	0.422269145	11.57773085
0.963874239	0.905393851	0.71854758	0.383665661	0.409362711	1.3079239	2.344173429	2.68565963	0.25288033	6.74711967
0.963466158	0.904527832	0.716816422	0.381711167	0	0	0	0	0	0
0.963314739	0.904207037	0.716176807	0.380991245	0.531969318	1.692272067	3.01667006	3.428921205	0.33016735	8.66983265
0.963302102	0.904180279	0.716123496	0.380931294	0.354730941	1.128340698	2.011153212	2.285587763	0.220187385	5.779812615
0.962564415	0.902621713	0.713028853	0.37746529	0.419598911	1.327150023	2.348944942	2.642257027	0.262049097	6.737950903
0.965221447	0.908268365	0.724340996	0.39027077	0.569530819	1.839273694	3.340702262	3.902707696	0.347785528	9.652214472
0.964810905	0.907389845	0.722562583	0.388232574	0.287105296	0.924136312	1.671650047	1.941162868	0.175945477	4.824054523
0.964496317	0.906718184	0.72120758	0.386685975	0.635559469	2.040616641	3.679737658	4.253545721	0.39054051	10.60945949
0.964179925	0.906043989	0.719851491	0.385143588	0.523223429	1.67573248	3.012371125	3.466292293	0.322380673	8.677619327
0.963824172	0.905287485	0.718334605	0.383424738	0.351220121	1.1211717283	2.009459202	2.300548425	0.217054968	5.782945032
0.963453555	0.90450112	0.716763129	0.381651137	0.353714613	1.126427944	2.010671952	2.289906825	0.219278667	5.780721333
0.965312934	0.908464447	0.72473888	0.390728075	0.454787895	1.469804535	2.672086446	3.125824598	0.277496527	7.722503473
0.964890805	0.907560647	0.722907799	0.388627477	0.515971419	1.661875632	3.008522898	3.497647297	0.315982754	8.684017246
0.964446807	0.906612595	0.720994931	0.386443753	0.578342115	1.856176637	3.345511784	3.86443753	0.355531935	9.644468065
0.964130131	0.905938003	0.719638674	0.384902028	0.407344897	1.304095304	2.343156523	2.694314194	0.251089082	6.748910918
0.963786593	0.90520767	0.718174856	0.383244113	0.527210308	1.683295321	3.014376692	3.449197016	0.325920664	8.674079336
0.963767794	0.905167749	0.718094977	0.383153822	0.410200314	1.309509405	2.344588081	2.682076757	0.253625442	6.746374558
0.964952187	0.907691921	0.723173301	0.388931436	0.343561597	1.10711172	2.005451195	2.333588613	0.210286875	5.789713125
0.964508688	0.906744571	0.721260738	0.386746546	0.462112935	1.483870665	2.676113533	3.09397237	0.283930496	7.716069504
0.963874239	0.905393851	0.71854758	0.383665661	0.350882324	1.121077629	2.009291511	2.301993968	0.216754568	5.783245432
0.963409423	0.904407599	0.716576593	0.381441086	0.41301277	1.314817043	2.345948545	2.670087603	0.256134038	6.743865962
0.963560592	0.904728045	0.717216068	0.382161594	0.352995279	1.125071866	2.010326842	2.292969564	0.218636449	5.781363551
0.963396808	0.90438087	0.716523293	0.381381086	0.236063751	0.751430307	1.340568827	1.525524345	0.146412769	3.853587231
0.963200911	0.903966076	0.71569695	0.380451919	0.177704505	0.564807376	1.005735093	1.141355758	0.110397268	2.889602732
0.962883535	0.903295098	0.714363368	0.378956564	0.417119059	1.322522111	2.347847628	2.65269595	0.259815252	6.740184748
0.962526003	0.902540745	0.712868649	0.377286611	0.539867317	1.707048866	3.020238343	3.395579499	0.337265975	8.662734025
0.963036093	0.903617468	0.715003606	0.379673826	0.713023499	2.263366354	4.023957356	4.556085911	0.443566881	11.55643312
0.962179163	0.90181048	0.711426231	0.375681154	0.482949465	1.523073987	2.685960623	3.005449229	0.302566697	7.697433303
0.961590054	0.900573527	0.708993164	0.372986463	0.305082635	0.957901817	1.680033502	1.864932317	0.192049728	4.807950272
0.961972665	0.901376411	0.710570976	0.374732023	0.242385019	0.76322174	1.343355809	1.498928094	0.152109339	3.847890661
0.96159656	0.900587163	0.709019916	0.373016002	0.305046982	0.957836234	1.680019574	1.865080008	0.192017202	4.807982798
0.961642077	0.900682588	0.709207174	0.373222815	0.182878467	0.57442624	1.007953078	1.119668445	0.11507377	2.88492623
0.961446761	0.900273296	0.708404523	0.372337038	0.244693859	0.767475093	1.34426994	1.489348152	0.154212955	3.845787045
0.961231185	0.899822085	0.707521258	0.37136439	0.1228182	0.384601654	0.672313737	0.742728779	0.077537631	1.922462369
0.961119832	0.899589238	0.707066102	0.370864026	0.30765297	0.96261568	1.681010378	1.854320131	0.194400841	4.805599159
0.961060798	0.899465855	0.706825099	0.37059932	0.307974717	0.963203781	1.681128891	1.852996602	0.19469601	4.80530399
0.960824094	0.898971552	0.705860823	0.369541828	0.432967794	1.351775106	2.354232961	2.586792798	0.274231342	6.725768658
0.960916254	0.899163927	0.706235868	0.369952822	0.247009307	0.771712235	1.345132186	1.479811288	0.156334985	3.843665015

Πίνακας 13. Κτιριακές απώλειες για C2L Pre Code

C2L_Low code									Total damage building/type/OT
P %_DS1	P %_DS2	P %_DS3	P %_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	
0.924947371	0.831975437	0.598055019	0.270556279	0.557831604	1.403522506	1.964992442	1.623337671	0.450315776	5.549684224
0.923998849	0.830296057	0.595474638	0.268354725	0.562216754	1.408928514	1.962719475	1.610128352	0.456006906	5.543993094
0.922391815	0.827462844	0.59114898	0.264692262	0.6645028	1.654197045	2.285197031	1.852845833	0.543257292	6.456742708
0.924744674	0.831616108	0.597501874	0.270083279	0.279385698	0.702342701	0.982255786	0.810249836	0.225765978	2.774234022
0.92402151	0.830336116	0.595536047	0.268406972	0.74948315	1.878400556	2.617032594	2.147255779	0.607827921	7.392172079
0.922300079	0.827301564	0.590903775	0.264485699	0.474992572	1.181988944	1.63209038	1.322428497	0.388499607	4.611500393
0.9215525	0.825989073	0.588912398	0.262812291	0.095563427	0.237076675	0.326100107	0.262812291	0.0784475	0.9215525
0.921275474	0.825503523	0.588177537	0.262196626	0.670403658	1.661281898	2.281866381	1.83537638	0.551071683	6.448928317
0.921252364	0.825463037	0.588116309	0.262145374	0.86210394	2.136120554	2.93738417	2.359308366	0.708728723	8.291271277
0.919905625	0.823108946	0.584567848	0.259186891	0.483983395	1.192705487	1.626904788	1.295934454	0.400471876	4.599528124
0.924778478	0.831676017	0.597594057	0.270162065	0.651717229	1.638573715	2.292023945	1.891134455	0.526550655	6.473449345
0.92402151	0.830336116	0.595536047	0.268406972	0.936853937	2.348000694	3.271290743	2.684069724	0.759784902	9.240215098
0.923442487	0.829313479	0.593970568	0.267077272	0.282387025	0.706028734	0.980679889	0.801231815	0.229672538	2.770327462
0.922861028	0.828288514	0.592406037	0.265752977	0.472862571	1.179412383	1.633265301	1.328764885	0.38569486	4.61430514
0.922208282	0.827140228	0.590658595	0.264279269	0.380272217	0.945926532	1.305517301	1.057117078	0.311166873	3.688833127
0.921529435	0.825948629	0.588851151	0.26276094	0.764646443	1.89677983	2.608721685	2.10208752	0.627764522	7.372235478
0.924947371	0.831975437	0.598055019	0.270556279	0.278915802	0.701761253	0.982496221	0.811668836	0.225157888	2.774842112
0.924168714	0.830596414	0.595935239	0.268746781	0.467861498	1.173305875	1.635942288	1.343733907	0.379156432	4.620843568
0.923351439	0.829152854	0.593725088	0.266869182	0.565191511	1.412566595	1.961135437	1.601215091	0.459891365	5.540108635
0.922769598	0.828127525	0.592160708	0.265545734	1.041062804	2.595634982	3.592764712	2.921003078	0.849534423	10.15046558
0.922139395	0.827019188	0.590474725	0.264124534	0.475601035	1.182722314	1.631750956	1.32062267	0.389303025	4.610696975
0.922104939	0.826958656	0.590382796	0.264047194	0.570877695	1.419455165	1.958013609	1.584283165	0.467370366	5.532629634
0.92428184	0.83079654	0.596242351	0.269008412	0.4674265	1.172770944	1.636169692	1.345042062	0.378590802	4.621409188
0.92346524	0.829353627	0.594031942	0.267129315	0.564669681	1.41193011	1.96141576	1.602775889	0.459208559	5.540791441
0.922300079	0.827301564	0.590903775	0.264485699	0.284995543	0.709193366	0.979254228	0.793457098	0.233099764	2.766900236
0.921448678	0.82580705	0.588636798	0.262581277	0.573849765	1.423021513	1.956333128	1.575487662	0.471307932	5.528692068
0.921725368	0.826292285	0.589371801	0.263197686	0.381732332	0.947681938	1.304696458	1.052790745	0.313098528	3.686901472
0.921425596	0.825766591	0.588575558	0.262529963	0.765272038	1.897528265	2.608364761	2.100239706	0.62859523	7.37140477
0.921067352	0.82513903	0.587626542	0.261735658	0.671498255	1.662587415	2.281236191	1.832149603	0.552528536	6.447471464
0.920487652	0.82412507	0.586096684	0.260458698	0.481812908	1.190141932	1.628189927	1.302293492	0.397561741	4.602438259
0.919835625	0.822986866	0.584384458	0.25903462	0.677941315	1.670216858	2.277448868	1.813242337	0.561150623	6.438849377
0.920766198	0.824612042	0.586830889	0.261070995	0.480770783	1.188905762	1.62879947	1.305354977	0.396169008	4.603830992
0.919204126	0.821886759	0.582734626	0.257667509	0.583904199	1.434912801	1.950402702	1.546005051	0.484775246	5.515224754
0.918133812	0.820027255	0.579957188	0.255377209	0.784852458	1.920560536	2.596639836	2.043017669	0.654929501	7.345070499
0.918828627	0.821233669	0.581757534	0.256860194	0.683164706	1.676332942	2.274281383	1.798021356	0.568199614	6.431800386
0.918145616	0.820047727	0.57998769	0.255402285	0.392391554	0.96024015	1.298341621	1.021609138	0.327417537	3.672582463
0.918228213	0.820191009	0.580201213	0.255577874	0.490186021	1.199948979	1.623116698	1.277889368	0.408858933	4.591141067
0.917873904	0.819576654	0.579286266	0.254826055	0.491486252	1.201451941	1.622301055	1.274130273	0.410630479	4.589369521
0.917483203	0.81889999	0.578280287	0.254001178	0.29574964	0.721859107	0.972837327	0.762003535	0.247550391	2.752449609
0.91728154	0.818551049	0.577762248	0.25357711	0.394921962	0.963155206	1.296740552	1.014308439	0.330873841	3.669126159
0.917174669	0.818366219	0.577488045	0.253352842	0.691659152	1.686147216	2.268946423	1.773469892	0.579777317	6.420222683
0.916746438	0.817626221	0.576391604	0.252457421	0.89208195	2.17111156	2.915407648	2.272116785	0.749282058	8.250717942
0.916913114	0.817914126	0.576817927	0.252805326	0.197997977	0.482192399	0.648025201	0.505610652	0.166173771	1.833826229

Πίνακας 14. Κτιριακές απώλειες για C2L Low Code

C2L_High code									
P %_DS1	P %_DS2	P %_DS3	P %_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	Total damage building/type/OT
0.72473888	0.350035996	0.071016025	0.01023377	0	0	0	0	0	0
0.722509466	0.34757034	0.070115566	0.010053907	1.87469563	1.387273871	0.300308295	0.050269536	1.387452668	3.612547332
0.718760529	0.343460262	0.068628964	0.009759199	0.750600536	0.549662595	0.117739531	0.019518398	0.562478941	1.437521059
0.724261407	0.349506568	0.070822129	0.010194954	1.124264519	0.836053316	0.181881523	0.030584863	0.827215779	2.172784221
0.722562583	0.347628898	0.070136876	0.010058152	2.249602109	1.664952132	0.360472346	0.060348912	1.664624502	4.335375498
0.71854758	0.343228145	0.068545543	0.009742744	1.50127774	1.098730406	0.235211196	0.038970977	1.125809681	2.874190319
0.716816422	0.341346493	0.067871393	0.009610092	0	0	0	0	0	0
0.716176807	0.340653664	0.06762411	0.009561579	1.877615717	1.365147767	0.290312656	0.047807896	1.419115964	3.580884036
0.716123496	0.340595975	0.067603543	0.009557548	1.502110083	1.091969728	0.232183981	0.038230191	1.135506016	2.864493984
0.713028853	0.337262439	0.066421005	0.009326662	0.751532827	0.54168287	0.114188685	0.018653324	0.573942295	1.426057705
0.724340996	0.349594765	0.070854409	0.010201413	1.873731154	1.39370178	0.303264979	0.051007066	1.378295021	3.621704979
0.722562583	0.347628898	0.070136876	0.010058152	1.874668424	1.38746011	0.300393621	0.05029076	1.387187085	3.612812915
0.72120758	0.346137935	0.069595431	0.009950477	1.125208934	0.829627512	0.178934863	0.029851431	0.83637726	2.16362274
0.719851491	0.34465168	0.06905805	0.009843975	2.251198866	1.65356178	0.355284446	0.059063853	1.680891055	4.319108945
0.718334605	0.342996144	0.068462221	0.009726318	2.252030765	1.647203539	0.352415418	0.058357906	1.689992372	4.310007628
0.716763129	0.341288717	0.067850753	0.00960604	1.877372062	1.367189822	0.291223564	0.048030199	1.416184353	3.583815647
0.72473888	0.350035996	0.071016025	0.01023377	2.622920188	1.953139803	0.42547578	0.071636392	1.926827837	5.073172163
0.722907799	0.3480097	0.070275545	0.010085788	1.499592397	1.110936622	0.240759028	0.040343151	1.108368802	2.891631198
0.720994931	0.345904486	0.069510868	0.009933693	1.500361782	1.105574471	0.238308699	0.039734774	1.116020275	2.883979725
0.719638674	0.344418969	0.068974121	0.009827375	1.876098525	1.377224238	0.295733732	0.049136875	1.40180663	3.59819337
0.718174856	0.342822219	0.068399793	0.009714016	2.252115824	1.646534554	0.352114663	0.058284097	1.690950862	4.309049138
0.718094977	0.342735281	0.068368601	0.009707871	3.378237261	2.469300126	0.527946562	0.087370843	2.537145208	6.462854792
0.723173301	0.348302833	0.070382394	0.010107099	1.124611405	0.833761316	0.180825886	0.030321297	0.830480096	2.169519904
0.721260738	0.346196316	0.069616588	0.009954677	1.875322111	1.38289864	0.298309553	0.049773386	1.39369631	3.60630369
0.71854758	0.343228145	0.068545543	0.009742744	0	0	0	0	0	0
0.716576593	0.341086559	0.067778559	0.00959187	1.1264701	0.819924001	0.174560066	0.028775611	0.850270222	2.149729778
0.717216068	0.341780041	0.068026391	0.00964054	2.628052189	1.916275546	0.408700959	0.067483779	1.979487526	5.020512474
0.716523293	0.341028816	0.067757946	0.009587826	1.126483429	0.819812611	0.17451036	0.028763478	0.850430121	2.149569879
0.71569695	0.340134727	0.067439224	0.009525358	1.502248893	1.090782012	0.231655462	0.038101433	1.137212199	2.862787801
0.714363368	0.338696317	0.066928229	0.009425477	2.254002306	1.630608531	0.345016512	0.056552861	1.71381979	4.28618021
0.712868649	0.337090679	0.06636039	0.009314876	1.878889852	1.353651445	0.285227571	0.046574378	1.435656754	3.564343246
0.715003606	0.339386188	0.067173034	0.009473286	2.253704502	1.633278925	0.346198489	0.056839716	1.709978367	4.290021633
0.711426231	0.335547769	0.065817277	0.009209477	1.127635387	0.809191478	0.169823398	0.027628432	0.865721306	2.134278694
0.708993164	0.332959645	0.064911816	0.009034604	1.128100557	0.804143486	0.167631637	0.027103811	0.873020508	2.126979492
0.710570976	0.334635948	0.065497478	0.009147593	1.503740112	1.076553877	0.22539954	0.036590373	1.157716098	2.842283902
0.709019916	0.332988004	0.0649217	0.009036507	0.376031912	0.268066304	0.055885193	0.009036507	0.290980084	0.709019916
0.709207174	0.33318657	0.064990928	0.00904984	0	0	0	0	0	0
0.708404523	0.332336199	0.064694743	0.008992837	0.752136649	0.535282911	0.111403812	0.017985674	0.583190954	1.416809046
0.707521258	0.331402675	0.06437046	0.008930556	0.376118582	0.267032215	0.055439905	0.008930556	0.292478742	0.707521258
0.707066102	0.33092254	0.064204025	0.008898643	1.128430684	0.800155546	0.165916145	0.02669593	0.878801695	2.121198305
0.706825099	0.330668563	0.064116082	0.008881796	1.128469605	0.799657443	0.16570286	0.026645387	0.879524704	2.120475296
0.705860823	0.329654125	0.063765485	0.008814729	1.504826792	1.063554558	0.219803022	0.035258918	1.176556709	2.823443291
0.706235868	0.330048349	0.063901606	0.008840749	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 15. Κτιριακές απώλειες για C2L High Code

C2M_High code									
P %_DS1	P %_DS2	P %_DS3	P %_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	Total damage building/type/OT
0.871977979	0.485417326	0.078491072	0.003721167	0	0	0	0	0	0
0.870577636	0.482760454	0.077518977	0.003647813	0	0	0	0	0	0
0.868211514	0.478317857	0.075913352	0.003528004	0	0	0	0	0	0
0.871678491	0.484847359	0.078281779	0.003705321	0	0	0	0	0	0
0.870611059	0.482823624	0.077541987	0.003649542	0	0	0	0	0	0
0.868076685	0.478066445	0.075823224	0.003521328	0	0	0	0	0	0
0.866978904	0.476026334	0.07509476	0.00346757	0	0	0	0	0	0
0.866572538	0.475274241	0.074827505	0.003447935	0	0	0	0	0	0
0.866538649	0.475211596	0.074805275	0.003446304	0	0	0	0	0	0
0.864566525	0.471585772	0.073526844	0.003353043	0	0	0	0	0	0
0.871728428	0.48494233	0.078316624	0.003707957	0	0	0	0	0	0
0.870611059	0.482823624	0.077541987	0.003649542	0	0	0	0	0	0
0.869757568	0.481214122	0.076957306	0.00360571	0	0	0	0	0	0
0.868901535	0.479607443	0.076376889	0.003562419	0	0	0	0	0	0
0.867941794	0.477815104	0.075733199	0.003514666	0	0	0	0	0	0
0.866945062	0.475963635	0.075072453	0.00346593	0	0	0	0	0	0
0.871977979	0.485417326	0.078491072	0.003721167	0	0	0	0	0	0
0.870828207	0.483234339	0.077691708	0.003660802	0	0	0	0	0	0
0.869623456	0.480961907	0.076865979	0.003598884	0	0	0	0	0	0
0.868767025	0.479355672	0.076286228	0.003555677	0	0	0	0	0	0
0.867840585	0.477626644	0.075665748	0.003509678	0	0	0	0	0	0
0.867789968	0.477532428	0.075632044	0.003507186	0	0	0	0	0	0
0.870995131	0.483550397	0.077807069	0.003669488	0	0	0	0	0	0
0.869791087	0.481277187	0.076980154	0.003607419	0.388513899	0.404297033	0.073372735	0.003607419	0.130208913	0.869791087
0.868076685	0.478066445	0.075823224	0.003521328	0	0	0	0	0	0
0.866826582	0.475744224	0.074994431	0.003460194	0	0	0	0	0	0
0.867232601	0.476496715	0.075262263	0.003479901	0	0	0	0	0	0
0.866792722	0.475681546	0.074972153	0.003458557	0	0	0	0	0	0
0.866267399	0.474710591	0.074627668	0.003433284	0	0	0	0	0	0
0.865418159	0.473146785	0.074075275	0.00339292	0	0	0	0	0	0
0.864464168	0.471398638	0.073461297	0.00334829	0	0	0	0	0	0
0.865826094	0.473897064	0.074339927	0.003412233	0.39192903	0.399557137	0.070927694	0.003412233	0.134173906	0.865826094
0.863541418	0.469716261	0.07287392	0.003305826	0	0	0	0	0	0
0.86198016	0.466888607	0.071894371	0.003235514	0	0	0	0	0	0
0.862993296	0.468720851	0.072527997	0.003280924	0.394272446	0.396192854	0.069247073	0.003280924	0.137006704	0.862993296
0.861997359	0.466919629	0.071905065	0.003236278	0	0	0	0	0	0
0.862117727	0.467136815	0.07197997	0.003241633	0	0	0	0	0	0
0.861601541	0.466206412	0.071659481	0.003218747	0	0	0	0	0	0
0.861032759	0.465184157	0.071308542	0.003193765	0	0	0	0	0	0
0.860739352	0.464658027	0.071128407	0.003180973	0	0	0	0	0	0
0.86058391	0.464379622	0.07103322	0.003174222	0.396204287	0.393346402	0.067858999	0.003174222	0.13941609	0.86058391
0.859961383	0.463266934	0.070653709	0.003147365	0	0	0	0	0	0
0.860203621	0.463699469	0.070801062	0.003157781	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 16. Κτιριακές απώλειες για C2M High Code

URML_Low code									
P_%_DS1	P_%_DS2	P_%_DS3	P_%_DS4	N_DS1	N_DS2	N_DS3	N_DS4	No DAMAGE	Total damage building/type/OT
0.831975437	0.639123642	0.325213608	0.151436023	0	0	0	0	0	0
0.830296057	0.636625076	0.322817732	0.149877473	0	0	0	0	0	0
0.827462844	0.632432545	0.318826386	0.147294355	0	0	0	0	0	0
0.831616108	0.638588187	0.324699071	0.151100804	0.193027921	0.313889115	0.173598267	0.151100804	0.168383892	0.831616108
0.830336116	0.636684558	0.32287462	0.14991441	0	0	0	0	0	0
0.827301564	0.632194735	0.318601065	0.147149028	0	0	0	0	0	0
0.825989073	0.63026282	0.316774859	0.145973113	0	0	0	0	0	0
0.825503523	0.629549633	0.316102606	0.145541117	0	0	0	0	0	0
0.825463037	0.629490204	0.316046635	0.14550517	0	0	0	0	0	0
0.823108946	0.626044298	0.312813341	0.143434191	0	0	0	0	0	0
0.831676017	0.638677427	0.324784784	0.151156627	0	0	0	0	0	0
0.830336116	0.636684558	0.32287462	0.14991441	0	0	0	0	0	0
0.829313479	0.635167867	0.321426363	0.148975121	0	0	0	0	0	0
0.828288514	0.633651434	0.319983075	0.148041231	0	0	0	0	0	0
0.827140228	0.631956933	0.318375866	0.147003831	0	0	0	0	0	0
0.825948629	0.630203385	0.316718796	0.145937068	0	0	0	0	0	0
0.831975437	0.639123642	0.325213608	0.151436023	0	0	0	0	0	0
0.830596414	0.637071204	0.323244578	0.150154704	0	0	0	0	0	0
0.829152854	0.634929977	0.321199637	0.148828272	0	0	0	0	0	0
0.828127525	0.633413587	0.319757128	0.147895226	0	0	0	0	0	0
0.827019188	0.631778587	0.318207047	0.146895021	0	0	0	0	0	0
0.826958656	0.631689415	0.318122663	0.146840643	0	0	0	0	0	0
0.83079654	0.637368635	0.323529381	0.150339785	0	0	0	0	0	0
0.829353627	0.63522734	0.321483064	0.149011854	0	0	0	0	0	0
0.827301564	0.632194735	0.318601065	0.147149028	0	0	0	0	0	0
0.82580705	0.629995366	0.316522636	0.145810976	0	0	0	0	0	0
0.826292285	0.6307086	0.317195576	0.146243709	0	0	0	0	0	0
0.825766591	0.629935933	0.316466607	0.145774969	0	0	0	0	0	0
0.82513903	0.629014793	0.315599137	0.145217891	0	0	0	0	0	0
0.82412507	0.627529363	0.314203856	0.144323505	0	0	0	0	0	0
0.822986866	0.625866115	0.312646799	0.143327813	0	0	0	0	0	0
0.824612042	0.628242325	0.314872996	0.144752176	0	0	0	0	0	0
0.821886759	0.624262732	0.311151012	0.142373677	0	0	0	0	0	0
0.820027255	0.621561839	0.308642898	0.140779021	0	0	0	0	0	0
0.821233669	0.623312805	0.310267241	0.141811029	0	0	0	0	0	0
0.820047727	0.621591511	0.308670374	0.140796455	0	0	0	0	0	0
0.820191009	0.621799222	0.30886276	0.140918547	0	0	0	0	0	0
0.819576654	0.620909096	0.308038907	0.140395981	0	0	0	0	0	0
0.81889999	0.619930151	0.307134646	0.139823226	0	0	0	0	0	0
0.818551049	0.619425926	0.306669623	0.139529013	0	0	0	0	0	0
0.818366219	0.619159006	0.306423657	0.139373485	0	0	0	0	0	0
0.817626221	0.618091486	0.305441331	0.138752973	0	0	0	0	0	0
0.817914126	0.618506602	0.305823054	0.138993979	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 17. Κτιριακές απώλειες για URML Low Code

	AREA	150 m2			
	C1L_Pre code				
ID	Cost_DS1	Cost_DS2	Cost_DS3	Cost_DS4	Cost /O.T.
O.T.1	1566.982714	29475.74631	131479.9933	279600.3799	442123.1022
O.T.2	1585.968382	29705.29566	131795.1739	278070.0213	441156.4593
O.T.3	1348.402711	25075.39346	110259.7556	229592.5714	366276.1232
O.T.4	261.8403009	4920.823255	21924.66685	46545.3465	73652.6769
O.T.5	1321.262554	24749.85901	109823.112	231755.3397	367649.5733
O.T.6	809.95728	15056.15984	66170.27173	137683.1362	219719.5251
O.T.7	0	0	0	0	0
O.T.8	1913.74627	35414.53712	154767.6084	319384.2901	511480.1818
O.T.9	1093.876431	20240.51793	88443.34072	182481.2527	292258.9878
O.T.10	833.8196049	15338.65635	66534.58205	135816.7022	218523.7602
O.T.11	1570.364938	29516.7408	131536.6842	279326.7819	441950.5719
O.T.12	792.7575326	14849.9154	65893.86719	139053.2038	220589.744
O.T.13	1330.911691	24865.97809	109980.3806	230982.7787	367160.0491
O.T.14	1608.713244	29978.49178	132163.1265	276253.8872	440004.2187
O.T.15	540.5822831	10044.72215	44123.10991	91740.49989	146448.9142
O.T.16	2180.387003	40393.68093	176773.4276	365540.0718	584887.5673
O.T.17	1828.1465	34388.37069	153393.3255	326200.4432	515810.2859
O.T.18	2110.093363	39552.41133	175652.4004	371123.9724	588438.8775
O.T.19	1065.942663	19907.35283	88003.91596	184689.3724	293666.5838
O.T.20	1878.962759	35000.40029	154224.2588	322127.0117	513230.6336
O.T.21	2164.162281	40200.73463	176521.1817	366817.2622	585703.3409
O.T.22	1623.809348	30158.74308	132401.654	275058.6787	439242.8851
O.T.23	526.7687978	9878.994245	43900.65085	92841.67628	147148.0902
O.T.24	1862.745725	34805.99467	153963.9436	323418.2697	514050.9537
O.T.25	1349.9288	25093.59974	110283.7862	229471.8937	366199.2084
O.T.26	1636.900627	30314.37044	132604.8918	274028.6733	438584.8361
O.T.27	1087.588304	20165.89898	88346.42001	182974.7387	292574.646
O.T.28	1364.467393	25266.5252	110509.9804	228327.1419	365468.1149
O.T.29	1096.334967	20269.63313	88480.924	182288.8668	292135.7589
O.T.30	1380.043254	25450.75145	110746.8822	227110.4569	364688.1338
O.T.31	1390.860185	25578.06591	110908.1505	226271.3464	364148.423
O.T.32	1925.587338	35554.64463	154947.9929	318458.8272	510887.0521
O.T.33	1681.593706	30840.94692	133274.0559	270556.5666	436353.1631
O.T.34	1135.240624	20725.99372	89052.94113	179285.2251	290199.4006
O.T.35	844.5290958	15464.09518	66691.08746	134991.605	217991.3167
O.T.36	1135.084373	20724.17718	89050.72764	179297.1375	290207.1267
O.T.37	1133.990892	20711.46099	89035.21855	179380.5369	290261.2073
O.T.38	1423.350821	25957.4424	111376.8821	223779.0778	362536.7531
O.T.39	1143.84968	20825.88064	89173.87804	178630.7162	289774.3246
O.T.40	1719.775056	31285.11816	133816.408	267643.0237	434464.325
O.T.41	1434.912262	26091.35474	111538.1224	222902.2188	361966.6082
O.T.42	2018.782841	36642.24228	156289.5458	311315.38	506265.9509
O.T.43	1439.234277	26141.27065	111597.6641	222575.7452	361753.9143

Πίνακας 18. Οικονομικές απώλειες για C1L Pre Code

150 m2				
C1L_Low code				
Cost_DS1	Cost_DS2	Cost_DS3	Cost_DS4	Cost /O.T.
0	0	0	0	0
1638.278701	22466.99025	66994.55742	100100.258	191200.0844
0	0	0	0	0
1625.577859	22371.99039	66991.29491	100657.8915	191646.7546
2729.822342	37440.19471	111657.4737	166861.8712	318689.3619
1111.370626	15120.07211	44663.68869	65899.80379	126794.9352
0	0	0	0	0
1122.874687	15204.33298	44661.28659	65405.50343	126393.9977
1123.13358	15206.22122	44661.20881	65394.42722	126384.9908
2845.442755	38288.35011	111637.2983	161885.9709	314657.0621
3791.669546	52191.21502	156312.5784	234927.6821	447223.1451
2729.822342	37440.19471	111657.4737	166861.8712	318689.3619
2196.968787	30049.71191	89327.80295	132916.9672	254491.4508
1105.051059	15073.48724	44664.12309	66173.12253	127015.7839
1668.605027	22691.49715	66995.33659	98782.88941	190138.3282
1120.027939	15183.54698	44662.07326	65527.43367	126493.0819
2703.531681	37243.36386	111650.169	168017.2783	319614.3429
3270.779247	44890.86275	133987.9386	200453.5874	382603.1679
4398.054886	60129.97651	178655.9272	265654.6451	508838.6038
2765.20533	37702.75572	111660.2385	165321.1051	317449.3047
3339.534215	45400.07055	133990.3454	197465.5982	380195.5484
2783.913721	37840.50529	111658.4757	164512.935	316795.8297
3266.928787	44862.09663	133987.0543	200622.4318	382738.5115
2745.567762	37557.36462	111659.6968	166174.2316	318136.8608
1667.055939	22680.10816	66995.53303	98849.70569	190192.4028
2802.333767	37975.40938	111654.5917	163721.5485	316153.8834
3912.403402	53086.13066	156319.0808	229676.1873	442993.8022
4484.769109	60768.21494	178647.0669	261910.1311	505810.182
2250.410635	30442.63763	89321.09809	130611.7352	252625.8815
3395.058579	45805.20797	133974.1743	195089.0788	378263.5197
3986.348375	53623.36924	156290.7474	226524.9361	440425.4011
2821.435279	38114.55157	111648.337	162905.3705	315489.6943
1718.968851	23057.20525	66975.4529	96637.75751	188389.3845
2894.597709	38640.47927	111603.8475	159820.6295	312959.554
3450.438321	46203.9564	133942.3847	192750.3058	376347.0851
2894.271459	38638.1585	111604.1169	159834.242	312970.7888
3470.385575	46346.29067	133927.182	191915.4644	375659.3226
3482.133096	46429.79776	133917.3116	191425.6504	375254.8929
2912.555895	38767.88941	111588.0528	159073.2842	312341.7823
2334.489852	31045.74251	89266.22686	127074.2555	249720.7147
4673.68805	62124.73645	178527.8723	253953.4567	499279.7535
2932.833339	38910.96559	111567.9565	158233.9798	311645.7352
2342.601181	31102.96738	89258.16471	126738.5661	249442.2994

Πίνακας 19. Οικονομικές απώλειες για C1L Low Code

150 m2				
C1L_High code				
Cost_DS1	Cost_DS2	Cost_DS3	Cost_DS4	Cost /O.T.
0	0	0	0	0
3450.318596	10822.35168	8859.179643	1586.506331	24718.35625
0	0	0	0	0
3443.432172	10850.02579	8927.542879	1607.305232	24828.30607
6900.222473	21646.38475	17722.4896	3174.265165	49443.36199
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
3474.405731	10721.40463	8616.293372	1513.739788	24325.84352
10423.8096	32161.64678	25842.82895	4539.428512	72967.71384
6971.83081	21341.42988	16995.93594	2957.848846	48267.04548
3443.117018	10851.2803	8930.660748	1608.257164	24833.31523
10350.33371	32469.57712	26583.7344	4761.397747	74165.04298
6910.746306	21603.42847	17617.41817	3142.482036	49274.07498
6921.162899	21560.30604	17512.86975	3111.020883	49105.35957
20798.03427	64535.75093	52189.91685	9228.706332	146752.4084
0	0	0	0	0
6883.076935	21715.09676	17892.52748	3226.050765	49716.75194
10346.28416	32485.96125	26624.03447	4773.627956	74229.90783
17280.96843	53991.68772	44002.45965	7843.814362	123118.9302
10384.18072	32330.29025	26244.77606	4659.172203	73618.41923
6933.882427	21506.81166	17384.44198	3072.596795	48897.73285
0	0	0	0	0
10343.16201	32498.55319	26655.0693	4783.057431	74279.84193
13820.67125	43210.23235	35243.05751	6287.444693	98561.40581
6931.070002	21518.72061	17412.91279	3081.093762	48943.79716
10418.76629	32183.45562	25894.30195	4554.673576	73051.19744
10411.61593	32214.19991	25967.11693	4576.284305	73169.21708
17365.60092	53634.81872	43147.06969	7588.12892	121735.6183
17380.89987	53568.49497	42990.77118	7541.879018	121482.045
20886.44053	64153.46262	51287.62162	8961.459629	145288.9844
10459.47896	32004.37978	25475.96506	4431.527915	72371.3517
13914.92397	42810.20615	34288.04084	6002.647129	97015.81809
6983.315762	21289.56974	16876.66429	2923.067633	48072.61742
17501.1301	53026.31589	41742.81426	7177.762621	119448.0229
6989.380518	21261.82714	16813.34372	2904.687341	47969.23872
7000.265578	21211.39747	16699.08979	2871.67095	47782.42379
6998.959201	21217.49372	16712.84391	2875.635426	47804.93226
0	0	0	0	0
7010.644123	21162.53084	16589.40344	2840.153853	47602.73226
10520.6539	31721.49396	24834.34134	4245.983536	71322.47274
14030.8379	42279.5699	33077.37357	5651.28058	95039.06195
10532.97666	31662.34638	24703.02332	4208.502876	71106.84925
3509.718758	10560.25506	8247.938044	1406.709151	23724.62102

Πίνακας 20. Οικονομικές απώλειες για C1L High Code

150 m2				
C2L_Pre code				
Cost_DS1	Cost_DS2	Cost_DS3	Cost_DS4	Cost /O.T.
6821.818418	55117.67005	240487.7801	375098.9518	677526.2203
7581.426371	61001.84875	264795.3974	409909.4666	743288.1391
7010.892634	56021.88777	241094.7649	368550.4217	672677.967
3418.440523	27595.1573	120269.5398	187286.089	338569.2266
8268.632521	66537.81446	288861.1282	447243.9247	810911.4999
4912.352534	39237.71701	168780.4869	257823.3245	470753.8809
0	0	0	0	0
6383.631812	50768.16202	217200.2443	329176.4357	603528.4738
4256.771296	33850.22093	144803.0313	219416.4253	402326.4488
5035.186928	39814.5007	169124.0358	253656.6746	467630.398
6834.369832	55178.21082	240530.5629	374659.9388	677203.0824
3445.26355	27724.08936	120358.8034	186351.6353	337879.7916
7626.713626	61218.49923	264941.1114	408340.3893	742126.7135
6278.68115	50271.97441	216890.721	332764.0601	606205.4366
4214.641455	33651.5185	144681.0626	220852.6488	403399.8713
4244.575357	33792.83831	144768.3805	219831.0552	402636.8493
5457.454734	44094.13604	192390.2241	300079.1614	542020.9763
6191.657031	49856.26895	216613.6487	335774.1405	608435.7152
6940.105381	55685.2991	240876.8484	370986.0028	674488.2558
4888.138765	39122.85912	168707.2697	258654.1626	471372.4302
6326.523691	50498.85963	217035.1218	331122.9135	604983.4186
4922.403768	39285.28215	168810.3419	257479.3687	470497.3965
4122.739161	33213.3516	144392.486	224024.5069	405753.0837
5545.355216	44516.11996	192680.1744	297021.3476	539762.9971
4210.587886	33632.32886	144668.9888	220991.421	403503.3265
4956.153242	39444.5113	168908.2953	256328.4099	469637.3697
4235.943347	33752.15599	144743.5326	220125.0781	402856.7101
2832.765016	22542.90922	96520.95556	146450.3371	268346.9669
2132.454061	16944.22128	72412.92669	109570.1528	201059.7548
5005.428707	39675.66332	169045.0292	254658.8112	468384.9325
6478.407804	51211.46599	217457.1607	325975.6319	601122.6664
8556.281986	67900.99061	289724.9297	437384.2474	803566.4497
5795.393581	45692.2196	193389.1648	288523.126	533399.904
3660.99162	28737.05452	120962.4122	179033.5024	332393.9608
2908.620223	22896.65219	96721.61822	143897.097	266423.9876
3660.563782	28735.08703	120961.4093	179047.6808	332404.7409
2194.541605	17232.7872	72572.62164	107488.1707	199488.1212
2936.326314	23024.25279	96787.43572	142977.4226	265725.4374
1473.818398	11538.04961	48406.58904	71301.96279	132720.4198
3691.835637	28878.4704	121032.7472	178014.7326	331617.7859
3695.696606	28896.11342	121041.2801	177887.6738	331520.7639
5195.613529	40553.25318	169504.7732	248332.1086	463585.7485
2964.111684	23151.36704	96849.51739	142061.8836	265026.8797

Πίνακας 21. Οικονομικές απώλειες για C2L Pre Code

150 m2				
C2L Low code				
Cost_DS1	Cost_DS2	Cost_DS3	Cost_DS4	Cost /O.T.
6693.979251	42105.67518	141479.4559	155840.4165	346119.5268
6746.601042	42267.85542	141315.8022	154572.3218	344902.5804
7974.0336	49625.91135	164534.1862	177873.1999	400007.3311
3352.628375	21070.28104	70722.41661	77783.98426	172929.3103
8993.797796	56352.01667	188426.3468	206136.5548	459908.7161
5699.910867	35459.66832	117510.5074	126953.1357	285623.2222
1146.761126	7112.300248	23479.20769	25229.97992	56968.24899
8044.843898	49838.45694	164294.3794	176196.1325	398373.8127
10345.24728	64083.61663	211229.166	226493.6031	512151.6331
5807.800739	35781.16462	117137.1447	124409.7076	283135.8177
7820.606752	49157.21145	165025.7241	181548.9077	403552.45
11242.24725	70440.02083	235532.9335	257670.6935	574885.8951
3388.644295	21180.86201	70608.95201	76918.25423	172096.7125
5674.350851	35382.3715	117595.1017	127561.4289	286213.253
4563.266603	28377.79595	93997.24566	101483.2395	228421.5477
9175.757318	56903.3949	187827.9613	201800.4019	455707.5155
3346.989626	21052.83759	70739.72793	77920.20823	173059.7634
5614.337976	35199.17625	117787.8448	128998.4551	287599.8141
6782.298137	42376.99785	141201.7515	153716.6488	344077.6962
12492.75365	77869.04946	258679.0593	280416.2955	629457.1579
5707.212415	35481.66943	117486.0688	126779.7763	285454.727
6850.532343	42583.65494	140976.9798	152091.1839	342502.351
5609.117999	35183.12831	117804.2178	129124.038	287720.5021
6776.036173	42357.9033	141221.9348	153866.4854	344222.3596
3419.94652	21275.80099	70506.30442	76171.8814	171373.9333
6886.197182	42690.64538	140855.9852	151246.8155	341679.6433
4580.787983	28430.45814	93938.14495	101067.9115	228017.3026
9183.264458	56925.84794	187802.2628	201623.0118	455534.387
8057.979054	49877.62244	164249.0058	175886.3619	398070.9692
5781.754891	35704.25796	117229.6747	125020.1753	283735.8629
8135.295779	50106.50573	163976.3185	174071.2644	396289.3843
5769.249391	35667.17287	117273.5619	125314.0778	284024.0619
7006.850387	43047.38404	140428.9946	148416.4849	338899.7139
9418.229496	57616.81607	186958.0682	196129.6962	450122.81
8197.976466	50289.98827	163748.2595	172610.0502	394846.2744
4708.698644	28807.20451	93480.59669	98074.47728	225070.9771
5882.232258	35998.46937	116864.4023	122677.3794	281422.4832
5897.835027	36043.55824	116805.6759	122316.5062	281063.5754
3548.995677	21655.77321	70044.28756	73152.33936	168401.3958
4739.063542	28894.65617	93365.31978	97373.61018	224372.6497
8299.90983	50584.41648	163364.1424	170253.1096	392501.5784
10704.9834	65133.34679	209909.3506	218123.2114	503870.8922
2375.975719	14465.77196	46657.81449	48538.6226	112038.1848

Πίνακας 22. Οικονομικές απώλειες για C2L Low Code

150 m2				
C2L_High code				
Cost_DS1	Cost_DS2	Cost_DS3	Cost_DS4	Cost /O.T.
0	0	0	0	0
22496.34756	41618.21614	21622.19726	4825.875439	90562.63639
9007.206427	16489.87784	8477.246199	1873.766218	35848.09668
13491.17422	25081.59949	13095.46967	2936.14685	54604.39024
26995.2253	49948.56396	25954.00888	5793.495546	108691.2937
18015.33288	32961.91219	16935.2061	3741.213779	71653.66495
0	0	0	0	0
22531.38861	40954.43301	20902.5112	4589.558019	88977.89084
18025.321	32759.09184	16717.24665	3670.098336	71171.75783
9018.393918	16250.4861	8221.585289	1790.71915	35281.18445
22484.77385	41811.05341	21835.07846	4896.678355	91027.58408
22496.02109	41623.8033	21628.34073	4827.912955	90576.07807
13502.50721	24888.82536	12883.31017	2865.737341	54140.38007
27014.38639	49606.85341	25580.48008	5670.12988	107871.8498
27024.36918	49416.10617	25373.91009	5602.358963	107416.7444
22528.46474	41015.69467	20968.09659	4610.899084	89123.15509
31475.04225	58594.1941	30634.25617	6877.093634	127580.5862
17995.10876	33328.09865	17334.65001	3872.942543	72530.79997
18004.34138	33167.23412	17158.22633	3814.5383	72144.34013
22513.1823	41316.72713	21292.8287	4717.140019	89839.87815
27025.38988	49396.03663	25352.25574	5595.273349	107368.9556
40538.84713	74079.00379	38012.15244	8387.60095	161017.6043
13495.33686	25012.83948	13019.4638	2910.844469	54438.48462
22503.86533	41486.9592	21478.28779	4778.245073	90247.3574
0	0	0	0	0
13517.64119	24597.72004	12568.32474	2762.45868	53446.14465
31536.62627	57488.26639	29426.46907	6478.442791	124929.8045
13517.80115	24594.37834	12564.74594	2761.293873	53438.21931
18026.98672	32723.46037	16679.19329	3657.737615	71087.378
27048.02767	48918.25593	24841.18889	5429.074618	106236.5471
22546.67822	40609.54334	20536.38508	4471.140315	88163.74696
27044.45403	48998.36775	24926.29124	5456.612767	106425.7258
13531.62464	24275.74433	12227.28468	2652.329427	52686.98308
13537.20669	24124.30459	12069.47788	2601.965847	52332.955
18044.88135	32296.61631	16228.76689	3512.675797	70082.94034
4512.382948	8041.989127	4023.733899	867.5046539	17445.61063
0	0	0	0	0
9025.639786	16058.48734	8021.074476	1726.624704	34831.8263
4513.422989	8010.966449	3991.673135	857.3333607	17373.39593
13541.16821	24004.66637	11945.96246	2562.809305	52054.60634
13541.63526	23989.72329	11930.60592	2557.957164	52019.92164
18057.9215	31906.63675	15825.81761	3384.856115	69175.23198
0	0	0	0	0

Πίνακας 23. Οικονομικές απώλειες για C2L High Code

ID	C1L_Pre code			
	Severity S1 %	Severity S2 %	Severity S3 %	Severity S4 %
O.T.1	2.39141473	0.825478046	0.153623397	0.062753274
O.T.2	2.379745189	0.821106144	0.152783708	0.062410951
O.T.3	1.96685145	0.678162301	0.1261497	0.051532114
O.T.4	0.398151952	0.137423367	0.025573877	0.01044664
O.T.5	1.983352252	0.684341747	0.127336394	0.052015909
O.T.6	1.179558242	0.406690481	0.075650091	0.030903071
O.T.7	0	0	0	0
O.T.8	2.737978258	0.943582469	0.175487324	0.07168743
O.T.9	1.564375319	0.539121235	0.100265271	0.040958864
O.T.10	1.165305613	0.401356454	0.074625979	0.030485551
O.T.11	2.389328793	0.824696471	0.153473278	0.062692074
O.T.12	1.190011351	0.410605048	0.076401837	0.031209545
O.T.13	1.977459326	0.682134522	0.126912497	0.051843094
O.T.14	2.365890336	0.815917228	0.151787211	0.062004697
O.T.15	0.786003831	0.270989091	0.050406915	0.020591253
O.T.16	3.133160574	1.079893027	0.200847453	0.082046929
O.T.17	2.789983852	0.963057721	0.179227297	0.073212153
O.T.18	3.175769253	1.095847946	0.203911303	0.083296012
O.T.19	1.5812286	0.545430903	0.101476857	0.041452811
O.T.20	2.758914343	0.951420003	0.176992246	0.072300967
O.T.21	3.142910569	1.083542773	0.201548244	0.082332633
O.T.22	2.356768699	0.812502007	0.151131406	0.061737335
O.T.23	0.794405094	0.27413535	0.051011122	0.020837577
O.T.24	2.768766356	0.955109414	0.17770075	0.072589812
O.T.25	1.965930404	0.677817468	0.126083485	0.051505119
O.T.26	2.348905507	0.809558607	0.150566245	0.061506926
O.T.27	1.568143113	0.540531494	0.100536046	0.041069256
O.T.28	1.957191544	0.674546194	0.125455362	0.051249041
O.T.29	1.562906236	0.538571424	0.100159709	0.040915828
O.T.30	1.947899993	0.671069007	0.124787767	0.050976869
O.T.31	1.941489741	0.668670683	0.124327345	0.050789157
O.T.32	2.730910895	0.940937591	0.174979522	0.071480403
O.T.33	2.322382789	0.799634909	0.148661091	0.060730207
O.T.34	1.539955038	0.52998596	0.098511596	0.040243898
O.T.35	1.159000304	0.398997973	0.074173243	0.030300971
O.T.36	1.540046119	0.530020016	0.098518132	0.040246563
O.T.37	1.540683764	0.530258438	0.098563894	0.04026522
O.T.38	1.922439997	0.661546304	0.122959818	0.050231617
O.T.39	1.534950073	0.528114767	0.098152459	0.040097477
O.T.40	2.300107299	0.791305709	0.147062401	0.060078419
O.T.41	1.915733945	0.659039349	0.122478674	0.050035453
O.T.42	2.676307706	0.920517192	0.171059856	0.069882357
O.T.43	1.913236635	0.658105905	0.122299534	0.049962416

Πίνακας 26. Ανθρώπινες απώλειες για C1L Pre Code

C1L_Low code			
Severity S1 %	Severity S2 %	Severity S3 %	Severity S4 %
0	0	0	0
1.773187408	0.597395557	0.110042277	0.044977109
0	0	0	0
1.781920689	0.600604612	0.110654458	0.045226829
2.955752643	0.995821025	0.183434652	0.074974436
1.169058862	0.393465008	0.072446254	0.029611381
0	0	0	0
1.161305927	0.390619252	0.071903589	0.029390012
1.161132148	0.390555479	0.071891429	0.029385051
2.877716018	0.967174956	0.177971898	0.072746017
4.158742959	1.401751818	0.258258802	0.105555808
2.955752643	0.995821025	0.183434652	0.074974436
2.355632218	0.793361704	0.146119183	0.059723155
1.173343824	0.395038344	0.072746313	0.029733784
1.752540582	0.589812869	0.108596027	0.044387149
1.163218785	0.391321264	0.07203745	0.029444618
2.973846673	1.002470013	0.18470308	0.075491849
3.55033891	1.196247549	0.220362381	0.090067549
4.708454945	1.585691478	0.292041538	0.119366018
2.931608598	0.986952885	0.181743154	0.074284435
3.503510212	1.17904902	0.217082072	0.088729433
2.918937444	0.982300616	0.180855914	0.073922506
3.552983463	1.197219233	0.220547742	0.090143161
2.944979377	0.991863417	0.182679743	0.074666493
1.753588293	0.590197511	0.108669381	0.044417072
2.906524731	0.977744486	0.179987095	0.073568088
4.076444827	1.371525304	0.25249355	0.103204028
4.649743867	1.564135854	0.287930666	0.117689081
2.319485238	0.780091157	0.143588408	0.05869078
3.466225208	1.165366044	0.214473014	0.087665113
4.026990063	1.35338023	0.249033938	0.10179273
2.893718255	0.973045129	0.179091053	0.073202562
1.718874233	0.577460951	0.106240986	0.043426443
2.845270607	0.955279306	0.175704423	0.071821014
3.429497678	1.151896876	0.21190536	0.086617662
2.845484559	0.95535772	0.175719368	0.071827111
3.416379079	1.147088105	0.21098881	0.086243758
3.408680114	1.144266515	0.210451054	0.086024381
2.833522114	0.950974034	0.174883927	0.071486293
2.26391861	0.759717036	0.139704723	0.057106457
4.524769898	1.51831031	0.279195298	0.114125552
2.820322814	0.946138484	0.173962466	0.071110379
2.258639345	0.757782997	0.139336174	0.056956106

Πίνακας 27. Ανθρώπινες απώλειες για C1L Low Code

C1L_High code			
Severity S1 %	Severity S2 %	Severity S3 %	Severity S4 %
0	0	0	0
0.123337946	0.025751156	0.003522813	0.001460355
0	0	0	0
0.124368497	0.026030969	0.003568784	0.001479288
0.246738051	0.051519172	0.007048395	0.00292185
0	0	0	0
0	0	0	0
0.119704974	0.024769237	0.003361963	0.001394101
0.359024963	0.074283485	0.010081929	0.004180672
0.235901935	0.048595459	0.006569988	0.002724784
0.124415582	0.026043767	0.003570888	0.001480154
0.370107076	0.077278758	0.010572592	0.004382775
0.245158785	0.051091103	0.006978143	0.002892916
0.243591508	0.050666937	0.0069086	0.002864273
0.725561719	0.150592329	0.020495118	0.0084978
0	0	0	0
0.249302654	0.052215719	0.007162854	0.002968988
0.370713808	0.077443375	0.010599625	0.004393908
0.61228037	0.127560775	0.017417968	0.00722101
0.365020113	0.07590113	0.010346633	0.004289709
0.241671859	0.050148301	0.006823663	0.002829287
0	0	0	0
0.371181327	0.077570265	0.010620467	0.004402492
0.490440982	0.102215632	0.013961769	0.00578809
0.24209689	0.050263047	0.006842446	0.002837024
0.359790465	0.074489675	0.010115631	0.004194555
0.36087448	0.07478184	0.010163404	0.004214235
0.599500509	0.124108975	0.016852766	0.006988199
0.597177096	0.123483328	0.016750522	0.00694608
0.712142604	0.146977823	0.019904323	0.008254426
0.353587801	0.072822059	0.009843385	0.004082398
0.476189341	0.098369014	0.013332204	0.005528762
0.234141657	0.048123551	0.00649309	0.002693102
0.578754078	0.118543571	0.015945498	0.006614406
0.233209232	0.047873932	0.006452451	0.002676358
0.231530449	0.047425126	0.00637945	0.002646278
0.231732296	0.047479045	0.006388216	0.00264989
0	0	0	0
0.229923187	0.046996191	0.006309762	0.002617562
0.344156849	0.070300239	0.009433139	0.003913361
0.458362951	0.093596996	0.012555339	0.005208674
0.342238782	0.069789422	0.009350261	0.003879207
0.114278049	0.023315968	0.003125322	0.0012966

Πίνακας 28. Ανθρώπινες απώλειες για C1L High Code

C2L_Pre code			
Severity S1 %	Severity S2 %	Severity S3 %	Severity S4 %
2.879966415	0.976317487	0.180394616	0.073725851
3.149657281	1.067170475	0.197137811	0.080569806
2.835538184	0.959870649	0.177249933	0.072443407
1.438197424	0.487497356	0.090070827	0.036811346
3.436464323	1.164361673	0.215093026	0.087908035
1.98377704	0.671502578	0.123997172	0.050678664
0	0	0	0
2.534877383	0.857555422	0.158315295	0.064705746
1.689683665	0.571616856	0.105526947	0.043130401
1.95546869	0.661033861	0.121996255	0.049862639
2.876989901	0.97521509	0.180183798	0.073639878
1.431860134	0.485150697	0.089622094	0.036628348
3.1390122	1.063229714	0.196384321	0.080262523
2.559238977	0.866568034	0.160038137	0.065408358
1.699438089	0.575225033	0.106216649	0.043411677
1.692500239	0.57265857	0.105726061	0.043211605
2.303973132	0.781053989	0.144315692	0.058980681
2.579662545	0.874128128	0.161483616	0.065997845
2.852069602	0.965988429	0.178419536	0.072920391
1.98941737	0.673589614	0.124396154	0.050841377
2.548097478	0.862445512	0.159250032	0.065086953
1.981441594	0.670638531	0.123831998	0.050611303
1.720962492	0.583191767	0.107739819	0.04403285
2.283233609	0.773374812	0.1428473	0.058381854
1.70038032	0.575573639	0.10628329	0.043438855
1.973624804	0.667747034	0.123279286	0.050385894
1.694497274	0.573397246	0.105867257	0.043269187
1.127629096	0.381511849	0.070434242	0.028787427
0.843903876	0.285461555	0.052697174	0.021538162
1.96228063	0.663552076	0.122477507	0.050058907
2.51312447	0.849512731	0.156778192	0.064078871
3.36952494	1.139594039	0.210358242	0.085977097
2.225504171	0.752023797	0.138766276	0.056717512
1.38214067	0.466763888	0.086107767	0.035195114
1.110273065	0.37509589	0.06920811	0.028287373
1.382237154	0.466799527	0.086114575	0.035197891
0.829747605	0.280229432	0.051697349	0.0211304
1.104015378	0.372784253	0.068766453	0.028107248
0.550736543	0.18592268	0.034293543	0.014017048
1.375206294	0.464202926	0.085618518	0.034995578
1.374341228	0.463883505	0.085557499	0.034970692
1.919238744	0.647650329	0.119439225	0.048819782
1.097782596	0.370482683	0.068326778	0.02792793

Πίνακας 29. Ανθρώπινες απώλειες για C2L Pre Code

C2L_Low Code			
Severity S1 %	Severity S2 %	Severity S3 %	Severity S4 %
3.212395094	1.056885595	0.192826353	0.078868048
3.189561876	1.048623333	0.191259768	0.078228757
3.676796844	1.207353718	0.220095854	0.090026077
1.603745403	0.527555302	0.096244888	0.03936535
4.253471925	1.398425909	0.255062595	0.104325239
2.62449529	0.861749206	0.157088833	0.064254353
0.522000868	0.171302573	0.0312193	0.012769877
3.646539264	1.196420604	0.218023972	0.08918055
4.687608356	1.537966348	0.280261829	0.114638381
2.578581785	0.845165556	0.153946607	0.062972009
3.743025711	1.23130731	0.224636812	0.091879173
5.316839906	1.748032387	0.318828243	0.130406549
1.588152646	0.521914185	0.095175374	0.0389289
2.635463912	0.865714149	0.157840325	0.06456103
2.098166514	0.688882641	0.125573137	0.051363518
4.17529526	1.370163466	0.249705679	0.102139135
1.606197547	0.528442798	0.096413176	0.039434024
2.661357716	0.875079011	0.159615624	0.065285504
3.174145341	1.043047243	0.190202673	0.077797373
5.794075079	1.903144716	0.346978349	0.141923933
2.621368455	0.860619137	0.156874663	0.064166951
3.144838592	1.032452568	0.18819456	0.076977882
2.663619381	0.87589729	0.159770768	0.065348815
3.176845472	1.044023727	0.190387781	0.077872913
1.574697174	0.517049524	0.0942533	0.038552612
3.12960387	1.026947906	0.18715141	0.076552176
2.090673931	0.686175118	0.125060033	0.051154123
4.172093932	1.369006939	0.249486527	0.102049699
3.6409476	1.194400866	0.217641272	0.08902437
2.589609403	0.8491467	0.154700804	0.063279801
3.608165604	1.182564414	0.215398832	0.08810922
2.594916807	0.8510632	0.155063902	0.063427983
3.078481384	1.008490533	0.183654707	0.075125153
4.07283144	1.33317938	0.242699828	0.099279988
3.581752824	1.173033402	0.213593571	0.087372472
2.036589931	0.666652514	0.121361811	0.049644849
2.547262208	0.833865525	0.151806392	0.062098558
2.540732843	0.831511028	0.151360544	0.061916599
1.520140202	0.497356519	0.090522822	0.037030174
2.023905789	0.662079419	0.120495908	0.049291455
3.539106657	1.157655525	0.210681642	0.086184055
4.536270888	1.483365484	0.269920572	0.110417974
1.009269887	0.330072706	0.060064877	0.024571009

Πίνακας 30. Ανθρώπινες απώλειες για C2L Low Code

C2L_High Code			
Severity S1 %	Severity S2 %	Severity S3 %	Severity S4 %
0	0	0	0
0.195349698	0.039373494	0.005346056	0.002209237
0.076653745	0.015358828	0.002075921	0.000857973
0.118270963	0.023903876	0.003252501	0.001344005
0.234483615	0.047265044	0.006417968	0.002652196
0.153140882	0.030673971	0.004144863	0.001713074
0	0	0	0
0.189127326	0.037740656	0.00508502	0.002101807
0.151260839	0.0301818	0.004066306	0.001680742
0.074452047	0.014783422	0.001984181	0.000820214
0.197199114	0.039861131	0.005424259	0.002241418
0.195403012	0.039387536	0.005348307	0.002210163
0.116429336	0.023418684	0.003174732	0.001312002
0.231247141	0.046413899	0.006281703	0.002596119
0.229461735	0.045945533	0.006206843	0.00256531
0.189692483	0.037888455	0.005108594	0.00211151
0.276645485	0.055955208	0.007617979	0.003147868
0.156599984	0.031583158	0.004290367	0.001772954
0.15507	0.031180443	0.004225857	0.001746407
0.1924963	0.038623209	0.005225951	0.00215981
0.229274756	0.045896531	0.006199016	0.002562088
0.343772001	0.068808078	0.009292659	0.003840719
0.117610427	0.023729652	0.003224554	0.001332505
0.194101785	0.03904505	0.005293446	0.002187587
0	0	0	0
0.113707465	0.022704816	0.003060649	0.001265051
0.266182807	0.053204332	0.007177643	0.002966655
0.113676624	0.022696749	0.003059362	0.001264521
0.150933136	0.030096157	0.004052651	0.001675122
0.224871773	0.044745333	0.006015422	0.002486523
0.185979238	0.036919263	0.004954203	0.002047962
0.225603638	0.044936325	0.006045843	0.002499045
0.110776729	0.021940599	0.002938987	0.001214973
0.109426229	0.021590031	0.002883346	0.001192068
0.147066092	0.029088826	0.003892397	0.001609157
0.036480321	0.00719795	0.000961317	0.000397439
0	0	0	0
0.072735129	0.014337465	0.001913371	0.000791065
0.036206511	0.007127038	0.00095008	0.000392813
0.108371632	0.021316985	0.002840084	0.001174258
0.108240664	0.02128312	0.002834723	0.001172051
0.143624907	0.028197661	0.003751176	0.00155102
0	0	0	0

Πίνακας 31. Ανθρώπινες απώλειες για C2L High Code

