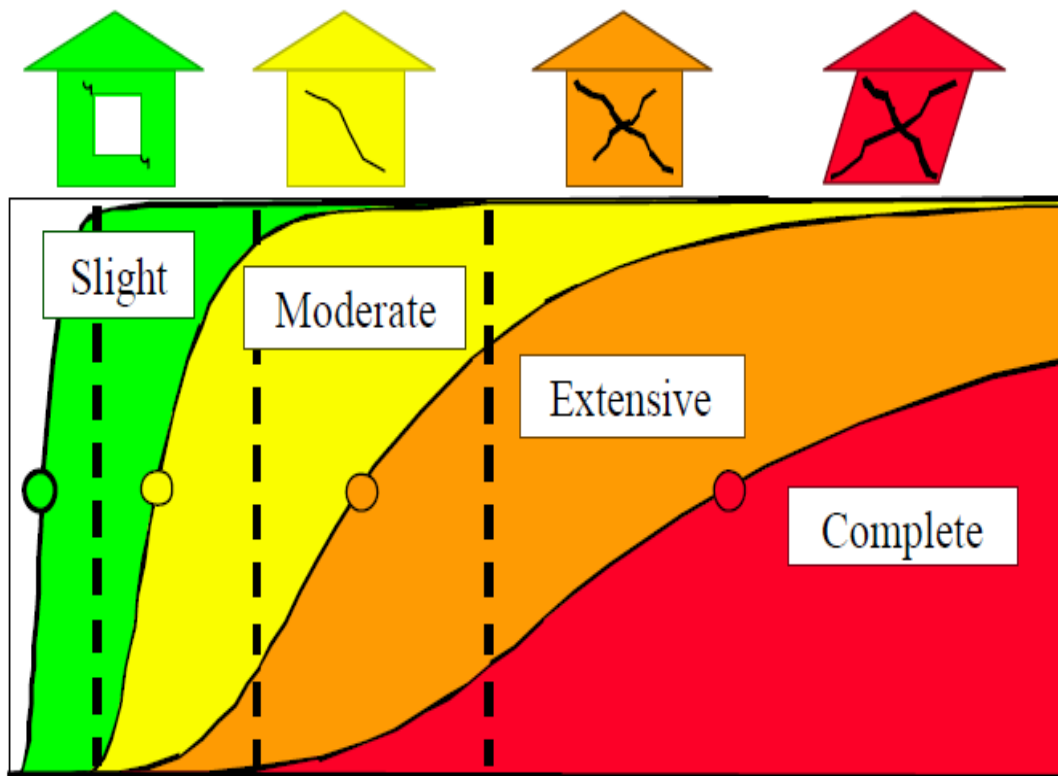




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



### ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Επιβλέπων: **Ι.ΨΥΧΑΡΗΣ** Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ  
Συνεπιβλέπων: **Ι.ΤΑΦΛΑΜΠΑΣ** Dr. Πολιτικός Μηχανικός

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2011

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π. κύριο Ι. Ψυχάρη για τη δυνατότητα εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας που μου παρείχε καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγησή του και τη βοήθειά του σε κάθε φάση δημιουργίας της.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κύριο Ι. Ταφλαμπά, Dr. Πολιτικό μηχανικό, για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε με την άψογη συνεργασία, τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. κύριο Π. Μίμογλου για τις χρήσιμες παρατηρήσεις του και την βοήθειά του σχετικά με την εκμάθηση του προγράμματος SAP.

Τέλος θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και στους φίλους μου για τη στήριξή τους.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η πρόβλεψη της ανελαστικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής που υποβάλλεται σε μία σεισμική διέγερση είναι από τα βασικά αντικείμενα έρευνας. Προς αυτό το σκοπό έχουν αναπτυχθεί αρκετές μεθοδολογίες που όμως δεν ανταποκρίνονται πλήρως στην πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα είναι γνωστό πως οι αντισεισμικοί κανονισμοί βασίζονται σε καταγραφές οι οποίες δεν είναι τόσο κοντά στη σεισμική πηγή. Ωστόσο η επιρροή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των σεισμών κοντινού πεδίου στην ελαστική και ανελαστική απόκριση συμβατικών ή όχι κατασκευών (όπως σεισμικά μονωμένα κτίρια) καθώς και σε ειδικές κατασκευές (όπως γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων κτλ.) καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη αυτών. Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εκτιμηθεί η τρωτότητα ενός εικοσαώροφου μεταλλικού κτιρίου, που υποβάλλεται σε σεισμούς κοντινού πεδίου, με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS και να διαπιστωθεί ο βαθμός αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Η εργασία αποτελείται από 8 κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 1 περιγράφεται η μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης του HAZUS. Το HAZUS είναι ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε να εκτελεί σεισμικά σενάρια εκτιμώντας και προσδιορίζοντας τόσο χωρικά όσο και ποσοτικά τις εν δυνάμει βλάβες.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύονται τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης κατά τη σεισμική φόρτιση κοντινού πεδίου. Δίδονται κάποιοι βασικοί ορισμοί για το φαινόμενο του κοντινού πεδίου, όπως η κατευθυντικότητα της διάρρηξης και η παραμένουσα μετακίνηση καθώς και κάποια μαθηματικά μοντέλα που έχουν προταθεί για την παραμετροποίηση των μεγεθών που χρησιμοποιούνται στη μελέτη ενός σεισμικού γεγονότος.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται αναλυτικά ο φορέας και τα φορτία που ασκούνται σε αυτόν. Δίδονται κατόψεις και τομές της κατασκευής, διαστάσεις των διατομών των μελών καθώς και στοιχεία του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε.

Στο κεφάλαιο 4 δίδονται οι ιδιοπερίοδοι της κατασκευής καθώς επίσης κατασκευάζονται η καμπύλη pushover και οι καμπύλες τρωτότητας της κατασκευής.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις που έγιναν με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS. Για κάθε χρονοϊστορία κατατάσσουμε την κατασκευή σε συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης, όπως ορίζεται από το HAZUS. Διερευνούμε με ποιο τρόπο στοιχεία όπως η κατευθυντικότητα, η απόσταση από το ρήγμα, η διεύθυνση καταγραφής και το μέγεθος της σεισμικής ροπής καθορίζουν την απόκριση της κατασκευής.

Στο κεφάλαιο 6 διερευνούμε την αξιοπιστία της μεθοδολογίας που ακολουθήσαμε. Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 5 με αυτά που προέκυψαν από το SAP.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Στο κεφάλαιο 7 μελετούμε περαιτέρω τις καταγραφές που μας έδωσαν μεγάλη απόκλιση στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων (HAZUS και SAP). Κατασκευάζουμε τα φάσματα απόκρισης μετακίνησης των συγκεκριμένων καταγραφών προκειμένου να διαπιστωθεί αν η μεθοδολογία του HAZUS αντιπροσωπεύει την πραγματική απόκριση της κατασκευής.

Στο κεφάλαιο 8 δίδεται η σύνοψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας και σχολιάζονται εκτενέστερα τα αποτελέσματα.



## Περιεχόμενα

<b>1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (HAZUS).....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ HAZUS .....</b>	<b>14</b>
1.2.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ HAZUS.....	16
1.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	18
1.2.3 ΔΟΜΙΚΑ-ΜΗ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ .....	21
1.2.4 ΕΠΙΠΕΔΑ ΒΛΑΒΗΣ.....	22
1.2.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (CAPACITY CURVES).....	23
1.2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	25
1.2.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ .....	26
<b>1.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....</b>	<b>28</b>
1.3.1 ΚΤΙΡΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	28
1.3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ .....	30
1.3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.....	35
<b>1.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ .....</b>	<b>40</b>
1.4.1 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ .....	40
1.4.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΣΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ..	42
1.4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΒΛΑΒΗΣ.....	50
<b>2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....</b>	<b>57</b>
<b>2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>57</b>
2.1.1 ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ .....	57
2.1.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ .....	61
<b>2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ-ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΟΝΤΕΛΑ .....</b>	<b>69</b>
<b>2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ .....</b>	<b>77</b>
<b>3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ.....</b>	<b>79</b>
<b>3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ, ΦΟΡΤΙΑ.....</b>	<b>79</b>
<b>3.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (POST, PRE-NORTHRIDGE), ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΦΟΡΕΑ .....</b>	<b>82</b>
<b>3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΑΛΥΒΑ .....</b>	<b>85</b>

<b>4. ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ, ΚΑΜΠΥΛΗ PUSHOVER ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....</b>	<b>87</b>
<b>4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....</b>	<b>87</b>
<b>4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER .....</b>	<b>87</b>
<b>4.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ (FRAGILITY CURVES).....</b>	<b>88</b>
<b>5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ.....</b>	<b>93</b>
<b>5.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>93</b>
<b>5.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....</b>	<b>93</b>
5.2.1 COYOTE LAKE, CA, USA .....	96
5.2.2 SIERRA MADRE, CA, USA .....	98
5.2.3 PARKFIELD, CA, USA .....	100
5.2.4 PALM SPRINGS, CA, USA .....	101
5.2.5 MORGAN HILL, CA, USA .....	103
5.2.6 IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979 .....	104
5.2.7 MEXICALI VALLEY, MEXICO .....	108
5.2.8 SUPERSTITION HILLS, CA, USA.....	109
5.2.9 ERZINCAN, TURKEY .....	110
5.2.10 IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940 .....	111
5.2.11 OLYMPIA WA, USA.....	112
5.2.12 GAZLI, USSR.....	113
5.2.13 NAHANNI, CANADA.....	114
5.2.14 NORTHRIDGE, CA, USA .....	115
5.2.15 PUGET SOUND, WA, USA .....	123
5.2.16 SAN FERNANDO, CA, USA .....	124
5.2.17 HANSHIN (KOBE), JAPAN.....	125
5.2.18 LOMA PRIETA, USA.....	126
5.2.19 PETROLIA, CA, USA.....	128
5.2.20 DUZCE, TURKEY .....	130
5.2.21 TABAS, IRAN.....	131
5.2.22 LANDERS, CA, USA.....	132
5.2.23 IZMIT, TURKEY .....	134
5.2.24 CHI-CHI, TAIWAN.....	135
<b>6. ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ HAZUS.....</b>	<b>145</b>
<b>6.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....</b>	<b>145</b>
<b>6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>145</b>
6.2.1 COYOTE LAKE, CA, USA .....	146
6.2.2 SIERRA MADRE, CA, USA .....	147
6.2.3 PARKFIELD, CA, USA .....	148
6.2.4 PALM SPRINGS, CA, USA .....	149

6.2.5	MORGAN HILL, CA, USA .....	151
6.2.6	IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979 .....	152
6.2.7	MEXICALI VALLEY, MEXICO .....	154
6.2.8	SUPERSTITION HILLS, CA, USA.....	155
6.2.9	ERZINCAN, TURKEY .....	156
6.2.10	IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940 .....	157
6.2.11	OLYMPIA WA, USA.....	158
6.2.12	GAZLI, USSR.....	159
6.2.13	NAHANNI, CANADA.....	160
6.2.14	NORTHRIDGE, CA, USA .....	161
6.2.15	PUGET SOUND, WA, USA .....	164
6.2.16	SAN FERNANDO, CA, USA .....	165
6.2.17	HANSHIN (KOBE), JAPAN.....	166
6.2.18	LOMA PRIETA, USA.....	167
6.2.19	PETROLIA, CA, USA.....	169
6.2.20	DUZCE, TURKEY .....	170
6.2.21	TABAS, IRAN.....	171
6.2.22	LANDERS, CA, USA.....	172
6.2.23	IZMIT, TURKEY .....	173
6.2.24	CHI-CHI, TAIWAN.....	174
<b>7.</b>	<b>ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ.....</b>	<b>179</b>
7.1	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	179
7.2	ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ .....	179
<b>8.</b>	<b>ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>183</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>195</b>

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

## **1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (HAZUS)**

---

### **1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στις επιπτώσεις της σεισμικής δραστηριότητας στις κατασκευές. Οι επιμέρους, ωστόσο, επενέργειες της σεισμικής δραστηριότητας είναι ιδιαίτερος δύσκολο να διαχωριστούν, να προσδιοριστούν και να αποτιμηθούν επακριβώς. Ένας τρόπος κωδικοποίησης των σεισμικών απωλειών επιτυγχάνεται με την χρήση της έννοιας « Σεισμική Διακινδύνευση » (Seismic Risk). Η σεισμική διακινδύνευση αποτελεί μια έκφραση του αναμενόμενου βαθμού απωλειών όλων των υπό διακινδύνευση στοιχείων. Η αποτίμηση σε όρους διακινδύνευσης επιτρέπει τον προσδιορισμό των εν γένει απωλειών (άμεσων ή έμμεσων) φέρει όμως το μειονέκτημα του δυσχερώς αξιοποιήσιμου αποτελέσματος με την μάλλον ποιοτική παρά ποσοτική απεικόνιση που παρέχει. Για την ποσοτική της έκφραση έχουν διατυπωθεί ποικίλες προτάσεις, όλες όμως έχουν γνώμονα την εξάρτηση από τον Σεισμικό Κίνδυνο (Seismic Hazard) και την Τρωτότητα (Vulnerability). Αυτοί οι δυο πυλώνες στους οποίους βασίζεται η εκτίμηση της διακινδύνευσης είναι με την σειρά τους συναρτήσεις λοιπών παραμέτρων. Το ενδιαφέρον όμως συγκεντρώνει η τρωτότητα του δομικού συνόλου (building environment) καθώς δεσπόζει στις μελέτες διακινδύνευσης, κατευθύνοντας το αποτέλεσμα. Εκφράζεται ως η πιθανότητα το στοιχείο να υποστεί μια βλάβη για μια δεδομένη σεισμική ένταση. Χρήζει ενδεδειγμένης αντιμετώπισης, διότι είναι το πλέον μεταβαλλόμενο κατά περιοχή και είδος κατασκευής μέγεθος, αποτελεί την μόνη συνιστώσα που επιδέχεται επέμβαση και δει μείωση, και ο αστάθμητος σεισμικός κίνδυνος δεν μπορεί παρά να οριστεί ως ένα κάτω όριο. Προκειμένου να εκτιμηθούν όλα αυτά τα στοιχεία διατυπώθηκαν μεθοδολογίες με σκοπό να αποτυπώσουν κατά το δυνατόν πληρέστερα τις επιπτώσεις ενός πιθανού σεισμικού σεναρίου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μας απασχολεί η προτεινόμενη από το αμερικανικό ομοσπονδιακό γραφείο διαχείρισης εκτάκτων αναγκών μέθοδος (Federal Emergency Management Agency-FEMA), που υιοθετεί την μεθοδολογία του ινστιτούτου κτιριακών επιστημών (National Institute of Building Sciences-NIBS) των ΗΠΑ. Η FEMA/NIBS μεθοδολογία εκτίμησης βλαβών, γνωστή ως HAZUS, είναι μια σύνθετη συλλογή στοιχείων που σκοπό έχουν να εκτιμήσουν τις λειτουργικές απώλειες και τις οικονομικές επιπτώσεις σε μια περιοχή λόγω ενός σεισμικού σεναρίου.

Στη συνέχεια αναλύεται εκτενέστερα η μεθοδολογία και το λογισμικό του HAZUS-MH.

## 1.2 Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ HAZUS

Η έρευνα για την δημιουργία του HAZUS ξεκίνησε το 1993 με την πρώτη έκδοση να ολοκληρώνεται το 1997, φτάνοντας σήμερα στην τελευταία έκδοση του προγράμματος που περιλαμβάνει εκτός του σεισμού άλλες δυο φυσικές καταστροφές όπως πλημμύρες και τυφώνες. Είχαν προηγηθεί ιδιωτικές προσπάθειες με χρηματοδότηση ασφαλιστικών εταιριών που ενδιαφέρονταν να γνωρίζουν το μέγεθος της διακινδύνευσης περιοχών προς ρύθμιση των ασφαλιστρων τους. Πέραν όμως του υψηλού τους κόστους, ο κώδικας και ο τρόπος εξαγωγής αποτελεσμάτων ήταν απόκρυφος και για ευνόητους ανταγωνιστικούς λόγους παρατίθετο απλώς ένα συνοπτικό εγχειρίδιο χρήσης με τις γενικές παραδοχές των αλγορίθμων. Οι χρήστες υποχρεώνονταν στην λογική των μαύρων κουτιών (black boxes) καθώς εισήγαγαν απλά τα δεδομένα και παρελάμβαναν αποτελέσματα, τα οποία συχνά απέκλιναν σημαντικά μεταξύ τους. Σε αντιδιαστολή το HAZUS διατίθεται δωρεάν σε κάθε ενδιαφερόμενο και συνοδεύεται από λεπτομερέστατα εγχειρίδια χρήσεως και τεχνικής.

Όπως προϋδεάζει η ονομασία του, Hazards US, το HAZUS προορίζεται για αποκλειστική χρήση εντός της αμερικανικής επικράτειας. Πρόκειται για αυτόνομο λογισμικό το οποίο φέρει τον κώδικα με τους μαθηματικούς αλγορίθμους για τους υπολογισμούς, χρειάζεται όμως ως υπόβαθρο για να λειτουργήσει ένα λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (Geographical Information System-GIS). Το HAZUS αντλεί πληροφορίες για το κτιριακό δυναμικό, τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τα κοινωνικοοικονομικά δεδομένα και τα λοιπά συναφή στοιχεία της περιοχής μελέτης από το λογισμικό GIS και ακολούθως εκτελεί υπολογισμούς κατά τους αλγορίθμους που φέρει στον κώδικά του. Οι χρήστες ανασύρουν τις γεωγραφικές περιοχές μελέτης από την βάση δεδομένων του προγράμματος (εσωκλείονται πλήρη στοιχεία για το σύνολο της αμερικανικής επικράτειας) συνέλκοντας έτσι την σχετική πληροφορία στην οποία είναι εφικτή οποιαδήποτε τροποποίηση πλην της αλλαγής των προκαθορισμένων χωρικών-γεωγραφικών συνόρων. Το λογισμικό δεν υποστηρίζει ούτε επιτρέπει την εισαγωγή (αυτούσιας) ή την δημιουργία νέας γεωγραφικής περιοχής. Το γεγονός αυτό περιορίζει ουσιαστικά την εφαρμογή του HAZUS στις περιοχές εντός συνόρων της αμερικανικής επικράτειας.

Στόχος των σχεδιαστών του προγράμματος ήταν το HAZUS να καταστεί ένα ορθολογιστικό εργαλείο στην διάθεση των επαγγελματικών ομάδων που εργάζονται προς την κατεύθυνση άμβλυνσης των επιπτώσεων του σεισμικού φαινομένου. Τα πορίσματα ενδιαφέρουν άμεσα τις ιατρικές υπηρεσίες, τις νοσοκομειακές μονάδες, τους φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης και διαχείρισης καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης καθώς και τα σώματα ασφαλείας (όπως η Πυροσβεστική, Αστυνομία, κτλ.) προκειμένου να προετοιμάσουν την άμεση ανταπόκρισή τους σε περιοχές αυξημένης διακινδύνευσης ή να κατανεύουν αναλόγως τις δυνάμεις τους σε πιθανές πληγείσες περιοχές στις οποίες αναμένεται να προκύψει ανάγκη παροχής βοήθειας ειδικά κατά το πρώτο εικοσιτετράωρο του επεισοδίου. Τα αποτελέσματα αφορούν επίσης Μηχανικούς καθότι τέτοιες μελέτες αναδεικνύουν τις περισσότερο σεισμικά τρωτές περιοχές (ή ομάδες στοιχείων) που χρήζουν άμεσης αντισεισμικής θωράκισης.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.1) αναλύονται τα βασικότερα αποτελέσματα που εξάγονται από την μεθοδολογία του HAZUS.

<p><b><u>Χαρακτηρισμός βλαβών του γενικού κτιριακού αποθέματος</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Πιθανότητα δομικής και μη δομικής βλάβης για κάθε απογραφική μονάδα, τύπο κτιρίου και κατηγορία χρήσης</li> </ul> <p><b><u>Συγκοινωνιακά και κοινής ωφελείας Δίκτυα</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Για τα επί μέρους στοιχεία των Δικτύων που λαμβάνονται υπόψη: πιθανότητες βλάβης, κόστος επισκευής ή αντικατάστασης και αναμενόμενη λειτουργική κατάσταση για διάφορα χρονικά διαστήματα, μετασεισμικά</li> <li>Δίκτυα νερού: αναμενόμενος αριθμός διαρροών και θραύσης</li> <li>Δίκτυα ρεύματος: εκτίμηση αναμενόμενου διαστήματος διακοπής λειτουργίας</li> </ul> <p><b><u>Υποδομές υψηλής σπουδαιότητας</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Πιθανότητες βλάβης</li> <li>Πιθανότητες απώλειας λειτουργικότητας</li> <li>Απώλεια κλινών σε Νοσοκομεία</li> </ul> <p><b><u>Υποδομές Επικινδύνου Δυναμικού</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Επισημάνση παρουσίας φραγμάτων</li> <li>Επισημάνση παρουσίας πυρηνικών σταθμών</li> <li>Πιθανότητα βλάβης και κόστος επισκευής στρατιωτικών εγκαταστάσεων*</li> <li>Επισημάνση παρουσίας λοιπών υποδομών</li> </ul> <p><b><u>Συντρίμια</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Σύνολο όγκου συντριμμάτων κατά τύπο κτιρίου</li> </ul>	<p><b><u>Πυρκαγιά επακόλουθη σεισμού</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Αριθμός ανάφλεξης πυρκαγιών για κάθε απογραφική μονάδα</li> <li>Ποσοστό καμένης περιοχής για κάθε απογραφική μονάδα</li> </ul> <p><b><u>Πλημμυροπαθείς περιοχές</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Πληθυσμός εκτεθειμένος σε πλημμύρα και αξία γενικού κτιριακού αποθέματος υπό διακινδύνευση</li> </ul> <p><b><u>Περιοχές με επικίνδυνα υλικά</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Επισημάνση περιοχών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά</li> </ul> <p><b><u>Κοινωνικές απώλειες</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Αριθμός εκτοπισμένων νοικοκυριών</li> <li>Αριθμός πληθυσμού που χρειάζεται προσωρινό κατάλυμα</li> <li>Ανθρώπινες απώλειες-τεσσάρων επιπέδων- για τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές εντός εικοσιτετραώρου</li> </ul> <p><b><u>Οικονομικές απώλειες λόγω γενικού κτιριακού αποθέματος</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Δομικό και μη δομικό κόστος επισκευής ή αντικατάστασης</li> <li>Απώλεια περιεχομένων (εξοπλισμός κ.α)</li> <li>Απώλεια εμπορικών αγαθών</li> <li>Κόστος μετοίκησης</li> <li>Απώλεια εμπορικού εισοδήματος</li> <li>Απώλεια μισθών</li> <li>Απώλεια ενοικίασης κατοικίας</li> </ul> <p><b><u>Εμμεσες οικονομικές απώλειες</u></b> Μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις στην περιοχή</p>
---	---

**Πίνακας 1.1: Εξαγόμενα αποτελέσματα του HAZUS για σεισμικό σενάριο (FEMA, 2003).**

Κατά την παρούσα περίοδο η μεθοδολογία του HAZUS περιλαμβάνει κτιριακές συναρτήσεις βλαβών για 36 μοντέλα κτιριακών τύπων και για διάφορους συνδυασμούς επιπέδου σεισμικού σχεδιασμού και εκτέλεσής του. Κάθε μοντέλο κτιριακού τύπου αναπαριστά μια “γενική” ομάδα από κτίρια τα οποία μοιράζονται κοινό τύπο κατασκευής και κοινό επίπεδο σεισμικού σχεδιασμού.

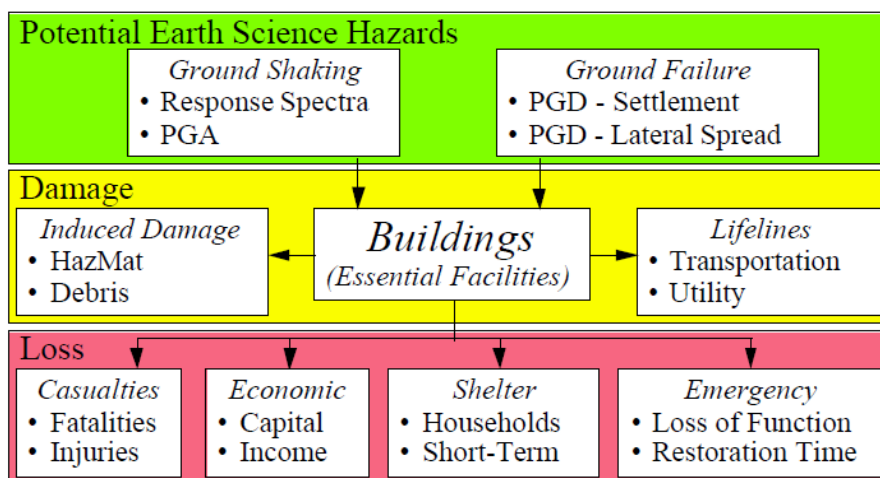
Οι ζημιές και οι απώλειες λειτουργιών για κτίρια γενικού τύπου μπορούν αξιόπιστα να προβλέψουν τις σεισμικές επιδράσεις για μια ομάδα κτιρίων, που ανήκουν λίγο πάνω ή λίγο κάτω από το μέσο επίπεδο, όπως αυτό ορίζεται από τις παρατηρήσεις για το «γενικό» κτίριο. Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά για κάποια ειδικά κτίρια, τα οποία έχουν ιδιαιτερότητες ή παρουσιάζουν έντονη σεισμική ευαισθησία. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόζεται και για μεμονωμένα κτίρια. Επειδή όμως οι απώλειες και οι ζημιές δεν παρέχονται θα πρέπει να αναπτυχθούν από τον ίδιο τον χρήστη. Η πολυπλοκότητα των μεθόδων και τα υποκρυπτόμενα μηχανικά και σεισμολογικά φαινόμενα καθιστούν την ανάπτυξη των συγκεκριμένων κριτηρίων ως μια πρόκληση εκτός και αν ο χρήστης είναι μηχανικός με εμπειρία στην μη γραμμική σεισμική ανάλυση.

Η μεθοδολογία της *FEMA/NIBS* στα πλαίσια μετριασμού του σεισμικού κινδύνου περιλαμβάνει και τμήμα του *Building Seismic Council's (BSSC's)* το οποίο αναπτύχθηκε από το *NEHRP Guideline for Seismic Rehabilitation of Building* και αναφέρεται πιο απλά ως *NEHR Guidelines*. Όπως και η μεθοδολογία του *HAZUS* έτσι και η *NEHR Guidelines* αντιπροσωπεύουν μια πολυετή και τεράστια προσπάθεια, ενώ και οι δύο χρησιμοποιούν τον ίδιο τρόπο χαρακτηρισμού της εδαφικής κίνησης (με φάσματα απόκρισης) και κοινό τρόπο χαρακτηρισμού της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής μέσω μη γραμμικής ανάλυσης (*pushover*). Η ομοιότητα λοιπόν των δύο αυτών θεμελιωδών εννοιών επιτρέπει την διασύνδεση των δύο μεθόδων (του *HAZUS* και της *NEHR Guidelines*) με στόχο την ανάπτυξη κοινών μοντέλων κτιριακών βλαβών και απωλειών λόγω σεισμού.

Εν κατακλείδι ο κύριος σκοπός της μεθοδολογίας του *HAZUS* είναι να παρέχει για συγκεκριμένα κτίρια τα απαραίτητα εργαλεία εκτίμησης των βλαβών τα οποία χρησιμοποιούνται από μηχανικούς με ειδικευση στο αντικείμενο των σεισμών. Για να παράγουν ακριβή αποτελέσματα οι μηχανικοί θα πρέπει να είναι σε θέση να κάνουν μια σχετικά πολύπλοκη *pushover* ανάλυση, μια διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω. Η κύρια λοιπόν προσέγγιση της μεθοδολογίας είναι να παραχθεί ένας συνδυασμός ανάμεσα στην μη γραμμική στατική ανάλυση (*pushover*) και στις μεθόδους εκτίμησης των απωλειών. Οι μηχανικοί πλέον παρουσιάζοντας μια λεπτομερή *pushover* ανάλυση μπορούν να εξάγουν χρήσιμα συμπεράσματα και να έχουν πιο κατανοητά αποτελέσματα για τα πιθανά μοντέλα αστοχίας του κτιρίου, για την ολική απόκριση της κατασκευής, τόσο στα δομικά όσο και στα μη δομικά συστήματα, αλλά και για το κόστος και τον χρόνο που απαιτείται για την επισκευή των κατεστραμμένων στοιχείων του κτιρίου.

### 1.2.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ HAZUS

Η ροή της μεθοδολογίας του *HAZUS* ανάμεσα στις ενότητες που σχετίζονται με τις κτιριακές ζημιές και τις λειτουργικές απώλειες απεικονίζεται στο Σχήμα 1.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.1



Τα απαραίτητα λοιπόν στοιχεία που σύμφωνα με το σχήμα θα πρέπει να γνωρίζουμε για την εκτίμηση των κτιριακών βλαβών, είναι η εδαφική κίνηση και οι πιθανές μορφές εδαφικής αστοχίας, που χαρακτηρίζονται από τις μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις. Με την σειρά της η εκτίμηση των κτιριακών βλαβών χρησιμοποιείται ως δεδομένο εισόδου για την εκτίμηση άλλων ενοτήτων ζημιών που έχουν σχέση με τους κινδύνους από τις υλικές εγκαταστάσεις και την πρόκληση βλαβών αλλά και με την πιθανή επιρροή τους στα μέσα μεταφοράς και στα συστήματα ζωτικών δικτύων. Ακόμα πιο σημαντικό όμως είναι το γεγονός ότι οι ζημιές χρησιμοποιούνται σαν δεδομένο για ένα μεγάλο αριθμό ενοτήτων που σχετίζονται με απώλειες, όπως για παράδειγμα, ο υπολογισμός των ανθρώπινων θυμάτων, η εκτίμηση των άμεσων οικονομικών απωλειών, οι μετακινήσεις νοικοκυριών, η εύρεση βραχυπρόθεσμου καταφυγίου, η απώλεια λειτουργιών έκτακτης ανάγκης αλλά και ο χρόνος που απαιτείται για την αποκατάσταση των βλαβών και της απώλειας λειτουργιών.

Η μεθοδολογία του HAZUS σε συνάρτηση με την εδαφική κίνηση έχει δύο βασικές συνιστώσες:

- Τις καμπύλες ικανότητας (capacity curves) και
- Τις καμπύλες τρωτότητας (fragility curves)

Οι καμπύλες ικανότητας βασίζονται σε μηχανικές παραμέτρους (όπως η τέμνουσα διαρροής και η τέμνουσα αστοχίας) που χαρακτηρίζουν τη μη γραμμική συμπεριφορά των 36 διαφορετικών μοντέλων κτιριακών τύπων. Για κάθε έναν από τους 36 αυτούς κτιριακούς τύπους, οι παράμετροι ικανότητας διακρίνονται ανάλογα με τα διαφορετικά επίπεδα σεισμικού σχεδιασμού και την προβλεπόμενη σεισμική απόκριση της κατασκευής.

Οι καμπύλες τρωτότητας με την σειρά τους περιγράφουν την πιθανότητα να έχουμε ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλαβών στο κτίριο, που μπορεί να αντιστοιχούν σε βλάβες τόσο στα δομικά όσο και στα μη δομικά μέλη της κατασκευής. Τα μη δομικά μέλη διακρίνονται στα ευπαθή στις μετακινήσεις και στα ευπαθή στην επιτάχυνση. Για μια δεδομένη σεισμική απόκριση λοιπόν οι καμπύλες τρωτότητας κυμαίνονται μεταξύ τεσσάρων φυσικών επιπέδων ζημιάς: Μικρή, Μέτρια, Εκτεταμένη και Ολοκληρωτική.

Οι σεισμικές απώλειες εξαιτίας των κτιριακών ζημιών βασίζονται στα φυσικά επίπεδα ζημιάς τα οποία κρίνονται ως τα πιο κατάλληλα και πιο σημαντικά για να συνεισφέρουν στην εκτίμηση του συγκεκριμένου τύπου απώλειας. Για παράδειγμα, οι θάνατοι βασίζονται πρώτιστα στο επίπεδο ολοκληρωτικής ζημιάς των δομικών στοιχείων της κατασκευής, αφού η μερική ή η ολική κατάρρευση της κατασκευής θεωρείται ότι κυριαρχεί σε αυτόν τον τύπο απώλειας. Αντίθετα οι άμεσες οικονομικές απώλειες όπως π.χ. κόστος ανακατασκευής, αντικατάστασης κλπ, συσσωρεύονται από όλα τα επίπεδα ζημιάς τόσο στα δομικά όσο και στα μη δομικά μέλη της κατασκευής, αφού όλα συνεισφέρουν στην οικονομική απώλεια.

### 1.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στην μεθοδολογία του HAZUS τα κτίρια ομαδοποιούνται με βάση κάποια κριτήρια, τα οποία έχουν άμεση σχέση με τον τρόπο χρήσης του κτιρίου ή κατοχής του αλλά και με το είδος του δομικού συστήματος ή το μοντέλο του κτιριακού τύπου.

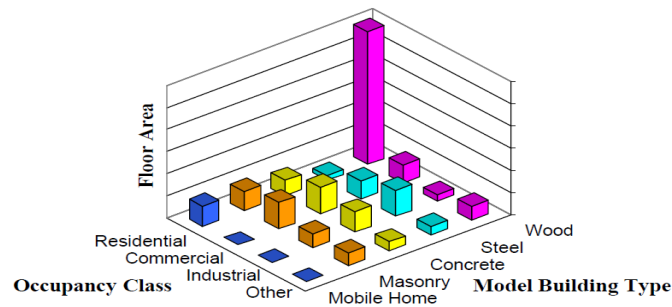
Αναλυτικότερα οι ακριβείς παράγοντες που χρησιμοποιούνται για την κατηγοριοποίηση των κτιρίων είναι οι ακόλουθοι:

- Κατηγορία χρήσης κτιρίου
- Δομικές παράμετροι που επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα και την απόκριση της κατασκευής
  - Ο κύριος φέρων οργανισμός
  - Το ύψος του κτιρίου
  - Η αντισεισμικότητα
- Μη δομικά στοιχεία που επηρεάζουν τη μη δομική αστοχία
- Κατασκευαστικές τεχνικές κατά περιοχή
- Μεταβολές των δομικών γνωρισμάτων εντός της κατηγορίας

Η ζημιά προβλέπεται με βάση τον κτιριακό τύπο, αφού τα δομικά συστήματα θεωρούνται ως παράγοντας κλειδί σε ότι έχει σχέση με την αξιολόγηση της κτιριακής συμπεριφοράς, με την απώλεια των λειτουργιών αλλά και με τον υπολογισμό των θυμάτων. Η κατηγορία χρήσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον καθορισμό των οικονομικών απωλειών κατά κύριο λόγο, καθώς η αξία του κτιρίου είναι συνάρτηση της χρήσης του π.χ. ένα νοσοκομείο είναι πιο “πολύτιμο” από ένα εμπορικό κέντρο, εξαιτίας των πολύ ακριβών μη δομικών συστημάτων και του πολύ ακριβού περιεχομένου του και όχι λόγω του δομικού του συστήματος.

Τριάντα τρεις λοιπόν κατηγορίες χρήσης (Πίνακας 1.2) έχουν οριστεί στο εγχειρίδιο του HAZUS για να διακρίνουν εκτενέστερα τα οικιακά, εμπορικά, βιομηχανικά και άλλα είδη κτιρίων και τριάντα έξι μοντέλα κτιριακού τύπου χρησιμοποιούνται για να ομαδοποιήσουν τα κτίρια μέσα σε γενικές κατηγορίες όπως ξύλινα κτίρια, μεταλλικά κτίρια ή κτίρια από σκυρόδεμα. Στο Σχήμα 1.2 δίνεται η συσχέτιση του μοντέλου του κτιριακού τύπου με την χρήση του για μια δεδομένη γεωγραφική έκταση κατά όροφο κτιρίου. Έτσι σε μια δεδομένη γεωγραφική έκταση η κατανομή της συνολικής έκτασης των ορόφων για ένα μοντέλο κτιριακού τύπου είναι γνωστή για κάθε είδος χρήσης. Στο σχήμα αυτό φαίνονται μόνο οι τέσσερις κατηγορίες χρήσης και οι πέντε κατηγορίες κατασκευών ενώ στην μεθοδολογία FEMA/NIBS οι υπολογισμοί βασίζονται σε 28 κατηγορίες χρήσης και σε 36 μοντέλα κτιριακού τύπου.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (HAZUS)



Σχήμα 1.2

Σήμανση	Κατηγορία χρήσης	Ενδεικτική Περιγραφή
	<b>Οικιστική</b>	
RES1	Μονοκατοικίες	Οικία
RES2	Λυόμενες κατοικίες	Λυόμενη κατοικία
RES3	Πολυκατοικίες	Διαμέρισμα/ Συνιδιοκτησία
	RES3A διπλή κατοικία RES3B 3-4μονάδες RES3C 5-9 μονάδες RES3D 10-19 μονάδες	
	RES3E 20-49 μονάδες RES3F 50+ μονάδες	
RES4	Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχεία/Μοτέλ
RES5	Ξενώνες/Εστίες	Κοινής χρήσης (στρατώνες, εστίες) φυλακές
RES6	Οίκοι φιλοξενίας	
	<b>Εμπορική</b>	
COM1	Λιανικό εμπόριο	Κατάστημα
COM2	Γενικό εμπόριο	Αποθήκες
COM3	Αυτοεργοδοτούμενοι	Συνεργεία/καταστήματα
COM4	Επαγγελματικές/Τεχνικές υπηρεσίες	Γραφεία
COM5	Τράπεζες	
COM6	Νοσοκομεία	
COM7	Ιατρεία/Κλινικές	
COM8	Ψυχαγωγία/Διασκέδαση	Εστιατόριο/ Μπαρ
COM9	Θέατρα	Θέατρα
COM10	Χώροι στάθμευσης	
	<b>Βιομηχανική</b>	
IND1	Βαριά	Εργοστάσια
IND2	Βιοτεχνίες	Εργοστάσια
IND3	Τρόφιμα/Φάρμακα/ Χημικά	Εργοστάσια
IND4	Μέταλλα/Μεταλλεύματα	Εργοστάσια
IND5	Υψηλής τεχνολογίας	Εργοστάσια
IND6	Κατασκευές	Γραφεία
	<b>Αγροτική</b>	
AGR1	Αγροτική	
	<b>Θρησκευτική /Μη κερδοφόρα</b>	
REL1	Εκκλησίες/Μη κερδοφόρα	
	<b>Κυβερνητική / Δημόσια</b>	
GOV1	Γενικές Υπηρεσίες	Γραφεία
GOV2	Αμέσου ανταπόκρισης	Αστυνομία/Πυροσβεστική
	<b>Εκπαίδευση</b>	
EDU1	Λύκεια	
EDU2	Κολλέγια/Πανεπιστήμια	

Πίνακας 1.2: Κατηγορίες χρήσης κτιρίων σύμφωνα με την μεθοδολογία HAZUS.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Ο Πίνακας 1.3 που ακολουθεί περιγράφει τα μοντέλα κτιριακού τύπου και το ύψος τους. Για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων των καμπύλων ικανότητας χρησιμοποιούμε τα τυπικά ύψη, όπως αυτά ορίζονται στον πίνακα.

α/α	Σήμανση	Περιγραφή	Ύψος			
			Εύρος		Τυπικό	
			Όνομα	Όροφοι	Όροφοι	Πόδια
1	W1	Ξύλο, ελαφρύς Φ/Ο ( $\leq 5.000$ sq.ft.)		1 - 2	1	14
2	W2	Ξύλο, Εμπορικό και Βιομηχανικό(> 5,000 sq. ft.)		όλα	2	24
3	S1L	Μεταλλική κατασκευή, πλαίσιακό δομικό σύστημα	Χαμηλά	1 - 3	2	24
4	S1M		Μέσου	4 - 7	5	60
5	S1H		Υψηλά	8+	13	156
6	S2L	Μεταλλική κατασκευή, ενισχυμένο δομικό σύστημα	Χαμηλά	1 - 3	2	24
7	S2M		Μέσου	4 - 7	5	60
8	S2H		Υψηλά	8+	13	156
9	S3	Μεταλλική ελαφριά κατασκευή		όλα	1	15
10	S4L	Μεταλλική κατασκευή με επί τόπου συνδεόμενα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος	Χαμηλά	1 - 3	2	24
11	S4M		Μέσου	4 - 7	5	60
12	S4H		Υψηλά	8+	13	156
13	S5L	Μεταλλική κατασκευή με άοπλη τοιχοπλήρωση	Χαμηλά	1 - 3	2	24
14	S5M		Μέσου	4 - 7	5	60
15	S5H		Υψηλά	8+	13	156
16	C1L	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαίσιακό σύστημα	Χαμηλά	1 - 3	2	20
17	C1M		Μέσου	4 - 7	5	50
18	C1H		Υψηλά	8+	12	120
19	C2L	Οπλισμένο σκυρόδεμα, μικτό σύστημα (τοιχία)	Χαμηλά	1 - 3	2	20
20	C2M		Μέσου	4 - 7	5	50
21	C2H		Υψηλά	8+	12	120
22	C3L	Οπλισμένο σκυρόδεμα, πλαίσιακό σύστημα με τοιχοπληρώσεις	Χαμηλά	1 - 3	2	20
23	C3M		Μέσου	4 - 7	5	50
24	C3H		Υψηλά	8+	12	120
25	PC1	Προκατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα με επί τόπου συνδεόμενα τοιχώματα		όλα	1	15
26	PC2L	Προκατασκευή από οπλισμένα πλαίσια σκυροδέματος	Χαμηλά	1-3	2	20
27	PC2M		Μέσου	4-7	5	50
28	PC2H		Υψηλά	8+	12	120
29	RM1L	Οπλισμένη φέρουσα τοιχοποιία με ξύλινα ή μεταλλικά διαφράγματα	Χαμηλά	1-3	2	20
30	RM2M		Μέσου	4+	5	50
31	RM2L	Οπλισμένη φέρουσα τοιχοποιία με προκατασκευασμένα διαφράγματα από σκυρόδεμα	Χαμηλά	1 - 3	2	20
32	RM2M		Μέσου	4 - 7	5	50
33	RM2H		Υψηλά	8+	12	120
34	URML	Αόπλη φέρουσα τοιχοποιία	Χαμηλά	1 - 2	1	15
35	URMM		Μέσου	3+	3	35
36	MH	Λυόμενες Κατοικίες		όλα	1	10

**Πίνακας 1.3: Δομικοί τύποι κτιρίων μεθοδολογίας HAZUS.**

### 1.2.3 ΔΟΜΙΚΑ-ΜΗ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΤΙΣΜΑΤΩΝ

Τα κτίρια συντίθενται από δομικά συστήματα όπως ο φέροντας οργανισμός και από μη δομικά συστήματα όπως τα αρχιτεκτονικά και μηχανικά στοιχεία της κατασκευής. Ενώ οι ζημιές στα δομικά συστήματα της κατασκευής έχουν τη μέγιστη επίδραση στις ανθρώπινες ζωές και στις καταστροφές που προκαλούνται από τις λειτουργικές απώλειες, οι ζημιές στα μη δομικά συστήματα της κατασκευής και στο περιεχόμενο των κτισμάτων τείνουν να κυριαρχήσουν στις οικονομικές απώλειες. Τυπικά οι ζημιές στα δομικά μέλη αντιπροσωπεύουν το 25% των κτιριακών ζημιών.

Για να επιτύχουν οι επιστήμονες την καλύτερη εκτίμηση διαφορετικών τύπων βλαβών προβλέπουν τις ζημιές ξεχωριστά ανάλογα με το αν πρόκειται για 1) δομικό σύστημα 2) για μη δομικά συστήματα ευπαθή στη μετακίνηση και 3) μη δομικά συστήματα ευπαθή στην επιτάχυνση. Το κτιριακό περιεχόμενο συνυπολογίζεται στην τρίτη κατηγορία, δηλαδή στα μη δομικά συστήματα τα ευπαθή στην επιτάχυνση. Ο διαχωρισμός, επομένως ανάμεσα στις τρεις αυτές κατηγορίες μας επιτρέπει να εξασφαλίσουμε μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της απόκρισης της κατασκευής μας στις ζημιές.





Ο Πίνακας 1.4 που ακολουθεί παρουσιάζει μια λίστα από τυπικά συστήματα, που ανήκουν στις δύο τελευταίες κατηγορίες, στα μη δομικά συστήματα, τα ευπαθή στις μετακινήσεις και στην επιτάχυνση, αλλά και μέρη που συγκροτούν το κτιριακό περιεχόμενο.

System Type	Component Description	Drift-Sensitive	Acceleration-Sensitive
Architectural	Nonbearing Walls/Partitions	•	
	Cantilever Elements and Parapets		•
	Exterior Wall Panels	•	
	Veneer and Finishes	•	
	Penthouses	•	
	Racks and Cabinets		•
	Access Floors		•
	Appendages and Ornaments		•
Mechanical and Electrical	General Mechanical (boilers, etc.)		•
	Manufacturing and Process Machinery		•
	Piping Systems		•
	Storage Tanks and Spheres		•
	HVAC Systems (chillers, ductwork, etc.)		•
	Elevators		•
	Trussed Towers		•
	General Electrical (switchgear, ducts, etc.)		•
	Lighting Fixtures		•
Contents	File Cabinets, Bookcases, etc.		•
	Office Equipment and Furnishings		•
	Computer/Communication Equipment		•
	Nonpermanent Manufacturing Equipment		•
	Manufacturing/Storage Inventory		•
	Art and Other Valuable Objects		•

Πίνακας 1.4

#### 1.2.4 ΕΠΙΠΕΔΑ ΒΛΑΒΗΣ

Οι βλάβες του γενικού κτιριακού αποθέματος συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στις μελέτες αποτίμησης της διακινδύνευσης. Για την περιγραφή της έκτασης των ζημιών ορίζονται τέσσερα επίπεδα βλάβης. Το αποτέλεσμα εκφράζεται μέσω της πιθανότητας μια ομάδα κτιρίων να υποστεί βλάβες που αντιστοιχούν σε μια από τις τέσσερις προκαθορισμένες στάθμες βλάβης: ελαφριές, μέτριες, εκτεταμένες και πλήρεις, ενώ η κατάρρευση θεωρείται ως ένα υποσύνολο της πλήρους βλάβης του δομικού συστήματος. Βέβαια στην πραγματικότητα πρέπει να τονίσουμε ότι η βλάβη ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις του σεισμού. Λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας που παρουσιάζουν οι δομικοί τύποι των κτιρίων, κυρίως της οικιστικής χρήσης, το αποτέλεσμα αυτών των μελετών προτιμότερο είναι να λαμβάνεται υπόψη ως πρόβλεψη των βλαβών παρά ως ένδειξη το αποτέλεσμα είναι περισσότερο αξιόπιστο όσο αυξάνει το πλήθος των κτιρίων της μελέτης. Μετά από ένα σεισμικό επεισόδιο παρατηρούνται απώλειες τόσο των δομικών όσο και των μη δομικών στοιχείων των κατασκευών. Η ακολουθούμενη μέθοδος διαχωρίζει τις δομικές και τις μη δομικές βλάβες ενώ γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός για τις μη δομικές μεταξύ των στοιχείων που είναι ευπαθή στις μετακινήσεις (drift sensitive-τοιχοπληρώσεις) και στην επιτάχυνση (acceleration sensitive-μηχανολογικοί εξοπλισμοί). Για κάθε είδος βλάβης διατίθενται ξεχωριστές καμπύλες τρωτότητας. Ένα ευρύτερο πεδίο τιμών ζημιάς χρησιμοποιείται από τους χρήστες για να περιγράψει τις κτιριακές ζημιές, δεδομένου ότι δεν είναι πρακτικό να υπάρχει μια συνεχής κλίμακα ταξινόμησης των βλαβών. Τα επίπεδα βλαβών παρέχουν στον χρήστη την ικανότητα να κατανοεί καλύτερα τις φυσικές ιδιότητες του κτιρίου. Οι λειτουργικές απώλειες συσχετίζουν τις φυσικές ιδιότητες του κτιρίου με ποικίλες παραμέτρους απωλειών (όπως οικονομικές απώλειες, ανθρώπινα θύματα κτλ.). Για παράδειγμα, οι άμεσες οικονομικές απώλειες που αντιστοιχούν στο μέτριο επίπεδο βλάβης θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν το 10% της αξίας αντικατάστασης των δομικών και μη δομικών συστημάτων κατά μέσο όρο.

Damage State		Description
	<b>Slight</b>	Small plaster cracks at corners of door and window openings and wall-ceiling intersections; small cracks in masonry chimneys and masonry veneers. Small cracks are assumed to be visible with a maximum width of less than 1/8 inch (cracks wider than 1/8 inch are referred to as "large" cracks).
	<b>Moderate</b>	Large plaster or gypsum-board cracks at corners of door and window openings; small diagonal cracks across shear wall panels exhibited by small cracks in stucco and gypsum wall panels; large cracks in brick chimneys; toppling of tall masonry chimneys.
	<b>Extensive</b>	Large diagonal cracks across shear wall panels or large cracks at plywood joints; permanent lateral movement of floors and roof; toppling of most brick chimneys; cracks in foundations; splitting of wood sill plates and/or slippage of structure over foundations.
	<b>Complete</b>	Structure may have large permanent lateral displacement or be in imminent danger of collapse due to cripple wall failure or failure of the lateral load resisting system; some structures may slip and fall off the foundation; large foundation cracks. Three percent of the total area of buildings with Complete damage is expected to be collapsed, on average.

**Πίνακας 1.5: Παράδειγμα επιπέδων βλαβών για κτίριο τύπου W1.**

Τα τέσσερα επίπεδα βλάβης, όπως ορίζονται στο εγχειρίδιο του FEMA/NIBS είναι κοινά με τα επίπεδα βλάβης που ορίζονται και στο *Expected Seismic Performance of Buildings*, εκτός βέβαια από το γεγονός ότι οι περιγραφές των διαφόρων επίπεδων βλαβών διαφοροποιούνται ανάλογα με το μοντέλο του κτιριακού τύπου, που βασίζεται στον τύπο του δομικού συστήματος και στα υλικά που χρησιμοποιούνται.

### **1.2.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (CAPACITY CURVES)**

Η καμπύλη ικανότητας (Capacity Curve) αντιστοιχεί στην πλευρική κατανομή των φορτίων σε συνάρτηση με την χαρακτηριστική πλευρική μετακίνηση της κατασκευής δηλαδή ένα διάγραμμα δύναμης και πλευρικής εκτροπής. Το διάγραμμα της καμπύλης ικανότητας προέρχεται από την καμπύλη pushover, από την καμπύλη δηλαδή που παρουσιάζει την στατικά ισοδύναμη κατανομή της τέμνουσας σε συνάρτηση με την μετακίνηση οροφής του κτιρίου. Προκειμένου όμως να είναι πιο εύκολη η σύγκριση της pushover με το φάσμα απόκρισης, η κατανομή της τέμνουσας βάσης μετατρέπεται με την χρήση κατάλληλων συντελεστών σε φασματική επιτάχυνση και η μετακίνηση οροφής μετατρέπεται σε φασματική μετακίνηση, χρησιμοποιώντας προδιαγραφές που αντιπροσωπεύουν την απόκριση της pushover. Η καμπύλη pushover και η καμπύλη ικανότητας προέρχονται από έννοιες κοινές με αυτές των οδηγιών *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* [FEMA, 1997] και *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* [SSC, 1996], γνωστό ως ATC-40.

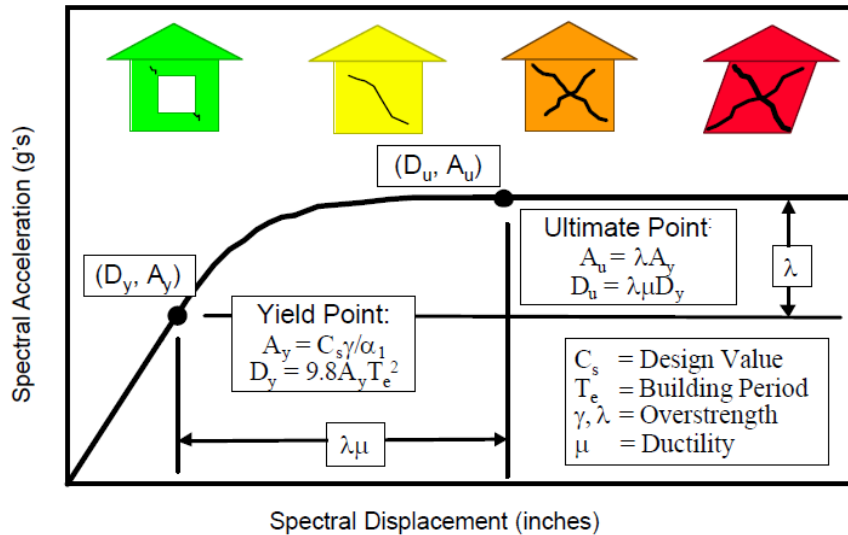
Οι καμπύλες ικανότητας κατασκευάζονται για κάθε μοντέλο κτιριακού τύπου και αναπαριστούν διαφορετικά επίπεδα πλευρικής δύναμης σχεδιασμού για δεδομένες συνθήκες φόρτισης. Κάθε καμπύλη ικανότητας τώρα, ορίζεται από δύο σημεία, τα όποια μπορούν να θεωρηθούν και σαν σημεία ελέγχου της καμπύλης:

- 1) το σημείο διαρροής και
- 2) το σημείο αστοχίας

Το *σημείο διαρροής* αναπαριστά την πλευρική δύναμη του κτιρίου, που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την δύναμη σχεδιασμού και την υπεραντοχή της κατασκευής. Η δύναμη σχεδιασμού για ένα μοντέλο κτιριακού τύπου βασίζεται είτε στις απαιτήσεις του ισχύοντα σεισμικού κανονισμού είτε για κτίρια τα οποία δεν σχεδιάζονται για σεισμικά φορτία, στην εκτίμηση της πλευρικής δύναμης, από την μέγιστη καταπόνηση που δέχονται. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν κτίρια τα οποία σχεδιάζονται για άνεμο, όπως είναι τα πολύ ψηλά κτίρια που βρίσκονται σε περιοχές με πολύ μικρή ή μέτρια σεισμικότητα. Τα κτίρια αυτά είναι πολύ πιθανό να έχουν πλευρική δύναμη σχεδιασμού αρκετά μεγαλύτερη από αυτή που θα προέκυπτε από τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό.

Το *σημείο αστοχίας* αναπαριστά την μέγιστη δύναμη που μπορεί να φέρει το κτίριο όταν το γενικό δομικό σύστημα είναι πλέον μηχανισμός. Τυπικά ένα κτίριο μπορεί να παραμορφωθεί και πέρα από το σημείο αστοχίας, αλλά η κατασκευή δεν μπορεί να προσφέρει καμία αντίσταση στην πλευρική σεισμική δράση.

Μέχρι το σημείο διαρροής η καμπύλη ικανότητας είναι γραμμική, με ακαμψία βασισμένη στην εκτιμώμενη περίοδο της κατασκευής, ενώ πάνω από το σημείο διαρροής και μέχρι το σημείο αστοχίας η καμπύλη ικανότητας μεταβαίνει με μια κλίση από τον ελαστικό κλάδο στον πλαστικό. Η καμπύλη θεωρείται ότι παραμένει στον πλαστικό κλάδο μετά από το σημείο αστοχίας.



Σχήμα 1.3: Η Capacity Curve για ένα κτίριο και τα δύο σημεία ελέγχου.

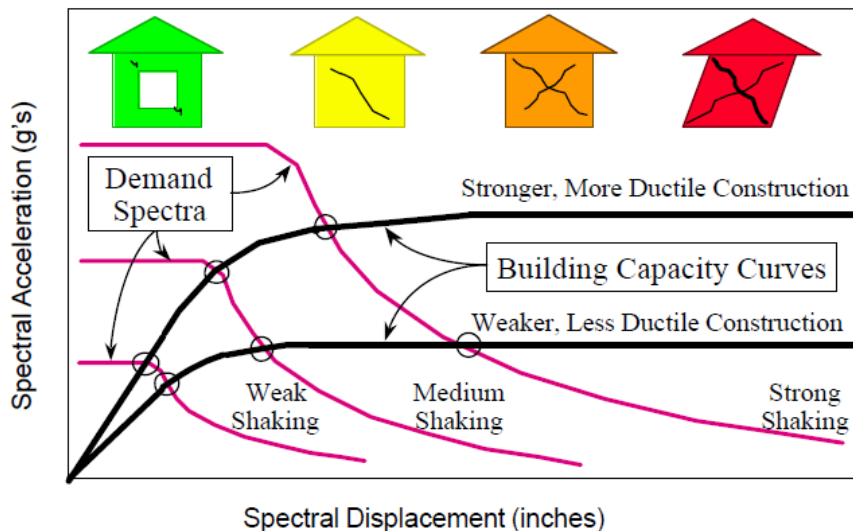
Οι παράμετροι που ορίζουν το σημείο διαρροής και το σημείο αστοχίας, όπως φαίνονται και στο Σχήμα 1.3 είναι οι εξής:

- $C_s$  το σημείο που αντιστοιχεί στην διαρροή για τις τιμές σχεδιασμού.
- $T_e$  αναμενόμενη «ελαστική» θεμελιώδης περίοδος της κατασκευής (sec).
- $\alpha_1$  τμήμα του ενεργού βάρους της κατασκευής στην pushover.
- $\alpha_2$  συντελεστής.
- $\gamma$  συντελεστής υπεραντοχής, που συσχετίζει την δύναμη που αντιστοιχεί στη διαρροή με την δύναμη σχεδιασμού.
- $\lambda$  συντελεστής υπεραντοχής, ο οποίος συσχετίζει την δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο αστοχίας με την δύναμη στο σημείο διαρροής.
- $\mu$  πλαστιμότητα, ορίζεται ως ο λόγος της μετατόπισης αστοχίας προς την μετατόπιση που αντιστοιχεί στο σημείο της διαρροής.



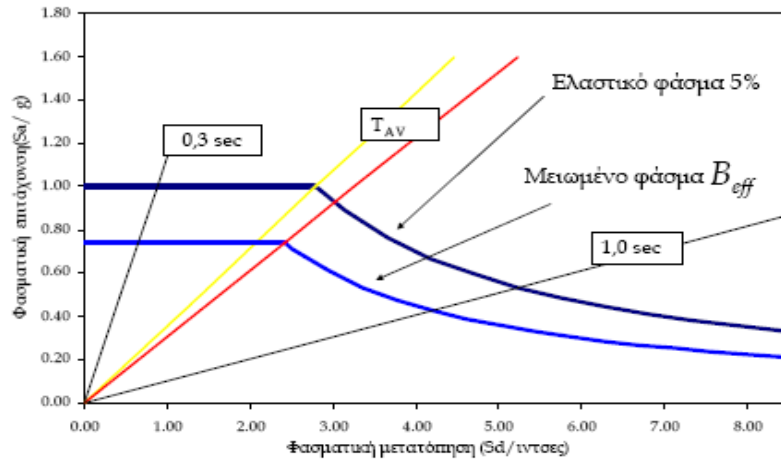
### 1.2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η απαιτούμενη μετακίνηση της κατασκευής καθορίζεται ως το σημείο τομής του φάσματος απαίτησης για τον σεισμό που δρα και της καμπύλης ικανότητας του κτιρίου. Στο Σχήμα 1.4 που ακολουθεί φαίνονται ενδεικτικά τρία παραδείγματα φασμάτων απαίτησης για σεισμούς, που αντιστοιχούν σε αδύναμη, μέτρια και σε ισχυρή εδαφική κίνηση και δύο παραδείγματα καμπύλων ικανότητας που αντιπροσωπεύουν μια αδύναμη και μια ισχυρή κατασκευή. Όπως λοιπόν μπορούμε να δούμε και από το σχήμα, η ισχυρότερη και περισσότερο άκαμπτη κατασκευή μετατοπίζεται λιγότερο σε σχέση με την αδύναμη και περισσότερο εύκαμπτη, αναφερόμενοι πάντα στο ίδιο σεισμικό φάσμα σχεδιασμού, ενώ αναμένουμε λιγότερες ζημιές για τα δομικά και για τα μη δομικά μέλη τα ευπαθή στις μετακινήσεις. Σε αντίθεση η ισχυρή και περισσότερο άκαμπτη κατασκευή θα κινηθεί σε μεγαλύτερα επίπεδα επιτάχυνσης και άρα αναμένονται περισσότερες ζημιές στα μη δομικά συστήματα τα ευπαθή όμως στην επιτάχυνση.



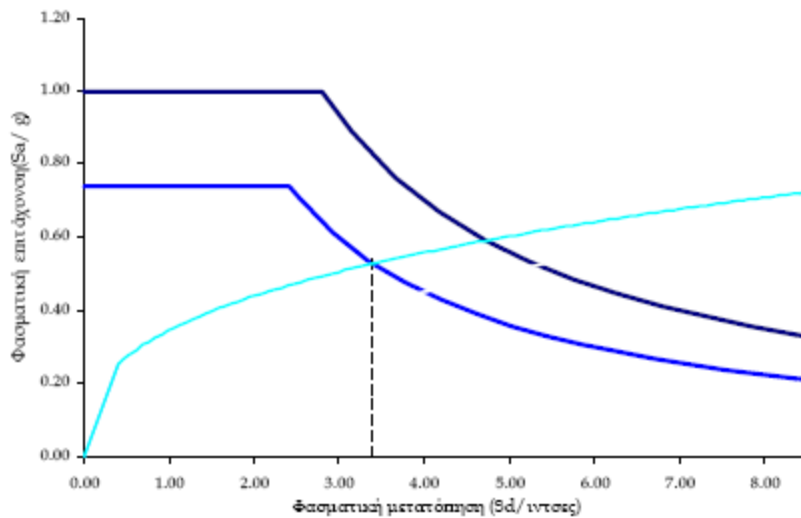
Σχήμα 1.4: Παράδειγμα προσδιορισμού σημείων απόκρισης για 3 διαφορετικά φάσματα σεισμού σχεδιασμού και 2 καμπύλες ικανότητας.

Το ελαστικό φάσμα απαίτησης, απόσβεσης 5%, εφαρμόζεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι κατασκευές παραμένουν στην ελαστική τους περιοχή καθ' όλη την διάρκεια της δόνησης και έχουν ελαστική απόσβεση ίση με 5%. Οι περιπτώσεις αυτές είναι ελάχιστες καθώς πολλές κατασκευές διαθέτουν ελαστικό συντελεστή απόσβεσης διάφορο του 5%, κυρίως όμως, κατά την ανακύκλωση των σεισμικών δυνάμεων αναπτύσσουν ποσοστά απόσβεσης μεγαλύτερα από τα ελαστικά. Αυτό οφείλεται στην απόσβεση (απορρόφηση) της σεισμικής ενέργειας που προκαλούν οι μετελαστικές-μόνιμες παραμορφώσεις της κατασκευής με αποτέλεσμα η απόκριση της να εξαρτάται τελικά από την δρώσα απόσβεση. Η δρώσα απόσβεση είναι το άθροισμα της ελαστικής και της υστερητικής απόσβεσης.



**Σχήμα 1.5: Μειωμένο φάσμα απόκρισης.**

Με δεδομένο το μειωμένο φάσμα σεισμικής απαίτησης του σεισμικού σεναρίου υπολογίζεται η μέγιστη απαιτούμενη μετακίνηση της κατασκευής από το σημείο τομής του φάσματος και της καμπύλης φασματικής ικανότητας (βλ. Σχήμα 1.6). Στην περίπτωση που οι καμπύλες του φάσματος απαίτησης και της ικανότητας της κατασκευής δεν τέμνονται, το κτίριο θεωρητικά καταρρέει.



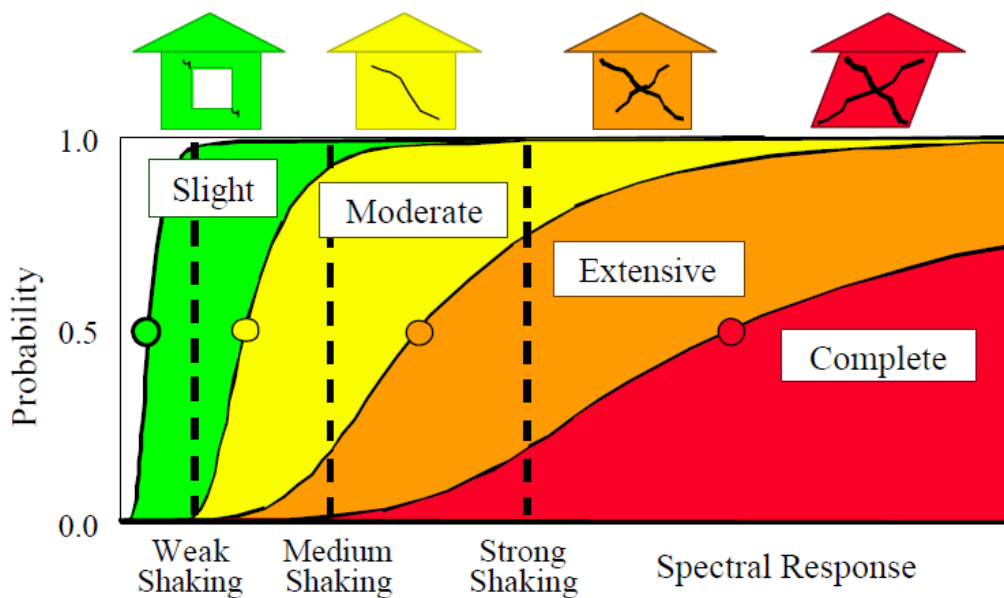
**Σχήμα 1.6: Εκτίμηση απαιτούμενης μετακίνησης της κατασκευής.**

### 1.2.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

Η τρωτότητα μιας κατασκευής αντιστοιχεί ποιοτικά στο πηλίκο της διαφοράς απαιτούμενης και διατιθέμενης αντισεισμικότητας ως προς την απαιτούμενη αντισεισμικότητα. Η ποιοτική αυτή έκφραση σύμφωνα με την FEMA εκφράζεται ποσοτικά με τις καμπύλες τρωτότητας (fragility curves). Οι ζημιές των κτιρίων ακολουθούν συνάρτηση λογαριθμοκανονικής μορφής η οποία συνδέει την πιθανότητα η κατασκευή να φτάσει ή να υπερβεί μια στάθμη βλάβης, με παράμετρο της σεισμικής απαίτησης στην προκειμένη την φασματική μετατόπιση ( $S_d$ ). Αυτές οι

καμπύλες συνεκτιμούν την αβεβαιότητα και την μεταβλητότητα που είναι συνδεδεμένες με τις καμπύλες ικανότητας της κατασκευής, με τον τρόπο που έχουν οριστεί τα επίπεδα ζημιάς αλλά και με τα στοιχεία για τις εδαφικές κινήσεις.

Στο Σχήμα 1.7 που ακολουθεί δίδεται ένα παράδειγμα από καμπύλες τρωτότητας για τα τέσσερα επίπεδα ζημιάς που χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία της FEMA/NIBS. Παράλληλα επεξηγείται και ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίζουμε και τις πιθανότητες να έχουμε ένα επίπεδο βλάβης, σε περίπτωση όμως που έχουμε να μελετήσουμε τρία φάσματα απόκρισης που αντιστοιχούν σε μικρή, μέτρια και ισχυρή εδαφική σεισμική κίνηση. Οι όροι «μικρή», «μέτρια» και «ισχυρή» αναφέρονται στο παρόν σημείο χάριν απλούστευσης, στην πραγματικότητα αυτό που χρησιμοποιούμε στην μεθοδολογία είναι οι ποσότητες της εδαφικής μετακίνησης όπως προκύπτουν από το φάσμα απόκρισης.



Σχήμα 1.7: Παράδειγμα καμπύλων τρωτότητας για Μικρή, Μέτρια, Εκτεταμένη και Ολοκληρωτική ζημιά.

Οι καμπύλες τρωτότητας κατανέμουν την ζημιά στα τέσσερα επίπεδα, όπως αναφέραμε και παραπάνω: στην ελαφριά, στη μέτρια, στην εκτεταμένη και στην πλήρη ζημιά. Για μια δεδομένη, λοιπόν, τιμή φασματικής απόκρισης η πιθανότητα να έχουμε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ζημιάς, ορίζεται ως η διαφορά των αθροιστικών πιθανοτήτων που αντιστοιχούν στο να φτάσουμε ή ακόμα και στο να υπερβούμε τα δύο αυτά διαδοχικά επίπεδα ζημιάς. Κάθε μία από αυτές τις καμπύλες καθορίζεται από μια διάμεση τιμή της φασματικής μετακίνησης, ( $S_{d,ds}$ ), που αποτελεί το κατώτατο όριο του συγκεκριμένου επιπέδου ζημιάς, και από μια τυπική απόκλιση που σχετίζεται με το συγκεκριμένο επίπεδο ζημιάς.

Η πιθανότητα βλάβης της κατασκευής δίνεται από την συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της λογαριθμοκανονικής κατανομής:

$$P[ds | S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right]$$

Όπου:

- $ds$  η κάθε στάθμη βλάβης
- $S_{d,ds}$  η μέση τιμή της φασματικής μετατόπισης που εκτιμάται για κάθε επίπεδο βλάβης  $ds$
- $\beta_{ds}$  η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της φασματικής μετακίνησης για στάθμη βλάβης  $ds$
- $\Phi$  η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής πιθανότητας της κανονικής κατανομής

### **1.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

#### **1.3.1 ΚΤΙΡΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ**

Το κεφάλαιο αυτό κατευθύνει τους χρήστες στην κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης των καμπυλών ικανότητας, όπως επίσης και στην κατανόηση των συσχετιζόμενων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται από την ΑΕΒΜ, με τελικό στόχο τον υπολογισμό της κτιριακής απόκρισης ως μια συνάρτηση της εδαφικής μετακίνησης στην τοποθεσία του εξεταζόμενου κτιρίου. Θεωρείται ως δεδομένο ότι ο χρήστης έχει ήδη ολοκληρώσει μια μη γραμμική στατική ανάλυση του κτιρίου (pushover), η οποία συμβαδίζει και ουσιαστικά με τις οδηγίες του εγχειριδίου της NEHRP (ή ATC-40).

Η pushover ανάλυση αντιπροσωπεύει την πλευρική κατανομή δύναμης σε συνάρτηση με ένα μέγεθος απόκρισης της κατασκευής το οποίο και μας ενδιαφέρει. Η χρησιμότητα της pushover ανάλυσης στην ανάπτυξη των λειτουργιών ευπάθειας της κατασκευής, έγκειται στο ότι συμβάλει κατάλληλα στην κατανόηση των μοντέλων αστοχίας των στοιχείων και των συνιστωσών της κατασκευής. Σε γενικές γραμμές το τελευταίο απαιτεί περισσότερο αναλυτικές και περίπλοκες αναλύσεις από ότι απαιτεί η απλή αξιολόγηση της κτιριακής απόκρισης.

Το εγχειρίδιο της NEHRP (και η ATC-40) παρέχει στους χρήστες μια σχεδόν ολοκληρωμένη περιγραφή των μεθόδων της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης, συμπεριλαμβάνοντας και οδηγίες σχετικά με την μορφή και την αξιολόγηση της μεταελαστικής συμπεριφοράς των στοιχείων και των συνιστωσών του κτιρίου. Επιπλέον το εγχειρίδιο περιλαμβάνει και οδηγίες σχετικά με τον τρόπο εκτέλεσης μιας pushover ανάλυσης σχετικά και με την εκμετάλλευση των αποτελεσμάτων της για την εκτίμηση των κτιριακών απωλειών. Εφόσον το εγχειρίδιο της NEHRP είναι ένα καθαρώς τεχνικό έγγραφο σχεδιασμού, οι χρήστες θα πρέπει να γνωρίζουν ότι το χαρακτηρίζει ένας βαθμός συντηρητισμού, ο οποίος δεν ταιριάζει με την μεθοδολογία εκτίμησης των σεισμικών απωλειών. Επομένως για την εκτίμηση των απωλειών η μέθοδος pushover θα πρέπει να αναπαριστά το κτίριο, όσο το δυνατόν πιο αντικειμενικά, χωρίς στοιχεία συντηρητισμού. Η γεωμετρία του κτιρίου, η αντοχή

των υλικών και τα όρια απόκρισης, κλπ. θα πρέπει να αναπαριστούν τις τυπικές κτιριακές συνθήκες και την πιθανή απόκριση της κατασκευής και να μη βασίζονται σε συντηρητικές ή σε «περισσότερο χειρότερες» υποθέσεις.

Οι χρήστες θα πρέπει να καθορίζουν πόσα διαφορετικά μοντέλα pushover απαιτούνται για την εκτίμηση των απωλειών. Για πολύπλοκα κτίρια, η pushover θα πρέπει να αναπτυχθεί σε κάθε οριζόντια διεύθυνση απόκρισης (εάν βέβαια η απόκριση είναι διαφορετική στις διαφορετικές διευθύνσεις) και ξεχωριστά για κάθε δομικό τμήμα της κατασκευής. Αυτό είναι σύνηθες σε μεγάλα κτήρια, τα οποία αποτελούνται από περισσότερα του ενός δομικά μέλη και διαχωρίζονται με κατασκευαστικούς κόμβους. Κάθε κατασκευή έχει διαφορετική ικανότητα παραλαβής φορτίων και διαφορετικές παραμέτρους απόκρισης. Σε ένα συμμετρικό κτίριο μια και μοναδική pushover ανάλυση μπορεί να περιγράψει την συμπεριφορά απόκρισης του κτιρίου, ενώ σε ένα πολύπλοκο κτίριο ή σε ένα κτίριο ακανόνιστου σχήματος μια μόνο pushover ανάλυση δεν θα μπορούσε να αναπαραστήσει ρεαλιστικά την απόκριση της κατασκευής και την αστοχία της, όπως επίσης και τις πιθανές βλάβες και απώλειες που θα μπορούσαν να συμβούν.

Αν θεωρήσουμε για παράδειγμα ένα μεγάλο κτίριο με κλίση, το οποίο αποτελείται από τρία δομικά μέλη, τοποθετημένα γραμμικά (τρία ορθογωνικά τμήματα). Τέτοια κτίρια είναι συνήθως βιομηχανικές εγκαταστάσεις και αποθηκευτικοί χώροι. Τα δομικά αυτά τμήματα στα τελειώματα τους είναι ίδια και έχουν πλαισιωμένα τοιχώματα με κλίση καθ' ύψος και στις τρεις πλευρές. Στο μέσον τα τμήματα αυτά διαφέρουν μεταξύ τους κατασκευαστικά και έχουν τοιχώματα που αναπτύσσονται μόνο στις δύο αντίθετες πλευρές τους. Και τα τρία αυτά μέλη είναι ισχυρά στο τμήμα των τοιχωμάτων, κοντά στην περίμετρο του κτιρίου αλλά γενικά ασθενούν στην διεύθυνση την κάθετη στα τοιχώματα και κοντά στις γωνίες του κτιρίου. Και τα τρία αυτά δομικά μέλη έχουν ευέλικτα διαφράγματα. Η πιθανή κτιριακή απόκριση και τα μοντέλα αστοχίας ακολουθούν:

- Τοπική, εκτός επιπέδου αστοχία σε μερικά τοιχώματα (εξαιτίας αστοχίας στην σύνδεση των τοιχωμάτων με την οροφή)-μια μορφή αστοχίας περισσότερο πιθανή να συμβεί στο μέσο των μελών και μακριά από τις γωνίες του κτιρίου.
- Ολική κατάρρευση στο κεντρικό τμήμα κατά την ασθενή διεύθυνση.
- Μερική κατάρρευση στα τελειώματα, κατά την ασθενή διεύθυνση, λόγω στρεπτικής καταπόνησης.

Οι χρήστες θα μπορούσαν να αναπτύξουν πολλαπλές αναλύσεις pushover για την εκτίμηση των διαφόρων μοντέλων απόκρισης και αστοχίας του κτιρίου, που περιγράφονται παραπάνω. Οι πολλαπλές αναλύσεις pushover μπορούν να μετατραπούν σε πολλαπλά κριτήρια ζημιάς και σε λειτουργικές απώλειες ή θα μπορούσαν να συμπυκνωθούν όλες σε ένα μοντέλο βλαβών και λειτουργικών απωλειών. Εάν αναπτυχθούν πολλαπλά μοντέλα για διάφορα τμήματα του κτιρίου, τότε οι ζημιές και οι απώλειες θα μπορούν να υπολογιστούν ξεχωριστά για κάθε ένα από αυτά τα μέλη ή θα μπορούν να εκτιμηθούν και για το κτίριο στο σύνολο του.

Η ανάπτυξη ενός μοναδικού μοντέλου εκτίμησης ζημιάς και απωλειών (π.χ., μια μοναδική καμπύλη ικανότητας) για ένα πολύπλοκο κτίριο απαιτεί από τους χρήστες να κρίνουν την πιθανή μορφή αστοχίας, την διεύθυνση απόκρισης κτλ. που αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις πιθανές ζημιές και απώλειες. Στις επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου αυτού θεωρούμε ότι ο χρήστης έχει επιλύσει την πολυπλοκότητα του κτιρίου, μετατρέποντας μια καμπύλη pushover σε παραμέτρους ικανότητας και απόκρισης συμβατές με την ΑΕΒΜ.

Οι χρήστες θα πρέπει να καθορίσουν πόσα και σε τι βαθμό πρέπει να είναι τα στοιχεία και οι συνιστώσες που απαιτείται να χρησιμοποιηθούν για την pushover ανάλυση, ώστε να εκτιμήσουν τις απώλειες. Για τον καθορισμό των παραμέτρων της καμπύλης ικανότητας είναι απαραίτητο η ιδιομορφή της pushover να περιλαμβάνει στοιχεία και συνιστώσες, των οποίων η ακαμψία να επηρεάζει την κτιριακή απόκριση. Από την οπτική γωνία της δυναμικής ανάλυσης, αυτή η απαίτηση μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνει όλους τους βαθμούς ελευθερίας που επηρεάζουν σημαντικά την δυναμική απόκριση της πρώτης ιδιομορφής κατά την διεύθυνση που εξετάζουμε.

Η ευκαμψία των θεμελίων, τα διαφράγματα των ορόφων, κτλ. θα πρέπει να καθοριστούν ρητά κατά την pushover ανάλυση, καθώς η προσθήκη ευκαμψίας στα μέλη αυτά μπορεί να επηρεάσει το ιδιόσχημα που χρησιμοποιήθηκε στην pushover και την κτιριακή απόκριση. Επιπλέον τα μη δομικά μέλη και το περιεχόμενο του κτιρίου θα πρέπει να αποκλείονται από την pushover ανάλυση, διότι θεωρούνται δευτερευούσης σημασίας, σε αντίθεση με τα δομικά στοιχεία που είναι κύριας σημασίας. Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία και συνιστώσες, τα οποία προσθέτουν ακαμψία στο κτίριο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην pushover ανάλυση (και να αφαιρούνται από το μοντέλο όταν αστοχούν κατά την διάρκεια της pushover ανάλυσης).

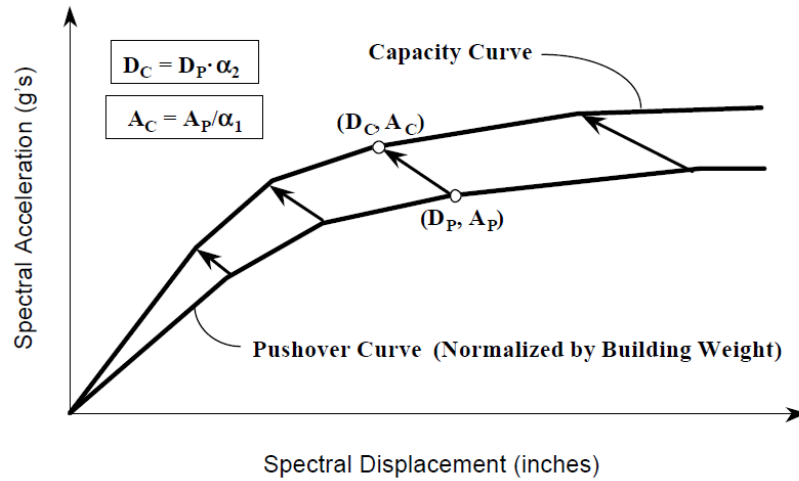
### **1.3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ**

#### **1.3.2.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER ΣΕ ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ**

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη της καμπύλης ικανότητας είναι η μετατροπή των συντεταγμένων της pushover, που είναι η τέμνουσα βάσης και η μετακίνηση οροφής, σε φασματική επιτάχυνση και μετατόπιση αντίστοιχα του ισοδύναμου μονοβαθμίου. Η μετατροπή των συντεταγμένων ορίζεται λίγο αόριστα στο εγχειρίδιο του NEHRP, ενώ περισσότερο αναλυτικά δίδεται στην μεθοδολογία ATC-40, η οποία είναι και περισσότερο συνεπής σε σχέση με την μεθοδολογία του HAZUS.

Η μετατροπή της pushover σε καμπύλη ικανότητας δίνεται σχηματικά στο Σχήμα 1.8 που ακολουθεί. Μια καμπύλη ικανότητας προκύπτει χρησιμοποιώντας τους συντελεστές  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$ . Κάθε σημείο της κανονικοποιημένης καμπύλης pushover ( $D_p$ ,  $A_p$ ) χρησιμοποιείται για να πάρουμε το αντίστοιχο σημείο της καμπύλης ικανότητας ( $D_c$ ,  $A_c$ ) με την βοήθεια των συντελεστών που αναφέραμε παραπάνω. Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι η καμπύλη pushover έχει δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας μια κατανομή δύναμης, που βασίζεται στην πρώτη ιδιομορφή του κτιρίου, είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι η κλίση της καμπύλης ικανότητας (προ της διαρροής)

σχετίζεται άμεσα με την ελαστική περίοδο του κτιρίου (Εξίσωση 1.5). Στο Σχήμα 1.8 που ακολουθεί μπορούμε να κατανοήσουμε ότι και η καμπύλη pushover και η καμπύλη ικανότητας μπορούν να απεικονιστούν στο ίδιο διάγραμμα, αλλά αντιστοιχούν σε άλλο σύστημα συντεταγμένων.



Σχήμα 1.8: Παράδειγμα μετατροπής καμπύλης pushover σε καμπύλη ικανότητας.

Η μεθοδολογία του HAZUS καθορίζει δύο συντελεστές:

- $\alpha_1$  συντελεστής αναγωγής στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σχετιζόμενος με την ενεργό μάζα της κατασκευής.
- $\alpha_2$  συντελεστής αναγωγής στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σχετιζόμενος με το ύψος του κτιρίου.

Επομένως και σύμφωνα με την μεθοδολογία της ATC-40, ο συντελεστής  $\alpha_1$  ορίζεται με βάση την κατανομή της μάζας του κτιρίου και το ιδιόσχημα που χρησιμοποιείται στην pushover και δίνεται από την σχέση:

$$a_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{ip}) / g \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i) / g \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{ip}^2) / g \right]}$$

Εξίσωση 1.1

Όπου:

- $w_i/g$  μάζα που αντιστοιχεί στον πρώτο βαθμό ελευθερίας
- $\phi_{ip}$  τιμή από την κατανομή μετακινήσεων στους ορόφους που αντιστοιχεί στον πρώτο βαθμό ελευθερίας.

Τυπικά το σχήμα της pushover βασίζεται στην πρώτη ιδιομορφή του κτιρίου κατά την διεύθυνση που μας ενδιαφέρει. Γενικότερα η πιο κατάλληλη μορφή pushover είναι η εξαρτώμενη από την μετακίνηση και πιο συγκεκριμένα από την μετακίνηση κατά την διεύθυνση που μας ενδιαφέρει. Τα σημεία που αντιστοιχούν πριν από την διαρροή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του συντελεστή  $a_1$  χωρίς μεγάλη απώλεια ακρίβειας. Αυτό δεν μπορεί να εφαρμοστεί για τα σημεία μετά την διαρροή. Οι όροι «βαθμοί ελευθερίας» που χρησιμοποιούνται στο παρόν εγχειρίδιο έχουν ως στόχο να ξεκαθαρίσουν ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός κόμβοι (βαθμοί ελευθερίας) σε ένα κτίριο ανά όροφο.

Ανάλογα ορίζεται και ο συντελεστής  $a_2$  :

$$a_2 = \frac{1}{PF_p f_{cp,p}} = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{ip}^2) / g}{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{ip}) / g \right] f_{cp,p}}$$

**Εξίσωση 1.2**

Όπου:

- $w_i/g$  μάζα που αντιστοιχεί στον πρώτο βαθμό ελευθερίας
- $\phi_{ip}$  τιμή από την κατανομή μετακινήσεων στους ορόφους που αντιστοιχεί στον πρώτο βαθμό ελευθερίας
- $f_{cp,p}$  μετακίνηση που προκύπτει από την pushover για το σημείο ελέγχου.

Τυπικά ως σημείο ελέγχου ορίζουμε ένα σημείο της οροφής του κτιρίου. Το σχήμα της κατανομής της δύναμης βασίζεται στην πρώτη ιδιομορφή και μάλιστα κατά την διεύθυνση που μας ενδιαφέρει. Για τον συντελεστή  $a_1$  η πιο κατάλληλη κατανομή δύναμης είναι η βασιζόμενη στην μετακίνηση ενώ για τον υπολογισμού του  $a_2$  θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία μετά το σημείο διαρροής.

Οι συντελεστές λοιπόν χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της pushover σε καμπύλη ικανότητας με βάση τις ακόλουθες σχέσεις. Η φασματική επιτάχυνση και η φασματική μετακίνηση ορίζονται ως εξής:

$$SD = a_2 * \Delta_{cp}$$

**Εξίσωση 1.3**

$$SA = (V/W) / a_1$$

**Εξίσωση 1.4**



Όπου:

- $\Delta_{cp}$  μετακίνηση στο σημείο ελέγχου από την pushover
- $V$  τέμνουσα βάσης από pushover ανάλυση
- $W$  βάρος κτιρίου.

Θα πρέπει βέβαια να τονίσουμε ότι υπάρχουν λογισμικά συστήματα (π.χ., SAP2000) που αυτόματα μετατρέπουν τις καμπύλες pushover σε καμπύλες ικανότητας.

### 1.3.2.2 ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΜΕΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ)

Τα σημεία ελέγχου της καμπύλης ικανότητας καθορίζονται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια και την κρίση του κάθε μηχανικού.

- Το σημείο διαρροής ( $D_y, A_y$ ) ορίζεται ως το σημείο στο οποίο η διαρροή αρχίζει να συμβαίνει (η κλίση της καμπύλης ικανότητας είναι σταθερή ως το σημείο της διαρροής)
- Η αναμενόμενη περίοδος του κτιρίου,  $T_e$ , μέχρι και το σημείο της διαρροής, θα πρέπει να είναι η ελαστική θεμελιώδης περίοδος του κτιρίου, η οποία δίνεται από τον τύπο που ακολουθεί:

$$T_e \cong 0.32 \sqrt{\frac{D_y}{A_y}}$$

Εξίσωση 1.5

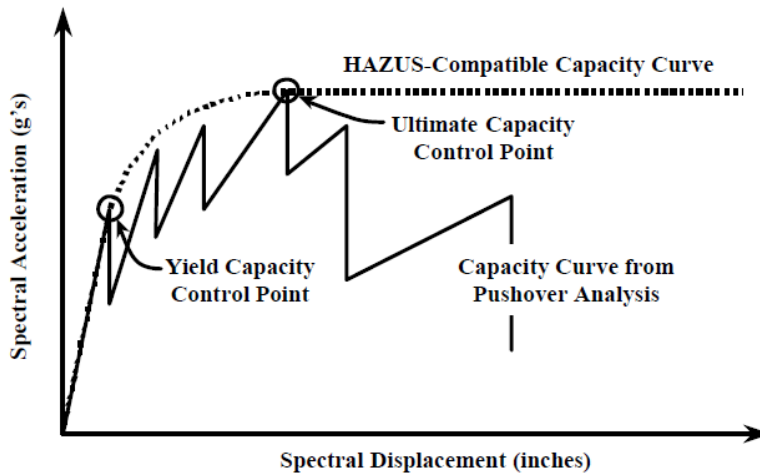
- Το σημείο αστοχίας ορίζεται ως το σημείο που αντιστοιχεί στην μέγιστη φασματική επιτάχυνση ( $A_u$ ). Για την τιμή αυτή της φασματικής επιτάχυνσης θεωρούμε ότι το κτίριο έχει μόλις φτάσει στην πλαστική περιοχή (αγνοώντας την πρόσθετη παραμόρφωση που μπορεί να δεχτεί η κατασκευή μέχρι να καταστεί μηχανισμός).
- Η μετακίνηση που αντιστοιχεί στο σημείο ελέγχου αστοχίας ορίζεται είτε ως η μετακίνηση που αντιστοιχεί στην μέγιστη φασματική επιτάχυνση είτε δίνεται από τον ακόλουθο τύπο (Εξίσωση 1.6)

$$D_u = 2 \cdot D_y \frac{A_u}{A_y}$$

Εξίσωση 1.6

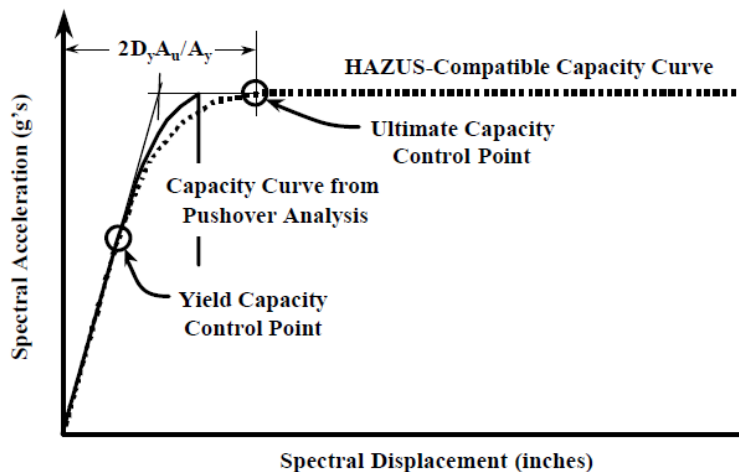
Ο τρόπος με τον οποίο ορίζεται η ελαστική περίοδος,  $T_e$ , στο HAZUS είναι ίδιος με τον τρόπο που δίνεται η  $T_i$  στο εγχειρίδιο NEHRP και δεν θα πρέπει να συγχέεται με τον ορισμό της ενεργού περιόδου,  $T_e$  όπως αυτή δίνεται στο NEHRP. Η ενεργός περίοδος  $T_e$  του NEHRP υπολογίζεται με βάση την ακαμψία που αντιστοιχεί στο 60% της επιτάχυνσης διαρροής του κτιρίου και δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται στο HAZUS καθώς μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση της μετατόπισης που αντιστοιχεί στην διαρροή.

Στα Σχήμα 1.9, Σχήμα 1.10, Σχήμα 1.11 δίνονται τρία παραδείγματα καμπύλων pushover και καμπύλων ικανότητας. Όπως φαίνεται και στα σχήματα η καμπύλη ικανότητας επεκτείνεται και πέρα από το σημείο αστοχίας,  $D_u$ , το οποίο ορίζει το σημείο στο οποίο το κτίριο έχει μπει στον πλαστικό κλάδο αλλά δεν έχει ακόμα καταρρεύσει και έχει αντοχή να παραλάβει κατακόρυφα φορτία.



Σχήμα 1.9: Παράδειγμα καμπύλης ικανότητας για κατασκευή με μορφή «δοντιών».

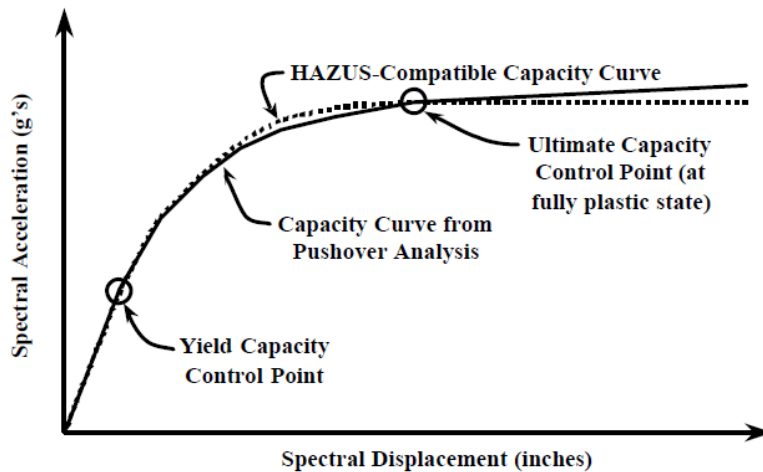
Το Σχήμα 1.9 αντιστοιχεί σε κατασκευή στην οποία έχουμε διατμητική αστοχία και μείωση των φορτίων για έναν αριθμό στοιχείων σε διάφορα στάδια της φασματικής μετακίνησης. Η διατμητική αστοχία των συνιστωσών του κτιρίου δημιουργεί την μορφή «δοντιών» στην καμπύλη ικανότητας.



Σχήμα 1.10: Παράδειγμα καμπύλης ικανότητας για κατασκευή με ψαθυρή μορφή αστοχίας.

Το Σχήμα 1.10 αντιστοιχεί σε ψαθυρή συμπεριφορά και σε καταστροφική μορφή αστοχίας της κατασκευής, εξαιτίας του ότι συμβαίνει τόσο άμεσα. Στην προκειμένη περίπτωση το σημείο ελέγχου της αστοχίας ορίζεται μετά από το σημείο που αντιστοιχεί στην κατάρρευση της κατασκευής κάτι που κρίνεται ως μη κατάλληλο, αφού το σημείο αστοχίας δεν ορίζει την τρωτότητα της κατασκευής, αλλά μόνο τον σταθερό πλαστικό κλάδο της καμπύλης ικανότητας.

Στο τρίτο και τελευταίο Σχήμα 1.11 δίνονται οι καμπύλες για ένα κτίριο με έντονα πλάσטיμη συμπεριφορά. Στο σχήμα απεικονίζεται και μια πρόσθετη αντοχή πέρα από το πλαστικό κλάδο, εξαιτίας της υποθετικής καταπόνησης.



Σχήμα 1.11: Καμπύλη ικανότητας για κατασκευή με έντονα πλάσטיμη συμπεριφορά.

Σε όλες τις προαναφερθέντες περιπτώσεις η αρχική ακαμψία και η αντοχή στο σημείο αστοχίας μπορούν να υποτιμηθούν, κατά την επανακύκλιση στους βρόγχους υστέρησης. Η μείωση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με κάποιους συντελεστές μείωσης, οι οποίοι ορίζονται στην επόμενη παράγραφο.

### 1.3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Οι παράμετροι απόκρισης περιλαμβάνουν την **ελαστική απόσβεση**, τον **συντελεστή υποτίμησης (Kappa)**, ο οποίος μειώνει την υστερητική απόσβεση και επηρεάζει την ικανότητα και τις απαιτήσεις των διατομών, το ποσοστό των μη δομικών μελών της κατασκευής ανά όροφο ( $F_{NS}$ ), ο οποίος έχει επιπτώσεις στον υπολογισμό των απαιτήσεων των μη δομικών μελών (είτε των ευπαθών στις μετακινήσεις είτε των ευπαθών στην επιτάχυνση). Το υπόβαθρο για την χρήση της ελαστικής απόσβεσης και των συντελεστών υποτίμησης για τον υπολογισμό της απόκρισης δίνεται παρακάτω.

#### 1.3.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

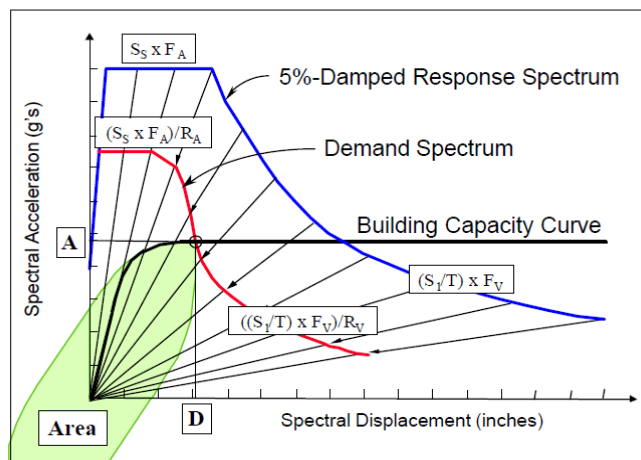
Η μεθοδολογία του HAZUS για να χαρακτηρίσει την εδαφική κίνηση χρησιμοποιεί τα τυποποιημένα φάσματα απόκρισης, σύμφωνα με την μορφή και τις παραμέτρους που δίνονται από το εγχειρίδιο του NEHRP. Το τυποποιημένο σχήμα αποτελείται από δύο μέρη: 1) την περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, για μικρές τιμές περιόδου 2) την περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας για μεγαλύτερες περιόδους.

Για τις μικρές περιόδους η φασματική επιτάχυνσης,  $S_S$ , ορίζεται από το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης (απόσβεσης 5%) σε περίοδο που αντιστοιχεί στο 0.30 sec. Ενώ στην περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του λόγου  $1/T$  και ορίζεται η τιμή  $S_1$  στο ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης για την περίοδο 1 sec. Περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης υπάρχει, αλλά

αντιστοιχεί σε μεγάλες περιόδους. Στην πραγματικότητα η περιοχή αυτή δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς για την συμπεριφορά του κτιρίου σε ότι έχει σχέση με τις ζημιές. Η ενίσχυση της εδαφικής κίνησης για να υπολογιστούν οι τοπικές συνθήκες βασίζεται στους εδαφικούς συντελεστές για μικρές περιόδους ( $F_A$ ) και για την περιοχή σταθερής ταχύτητας ( $F_V$ ), σύμφωνα πάντα με το εγχειρίδιο του NEHRP.

Η μεθοδολογία του HAZUS τροποποιεί τις ελαστικές ιδιότητες για να εκτιμήσει την ανελαστική απόκριση, χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές ακαμψίας και απόσβεσης. Η ενεργός απόσβεση βασίζεται στον συνδυασμό της ιξώδους και της υστερητικής απόσβεσης. Ενεργός απόσβεση με τιμή πάνω από 5% χρησιμοποιείται για να μειώσει το φάσμα απόκρισης, με έναν παρόμοιο τρόπο, όπως ορίζεται και στην μέθοδο ATC-40.

Στο Σχήμα 1.12 δίνεται ο τρόπος μετατροπής ενός ελαστικού φάσματος απόκρισης (με απόσβεση στο 5%) σε ένα μεταελαστικό. Το ελαστικό φάσμα απόκρισης διαιρείται με συντελεστές μείωσης, που εξαρτώνται από την απόσβεση (τον  $R_A$  για την περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης και τον  $R_V$  για την περιοχή σταθερής ταχύτητας). Το φάσμα απόκρισης τέμνει την καμπύλη ικανότητας του κτιρίου σε ένα σημείο, το οποίο αντιστοιχεί στην μέγιστη αναμενόμενη μετακίνηση του κτιρίου και στην αντίστοιχα οριζόμενη τιμή της φασματικής επιτάχυνσης. Το ποσοστό μείωσης του φάσματος τυπικά αυξάνει, εάν τα κτίρια που διαθέτουμε έχουν φτάσει στην διαρροή και διαχέουν την υστερητική ενέργεια κατά την διάρκεια των κύκλων απόκρισης.



**Σχήμα 1.12: Παραδείγματα φασμάτων απόκρισης για κατασκευή και προσδιορισμός στοχευμένης μετακίνησης.**

Οι συντελεστές μείωσης του φάσματος είναι μια συνάρτηση της ενεργούς απόσβεσης του κτιρίου και ορίζονται από τις σχέσεις:

$$R_A = 2.12 / (3.21 - 0.68 \ln(\beta_{\text{eff}}))$$

Εξίσωση 1.7

$$R_V = 1.65 / (2.31 - 0.41 \ln(\beta_{\text{eff}}))$$

**Εξίσωση 1.8**

Η ενεργός απόσβεση ορίζεται ως η ενέργεια που απελευθερώνεται από το κτίριο εξαιτίας μια ισχυρής σεισμικής απόκρισης και ισούται με το άθροισμα της ελαστικής απόσβεσης ( $\beta_E$ ) και της υστερητικής απόσβεσης ( $\beta_H$ ) :

$$\beta_{\text{eff}} = \beta_E + \beta_H$$

**Εξίσωση 1.9**

Η ελαστική απόσβεση θεωρείται σταθερή (ανεξάρτητη του πλάτους). Η υστερητική απόκριση εξαρτάται από το πλάτος της μετά-διαρροής απόκρισης της κατασκευής και η τιμή της βασίζεται στην περιοχή που περικλείεται από τον υστερητικό βρόχο, μέγιστης μετακίνησης  $D$  και μέγιστης επιτάχυνσης  $A$ , όπως φαίνεται και το Σχήμα 1.12.

Η υστερητική απόσβεση ορίζεται από την Εξίσωση 1.10

$$\beta_H = \kappa \left( \frac{\text{Area}}{2\pi D A} \right)$$

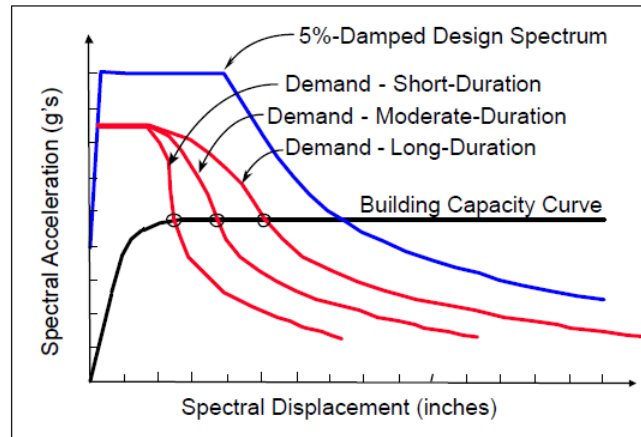
**Εξίσωση 1.10**

Όπου:

- Area είναι η περιοχή που περικλείεται από τον υστερητικό βρόχο και αντιστοιχεί στην ενέργεια που απορροφά η κατασκευή λόγω πλαστικών παραμορφώσεων.
- $D$  είναι η μέγιστη μετακίνηση της καμπύλης ικανότητας.
- $A$  η επιτάχυνση που αντιστοιχεί στην μέγιστη μετακινησιακή απόκριση της κατασκευής  $D$ .
- $\kappa$  μειωτικός συντελεστής που καθορίζει το πόσο αυξάνεται ή μειώνεται το εμβαδόν του υστερητικού βρόγχου.

Ο συντελεστής  $\kappa$  (Εξίσωση 1.10) μειώνει το ποσό της υστερητικής απόσβεσης ως μια συνάρτηση του μοντέλου του κτιριακού τύπου, του επίπεδου του σεισμικού σχεδιασμού και της διάρκειας της σεισμικής δόνησης, ώστε να προσομοιώσει την υποβάθμιση στο βρόγχο υστέρησης σε έναν κύκλο σεισμικής απόκρισης. Η διάρκεια της σεισμικής κίνησης περιγράφεται ποιοτικά ως *μικρή*, *μέτρια* και *μεγάλη*, και θεωρείται ότι είναι μια συνάρτηση του μεγέθους του σεισμού που δρα, αν και η γειννίαση με ρήγμα μπορεί επίσης να επηρεάσει την διάρκεια της σεισμικής δόνησης και να καταστεί πιο κρίσιμος παράγοντας για τις βλάβες της κατασκευής.

Στο Σχήμα 1.13 δίνεται μια τυπική καμπύλη ικανότητας και τρία παραδείγματα φασμάτων σχεδιασμού, που αντιστοιχούν σε μικρή ( $\kappa_s = 0.8$ ), σε μέτρια ( $\kappa_M = 0.5$ ) και σε μεγάλη ( $\kappa_L = 0.3$ ) διάρκεια εδαφικής κίνησης. Από το παράδειγμα αυτό παρατηρούμε ότι η μετακίνηση που αντιστοιχεί στο φάσμα για μεγάλης διάρκειας εδαφική κίνηση είναι διπλάσια από την τιμή που θα πάρουμε από το σεισμικό φάσμα που αντιστοιχεί σε μικρής διάρκειας εδαφική κίνηση. Οι ζημιές στα δομικά στοιχεία και στα μη δομικά, τα ευπαθή στις μετακινήσεις, αυξάνονται με την αύξηση της διάρκειας της εδαφικής κίνησης για κτίρια τα οποία έχουν βρεθεί ήδη στην διαρροή.



**Σχήμα 1.13:** Παραδείγματα φασμάτων απόκρισης για μεταελαστική συμπεριφορά από σεισμό μεγάλης εδαφικής κίνησης, για περιπτώσεις μικρής, μεσαίας και μεγάλης διάρκειας.

### 1.3.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Όπως ήδη έχουμε περιγράψει ο συντελεστής ελαστικής απόσβεσης αντιστοιχεί στην τιμή της απόσβεσης που έχει η κατασκευή λίγο πριν και αφού φτάσει στο σημείο διαρροής. Οι τιμές του συντελεστή θα πρέπει να επιλέγονται με βάση το μοντέλο του κτιριακού τύπου και να απεικονίζουν και τις διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στην συμπεριφορά απόσβεσης λόγω των διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια. Γενικά στην μεθοδολογία του HAZUS, προτείνονται τιμές για τους συντελεστές ελαστικής απόσβεσης για ομάδες κτιρίων οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς τροποποιήσεις και σε συγκεκριμένα κτίρια.

Ο Πίνακας 1.6 δίνει προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ελαστικής απόσβεσης για διάφορα είδη κτιρίων.

Building Type by Material	Damping (% of Critical)
Mobile Home	5%
Steel Buildings	5% - 7%
Reinforced-Concrete and Pre-cast Concrete Buildings	7%
Reinforced-Masonry Buildings	7% - 10%
Unreinforced-Masonry Bearing-Wall and In-Fill Buildings	10%
Wood Buildings	10% - 15%

**Πίνακας 1.6:** Προτεινόμενες τιμές ελαστικής απόσβεσης.

### 1.3.3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ( $\kappa$ )

Ο παράγοντας υποβάθμισης εξαρτάται από το πλάτος και την αναμενόμενη διάρκεια της κτιριακής απόκρισης μετά το σημείο διαρροής. Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζονται από το βαθμό της εδαφικής κίνησης, η οποία βέβαια διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία του κτιρίου και με το σεισμικό σενάριο. Οι προκαθορισμένες τιμές του συντελεστή  $\kappa$  υπολογίστηκαν για μια ομάδα κτιρίων, θεωρώντας ότι το κτίριο υφίσταται σεισμική δόνηση τέτοιου μεγέθους που καθίσταται ικανό να κάνει την κατασκευή μας να ξεπεράσει το σημείο διαρροής της. Επομένως ο συντελεστής υποβάθμισης είναι άμεσα εξαρτώμενος από το μέγεθος του σεισμικού σεναρίου, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του σεισμικού σεναρίου τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάρκεια της εδαφικής κίνησης. Από αυτή την άποψη, μπορούμε να ορίσουμε ως αναπληρωματικό δείκτη για την διάρκεια της κτιριακής απόκρισης μετά το σημείο διαρροής το μέγεθος του σεισμού. Πρέπει βέβαια να τονίσουμε ότι η εδαφική κίνηση θα πρέπει να είναι τόσο ισχυρή ώστε να οδηγήσει την κατασκευή στον μετελαστικό κλάδο, αλλιώς θα έχουμε μικρή ή ακόμα και καθόλου υποβάθμιση, ανεξάρτητα από το μέγεθος του σεισμού.

Ο συντελεστής  $\kappa$  θα πρέπει να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη και την αναμενόμενη μορφή ψαθυρής αστοχίας που θα υποστούν τα στοιχεία της κατασκευής και οι συνιστώσες της, που οδηγούν σε μείωση της φέρουσας ικανότητας της. Οι καμπύλες ικανότητας που υπολογίζονται με βάση την pushover ανάλυση παρέχουν κάποιες βασικές οδηγίες σχετικά με την εκλογή των συντελεστών  $\kappa$ . Εάν λοιπόν στην καμπύλη ικανότητας έχουμε μια απώλεια αντοχής στο σημείο αστοχίας, τότε και ο συντελεστής  $\kappa$  θα πρέπει να δείξει μια ανάλογη μείωση στην περιοχή του βρόχου υστέρησης. Για παράδειγμα στην περίπτωση στο Σχήμα 1.9, η καμπύλη ικανότητας δείχνει μια μείωση αντοχής στο 50%, επομένως ένα ανάλογο ποσοστό υποβάθμισης θα ήταν κατάλληλο ( $\kappa_M=0.50$ ). Το Σχήμα 1.10 δείχνει μια απόλυτα ψαθυρή μορφή αστοχίας (στο σημείο ελέγχου της αστοχίας) και επομένως ένας μικρός συντελεστής υποβάθμισης θα ήταν κατάλληλος να χρησιμοποιηθεί ( $\kappa_M=0.10$ ). Στο Σχήμα 1.11 η καμπύλη ικανότητας αντιστοιχεί σε μια πλάστιμη συμπεριφορά και μια μεγάλη τιμή υποβάθμισης θα ήταν αυτή που θα έπρεπε να επιλέξουμε ( $\kappa_M=0.90$ ).

Ο Πίνακας 1.7 που ακολουθεί παρέχει μερικές βασικές οδηγίες για την εκλογή συντελεστή μείωσης  $\kappa$ . Ο συντελεστής  $\kappa$  δίνεται ως συνάρτηση του επιπέδου της απόκρισης και για τα σημεία μετά τη διαρροή ως συνάρτηση της διάρκειας της εδαφικής κίνησης. Επιπλέον σε αυτόν τον πίνακα συσχετίζονται οι προτεινόμενες τιμές των συντελεστών  $\kappa$  με τα επίπεδα σεισμικού σχεδιασμού και με την ποιότητα των κατασκευών που χρησιμοποιούνται.



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Design Level and Construction Quality					Degradation (Kappa) Factor					
	Seismic Design Level <sup>1</sup>					At ½ Yield	At Yield	Post-Yield Shaking Duration		
	SHC	HC	MC	LC	PC			Short	Moderate	Long
QC <sup>2</sup>	S	S				1.0	1.0	1.0	0.9	0.7
		O	S			1.0	1.0	0.9	0.7	0.5
		I	O	S		1.0	0.9	0.7	0.5	0.3
			I	O	S	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1
				I	O	1.0	0.5	0.3	0.1	0.0

1. Seismic Design Level Designation – Special High-Code (SHC), High-Code (HC), Moderate-Code (MC), Low-Code (LC) and Pre-Code (PC)
2. Construction Quality (QC) Designation – Superior (S), Ordinary (O) and Inferior (I)

**Πίνακας 1.7: Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή υποβάθμισης kappa**

Οι προτεινόμενες τιμές του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 1.7) δεν ισχύουν για κτίρια τα οποία έχουν αποκατασταθεί έναντι σεισμού. Σε αυτή την περίπτωση εάν ο χρήστης επιθυμεί να αναπτύξει τα επίπεδα ζημιάς για κτίρια τα οποία είτε έχουν ενισχυθεί είτε έχουν βελτιωθεί έναντι σεισμού, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τιμές του συντελεστή **kappa** οι οποίες να βασίζονται στο επίπεδο σεισμικού σχεδιασμού και στην ποιότητα της κατασκευής η οποία απεικονίζει και τις βελτιώσεις που έχει υποστεί.

## 1.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

### 1.4.1 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό καθοδηγεί το χρήστη στην ανάπτυξη παραμέτρων των καμπυλών τρωτότητας που χρησιμοποιούνται από την ΑΕΒΜ και στοχεύουν στην εκτίμηση βλαβών μέσω της κτιριακής απόκρισης. Έχει ήδη πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής μη γραμμική στατική (pushover) ανάλυση του κτιρίου η οποία συμβαδίζει με τις οδηγίες του εγχειριδίου της NEHRP (ή ATC-40).

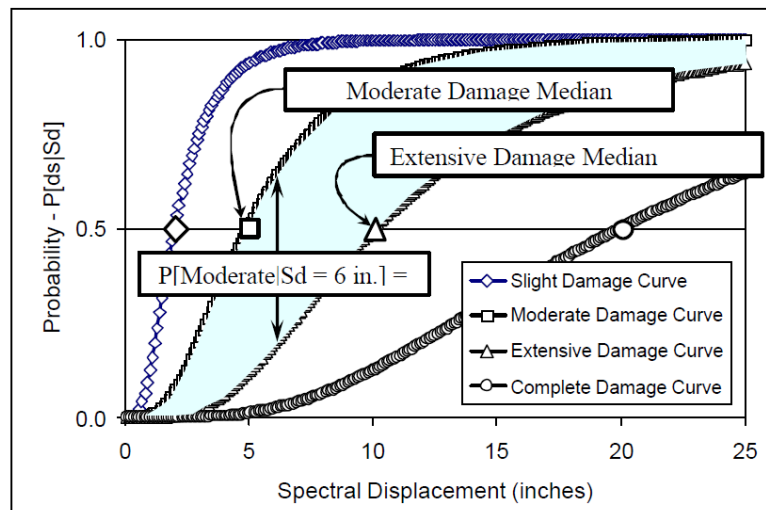
Η ανάλυση pushover πρέπει να συλλαμβάνει επαρκώς τα πρότυπα ζημιών των στοιχείων, τις συνιστώσες του κτιρίου και την αξιολόγηση των τρόπων αστοχίας αυτού (π.χ., μερική ή πλήρη κατάρρευση). Πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά οι τρόποι αστοχίας του κτιρίου και να αναπτυχθούν κατάλληλα και αντιπροσωπευτικά μοντέλα κτιριακής απόκρισης και συμπεριφοράς των στοιχείων και των υλικών. Περισσότερα από ένα μοντέλα pushover θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των διαφορετικών τρόπων απόκρισης και αποτυχίας (π.χ., των διαφόρων τμημάτων κτιρίων). Στην παρούσα εργασία αναφέρεται ότι έχει επιλυθεί το πρόβλημα της πολυπλοκότητας του κτιρίου και περιγράφονται οι μέθοδοι για την ανάπτυξη των παραμέτρων τρωτότητας από μία μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover).

Ο υπολογισμός της πιθανότητας βλάβης είναι ένα βήμα προς τη διαδοχική διαδικασία εκτίμησης απωλειών από σεισμούς. Ορισμένα περιθώρια ελιγμών είναι διαθέσιμα στους χρήστες για τον προσδιορισμό των καμπυλών τρωτότητας του κτιρίου. Αυτό που έχει σημασία είναι το ποσό και το είδος των ζημιών που συνδέονται με κάθε



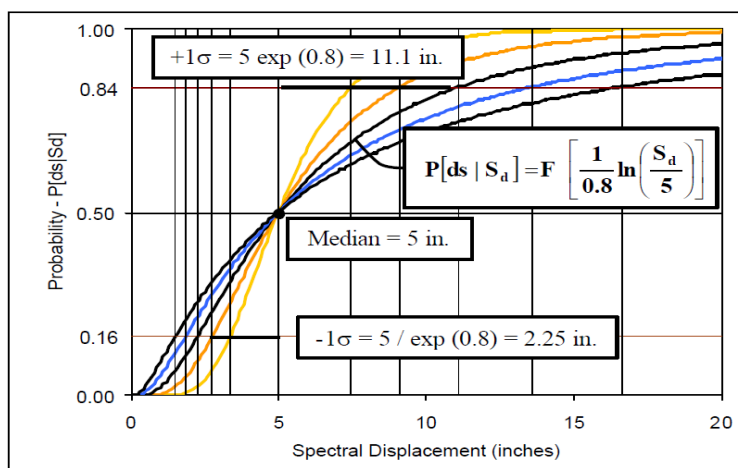
κατάσταση να είναι συνεπές με το ύψος και το είδος των ζημιών που συνδέονται με την ανάπτυξη των λειτουργικών απωλειών. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να έχει μια επιλογή από 4 ίντσες, 5 ίντσες ή 6 ίντσες φασματικής μετατόπισης που θα εκπροσωπούν μέτριες δομικές ζημιές στο κτίριο, στα στοιχεία του και στα συστατικά του, αλλά με σαφείς διαφορές ως προς το κόστος της επισκευής. Αυτό σημαίνει ότι, 6 ίντσες της φασματικής μετατόπισης θα μπορούσαν να προκαλέσουν περισσότερη ζημιά και να κοστίζουν περισσότερο για την επισκευή από 4 ίντσες της φασματικής μετατόπισης. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει είτε 4 ίντσες, 5 ίντσες είτε 6 ίντσες φασματικής μετατόπισης για να αντιπροσωπεύουν τις μέτριες δομικές ζημιές, με την προϋπόθεση οι λειτουργικές απώλειες για τις μέτριες ζημιές να αναπτύσσονται για το ίδιο μέγεθος φασματικής μετατόπισης.

Οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζουν τα όρια μεταξύ των επιπέδων βλάβης. Δηλαδή, η μέση τιμή του επιπέδου βλάβης που μας ενδιαφέρει καθορίζει το όριο για την υπέρβαση της στάθμης επιτελεστικότητας, και αυτό το επίπεδο υπολογίζεται ότι θα υπάρχει μέχρι το επόμενο επίπεδο βλάβης. Η περιγραφή αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 1.14, το οποίο περιλαμβάνει καμπύλες τρωτότητας για ελαφρές, μέτριες, εκτεταμένες και πλήρεις δομικές ζημιές. Σε αυτήν την εικόνα, μια σκιασμένη περιοχή δείχνει το χώρο της πιθανότητας-απόκρισης που σχετίζεται με Μέτριες ζημιές. Τα όρια στα αριστερά της σκιασμένης περιοχής ορίζονται από την καμπύλη τρωτότητας για Μέτρια (ή μεγαλύτερη) δομική βλάβη. Η πιθανότητα της Μέτριας βλάβης σε ένα δεδομένο επίπεδο απόκρισης φάσματος υπολογίζεται ως η διαφορά της πιθανότητας Μέτριας (ή μεγαλύτερης) ζημιάς μείον την πιθανότητα για Εκτεταμένες (ή μεγαλύτερες) βλάβες-μια πιθανότητα 0,40 σε 6 ίντσες της φασματικής μετατόπισης στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.14.



Σχήμα 1.14: Παράδειγμα Καμπύλης τρωτότητας - Υπολογισμός της πιθανότητας των επιπέδων βλάβης.

Η κλίση της καμπύλης τρωτότητας ελέγχεται από την τυπική απόκλιση (Beta). Όσο μικρότερη είναι η τιμή της Beta, τόσο λιγότερο μεταβλητό το επίπεδο βλαβών, καθώς και πιο απότομη η καμπύλη τρωτότητας. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της Beta, τόσο πιο μεταβλητό το επίπεδο βλαβών και πιο πεπλατυσμένη η καμπύλη τρωτότητας.



**Σχήμα 1.15:** Παράδειγμα καμπύλης τρωτότητας (Beta = 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 και 1,2) και υπολογισμός της ± 1σ φασματικής μετατόπισης.

Το Σχήμα 1.15 δείχνει την εξέλιξη αυτή για τις καμπύλες τρωτότητας που μοιράζονται έναν κοινό μέσο (Δηλαδή, φασματική μετατόπιση 5 ίντσες), αλλά οι τιμές Beta κυμαίνονται από 0,4-1,2. Αυτή η σειρά τιμών Beta καλύπτει περίπου το φάσμα των τιμών Beta που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για καμπύλες τρωτότητας συγκεκριμένου τύπου κτιρίου.

#### 1.4.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Η ανάπτυξη των μέσων τιμών των επιπέδων βλαβών περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα:

- Ανάπτυξη μιας λεπτομερούς κατανόησης των ζημιών σε στοιχεία και συστατικά ως μια συνεχής συνάρτηση της απόκρισης του κτιρίου.
- Επιλογή συγκεκριμένων τιμών απόκρισης του κτιρίου που αντιπροσωπεύουν καλύτερα το μέσο όρο υπέρβασης του κάθε διακριτού επιπέδου βλάβης.
- Μετατροπή των τιμών των επιπέδων βλάβης (π.χ., μέσο όρο της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων) σε συντεταγμένες φασματικής επιτάχυνσης (δηλαδή, ίδιες συντεταγμένες με αυτές της καμπύλης ικανότητας).

Σε γενικές γραμμές, η εφαρμογή των τριών βημάτων θα είναι πολύ διαφορετική για τα δομικά και μη δομικά συστήματα. Αναμένεται ότι η λεπτομερής ανάλυση pushover του κτιρίου θα είναι η πρωταρχική πηγή πληροφοριών σχετικά με ζημιές στην κατασκευή και επιλογή των κατάλληλων τιμών ανά επίπεδο βλάβης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι τιμές των καμπυλών τρωτότητας στο πρόγραμμα HAZUS δεν θα χρησιμοποιούνται για τα δομικά συστήματα, αλλά θα μπορούσε να προσφέρει έναν "λογικό έλεγχο" του κτιρίου με συγκεκριμένα αποτελέσματα. Αντίθετα, η ανάλυση pushover περιέχει κατά κανόνα ελάχιστες μόνο πληροφορίες για τα μη δομικά στοιχεία, και κυρίως οι τιμές των καμπυλών τρωτότητας του HAZUS θα καθορίσουν τις οριακές τιμές βλάβης των μη δομικών στοιχείων του κτιρίου.

### 1.4.2.1 ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η επιλογή των **μέσων τιμών των επιπέδων βλάβης** θα πρέπει να είναι συνεπής με τις γενικές περιγραφές των δομικών βλαβών που αναφέρονται στο τμήμα 1.3.3.1 του τεχνικού εγχειριδίου του HAZUS-MH για διαφορετικούς τύπους κτιρίων. Οι περιγραφές των ζημιών στο HAZUS είναι αρκετά ασαφείς ώστε να επιτρέπουν την επιλογή των τιμών που αρμόζουν καλύτερα στα πρότυπα ζημιών των κυρίαρχων στοιχείων του δομικού συστήματος. Συμπληρωματικά, γενικές οδηγίες αναφέρονται κατωτέρω σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων μέσων τιμών των επιπέδων βλάβης (Πίνακας 1.8).

Damage State	Likely Amount of Damage, Direct Economic Loss, or Building Condition			
	Range of Possible Loss Ratios	Probability of Long-Term Building Closure	Probability of Partial or Full Collapse	Immediate Post-Earthquake Inspection
Slight	0% - 5%	$P = 0$	$P = 0$	Green Tag
Moderate	5% - 25%	$P = 0$	$P = 0$	Green Tag
Extensive	25% - 100%	$P \cong 0.5$	$P \cong 0^1$	Yellow Tag
Complete	100%	$P \cong 1.0$	$P > 0$	Red Tag

Πίνακας 1.8: Γενικές Οδηγίες για την επιλογή των διαρθρωτικών μέσων τιμών των επιπέδων βλάβης.

<sup>1</sup> κτιριακές ζημιές μπορεί να περιλαμβάνουν τοπική κατάρρευση (π.χ., του URM τοίχοι πλήρωσης).

Τα αποτελέσματα της pushover ανάλυσης εκφράζονται συνήθως σε όρους απαίτησης πλαστιμότητας, και όχι σε όρους φυσικής καταστροφής. Τα δομικά κριτήρια του πίνακα 2-4 (Κάθετα Στοιχεία) και του πίνακα 2-5 (οριζόντια στοιχεία) των κατευθυντήριων γραμμών του NEHRP παρέχουν κάποια περιγραφή της βλάβης που αναμένεται σε διάφορα επίπεδα απόκρισης (π.χ. πλαστιμότητα) και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να συσχετίσουν την επίδοση των στοιχείων και συστατικών του κτιρίου με τη φυσική περιγραφή της καταστροφής. Αναμένεται ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης pushover, είτε εκφραζόμενα σε όρους φυσικής ζημιάς (π.χ., μέγεθος ρωγμής) είτε πλαστιμότητας, θα είναι επαρκή για να συνοψίσουν τον τύπο και τη σειρά των ζημιών (και της αστοχίας) των στοιχείων και των συστατικών του κτιρίου.

Βλάβη σε στοιχεία και συστατικά του δομικού συστήματος θα πρέπει να εμφανίζονται ως συνάρτηση της πλευρικής μετατόπισης του κτιρίου, ποσοτικοποιημένα με τη μέση σχετική μετακίνηση μεταξύ των ορόφων (δηλαδή, μετατόπιση οροφής διαιρούμενη με το ύψος κτιρίου). Φυσικά, μεμονωμένοι όροφοι πολυώροφων κτιρίων αναμένεται να μην έχουν την ίδια εκτροπή, ούτε θα ήταν ίδια σε όλες τις θέσεις η σχετική μετακίνηση μεταξύ των ορόφων αν υπήρχε η δυνατότητα του διαφράγματος ή της στροφής στο διάγραμμα pushover. Ωστόσο, ο μέσος όρος της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων προσφέρει ένα βολικό μέτρο απόκρισης του κτιρίου που μπορεί να συγκριθεί με τις προεπιλεγμένες τιμές του μέσου όρου της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων που καθορίζουν τα επίπεδα βλάβης στα γενικού τύπου κτίρια στο πρόγραμμα HAZUS.

Οι κατευθυντήριες γραμμές του NEHRP προβλέπουν κριτήρια αποδοχής που καθορίζουν όρια για τα μεγάλου αριθμού δομικά στοιχεία και συστατικών διαφόρων τύπων υλικών. Η εν λόγω αποδοχή κριτηρίων συνεπάγεται διάφορους βαθμούς βλάβης και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίζει τις κατάλληλες τιμές του μέσου όρου της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων για κάθε επίπεδο βλάβης του δομικού συστήματος. Ωστόσο, κατά τη χρήση των κριτηρίων αποδοχής των κατευθυντήριων γραμμών NEHRP πρέπει να είναι γνωστά τα ακόλουθα τέσσερα θέματα:

- **Συντηρητικά Όρια παραμόρφωσης** - Τα όρια παραμόρφωσης των κατευθυντήριων γραμμών NEHRP είναι, σε γενικές γραμμές, συντηρητικές εκτιμήσεις της πραγματικής ικανότητας του κατασκευαστικού στοιχείου. Τα όρια παραμόρφωσης βασίζονται στις καμπύλες «ραχοκοκαλιά» που αντιπροσωπεύουν μια μέση πολυγραμμική συμπεριφορά του ενδιαφερόμενου κτιρίου (π.χ., όπως καθορίζεται από ανακυκλιζόμενο φορτίο δοκιμής). Ωστόσο, τα σημεία ελέγχου των εξιδανικευμένων ιδεατών καμπυλών αναγκαστικά περιέχουν κάποιο συντηρητισμό (που θα μπορούσε να επιλυθεί εάν το κατασκευαστικό στοιχείο ελεγχόταν). Επιπλέον, τα όρια παραμόρφωσης στην αποφυγή κατάρρευσης των πρωτογενών στοιχείων ή συστατικών ορίζονται ως το 75% αυτών που επιτρέπονται για τα δευτερεύοντα στοιχεία, αντικατοπτρίζοντας τον προστιθέμενο συντηρητισμό για το σχεδιασμό των πρωταρχικών στοιχείων ή μελών κατασκευής. Οι κατευθυντήριες γραμμές NEHRP (όπως και άλλοι σεισμικοί "κώδικες") περιλαμβάνουν εγγενή συντηρητισμό στις περιπτώσεις των ορίων. Ενώ ο συντηρητισμός είναι κατάλληλος για το σχεδιασμό, πρέπει να αφαιρεθεί από τα όρια παραμόρφωσης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της πραγματικής ζημιάς ή απώλειας.
- **Όρια παραμόρφωσης έναντι επίπεδων βλαβών** - Οι κατευθυντήριες γραμμές NEHRP προβλέπουν όρια στην παραμόρφωση των στοιχείων και όχι ρητά στις ζημιές από την άποψη ρηγμάτωσης σκυροδέματος, ή προβλέπουν εάν συστατικό του στοιχείου είναι πιθανό να υποστεί επιδιόρθωση (ή όχι). Για την εκτίμηση των άμεσων οικονομικών ζημιών, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τον τύπο των ζημιών, όχι μόνο το βαθμό διαρροής, ώστε να διαπιστωθεί αν η επισκευή απαιτεί επιδιόρθωση και τι φύσης (και κόστους) αυτή θα είναι.
- **Ολική έναντι Τοπικής Ζημιάς** - Τοπικές ζημιές (όπως προκύπτει από τα όρια παραμόρφωσης του NEHRP) των επιμέρους στοιχείων πρέπει να έχουν συσσωρευτεί σε ολόκληρη τη δομή για να αντιπροσωπεύουν ένα ολικό επίπεδο βλάβης. Σε γενικές γραμμές, οποιοσδήποτε αριθμός διαφορετικών συνδυασμών των τοπικών βλαβών σε κατασκευαστικά στοιχεία θα μπορούσαν να καταλήξουν στο ίδιο ποσό της ολικής ζημιάς. Μια μέτρια βλάβη θα μπορούσε να προκύψει ως αποτέλεσμα ενός μικρού ποσού ζημιάς σε πολλά όμως στοιχεία, αλλά είναι πολύ πιο πιθανό να προκληθεί από σημαντικές ζημιές σε έναν περιορισμένο αριθμό κατασκευαστικών στοιχείων που θα κόστιζε το 5% έως 25% της αξίας του δομικού συστήματος για επισκευή (ή αντικατάσταση).

- Κατάρρευση** - Σε γενικές γραμμές, η κατάρρευση του δομικού συστήματος απαιτεί εκτίμηση των αλληλεπιδράσεων των συστατικών και των στοιχείων και αξιολόγηση μιας πιθανής ολικής αστάθειας. Οι κατευθυντήριες γραμμές του NEHRP καθορίζουν τα όρια παραμόρφωσης της "οιονεί κατάρρευσης" για τα κατασκευαστικά στοιχεία που προορίζονται (με κάποιο βαθμό συντηρητισμού) να αποφεύγουν την τοπική αστοχία των δομικών στοιχείων. Η επίτευξη των ορίων παραμόρφωσης για "οιονεί κατάρρευση" των κατασκευαστικών στοιχείων δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη κατάρρευση της κατασκευής. Συνήθως, τα δομικά συστήματα μπορούν να παραμορφώνονται σημαντικά πέραν των ορίων παραμόρφωσης για "οιονεί κατάρρευση" πριν να υποστούν τοπική ή ολική αστάθεια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ λίγα μόνο κτίρια έχουν πραγματικά καταρρεύσει κατά τη διάρκεια ισχυρότατου σεισμού, μελέτες του NEHRP διαπίστωσαν ότι τα όρια παραμόρφωσης για "οιονεί κατάρρευση" ξεπεράστηκαν υπό έντονη ανακίνηση εδάφους. [FEMA, 1999].

Ο Πίνακας 1.9 παρέχει γενικές κατευθύνσεις για τους χρήστες που συνδέουν τα όρια παραμόρφωσης (ή ποσοστό παραμόρφωσης) των κατευθυντήριων γραμμών NEHRP με το μέσο όρο της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων των δομικών επιπέδων βλάβης. Ο Πίνακας 1.9 παρέχει δύο ομάδες κριτηρίων για κάθε διαρθρωτική κατάσταση βλάβης. Η πρώτη ομάδα κριτηρίων καθορίζει τα επίπεδα βλάβης σε όρους κλάσματος (με αντικατάσταση τιμής) των δομικών στοιχείων φθάνοντας στο σημείο ελέγχου "C" (ή σημείο ελέγχου "E") στην καμπύλη που δείχνει το εξιδανικευμένο φορτίο έναντι παραμόρφωσης. Η δεύτερη ομάδα κριτηρίων δημιουργεί ένα ανώτατο όριο σχετικά με το μέσο όρο της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων των δομικών επιπέδων βλάβης από παράγοντες που ισχύουν για τη μετατόπιση στην οποία το 50% των δομικών στοιχείων έχει φθάσει στο αντίστοιχο σημείο διαρροής (δηλαδή, το σημείο ελέγχου "B"). Το Σχήμα 1.16 (λαμβάνεται από το Σχήμα 2-5 των κατευθυντήριων γραμμών NEHRP) δείχνει τα σημεία B, C και E στην καμπύλη φορτίο-παραμόρφωση.

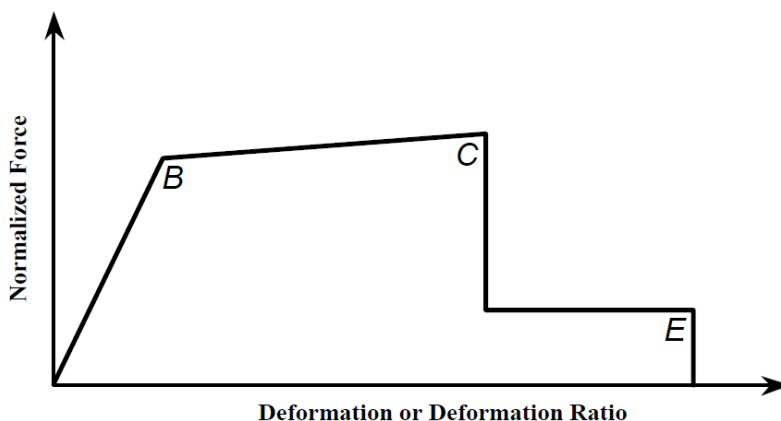
Damage State	Component (Criteria Set No. 1) <sup>1</sup>			Component (Criteria Set No. 2) <sup>1</sup>		
	Fraction <sup>2</sup>	Limit <sup>3</sup>	Factor <sup>4</sup>	Fraction <sup>2</sup>	Limit <sup>3</sup>	Factor <sup>4</sup>
Slight	> 0%	C	1.0	50%	B	1.0
Moderate	≥ 5%	C	1.0	50%	B	1.5
Extensive	≥ 25%	C	1.0	50%	B	4.5
Complete	≥ 50%	E	1.0 - 1.5 <sup>5</sup>	50%	B	12

Πίνακας 1.9

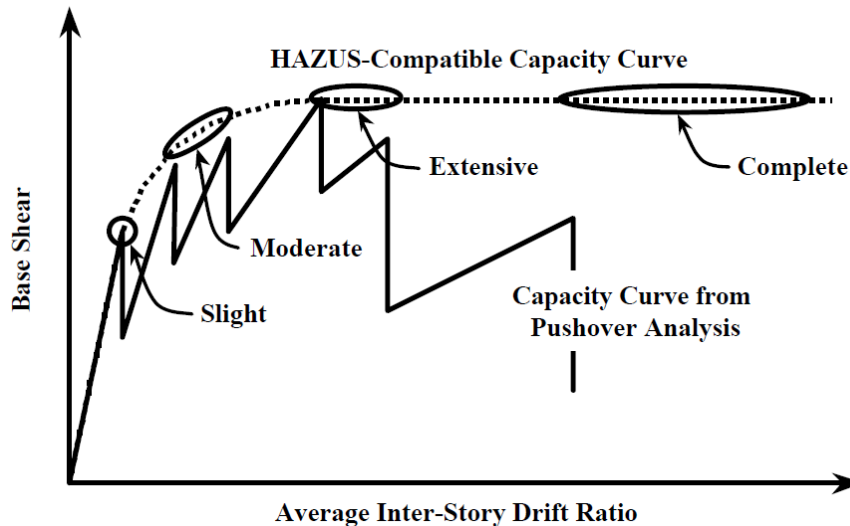
- Η μέση τιμή της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων είναι η μικρότερη από τις τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή των δύο παραπάνω κριτηρίων.

2. Το κλάσμα που ορίζεται ως το κόστος επισκευής ή αντικατάστασης των στοιχείων διαιρείται με τη συνολική αξία αντικατάστασης του δομικού συστήματος.
3. Το όριο καθορίστηκε από τα σημεία ελέγχου (Σχήμα 1.16) και τα κριτήρια αποδοχής της NEHRP.
4. Ο συντελεστής εφαρμόστηκε στη μέση τιμή της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων σε όρια παραμόρφωσης (ή ποσοστό παραμόρφωσης) για να υπολογισθεί η μέση τιμή της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων των δομικών επιπέδων βλάβης.
5. Ο πλήρης παράγοντας είναι η μεγαλύτερη τιμή στην περιοχή για την οποία το δομικό σύστημα είναι σταθερό.

Ως παράδειγμα της χρήσης του 1ου συνόλου κριτηρίων (Πίνακας 1.9) εξετάζεται η ανάπτυξη των μέσων τιμών των επιπέδων βλάβης για την "pushover" καμπύλη όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.17. Αυτή η καμπύλη pushover αντιστοιχεί στο "δόντι" της καμπύλης ικανότητας (παράγραφος 1.3.2.2) με τη διαφορά ότι η καμπύλη εμφανίζεται τώρα συναρτήσει της τέμνουσας βάσης και της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων (οι εκτοπίσεις της κορυφής κανονικοποιούνται με το ύψος του κτιρίου). Αυτή η καμπύλη pushover θεωρείται ότι έχει αναπτυχθεί από τη μη γραμμική στατική ανάλυση της κατασκευής χρησιμοποιώντας τη μοντελοποίηση και τη θεωρία αποδοχής των κατευθυντήριων γραμμών NEHRP.



Σχήμα 1.16: Εξιδανικευμένη φορτίο στοιχείου έναντι καμπύλης παραμόρφωσης (από Σχήμα 2-5 των κατευθυντήριων γραμμών NEHRP).



Σχήμα 1.17: Παράδειγμα μέσω των τιμών των επιπέδων βλάβης από τα 'Λόντια' της καμπύλης pushover.

Μετά από την καθοδήγηση (Πίνακας 1.9), η μέση τιμή της *Ελαφριάς βλάβης* ορίζεται από τα πρώτα μέλη της κατασκευής που φτάνουν το σημείο ελέγχου C της καμπύλης παραμόρφωσης-φορτίου. Σε παγκόσμια βάση, το παρόν σημείο μπορεί να αναγνωρισθεί ως το πρώτο "δόντι" της καμπύλης ικανότητας (δηλαδή, το σημείο όπου η ικανότητα του κτιρίου απότομα πέφτει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.17).

Η *μέτρια βλάβη* ορίζεται από μία μέση τιμή για την οποία ένας επαρκής αριθμός συστατικών έχει το καθένα φτάσει το σημείο ελέγχου C (στις αντίστοιχες καμπύλες παραμόρφωσης-φορτίου), έτσι ώστε να κοστίζει τουλάχιστον το 5% της αξίας αντικατάστασης του δομικού συστήματος για την επισκευή (ή αντικατάσταση). Μέτρια ζημιά είναι πιθανό να είναι εντοπισμένη, δεδομένου ότι μόνο ένας περιορισμένος αριθμός στοιχείων μπορεί να επισκευαστούν (ή να αντικατασταθούν) για 5% της αξίας αντικατάστασης του συστήματος. Στο Σχήμα 1.17, ένα σχήμα οβάλ υποδεικνύει ότι αυτή η έκταση ζημιάς μπορεί να προκύψει στο δεύτερο ή τρίτο "δόντι" της καμπύλης ικανότητας, ανάλογα με τον τύπο της επισκευής, της προσβασιμότητας των κατεστραμμένων στοιχείων και άλλων παραγόντων που επηρεάζουν το κόστος επισκευής.

Οι *εκτεταμένες βλάβες* ορίζονται από μία μέση τιμή παρόμοια με αυτή για μέτριες ζημιές, με τη διαφορά ότι τώρα το κόστος επισκευής φτάνει τουλάχιστον το 25% της αξίας του δομικού συστήματος. Οι εκτεταμένες ζημιές είναι πιθανόν να επηρεάζουν μια σειρά στοιχείων σε όλο το κτίριο ή να επηρεάζουν όλες τις συνιστώσες του πιο ευάλωτου ορόφου. Και πάλι, σε σχήμα οβάλ τονίζεται η ευαισθησία της μέσης τιμής για το κόστος επισκευής. Το οβάλ σχήμα στην εκτεταμένη βλάβη εκτείνεται μέχρι το σημείο της καμπύλης pushover για την οποία υπάρχει μια μεγάλη πτώση της ικανότητας φόρτισης χωρίς σημαντική ανάκαμψη (στο συγκεκριμένο παράδειγμα) υποδεικνύοντας ότι ένας μεγάλος αριθμός των στοιχείων θα απαιτούσε την επισκευή ή την αντικατάσταση σε αυτό το επίπεδο της απόκρισης.



Η *πλήρης βλάβη* ορίζεται από μία μέση τιμή για την οποία τουλάχιστον το 50% (σε όρους επισκευής /κόστους αντικατάστασης) των δομικών στοιχείων έχουν χάσει πλήρη πλευρική ικανότητα, όπως αυτή ορίζεται από το σημείο E του ελέγχου σχετικά με τις αντίστοιχες καμπύλες παραμόρφωση- φορτίο. Ο παραπάνω πίνακας (Πίνακας 1.9) αναγνωρίζει τον εγγενή συντηρητισμό των τιμών του σημείου ελέγχου E (όπως ορίζεται από τις κατευθυντήριες γραμμές NEHRP) και υποδηλώνει ότι η μέση τιμή του επιπέδου «Πλήρης Κατάρρευση» θα πρέπει να είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη από το σημείο ελέγχου E, με την προϋπόθεση ότι η κατασκευή δεν είναι πιθανό να καταρρεύσει.

Στο Σχήμα 1.17, ένα μεγάλο οβάλ δείχνει το εύρος των πιθανών μέσων τιμών για την κατάσταση πλήρους βλάβης. Αυτό το φάσμα εκτείνεται από 1,0 έως 1,5 φορές το σημείο της τελευταίας μεγάλης πτώσης στην καμπύλη φορτίο-φέρουσα ικανότητα (pushover), επισημαίνοντας ότι τα περισσότερα στοιχεία έχουν φθάσει τα όρια τους. Η Πλήρης κατάσταση βλάβης και οι συναφείς τρόποι αστοχίας- κατάρρευσης είναι τα πιο δύσκολα να εξορθολογιστούν με τη χρήση μεθόδων μηχανικού, ακόμη και όταν αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας τις εξελιγμένες γραμμικές μεθόδους των κατευθυντηρίων γραμμών NEHRP. Σύσχέτιση των προβλεπόμενων και παρατηρούμενων ζημιών και απωλειών δείχνουν ότι πολύ ελεύθερες ερμηνείες των κριτηρίων αποδοχής των μηχανικών απαιτούνται για την πρόβλεψη με ακρίβεια της κατάστασης πλήρους βλάβης και του αριθμού των καταρρεύσεων που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί.

Ο λόγος της σχετικής μετακίνησης μεταξύ των ορόφων σε γενικού τύπου κτίρια φαίνονται στον πίνακα 6.4a και στους πίνακες 5.9a έως 5.9d του HAZUS-MH (Τεχνικό Εγχειρίδιο). Αυτοί οι πίνακες παρέχουν τους λόγους μετατόπισης του κάθε μοντέλου-τύπου κτιρίου για Ειδικά Έντονα, Έντονα, Μέτρια και Χαμηλά σεισμικά επίπεδα σχεδιασμού, αντίστοιχα. Οι λόγοι αυτοί των μετακινήσεων συνοψίζονται επίσης παρακάτω (Πίνακας 1.10). Οι HAZUS λόγοι μετατόπισης των γενικού τύπου κτιρίων μπορεί να χρησιμοποιούνται ως «λογικός έλεγχος» συγκεκριμένων τιμών του κτιρίου, αναγνωρίζοντας ότι οι μέσες τιμές αντιπροσωπεύουν ένα τυπικό κτίριο της ομάδας και θα μπορούσαν να αποτελέσουν παράγοντα 2 ή περισσότερων (ή λιγότερων) μέσων τιμών ενός συγκεκριμένου κτιρίου.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ο Πίνακας 1.10 περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της ευκαμψίας διαφράγματος (και άλλων παραγόντων στη συνολική ευελιξία του δομικού συστήματος) στις τιμές των σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των ορόφων που καθορίζουν τις μέσες τιμές των επιπέδων βλάβης των γενικού τύπου κτιρίων. Σε αντίθεση, τα σημεία ελέγχου και τα κριτήρια αποδοχής των διατάξεων NEHRP εφαρμόζονται αυστηρά στα συστατικά που ενδιαφέρουν κάθε φορά. Για τα δομικά συστήματα με πολύ έντονα συστατικά (π.χ., URM κτίρια), οι λόγοι των σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των ορόφων που αναπτύχθηκαν από την ανελαστική στατική ανάλυση (pushover) χρησιμοποιώντας τα μοντέλα και τα κριτήρια αποδοχής των κατευθυντηρίων γραμμών NEHRP θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τη διαφραγματική ευελιξία (καθώς και άλλες πηγές ευελιξίας) πριν από τη σύγκριση με τις προεπιλεγμένες τιμές που συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα για τους γενικούς τύπους κτιρίων (Πίνακας 1.10).



**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ (HAZUS)**

Model Building Type		Structural Damage States			
		Slight	Moderate	Extensive	Complete
Low-Rise Buildings – High-Code Design Level					
W1, W2		0.004	0.012	0.040	0.100
S1		0.006	0.012	0.030	0.080
C1, S2		0.005	0.010	0.030	0.080
C2		0.004	0.010	0.030	0.080
S3, S4, PC1, PC2, RM1, RM2		0.004	0.008	0.024	0.070
Low-Rise Buildings – Moderate-Code Design Level					
W1, W2		0.004	0.010	0.031	0.075
S1		0.006	0.010	0.024	0.060
C1, S2		0.005	0.009	0.023	0.060
C2		0.004	0.008	0.023	0.060
S3, S4, PC1, PC2, RM1, RM2		0.004	0.007	0.019	0.053
Low-Rise (LR) Buildings – Low-Code Design Level					
W1, W2		0.004	0.010	0.031	0.075
S1		0.006	0.010	0.020	0.050
C1, S2		0.005	0.008	0.020	0.050
C2		0.004	0.008	0.020	0.050
S3, S4, PC1, PC2, RM1, RM2		0.004	0.006	0.016	0.044
S5, C3, URM		0.003	0.006	0.015	0.035
Low-Rise (LR) Buildings – Pre-Code Design Level					
W1, W2		0.003	0.008	0.025	0.060
S1		0.005	0.008	0.016	0.040
C1, S2		0.004	0.006	0.016	0.040
C2		0.003	0.006	0.016	0.040
S3, S4, PC1, PC2, RM1, RM2		0.003	0.005	0.013	0.035
S5, C3, URM		0.002	0.005	0.012	0.028
Mid-Rise Buildings <sup>1</sup>					
All	Mid-Rise Building Types	2/3 * LR	2/3 * LR	2/3 * LR	2/3 * LR
High-Rise Buildings <sup>1</sup>					
All	High-Rise Building Types	1/2 * LR	1/2 * LR	1/2 * LR	1/2 * LR

**Πίνακας 1.10: Μέσες τιμές του HAZUS των σχετικών μετακινήσεων μεταξύ των ορόφων (DDS) της δομικής βλάβης μελών.**

Στο τελικό βήμα για την ανάπτυξη των μέσων τιμών των επιπέδων βλάβης του δομικού συστήματος, οι σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων για κάθε επίπεδο βλάβης μετατρέπονται στο αντίστοιχο ποσό της φασματικής μετατόπισης χρησιμοποιώντας το συντελεστή κατανομής,  $a_2$ , και άλλους όρους:

$$S_{d,ds} = \Delta_{ds} * H_R * a_2$$

**Εξίσωση 1.11**

Όπου:

- $S_{d,ds}$  Μέση τιμή φάσματος μετατόπισης των επιπέδων βλάβης,  $ds$ , (ίντσες)
- $\Delta_{ds}$  Σχετική μετακίνηση μεταξύ των ορόφων στο όριο των επιπέδων βλάβης,  $ds$ , που καθορίζονται από το χρήστη (σύμφωνα με γενικές τιμές, Πίνακας 1.9)
- $H_R$  Ύψος κτιρίου στο τελικό επίπεδο (ίντσες)
- $a_2$  Συντελεστής κατανομής pushover από την Εξίσωση 1.2.

### 1.4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΒΛΑΒΗΣ

Η τυπική απόκλιση (Beta) περιγράφει τη συνολική μεταβλητότητα της καμπύλης τρωτότητας κάθε επιπέδου βλάβης. Τρεις πρωτογενείς πηγές συμβάλλουν στη συνολική μεταβλητότητα της όποιας κατάστασης, δηλαδή, η μεταβλητότητα που συνδέεται με την καμπύλη ικανότητας,  $\beta_C$ , η μεταβλητότητα που συνδέεται με το φάσμα απόκρισης,  $\beta_D$  και η μεταβλητότητα που συνδέεται με το διακριτό όριο του εκάστοτε επιπέδου βλάβης, η  $\beta_{T,ds}$ , όπως περιγράφεται στην Εξίσωση 1.12:

$$\beta_{ds} = \sqrt{(\text{CONV}[\beta_C, \beta_D])^2 + (\beta_{T,ds})^2}$$

Εξίσωση 1.12

Όπου:

- $\beta_{ds}$  είναι η τυπική απόκλιση, η οποία περιγράφει τη συνολική μεταβλητότητα του επιπέδου βλάβης,  $ds$ ,
- $\beta_C$  είναι η τυπική απόκλιση, η οποία περιγράφει τη μεταβλητότητα της καμπύλης ικανότητας,
- $\beta_D$  είναι η τυπική απόκλιση, η οποία περιγράφει τη μεταβλητότητα του φάσματος απόκρισης (τιμές του  $\beta_D=0.45$  σε μικρά χρονικά διαστήματα και  $\beta_D=0,50$  κατά μεγάλες περιόδους είχαν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη πινάκων (Πίνακας 1.11-Πίνακας 1.13)
- $\beta_{T,ds}$  είναι η τυπική απόκλιση, η οποία περιγράφει τη μεταβλητότητα των ορίων των επιπέδων βλάβης  $ds$ .

Δεδομένου ότι το φάσμα απόκρισης εξαρτάται από την ικανότητα του κτιρίου, μια διαδικασία συνέλιξης καλείται να συνδυάσει τις αντίστοιχες συνεισφορές τους στις συνολική μεταβλητότητα. Αυτό αναφέρεται ως "CONV" στην Εξίσωση 1.12. Ο τρίτος όρος στη συνολική μεταβλητότητα,  $\beta_{T,ds}$ , θεωρείται ανεξάρτητος των δύο πρώτων μεταβλητών και συνδυάζεται με τα αποτελέσματα της διαδικασίας CONV χρησιμοποιώντας το υπόριζο-άθροισμα του κύκλου των τετραγώνων (SRSS μέθοδος). Πρόσθετα για τον τρόπο υπολογισμού της τυπικής απόκλισης Beta των επιπέδων βλάβης παρέχονται στο HAZUS-MH Τεχνικό Εγχειρίδιο και στην εργασία του Σεισμικού Φάσματος "Ανάπτυξη Λειτουργιών βλάβης κτιρίου για εκτίμηση Αντισεισμικής τρωτότητας" [Kircher et al.,1997a].

Η μεταβλητότητα του φάσματος απόκρισης (ήτοι, η μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης) είναι μια βασική παράμετρος στον υπολογισμό της μεταβλητότητας των επιπέδων βλάβης. Οι τιμές της μεταβλητότητας,  $\beta_D=0,45$  για μικρές περιόδους και  $\beta_D=0,50$  για μεγάλες, είναι οι ίδιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των προεπιλεγμένων καμπυλών τρωτότητας του HAZUS-MH Τεχνικό Εγχειρίδιο. Αυτές οι τιμές είναι σύμφωνες με την μεταβλητότητα (π.χ., συντελεστής διασποράς) των λειτουργιών εξασθένησης της εδαφικής κίνησης που χρησιμοποιούνται από το HAZUS για να προβλέψουν φάσματα απόκρισης για μεγάλης έκτασης γεγονότα των Δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών (WUS). Σημειώνεται

ότι αν δεν υπήρχε διακύμανση της ζήτησης (φάσμα απόκρισης είναι ακριβώς γνωστό), τότε η Εξίσωση 1.12 θα γινόταν:

$$\beta_{ds} = \sqrt{(\beta_c)^2 + (\beta_{T,ds})^2}$$

**Εξίσωση 1.13**

Αυτή η εξίσωση εξασφαλίζει χαμηλότερο όριο στη μεταβλητότητα των επιπέδων βλάβης, κατάλληλο για χρήση σε πιθανοτικούς υπολογισμούς της ζημίας και της απώλειας που βασίζονται στην ενσωμάτωση της τρωτότητας με τις λειτουργίες κινδύνου που έχουν ήδη ενσωματώσει τη μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης στις λειτουργίες κινδύνου. Ομοίως, η Εξίσωση 1.13 παρέχει ένα χαμηλότερο όριο για τη μεταβλητότητα των επιπέδων βλάβης για υπολογισμό των ζημιών και της απώλειας χρησιμοποιώντας ένα φάσμα απόκρισης που είναι αρκετά γνωστό (δηλαδή, φάσμα απόκρισης καταγεγραμμένης εδαφικής κίνησης). Ευλόγως, θα υπάρχει πάντοτε κάποιο ποσοστό μεταβλητότητας (αβεβαιότητας) στην εδαφική κίνηση,  $\beta_D$ , αλλά τέτοια μπορούν να αγνοηθούν στο πλαίσιο υπολογισμού της συνολικής μεταβλητότητας των επιπέδων βλάβης,  $\beta_{ds}$ , όταν είναι σημαντικά μικρότερη από την μεταβλητότητα της καμπύλης ικανότητας,  $\beta_c$ , και από τη μεταβλητότητα των ορίων των επιπέδων βλάβης  $\beta_{T,ds}$ .

Η διαδικασία αυτή συνεπάγεται έναν περίπλοκο αριθμητικό υπολογισμό που θα ήταν πολύ δύσκολο για τους περισσότερους χρήστες να εκτελέσουν. Για να αποφευχθεί η δυσκολία αυτή, τίθενται προϋπολογιζόμενες τιμές των τιμών απόκλισης Beta των επιπέδων βλάβης όπως αυτές έχουν συγκεντρωθεί σε παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1.11, Πίνακας 1.12, Πίνακας 1.13) από το οποίο οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν κατάλληλες τιμές διακύμανσης για το δομικό σύστημα και τα μη δομικά στοιχεία τα ευαίσθητα στην επιτάχυνση και στην μετακίνηση.

Οι τιμές αυτών των Beta είναι συνάρτηση των ακόλουθων δομικών χαρακτηριστικών και κριτηρίων:

- Ομάδες κτιρίων ανά ύψος-Κτίρια χαμηλού ύψους (Πίνακας 1.11), Μέτριου ύψους Κτίρια (Πίνακας 1.12) και πολυώροφα κτίρια (Πίνακας 1.13).
- Μετά τη διαρροή απομείωση του δομικού συστήματος-Ήσσονος, Μείζονος και υπερβολική απομείωση.
- Μεταβλητότητα ορίου επιπέδων βλάβης-Μικρή, Μέτρια ή μεγάλη μεταβλητότητα.
- Μεταβλητότητα καμπύλης ικανότητας-Πολύ Μικρή, Μικρή, μέτρια ή μεγάλη μεταβλητότητα.

Οι τιμές Beta των πινάκων ισχύουν για όλους τους τύπους μοντέλων κτιρίων. Για παράδειγμα, ένα χαμηλού ύψους κτίριο από σκυρόδεμα (C1L) θα έχει τις ίδιες τιμές Beta με ένα χαμηλού ύψους κτίριο από χάλυβα με ενίσχυση (S2L), υπό την προϋπόθεση ότι τα δύο κτίρια έχουν την ίδια μεταβλητότητα στην καμπύλη ικανότητας, την ίδια μεταβλητότητα των ορίων μεταξύ των επιπέδων βλάβης και το ίδιο ποσό απομείωσης της ακαμψίας του φορέα μετά τη διαρροή.

Η μετά τη διαρροή απομείωση της ακαμψίας και της αντοχής του φορέα ορίζεται από έναν παράγοντα Kappa, ο οποίος αποτελεί άμεσο μέτρο των επιπτώσεων του επιπέδου σχεδιασμού και ποιότητας κατασκευής σχετικά με τη μεταβλητότητα της απόκρισης. Κτίρια που είναι σεισμικά σχεδιασμένα και/ή έχουν ανώτερη κατασκευή είναι λιγότερο πιθανό να υποβαθμιστούν κατά τη διάρκεια του σεισμού, και ως εκ τούτου, έχουν πιο προβλέψιμη απόκριση, από τα κτίρια που δεν είναι σεισμικά σχεδιασμένα και/ή έχουν μικρότερη κατασκευή.

Για να επιλεγεί ένα σύνολο τιμών Beta για κάθε επίπεδο (δηλαδή, ένα δομικό Beta, ένα μη δομικό ευαίσθητο στη μετακίνηση Beta και ένα μη δομικό ευαίσθητο στην επιτάχυνση Beta), πρέπει να καθοριστεί η ομάδα ύψους του κτιρίου που αντιπροσωπεύει καλύτερα το συγκεκριμένο κτίριο που μας ενδιαφέρει. Οι ομάδες ύψους ορίζονται από τα ίδια κριτήρια με αυτά που χρησιμοποιούνται από το HAZUS για τον καθορισμό των γενικών τύπων κτιρίων. Για παράδειγμα, ένα 5-όροφο από οπλισμένο σκυρόδεμα κτίριο θα μπορούσε να καταταγεί ως ένα κτίριο μετρίου ύψους, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια ύψους (Πίνακας 1.3).

Οι παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1.11 έως Πίνακας 1.13), (αναφερόμενοι ως πίνακες Beta), παρέχουν συνιστώμενα σύνολα τιμών Beta των επιπέδων βλάβης για κάθε μία από τις τρεις ομάδες ύψους κτιρίων αντίστοιχα. Σε κάθε έναν από τους πίνακες αυτούς, οι τιμές Beta βασίζονται σε 36 πιθανούς συνδυασμούς της μεταβλητότητας της καμπύλης ικανότητας, της μεταβλητότητας των ορίων των επιπέδων και του μεγέθους της μετά τη διαρροή απομείωσης που αναμένεται για το δομικό σύστημα.

Η εκτίμηση της υποβάθμισης του δομικού συστήματος (ελάχιστο ή μέγιστο) γίνεται βάσει των Kappa παραγόντων που προτείνονται (Πίνακας 1.7) και του βαθμού της μετά τη διαρροή απόκρισης που αναμένεται για το επίπεδο βλάβης που μας ενδιαφέρει. Οι Kappa παράγοντες μειώνονται με αύξηση του επιπέδου απόκρισης (και βλάβης). Ελαφρές ζημιές αντιστοιχούν σε απόκριση μεταξύ 1/2 διαρροή και την πλήρη διαρροή. Μέτριες ζημιές αντιστοιχούν σε απόκριση ακριβώς ή μόλις πέρα από το όριο διαρροής. Εκτεταμένες ζημιές και Πλήρεις αντιστοιχούν στη μετά του ορίου διαρροής απόκριση στη διάρκεια του σεισμικού σεναρίου. Οι τιμές Beta αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1.11 έως Πίνακας 1.13) για  $\kappa \geq 0.9$  (ήσσονος σημασίας υποβάθμιση),  $\kappa = 0,5$  (μεγάλη υποβάθμιση) και  $\kappa \leq 0.1$  (ακραία υποβάθμιση) του δομικού συστήματος. Η γραμμική παρεμβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό των τιμών Beta για άλλες τιμές του συντελεστή Kappa.

Η εκτίμηση της μεταβλητότητας της καμπύλης ικανότητας ( $\beta_C$ ) και της μεταβλητότητας του ορίου των επιπέδων βλάβης ( $\beta_{T,ds}$ ) πρέπει να γίνονται από τους χρήστες με την κρίση τους. Για τη βοήθεια των χρηστών, οι πίνακες Beta εκφράζουν την μεταβλητότητα της καμπύλης ικανότητας και τη μεταβλητότητα των ορίων ποιοτικά (π.χ. μικρή μεταβλητότητα) και σε αριθμητικούς όρους χρησιμοποιείται η διαδικασία CONV. Αριθμητικές τιμές της μεταβλητότητας ( $\beta_C$  και  $\beta_{T,ds}$ ) είναι τυπικές αποκλίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.15, για να κατασκευαστεί η κατανομή της καμπύλης ικανότητας ή του ορίου των επιπέδων που εκπροσωπούν.

Η μεταβλητότητα των καμπύλων και των κατώτατων ορίων των επιπέδων, επηρεάζονται από:

- Την αβεβαιότητα στις ιδιότητες της καμπύλης ικανότητας και των ορίων των επιπέδων βλάβης, και
- Τον πληθυσμό (δηλαδή, ατομικά κτίρια ή ομαδικά).

Σχετικά χαμηλή μεταβλητότητα των επιπέδων βλάβης θα πρέπει να αναμένεται για ένα μεμονωμένο κτίριο με καλές ιδιότητες (π.χ. δεδομένα δομικά υλικά, κ.λπ.) και του οποίου οι επιδόσεις και οι καταστάσεις δυσλειτουργίας είναι γνωστές με βεβαιότητα. Όσο ψηλότερο το κτίριο τόσο μεγαλύτερη η μεταβλητότητα των επιπέδων βλάβης λόγω της αβεβαιότητας στην πρόβλεψη της απόκρισης και της βλάβης χρησιμοποιώντας ανελαστική στατική ανάλυση (pushover). Σχετικά υψηλή μεταβλητότητα των επιπέδων βλάβης θα πρέπει να αναμένεται για μία ομάδα κτιρίων των οποίων οι ιδιότητες δεν είναι γνωστές και για τις οποίες υπάρχει αβεβαιότητα στα αποτελέσματα (από pushover ανάλυση) που αντιπροσωπεύουν τις επιδόσεις και τις καταστάσεις δυσλειτουργίας όλων των κτιρίων της ομάδας. Η τελευταία αυτή περίπτωση, περιγράφει, κατ' ουσία την αρχική ανάπτυξη των καμπυλών τρωτότητας των επιπέδων βλάβης για γενικού τύπου κτίρια που βασίζονταν στην μεταβλητότητα της καμπύλης ικανότητας,  $\beta_C = 0,3$ , και μεταβλητότητα των ορίων των επιπέδων βλάβης,  $\beta_{T,ds} = 0,3$  (Κατασκευή),  $\beta_{T,ds} = 0,5$  (NSD) και  $\beta_{T,ds} = 0,6$  (NSA). Τα γενικού τύπου κτίρια εκπροσωπούν το μεγάλο αριθμό των κτιρίων για τα οποία οι ιδιότητες δεν είναι καλά γνωστές.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Building System <sup>2</sup>	Post-Yield Degradation of Structural System <sup>3</sup>								
	Minor Degradation ( $\kappa \geq 0.9$ )			Major Degradation ( $\kappa = 0.5$ )			Extreme Degradation ( $\kappa \leq 0.1$ )		
	Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )			Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )			Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )		
	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)
Structural Systems with Very Small Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.1$ )									
Structure	0.70	0.80	0.90	0.85	0.90	1.00	0.95	1.00	1.10
NSD	0.65	0.75	0.90	0.85	0.90	1.00	0.95	1.00	1.10
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Small Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.2$ )									
Structure	0.70	0.80	0.90	0.85	0.90	1.00	0.95	1.05	1.15
NSD	0.70	0.75	0.90	0.85	0.90	1.00	0.95	1.00	1.10
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Moderate Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.3$ )									
Structure	0.75	0.80	0.95	0.85	0.95	1.05	1.00	1.05	1.15
NSD	0.70	0.80	0.90	0.85	0.95	1.05	1.00	1.05	1.15
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Large Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.4$ )									
Structure	0.80	0.85	0.95	0.90	1.00	1.10	1.05	1.10	1.20
NSD	0.75	0.85	0.95	0.90	1.00	1.05	1.00	1.05	1.15
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65

**Πίνακας 1.11:** Χαμηλού ύψους κτιρίων τιμές Beta της καμπύλης τρωτότητας

1. Τα κτιριακά συστήματα περιλαμβάνουν τα δομικά στοιχεία, τα μη δομικά που είναι ευαίσθητα στη μετακίνηση (NSD) και τα μη δομικά τα ευαίσθητα στην επιτάχυνση (NSA).

Building System <sup>2</sup>	Post-Yield Degradation of Structural System <sup>3</sup>								
	Minor Degradation ( $\kappa \geq 0.9$ )			Major Degradation ( $\kappa = 0.5$ )			Extreme Degradation ( $\kappa \leq 0.1$ )		
	Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )			Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )			Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )		
	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)
Structural Systems with Very Small Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_c = 0.1$ )									
Structure	0.60	0.70	0.80	0.70	0.80	0.90	0.85	0.95	1.05
NSD	0.60	0.70	0.80	0.80	0.85	0.95	0.90	1.00	1.10
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Small Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_c = 0.2$ )									
Structure	0.65	0.75	0.85	0.75	0.85	0.95	0.95	1.00	1.10
NSD	0.65	0.70	0.85	0.80	0.85	1.00	0.95	1.00	1.10
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Moderate Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_c = 0.3$ )									
Structure	0.65	0.75	0.85	0.80	0.85	0.95	0.95	1.00	1.10
NSD	0.65	0.75	0.85	0.80	0.90	1.00	0.95	1.05	1.15
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Large Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_c = 0.4$ )									
Structure	0.70	0.75	0.90	0.80	0.90	1.00	1.00	1.05	1.15
NSD	0.70	0.75	0.90	0.85	0.90	1.00	1.00	1.05	1.15
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65

Πίνακας 1.12: Μετρίου ύψους κτιρίων τιμές Beta της καμπύλης τροτότητας

1. Τα κτιριακά συστήματα περιλαμβάνουν τα δομικά στοιχεία, τα μη δομικά που είναι ευαίσθητα στη μετακίνηση (NSD) και τα μη δομικά τα ευαίσθητα στην επιτάχυνση (NSA).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Building System <sup>2</sup>	Post-Yield Degradation of Structural System <sup>3</sup>								
	Minor Degradation ( $\kappa \geq 0.9$ )			Major Degradation ( $\kappa = 0.5$ )			Extreme Degradation ( $\kappa \leq 0.1$ )		
	Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )			Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )			Damage Variability <sup>4</sup> ( $\beta_{T,ds}$ )		
	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)	Small (0.2)	Mod. (0.4)	Large (0.6)
Structural Systems with Very Small Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.1$ )									
Structure	0.55	0.65	0.80	0.65	0.75	0.85	0.80	0.90	1.00
NSD	0.55	0.65	0.80	0.75	0.80	0.95	0.90	0.95	1.05
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Small Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.2$ )									
Structure	0.60	0.65	0.80	0.70	0.80	0.90	0.90	0.95	1.05
NSD	0.60	0.70	0.80	0.75	0.85	0.95	0.95	1.00	1.10
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Moderate Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.3$ )									
Structure	0.60	0.70	0.80	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00	1.10
NSD	0.60	0.70	0.85	0.80	0.85	0.95	0.95	1.05	1.15
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65
Structural Systems with Large Capacity Curve Variability <sup>5</sup> ( $\beta_C = 0.4$ )									
Structure	0.60	0.70	0.85	0.75	0.80	0.95	0.95	1.00	1.10
NSD	0.60	0.70	0.85	0.80	0.90	1.00	1.00	1.05	1.15
NSA	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65	0.35	0.50	0.65

**Πίνακας 1.13: Μεγάλου ύψους κτιρίων τιμές Beta της καμπύλης τρωτότητας**

1. Τα κτιριακά συστήματα περιλαμβάνουν τα δομικά στοιχεία, τα μη δομικά που είναι ευαίσθητα στη μετακίνηση (NSD) και τα μη δομικά τα ευαίσθητα στην επιτάχυνση (NSA).



## **2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ**

---

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **2.1.1 ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ**

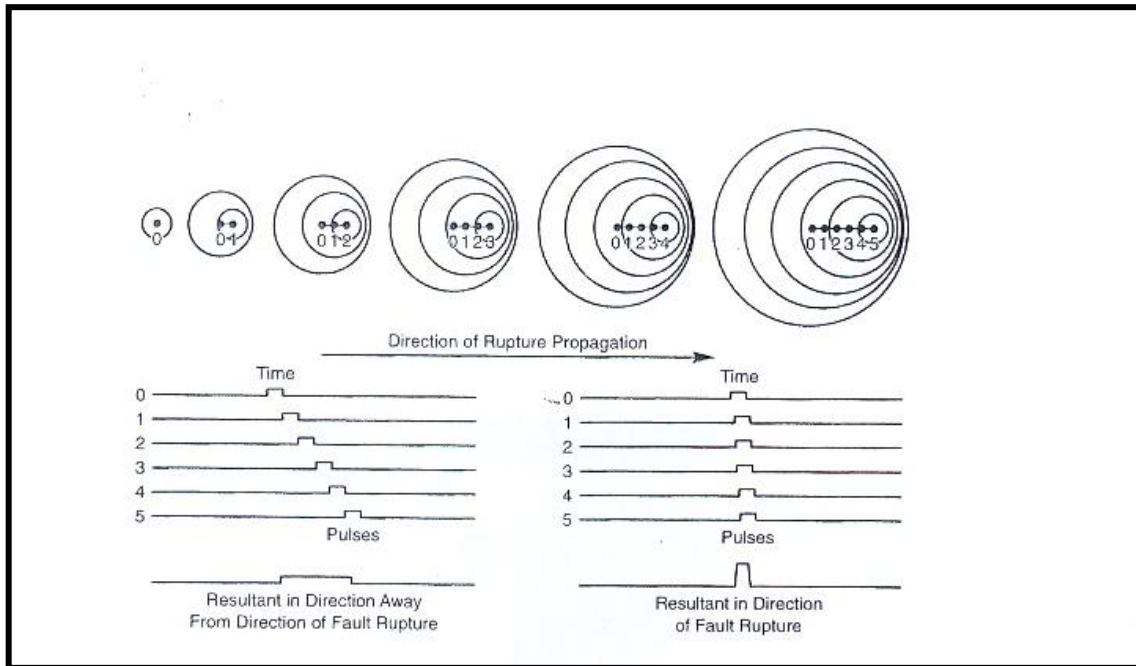
Οι εδαφικές κινήσεις κοντά σε ένα ρήγμα μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετικές από εκείνες που βρίσκονται μακριά από τη σεισμική πηγή. Η ζώνη κοντινού πεδίου ρηγμάτων θεωρητικά είναι μέσα σε μια απόσταση περίπου 20-60 km από ένα ρήγμα. Μέσα σε αυτήν την ζώνη κοντινού πεδίου, οι εδαφικές κινήσεις επηρεάζονται σημαντικά από το μηχανισμό διάρρηξης, την κατεύθυνση της διάδοσης της διάρρηξης σε σχέση με την περιοχή, και τις πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ρήγματος. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στα αποτελέσματα που καλούνται ως "κατευθυντικότητα της διάρρηξης" και "παραμένουσα μετακίνηση" (fling step). Η εκτίμηση της εδαφικής κίνησης κοντά σε ένα ρήγμα πρέπει να λαμβάνει υπόψη αυτά τα χαρακτηριστικά της κίνησης κοντινού πεδίου.

Αναλυτικότερα, η διάρρηξη στο επίπεδο του ρήγματος που αποτελεί την αιτία ενός σεισμικού γεγονότος, επέρχεται όταν οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις ξεπεράσουν την 'φαινομένη' (φύσει και θέσει) αντοχή του πετρώματος στην περιοχή της σεισμικής εστίας. Η ρηγμάτωση που προκαλείται απαρτίζεται από μία σειρά μικρότερες διαρρήξεις (θραύση 'κλειδιών' κατά μήκος του ρήγματος) που μπορούν να θεωρηθούν σαν μία σειρά μικρών σεισμών με μεγάλη χωρική και χρονική εγγύτητα. Η περιοχή στην οποία επικεντρώνονται οι βλάβες κατά την διάρκεια ενός σεισμού είναι συνήθως συγκεντρωμένη γύρω από το ρήγμα και έχει διαστάσεις ανάλογες με την επιφάνεια ρηγμάτωσης. Η περιοχή αυτή ονομάζεται κοντινό πεδίο και κοντά της η εδαφική κίνηση χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Όταν η ρηγμάτωση κατευθύνεται από το επίκεντρο του σεισμού προς μία θέση παρουσιάζεται ένα φαινόμενο αντίστοιχο με το Doppler (Σχήμα 2.1). Όπως είδαμε η διάρρηξη γίνεται σταδιακά σε επιμέρους περιοχές του ρήγματος. Κατά την διάρκεια κάθε τέτοιας διάρρηξης παράγεται ένας παλμός ταχύτητας που διαδίδεται ως κύμα S με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας διάρρηξης. Επειδή η ταχύτητα της διάρρηξης στο ρήγμα είναι κοντά (γενικά λίγο μικρότερη) στην ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (κύματα S) του βράχου κοντά στην πηγή, όταν η διάδοση της διάρρηξης γίνεται προς μια περιοχή και η κατεύθυνση της ολίσθησης στο ρήγμα είναι επίσης προς αυτή την περιοχή, εμφανίζεται το φαινόμενο της έμπροσθεν κατευθυντικότητας (forward directivity).

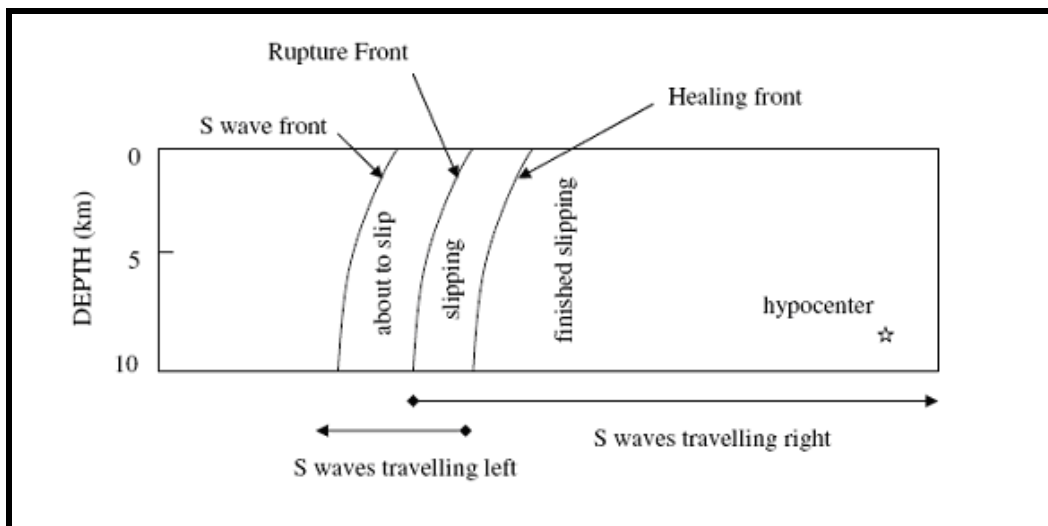
Για έναν μηχανισμό οριζόντιας ολίσθησης (

Σχήμα 2.2), όπου το μέτωπο διάρρηξης διαδίδεται μακριά από το υπόκεντρο και προς μια περιοχή, η ενέργεια συσσωρεύεται κοντά στο μέτωπο διάρρηξης από κάθε διαδοχική ζώνη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος. Το μέτωπο των κυμάτων φθάνει ως ένας μεγάλος παλμός της κίνησης. Ο παλμός της κίνησης χαρακτηρίζεται από το μεγάλο εύρος ενδιάμεσα στις μεγάλες περιόδους και τη μικρή διάρκεια.

Εάν αντίθετα μια περιοχή βρίσκεται κοντά στο επίκεντρο, δηλαδή, η διάρρηξη διαδίδεται μακριά από την περιοχή, η άφιξη κάθε παλμού επιμέρους σεισμικής διάρρηξης γίνεται στο τέλος του προηγούμενου του. Αυτός ο όρος, καλούμενος ως "όπισθεν κατευθυντικότητα" (backward directivity), χαρακτηρίζεται από κινήσεις με σχετικά μεγάλη διάρκεια και μικρό εύρος. Η "ουδέτερη κατευθυντικότητα" (neutral directivity) εμφανίζεται όταν η ρήξη δεν είναι ούτε προς ούτε μακριά από την περιοχή.



Σχήμα 2.1: Επίδραση της κατευθυντικότητας της διάρρηξης που εξηγείται από το φαινόμενο Doppler

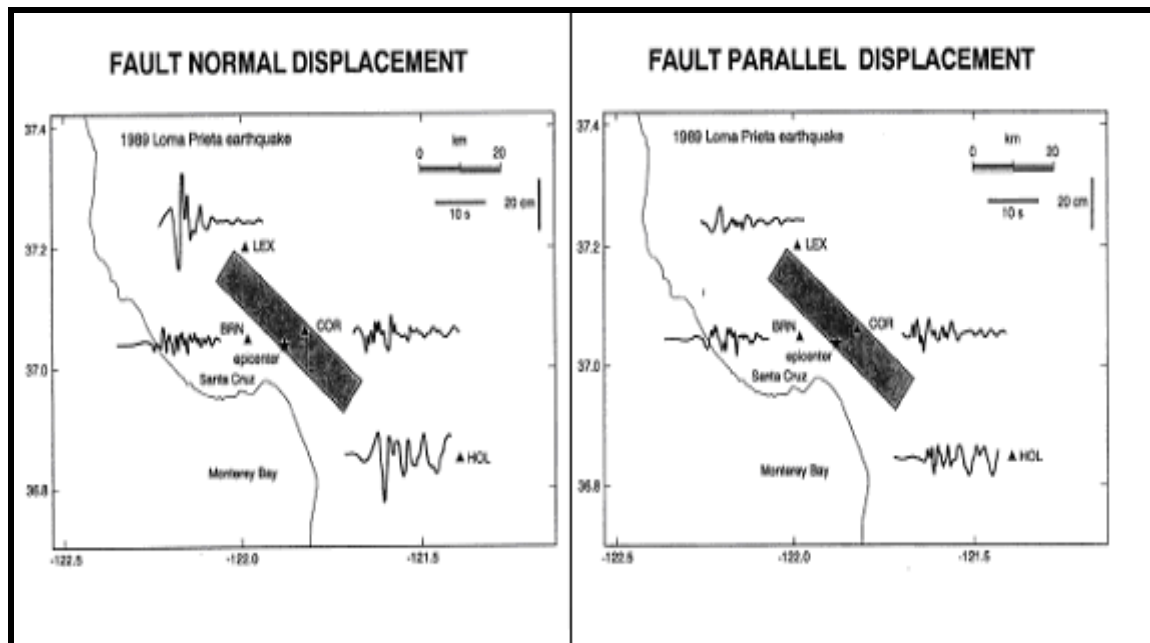


Σχήμα 2.2: Σχηματικό διάγραμμα επίδρασης της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ένα οριζόντιο ρήγμα ολίσθησης. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με μια ταχύτητα που είναι περίπου 80% της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου ρήξης σε μια δεδομένη στιγμή (από Somerville et al 1997a).

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις εδαφικές μετατοπίσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού στην περιοχή Loma Prieta το 1989 παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.3. Το επίκεντρο του σεισμού είναι κοντά στο Corralitos και Branciforte Drive, όπου οι οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις είναι μέτριες και στις κάθετες και στις παράλληλες με το ρήγμα συνιστώσες. Αυτό αποδίδεται στην οπίσθια κατευθυντικότητα. Στα άκρα του ρήγματος εντούτοις, στο Lexington Dam και το Hollister, η εμπρόσθια κατευθυντικότητα αναγκάζει τις οριζόντιες εδαφικές κινήσεις στην κάθετη διεύθυνση του ρήγματος να είναι παλμικές και πολύ μεγαλύτερες από τις κινήσεις των παράλληλων συνιστωσών του ρήγματος, οι οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες κοντά στο επίκεντρο. Οι μεγάλες παλμικές κινήσεις εμφανίζονται μόνο στην κάθετη με το ρήγμα συνιστώσα (fault normal) και μόνο μακριά από το επίκεντρο.

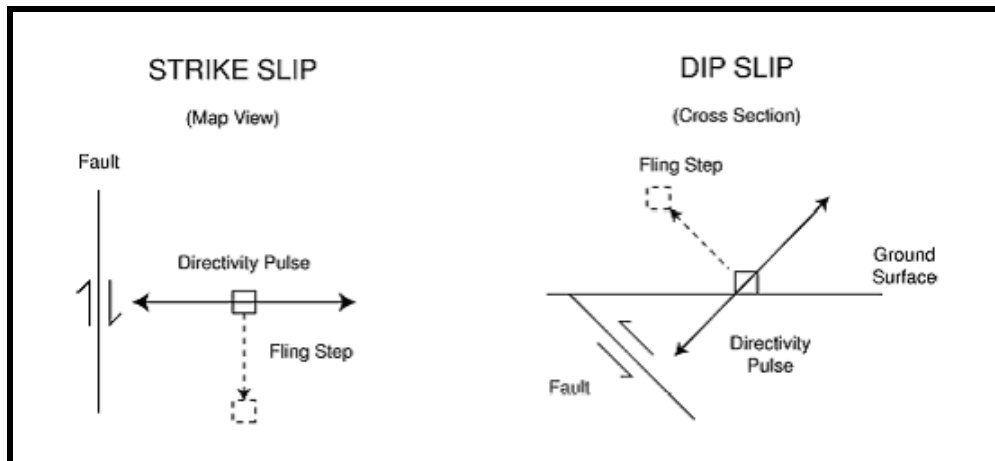
Τα φαινόμενα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης μπορούν να παρουσιαστούν τόσο σε ρήγματά οριζόντιας ολίσθησης, όσο και σε κατακόρυφης ολίσθησης-βύθισης. Στις περιπτώσεις ρήγματος κατακόρυφης βύθισης, οι συνθήκες εμπρόσθιας κατευθυντικότητας εμφανίζονται για περιοχές κοντά στην προβολή του επάνω-τεμάχους του ρήγματος. Σε μηχανισμούς οριζόντιας ολίσθησης, ο τρόπος εκπομπής ενέργειας λόγω διάτμησης σε ένα ανάστροφο ρήγμα αναγκάζει τον παλμό της κίνησης να είναι προσανατολισμένος κάθετα στα οριζόντια ρήγματα (Somerville et al, 1997a).



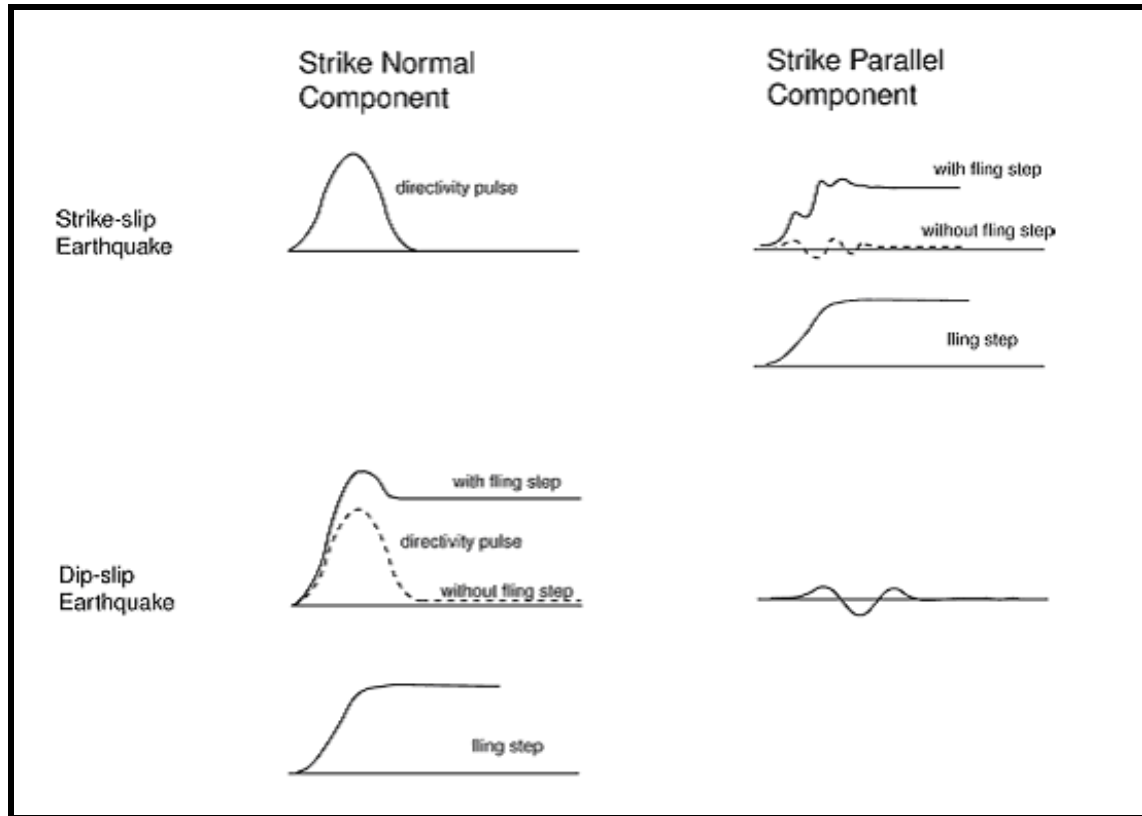
Σχήμα 2.3: Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγραμμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων του σεισμού του Loma Prieta του 1989, για τις κάθετες (αριστερά) και παράλληλες (δεξιά) στο ρήγμα συνιστώσες. Πηγή: EERI, 1995.

Οι σύγχρονες ψηφιακές καταγραφές των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου περιέχουν μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις λόγω του στατικού πεδίου παραμόρφωσης του σεισμού. Αυτές οι στατικές μετατοπίσεις, που καλούνται "παραμένουσες μετακινήσεις" (fling step) εμφανίζονται μετά από ένα χρονικό διάστημα αρκετών δευτερολέπτων καθώς η ολίσθηση του ρήγματος προχωρά. Οι παραμένουσες μετακινήσεις (fling step) εμφανίζονται παράλληλες στην διεύθυνση ολίσθησης του

ρήγματος, και επομένως δεν συνδέονται άμεσα με τις προαναφερθείσες δυναμικές μετακινήσεις που καλούνται "παλμός κατευθυντικότητας της διάρρηξης". Στα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζεται στην κάθετη συνιστώσα ενώ η παραμένουσα μετακίνηση εμφανίζεται στην παράλληλη συνιστώσα. Στα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης, τόσο η παραμένουσα μετακίνηση όσο και ο παλμός κατευθυντικότητας εμφανίζονται στην κάθετη συνιστώσα. Οι προσανατολισμοί της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και κατακόρυφης βύθισης παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4, και οι χρονοϊστορίες στις οποίες αυτές οι συνεισφορές εμφανίζονται μαζί και χωριστά, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5.



**Σχήμα 2.4:** Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει τους προσανατολισμούς της παραμένουσα μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και για ρήγμα κατακόρυφης βύθισης



**Σχήμα 2.5:** Σχηματικό διάγραμμα των χρονοϊστοριών για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα κατακόρυφης βύθισης στο οποίο η παραμένουσα μετακίνηση και ο παλμός κατευθυντικότητας δείχνονται μαζί και χωριστά.

Τα διαθέσιμα στοιχεία κινήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρηθούν οι επιδράσεις του κοντινού πεδίου είναι περιορισμένα. Ωστόσο, οι πρόσφατοι σεισμοί στην Τουρκία και την Ταϊβάν έχουν συμπληρώσει σημαντικά τη βάση δεδομένων εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας της διάρρηξης, με έμφαση στην εμπρόσθια κατευθυντικότητα. Ακολούθως γίνεται μικρή αναφορά στις επιδράσεις της παραμένουσας μετακίνησης στο κοντινό πεδίο του ρήγματος.

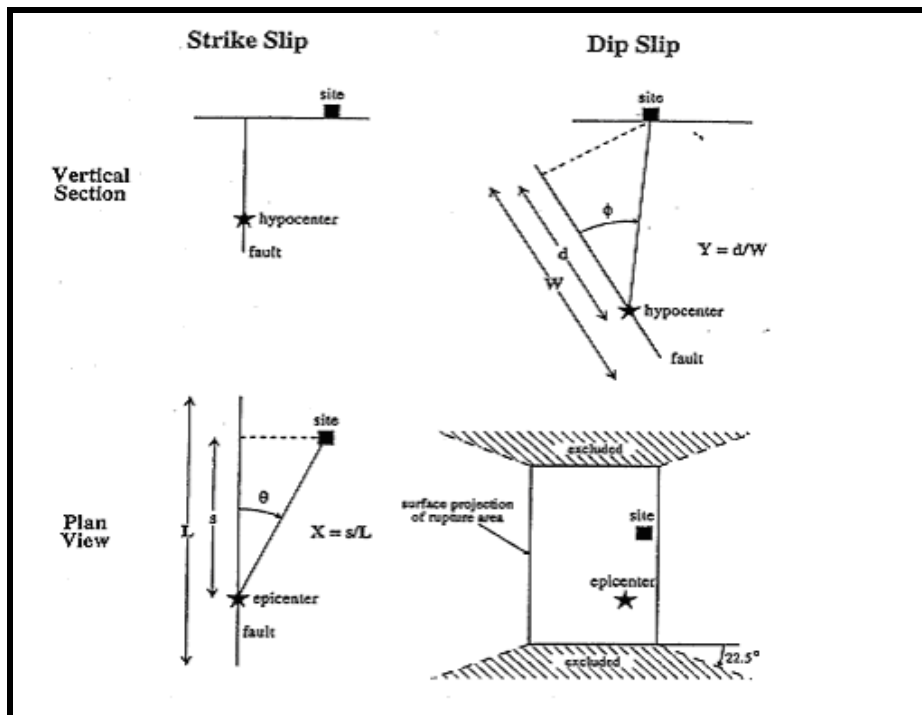
### **2.1.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ**

Οι Somerville et al (1997a) παραμετροποίησαν τις συνθήκες που οδηγούν σε εμπρόσθια και οπίσθια κατευθυντικότητα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6, η διαφοροποίηση στο χώρο, των επιδράσεων της κατευθυντικότητας εξαρτάται από τη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της διάδοσης ρήξης και της κατεύθυνσης των κυμάτων που ταξιδεύουν από το ρήγμα στην περιοχή ( $\theta$  για τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, και  $\phi$  για τα ρήγματα ολίσθησης βύθισης), και από το μέρος της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος που βρίσκεται μεταξύ του υπόκεντρου και της εξεταζόμενης περιοχής ( $X$  για τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και  $Y$  για τα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης). Τα σημαντικότερα αποτελέσματα εμπρόσθιας κατευθυντικότητας προκύπτουν από τις μικρότερες γωνίες μεταξύ της εξεταζόμενης

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

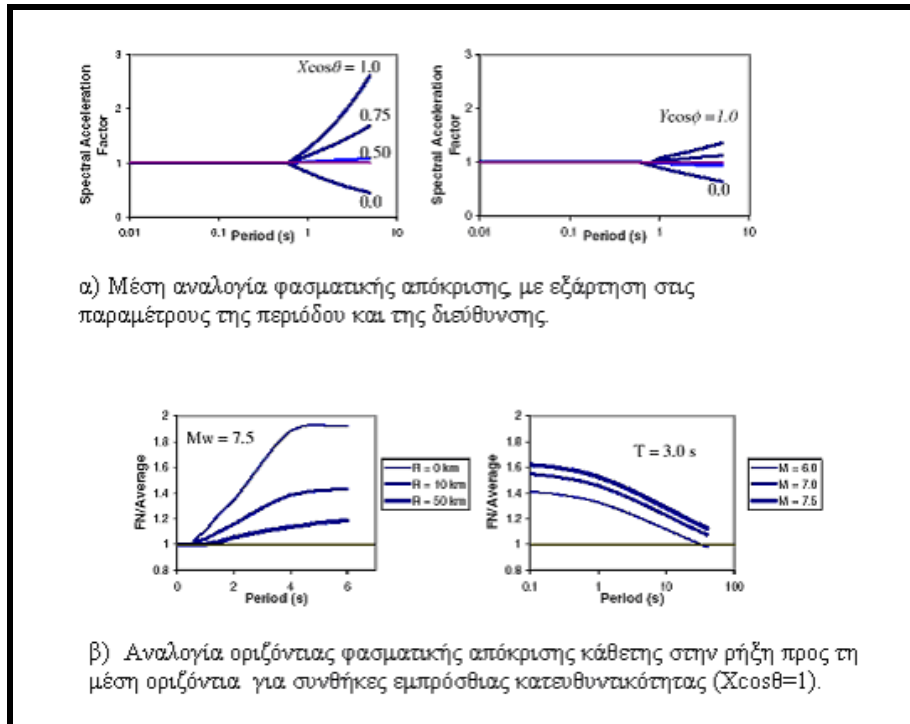
περιοχής και του ρήγματος και για τα μεγαλύτερα μέρη του διερρηγμένου ρήγματος μεταξύ της θέσης και υπόκεντρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και όταν ικανοποιούνται οι γεωμετρικές συνθήκες για την εμπρόσθια κατευθυντικότητα, τα αποτελέσματα της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας μπορούν να μην εμφανιστούν. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί εάν ένας σταθμός είναι στο τέλος ενός ρήγματος και η διάρρηξη εμφανίζεται προς το σταθμό αλλά η ολίσθηση συγκεντρώνεται προς το τέλος του ρήγματος όπου ο σταθμός βρίσκεται.

Για να ληφθούν υπ' όψιν τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας, οι Somerville et al (1997a) συσχέτισαν τις αναγόμενες προς ένα μέσο φάσμα, τιμές των φασμάτων απόκρισης (με 5% απόσβεση) με τις γεωμετρικές παραμέτρους που καθορίζονται στο Σχήμα 2.6, και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.7. Οι παράμετροι εδαφικής κίνησης που τροποποιούνται είναι τα μέσα οριζόντια φάσματα απόκρισης και ο λόγος των φασμάτων απόκρισης για την κάθετη και την παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα. Οι παράγοντες κοντινής πηγής καθορίζονται για αποστάσεις μικρότερες από 15 km και για τρεις διαφορετικούς τύπους σεισμικών πηγών (Πίνακας 2.1). Οι παράγοντες κοντινής πηγής από τον κανονισμό UBC (1997) είναι συμβατοί με το μέσο όρο των καθέτων και των παράλληλων στο ρήγμα συνιστωσών στο μοντέλο Somerville et al (1997a), και ως εκ τούτου, οι διατάξεις του κανονισμού δεν εξετάζουν τη μεγαλύτερη κάθετη συνιστώσα της κίνησης Somerville (1998).



Σχήμα 2.6: Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για να ερμηνεύσουν τις συνθήκες της κατευθυντικότητας της διάρρηξης από Somerville et al (1997).

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΛΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ  
ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



Σχήμα 2.7: Προβλέψεις από την σχέση των Somerville et al (1997 a) μεταξύ διαφορετικών συνθηκών κατευθυντικότητας.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

α) Παράγοντας μικρής περιόδου (Nα)

Seismic Source Type	Closest Distance to Known Seismic Source <sup>1</sup>		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

β) Παράγοντας ενδιάμεσης περιόδου (Nν)

Seismic Source Type	Closest Distance to Known Seismic Source <sup>1</sup>			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

γ) Περιγραφή των τύπων σεισμικής πηγής

Seismic Source Type	Description	Seismic Source Definition	
		Maximum Moment Magnitude, $m$	Slip Rate, $s$ (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$m \geq 7.0$	$s \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$m \geq 7.0$ $m < 7.0$ $m \geq 6.5$	$s > 5$ $s > 2$ $s < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$m < 6.5$	$s \leq 2$

**Πίνακας 2.1: Παράγοντες κοντινής πηγής από UBC (1997)**

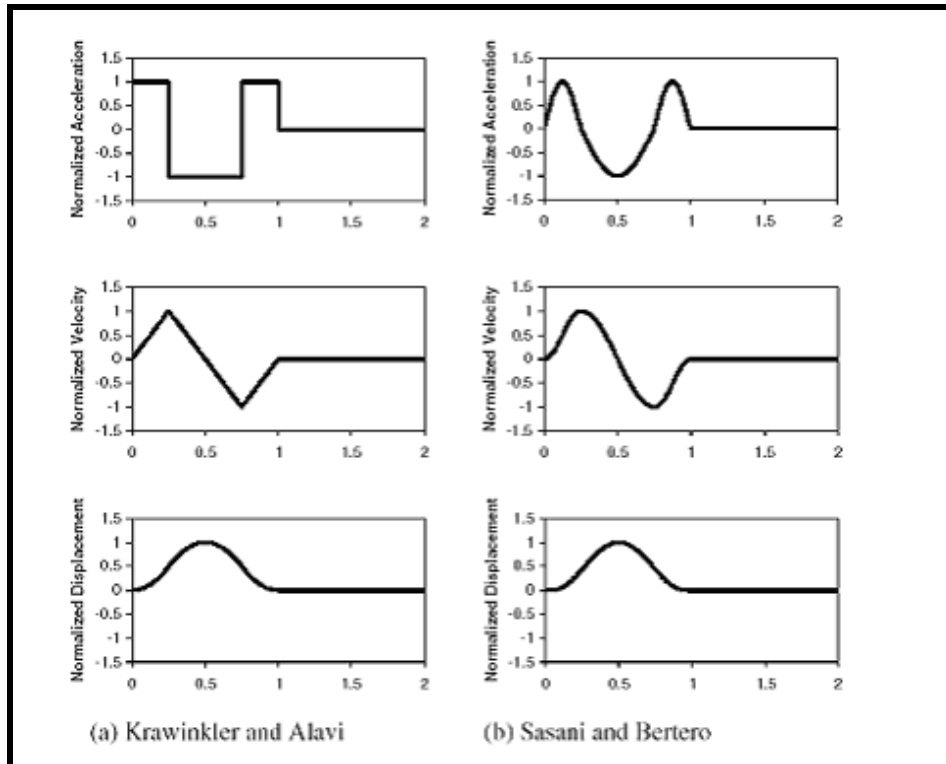
<sup>1</sup> Η πλησιέστερη απόσταση στην σεισμική πηγή θα πρέπει να λαμβάνεται ως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ της εξεταζόμενης θέσης και της προβολής του επιπέδου του ρήγματος στην επιφάνεια (RJ-B). Η επιφανειακή προβολή δεν χρειάζεται να περιλαμβάνει μέρη της πηγής σε βάθη των 10 km ή μεγαλύτερα

Η έρευνα για την απόκριση των κατασκευών στις κινήσεις κοντινού πεδίου έχει οδηγήσει στην εύρεση μιας αντιπροσωπευτικής χρονοϊστορίας των κινήσεων που είναι προτιμητέα για μια αντιπροσώπευση ενός φάσματος απόκρισης (π.χ. Somerville, 1998 Alavi και Krawinkler, 2000 Sasani και Bertero, 2000 Rodriguez- Marek, 2000). Μια παρουσίαση χρονοϊστορίας είναι προτιμητέα επειδή ο χαρακτηρισμός στο πεδίο συχνοτήτων της εδαφικής κίνησης (δηλ. μέσω ενός φάσματος απόκρισης) υπονοεί μια πιθανοτική διαδικασία που έχει μια σχετικά ομοιόμορφη διανομή της ενέργειας σε όλη τη διάρκεια της κίνησης. Όταν η ενέργεια συγκεντρώνεται σε λίγους παλμούς κίνησης, το φαινόμενο συντονισμού που το φάσμα απόκρισης αντιλαμβάνεται για να παρουσιάσει μπορεί να έχει ανεπαρκή χρόνο να αναπτυχθεί (Somerville, 1998).



Οι μελέτες από Krawinkler και Alavi (1998) και Sasani και Bertero (2000) έχουν δείξει ότι οι απλουστευμένες θεωρήσεις του παλμού ταχύτητας μπορούν να «συλλάβουν» τα εμφανή χαρακτηριστικά γνωρίσματα απόκρισης των κατασκευών που υποβάλλονται στις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Μερικοί απλουστευμένοι παλμοί παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.8. Για να αναπαρασταθεί μια δόνηση δύο διευθύνσεων, απαιτείται μια αναπαράσταση ημιτονικού παλμού της παράλληλης στο ρήγμα συνιστώσας μαζί με τη χρονική καθυστέρηση μεταξύ της έναρξης της κάθετης και της παράλληλης με το ρήγμα συνιστώσας. Ο Πίνακας 2.2 παρέχει τους ορισμούς συνηθισμένων παραμέτρων εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου, και αυτές οι παράμετροι είναι διευκρινισμένες στο Σχήμα 2.9. Ένας απλός χαρακτηρισμός είναι δυνατός με τη χρήση της μέγιστης οριζόντιας ταχύτητας (PHV), της κατά προσέγγιση περιόδου δεσπόζοντος παλμού ( $T_v$ ), και του αριθμού σημαντικών ημιπαλμών της κίνησης στη (μεγαλύτερη) κάθετη διεύθυνση στο ρήγμα.

Ο προσδιορισμός της περιόδου του παλμού χρησιμοποιεί είτε το χρόνο μηδενισμού των τιμών (zero crossing time) είτε το χρόνο στον οποίο η ταχύτητα είναι ίση με 10% της μέγιστης ταχύτητας για αυτόν τον παλμό. Αυτό είναι απαραίτητο για τους παλμούς στους οποίους έχει προηγηθεί απόκλιση από το μηδενικό άξονα στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Ένας βαθμός αβεβαιότητας υφίσταται σε αυτόν τον προσδιορισμό και μπορεί να οδηγήσει σε παραλλαγές στις εκτιμήσεις της  $T_v$ . Εντούτοις, η αβεβαιότητα που συνδέεται με την πρόβλεψη της  $T_v$  από τις σεισμολογικές μεταβλητές είναι πολύ μεγαλύτερη από τα λάθη στον υπολογισμό του από τα σημεία μηδενισμού. Οι Krawinkler και Alavi (1998) προσδιορίζουν τον παλμό ταχύτητας από μια σαφή και σφαιρική κορυφή αιχμής στο φάσμα απόκρισης ταχύτητας της εδαφικής κίνησης. Ως εκ τούτου, αυτή η εκτίμηση της ισοδύναμης περιόδου παλμού ( $T_{v-p}$ ) είναι σχετικά σαφής. Για τις μονοπαλμικές κινήσεις, αυτοί οι διαφορετικοί ορισμοί της περιόδου του παλμού παρέχουν κατά προσέγγιση ισοδύναμα αποτελέσματα. Συνολικά, ο λόγος μεταξύ της  $T_v$  και της  $T_{v-p}$  είναι 0.84 με μια τυπική απόκλιση 0.28 (Rodriguez- Marek 2000). Η σύμπτωση της  $T_v$  και της  $T_{v-p}$  για μια εδαφική κίνηση σεισμού δείχνει ότι ο παλμός ταχύτητας περιέχει την ενέργεια σε μια συγκεκριμένη ζώνη περιόδων.



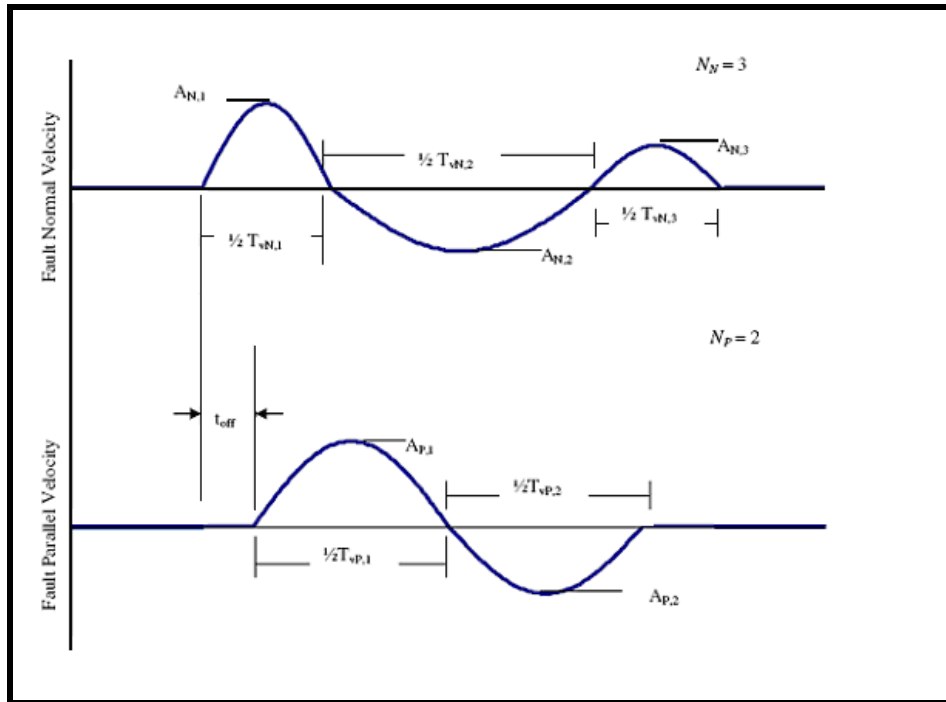
Σχήμα 2.8: Απλοποιημένοι παλμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές

Οι μελέτες απόκρισης των κατασκευών στις κινήσεις κοντινού πεδίου έχουν εστιάσει στα αποτελέσματα της μεγαλύτερης κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας (π.χ. Alavi και Krawinkler 2000). Εντούτοις, υπάρχουν εφαρμογές για τις οποίες η παράλληλη συνιστώσα στο ρήγμα μπορεί επίσης να είναι σημαντική. Μη γραμμικές αναλύσεις εδαφικής απόκρισης από τον Rodriguez-Marek (2000) δείχνουν ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες μπορούν να έχουν επιπτώσεις στις τιμές της  $PHV$  και της  $T_v$  και στις δύο διευθύνσεις. Δύο κινήσεις κοντινού πεδίου με τις σημαντικά διαφορετικές κινήσεις της παράλληλης συνιστώσας στο ρήγμα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.10. Επιπρόσθετη έρευνα επιτρέπει να διακριθούν τα αποτελέσματα της δόνησης δύο διευθύνσεων στην απόκριση του εδάφους και των κατασκευών στη ζώνη κοντινού ρήγματος όπου οι δύο συνιστώσες της οριζόντιας εδαφικής κίνησης μπορούν να διαφέρουν σημαντικά. Από μια εξέταση καταγραμμένων κινήσεων κοντινού πεδίου που παρουσιάζουν την εμπρόσθια κατευθυντικότητα από τον Rodriguez-Marek (2000), διαπιστώθηκε ότι οι απλουστευμένες κινήσεις που παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 2.11 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να ερευνηθούν τη σημασία της δόνησης δύο διευθύνσεων στις μελλοντικές μελέτες. Εάν είναι σημαντικές στη συμπεριφορά των κατασκευών, οι κατακόρυφες κινήσεις στη ζώνη κοντινού πεδίου μπορεί να πρέπει να υπολογιστούν επίσης.

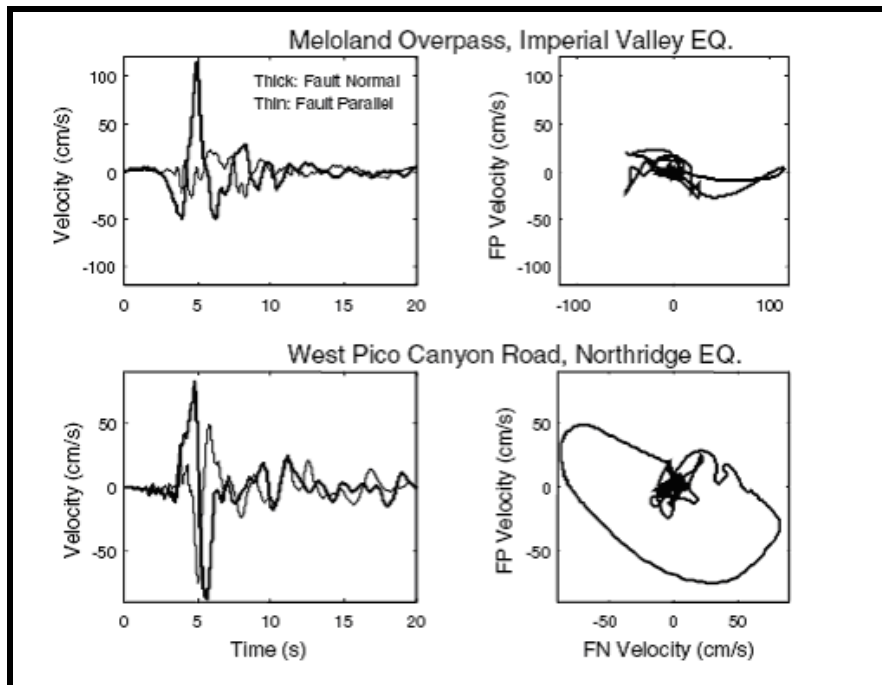
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ  
ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Parameter	Abbreviation	Methodology to obtain parameter
Number of significant pulses.	$N$	Number of half-cycle pulses in the velocity-time history with amplitudes at least 50% of the peak ground velocity of the record.
Pulse period.	$T_{v,i}$	For each half sine pulse, $T_{v,i} = 2(t_2 - t_1)$ , where $t_1$ and $t_2$ are either the zero-crossing time, or the time at which velocity is equal to 10% of the peak velocity for the pulse if this time is significantly different than the zero crossing time. $T_v$ corresponding to the pulse with maximum amplitude is the overall representative velocity pulse period.
Predominant period from pseudo-velocity response spectra.	$T_{p-v}$	Period corresponding to a clear and global peak in the pseudo-velocity response spectra at 5% damping.
Pulse amplitude.	$A_i$	For each half sine pulse, the peak ground velocity in the time interval $[t_1, t_2]$ .
Peak ground velocity	PHV	Maximum velocity, defined by the maximum value of $A_i$ . Note, however, that in very few exceptions, the maximum value of $A_i$ in the fault parallel direction does not occur concurrently with the fault normal pulse.
Ratio of fault parallel to fault normal amplitude	$PHV_{P/N}$	Defined by the ratio of maximum $A_P$ divided by maximum $A_N$ , where the subscripts $P$ and $N$ denote fault-parallel and fault-normal motions respectively.
Time delay between fault normal and fault parallel pulse	$t_{off}$	Time of initiation of fault parallel pulse minus the time of initiation of fault normal pulse.

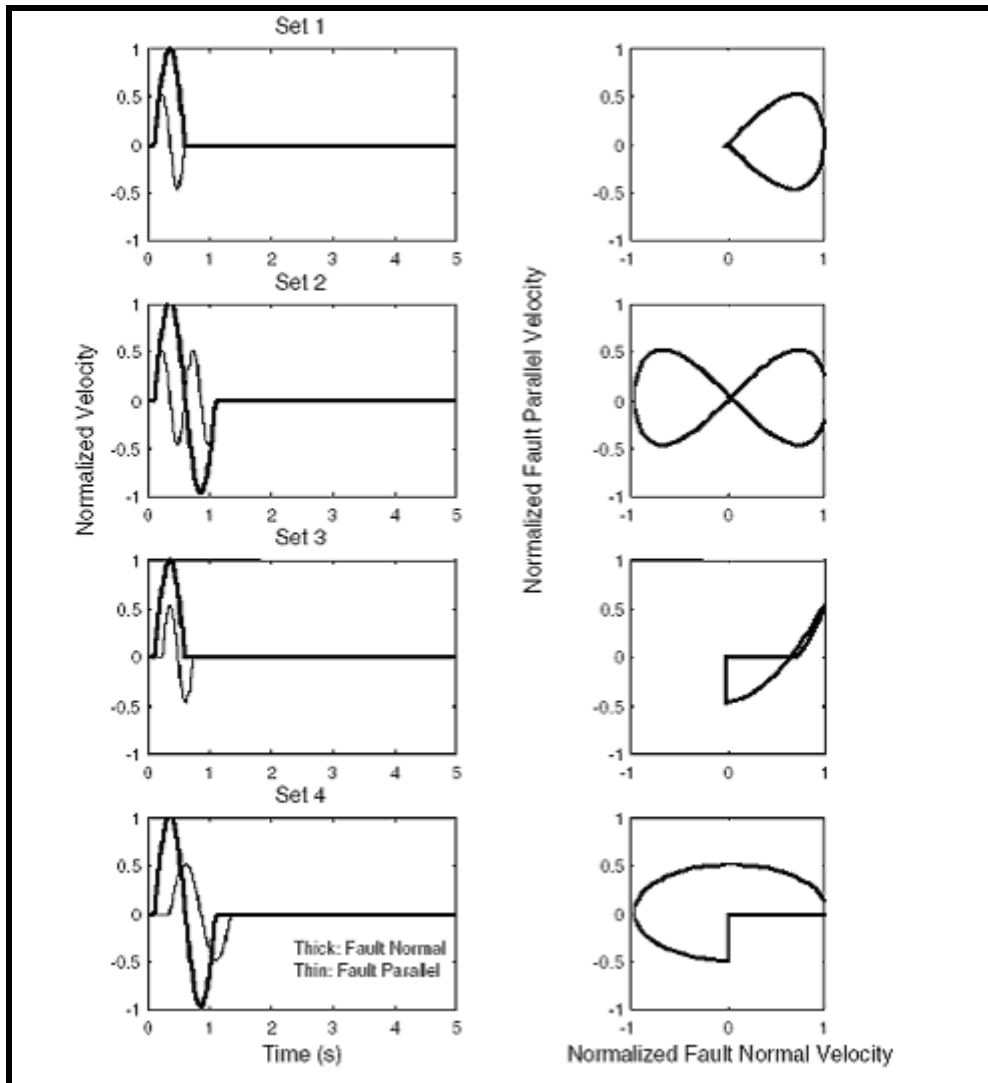
Πίνακας 2.2: Παράγοντες που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις απλοποιημένες εδαφικές κινήσεις ημιτονικού παλμού (από Rodriguez-Marek 2000)



Σχήμα 2.9: Παράγοντες που χρειάζονται για να καθορίσουν την παράλληλη και την κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα για απλοποιημένους παλμούς ταχύτητας. Τα σύμβολα N, P αντιστοιχούν στις κάθετες και παράλληλες κινήσεις ως προς τη διεύθυνση του ρήγματος, αντίστοιχα (Rodriguez-Marek 2000).



Σχήμα 2.10: Χρονοϊστορίες ταχύτητας και οριζόντια τροχιακά σχέδια για κάθετη (FN) και παράλληλη (FP) στο ρήγμα συνιστώσα για δύο καταγραφές κοντινού πεδίου. Και οι δύο καταγραφές παρουσιάζουν σημαντικές «κάθετες» ταχύτητες, αλλά το Meloland έχει σχετικά μικρότερες «παράλληλες» ταχύτητες.



Σχήμα 2.11: Απλοποιημένη αναπαράσταση ημιτονικού παλμού για εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου. Η ΡΗV (μέγιστη οριζόντια ταχύτητα) για παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα αντιστοιχεί στο 50% της ΡΗV κάθετη στο ρήγμα συνιστώσας (Rodriguez-Marek 2000).

## 2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ-ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

### A. Η φασματική επιτάχυνση

Οι Somerville et al (1997a) και ο Abrahamson (2000) έχουν παρουσιάσει μοντέλα για την τροποποίηση των φασμάτων απόκρισης με απόσβεση  $\zeta=5\%$  μέσω της σχέσης απόσβεσης Abrahamson και Silva (1997). Τα μοντέλα αναπτύχθηκαν με παλινδρόμηση μεταβλητών αυτής της σχέσης απόσβεσης στις γεωμετρικές παραμέτρους του κοντινού πεδίου του ρήγματος όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6. Τα μοντέλα παρουσιάζονται για την τροποποίηση του γεωμετρικού μέσου των δύο οριζόντιων συνιστωσών και του λόγου της κάθετης προς τη μέση οριζόντια

φασματική συνιστώσα. Οι λεπτομέρειες των μοντέλων φαίνονται στις δύο κορυφαίες σειρές του Πίνακας 2.3.

**B. Διάρκεια και ισοδύναμος αριθμός ομοειδών κύκλων**

Οι Somerville et al (1997a) παρουσίασαν ένα μοντέλο για την τροποποίηση του 5-75% της σημαντικής διάρκειας από τη σχέση απόσβεσης Abrahamson και Silva (1996). Το μοντέλο αναπτύχθηκε με παλινδρόμηση μεταβλητών αυτής της σχέσης απόσβεσης στις γεωμετρικές παραμέτρους του κοντινού πεδίου του ρήγματος (Σχήμα 2.6). Το μοντέλο ισχύει για τη διάρκεια του γεωμετρικού μέσου και των δύο οριζόντιων συνιστωσών. Ένα παρόμοιο μοντέλο αναπτύχθηκε από το Liu (2001) για τον ισοδύναμο αριθμό ομοειδών κύκλων (N). Οι λεπτομέρειες των μοντέλων διάρκειας και αριθμού (N) φαίνονται στις κατώτατες δύο σειρές του Πίνακας 2.3.

Ground Motion Parameter (Reference)	Description	Equation	Range of Applicability
Spectral Acceleration: Ratio of data/model (Somerville et al., 1997a; Abrahamson, 2000)	y=Bias in average horizontal response spectral acceleration (ln units) with respect to Abrahamson and Silva (1997)	Strike-Slip faults: $y = c_1 + 1.88c_2 X \cos \theta$ ( $X \cos \theta \leq 0.4$ ) $y = c_1 + 0.75c_2$ ( $X \cos \theta > 0.4$ )  Dip-Slip faults: $y = c_1 + c_2 Y \cos \phi$	$m > 6.5$ For $m < 6.5$ , replace y with $T_m \times y$ Where $T_m = 0$ for $m \leq 6$ and $T_m = 1 + (m - 6.5) / 0.5$ for $6.5 > m > 6$  $r < 30$ km For $r > 30$ , replace y with $T_d \times y$ Where $T_d = 0$ for $r > 60$ and $T_d = 1 - (r - 30) / 30$ for $60 > r > 30$ km
Spectral Acceleration: Ratio of Strike Normal/Average Amplitude (Somerville et al., 1997a)	Natural logarithm of the ratio of strike normal to average horizontal spectral acceleration	$y = \cos 2\xi [C_1 + C_2 \ln(r + 1) + C_3(m - 6)]$	$6.0 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 50$ km $\xi = \theta$ for strike-slip, $\phi$ for dip-slip. $0 < \xi < 90^\circ$ $C_1, C_2, C_3$ function of period. Given separately for cases in which dependence on $\xi$ is included, and cases in which dependence on $\xi$ is ignored.
5-75% sig. duration: Ratio of data/model (Somerville et al., 1997a)	Bias in duration of acceleration with respect to Abrahamson and Silva (1996)	Strike-Slip faults: $y = C_1 + C_2 X \cos \theta$  Dip-Slip faults: $y = C_1 + C_2 Y \cos \phi$	$6.5 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 20$ km
Number of Cycles (N): Ratio of data/model (Liu et al., 2001)	Bias in N with respect to Liu et al. (2001)	Strike-Slip faults: $y = C_1 + C_2 X \cos \theta$  Dip-Slip faults: $y = C_1 + C_2 Y \cos \phi$	$6.5 \leq m \leq 7.5$ $0 \leq r \leq 20$ km

**Πίνακας 2.3: Τροποποίηση παραμέτρων εδαφικής κίνησης για την εκτίμηση επιδράσεων κατευθυντικότητας. Οι παράμετροι X, Y,  $\theta$ ,  $\phi$  ορίστηκαν στο Σχήμα 4.5. Οι τροποποιήσεις στα φάσματα φαίνονται στο Σχήμα 2.6**

### **Γ. Μέγιστη οριζόντια ταχύτητα (PHV)**

Η μέγιστη οριζόντια ταχύτητα (peak horizontal velocity, PHV) επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος, την απόσταση, και τις εδαφικές συνθήκες της εξεταζόμενης περιοχής. Ο Somerville (1998) πρότεινε τη χρήση μιας διγραμμικής σχέσης μεταξύ του λογαρίθμου PHV, του μεγέθους, και του λογαρίθμου της απόστασης. Ο Somerville (1998) εκτέλεσε μια ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από 15 καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες που αυξήθηκαν από 12 τεχνητές χρονοϊστορίες. Οι καταγραφές αντιστοιχούν σε μεγέθη  $m=6.2-7.5$  και απόσταση  $r=0-10\text{km}$ . Για να αποφύγει τις μη ρεαλιστικές προβλέψεις της PHV στις μικρές αποστάσεις, ο Somerville (1998) χρησιμοποίησε μια ελάχιστη απόσταση των 3km.

Η σχέση του Somerville (1998) για την PHV στη ζώνη κοντά στο ρήγμα είναι:

$$\ln(\text{PHV}) = -2.31 + 1.15m - 0.50 \cdot \ln(r)$$

#### Εξίσωση 2.1

όπου το  $r$  είναι η ελάχιστη απόσταση από το ρήγμα αλλά περιορίζεται τουλάχιστον στα 3km.

Μια παρόμοια μελέτη που συσχετίζει την PHV το μέγεθος και την απόσταση παρουσιάστηκε από τους Alavi και Krawinkler (2000) βασισμένα στο ίδιο σύνολο στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε από Somerville (1998). Η σχέση της PHV των Alavi και Krawinkler (2000) είναι:

$$\ln(\text{PHV}) = -5.11 + 1.59m - 0.58 \cdot \ln(r)$$

#### Εξίσωση 2.2

Ο Rodriguez-Marek (2000) εκτέλεσε τις αναλύσεις παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας 48 χρονοϊστορίες ταχύτητας από 11 γεγονότα. Τα στοιχεία ήταν για περιοχές με αποστάσεις  $r < 20\text{km}$  και  $m=6.1-7.4$ . Χωριστές αναλύσεις εκτελέστηκαν για τις κινήσεις που καταγράφηκαν επί βράχου και εδάφους. Με βάση την ανάλυση αυτών των καταγραφών, η ακόλουθη σχέση για την PHV προτάθηκε:

$$\ln(\text{PHV}) = a + b m + c \ln(r^2 + d^2) + \eta_i + \epsilon_{ij}$$

#### Εξίσωση 2.3

όπου η PHV είναι σε μονάδες cm/s, το  $a$ , το  $b$ , το  $c$  και το  $d$  είναι οι παράμετροι, το  $r$  είναι η ελάχιστη απόσταση από το ρήγμα, το  $m$  είναι μέγεθος,  $\eta_i$  και  $\epsilon_{ij}$  είναι όροι σφάλματος.

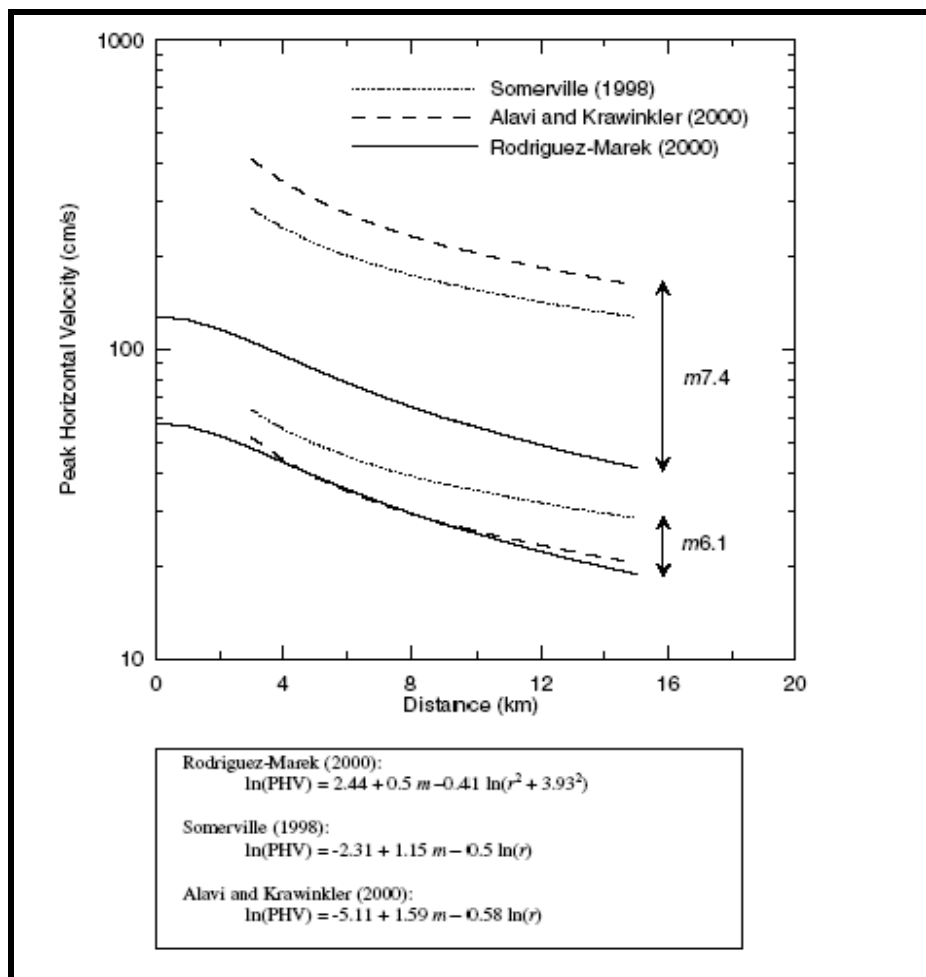
Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου Rodriguez- Marek (2000) παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Data Set	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
All Motions	2.44	0.50	-0.41	3.93
Rock	1.46	0.61	-0.38	3.93
Soil	3.86	0.30	-0.42	3.93

Πίνακας 2.4: Παράμετροι του μοντέλου Rodriguez - Marek (2000) για την PHV.

Το Σχήμα 2.12 συγκρίνει τη σχέση που πρόσφατα προτάθηκε από τον Rodriguez-Marek (2000) με τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τον Somerville (1998) και τους Alavi και Krawinkler (2000). Οι σχέσεις διαφέρουν κυρίως στην επίδραση του μεγέθους *m*. Οι διαφορές οφείλονται πιθανώς στο μεγαλύτερο ποσό στοιχείων που περιλαμβάνεται στην πρόσφατη μελέτη.



Σχήμα 2.12: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάλυσης για εκτίμηση του PHV με σχέσεις προτεινόμενες από διάφορους ερευνητές με στοιχεία από βάσεις δεδομένων σεισμών κοντινού πεδίου και με το φαινόμενο της εμπρόσθιας κατευθυντικότητας (Rodriguez- Marek 2000)



### Δ. Περίοδος παλμού

Η σχέση του Somerville (1998) για την περίοδο παλμού είναι:

$$\log_{10} T_v = -2.5 + 0.425m$$

Εξίσωση 2.4

όπου η  $T_v$  είναι η περίοδος του μεγαλύτερου κύκλου της κίνησης και  $m$  είναι το μέγεθος.

Σε μια μεγαλύτερη μελέτη των διανομών ολίσθησης που χρησιμοποιούν τα μοντέλα ολίσθησης για 15 σεισμούς, οι Somerville et al (1999) παρέχουν την εξίσωση:

$$\log_{10} T_v = -3.0 + 0.5m$$

Εξίσωση 2.5

Η περίοδος του παλμού της ταχύτητας συνδέεται με το χρονική διάρκεια της ολίσθησης στο ρήγμα  $t_R$ , η οποία μετρά τη διάρκεια της ολίσθησης σε συγκεκριμένο σημείο στο ρήγμα. Η σχέση μεταξύ της περιόδου του παλμού και της χρονικής διάρκειας  $t_R$  είναι (Somerville 1998):

$$T_v = 2.2 * t_R$$

Εξίσωση 2.6

Η σχέση μεταξύ της περιόδου του παλμού και της χρονικής διάρκειας  $t_R$  μπορούν επίσης να προκύψουν από τη φυσική του φαινομένου των διαρρήξεων. Εάν ένα ρήγμα διαμορφώνεται ως σημείο (σημειακή πηγή) και οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας αγνοούνται, η διάρκεια της κίνησης θα είναι ίση με τη χρονική διάρκεια  $t_R$  (Somerville 1998). Οι πεπερασμένες διαστάσεις του ρήματος και οι επιδράσεις της κατευθυντικότητας συμβάλλουν στη διεύρυνση του παλμού. Η χρονική διάρκεια της ολίσθησης στο ρήγμα  $t_R$  είναι τότε, στην ουσία, ένα κάτω όριο της περιόδου του παλμού.

Οι Alavi και Krawinkler (2000) καθόρισαν την περίοδο παλμού ως δεσπόζουσα περίοδο σε φάσμα απόκρισης ταχύτητας ( $T_{v-p}$ ). Η σχέση τους που χρησιμοποιεί αυτόν τον ορισμό για την περίοδο παλμού είναι:

$$\log_{10} T_{v-p} = -1.76 + 0.31m$$

Εξίσωση 2.7

Ο Rodriguez- Marek (2000) ανέπτυξε την ακόλουθη σχέση για την περίοδο παλμού :

$$\ln(T_v)_{ij} = a + bm + \eta_i + \varepsilon_i$$

**Εξίσωση 2.8**

όπου  $(T_v)_{ij}$  είναι η περίοδος του παλμού της καταγραφής  $j$  από το γεγονός  $i$ , το  $a$  και το  $b$  είναι οι παράμετροι του μοντέλου,  $\eta_i$  και  $\varepsilon_{ij}$  είναι όροι σφάλματος.

Εκτιμήσεις παρέχονται για τη περίοδο του παλμού,  $T_v$ , και τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ταχύτητας,  $T_{v-p}$ . Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.5. Η σχέση ισχύει για  $m=6.1-7.4$  και για  $r < 20\text{km}$ .

(a)  $T_v$

Data Set	$a$	$b$
All Motions	-8.33	1.33
Rock	-11.10	1.70
Soil	-5.81	0.97

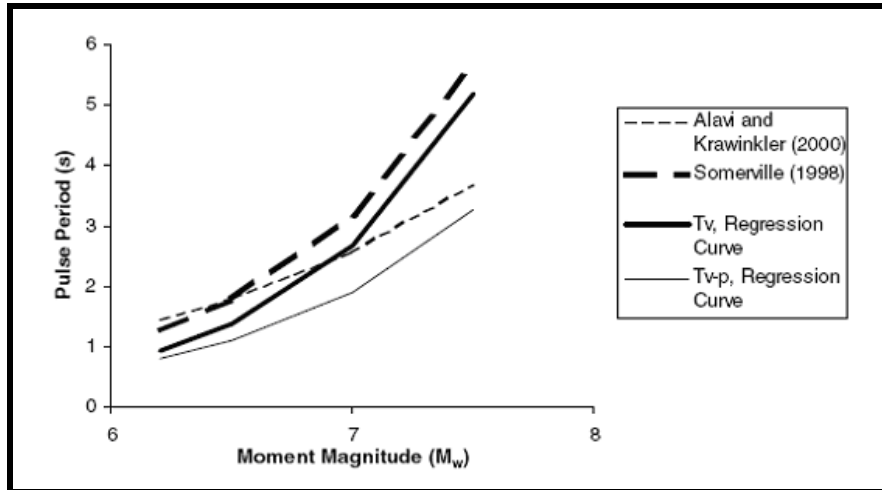
(b)  $T_{v-p}$

Data Set	$a$	$b$
All Motions	-6.92	1.08
Rock	-9.53	1.42
Soil	-5.66	0.91

**Πίνακας 2.5: Παράμετροι του μοντέλου Rodriguez - Marek (2000) για την περίοδο του παλμού**

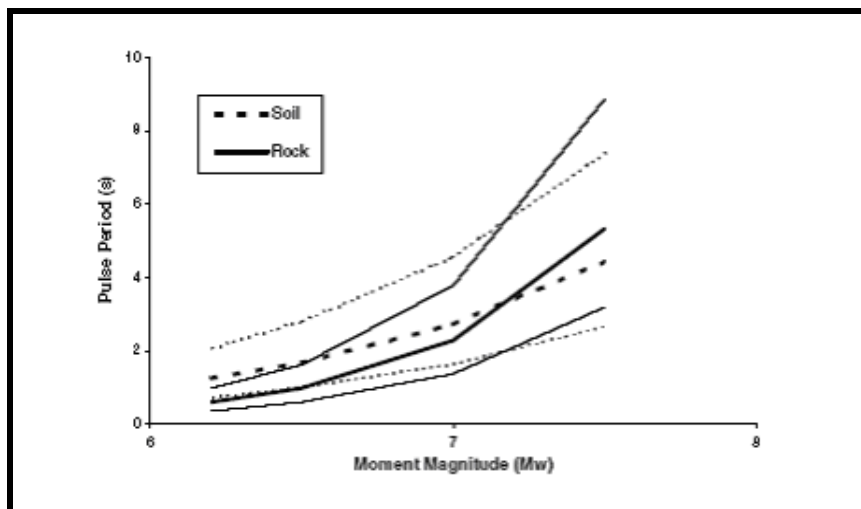
Το Σχήμα 2.13 συγκρίνει τη σχέση που πρόσφατα προτάθηκε από τον Rodriguez-Marek (2000) με τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τον Somerville (1998) και τους Alavi και Krawinkler (2000). Οι σχέσεις του Rodriguez - Marek (2000) για τις  $T_v$  και  $T_{v-p}$  δίδουν μικρότερες περιόδους παλμού από τις σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τον Somerville (1998) για το  $T_v$  και από τους Alavi και Krawinkler (2000) για  $T_{v-p}$ . Οι διαφορές δεν είναι τόσο μεγάλες για μεγάλα μεγέθη σεισμού  $m > 7$ , όπου υπάρχουν αβεβαιότητες στην εκτίμηση της περιόδου του παλμού.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ  
ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



Σχήμα 2.13: Σύγκριση μοντέλου Rodriguez - Marek με σχέσεις που αναπτύχθηκαν από Somerville (1998) για τη  $T_v$  και από Alavi και Krawinkler (2000) για τη  $T_{v-p}$ . (Rodriguez- Marek 2000).

Η επίδραση των εδαφικών συνθηκών μπορεί να ερευνηθεί μέσω της χρήσης των σχέσεων του Rodriguez - Marek (2000) για περίοδο του παλμού για το βράχο και το έδαφος (Σχήμα 2.14). Η διαφορά μεταξύ των τιμών της περιόδου του παλμού για βράχο και έδαφος είναι μικρή για τα μεγάλα μεγέθη γεγονότα ( $m > 7$ ), αλλά η περίοδος του παλμού είναι μεγαλύτερη επί εδαφών από ότι για περιοχές βράχου για τα γεγονότα με χαμηλότερα μεγέθη. Η εξέταση των ταξινομημένων κατά ζεύγη σταθμών βράχου και εδάφους και τα αποτελέσματα των μη γραμμικών αναλύσεων απόκρισης επιβεβαιώνουν αυτήν την παρατήρηση (Rodriguez - Marek 2000).



Σχήμα 2.14: Μοντέλο Rodriguez - Marek για εκτίμηση της περιόδου του παλμού για βράχο και έδαφος. Οι έντονες καμπύλες αναπαριστούν τη μέση τιμή και οι λεπτές τις τυπικές αποκλίσεις (Rodriguez - Marek 2000)

**Ε. Αριθμός σημαντικών παλμών**

Ο αριθμός των παλμών της κίνησης (καλούμενος ως αριθμός σημαντικών παλμών,  $N_v$ ) ορίζεται ως ο αριθμός ημικύκλων ταχύτητας που έχουν εύρη τουλάχιστον 50% της μέγιστης ταχύτητας της εδαφικής κίνησης (Πίνακας 2.3). Για τον υπολογισμό του αριθμού σημαντικών παλμών ταχύτητας, εξετάζεται μόνο η κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα της κίνησης. Ο αριθμός σημαντικών παλμών στη κάθετη συνιστώσα 48 καταγραφών παρουσιάζεται στον πίνακα 4.6. Οι περισσότερες καταγραφές περιέχουν δύο σημαντικούς παλμούς (π.χ., ένας πλήρης κύκλος της εδαφικής κίνησης).

Ο Somerville (1998) προτείνει ότι ο αριθμός παλμών ημιτόνου στη χρονοϊστορία της ταχύτητας να συνδεθεί με τον αριθμό ασυνεχειών (asperities) σε ένα ρήγμα, ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με τη διανομή ολίσθησης ρήγματος. Δεν υπάρχει κανένα μοντέλο διαθέσιμο σήμερα για την πρόβλεψη του αριθμού σημαντικών παλμών στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Για τις περισσότερες περιπτώσεις ο  $N_v$  θα ποικίλει μεταξύ 1 και 3, με  $N_v = 2$  να είναι μια καλή τιμή που χρησιμοποιείται για σεισμούς.

Earthquake	Year	Number of Records	Number of Records with given number of half-cycle pulses ( $N_v$ )			
			1 pulse	2 pulses	3 pulses	> 3 pulses
Parkfield	66	2	0 (0)	1 (1)	0 (0)	1 (1)
San Fernando	71	1	1 (0)	0 (0)	0 (1)	0 (0)
Imperial Valley	79	13	1 (0)	10 (1)	1 (7)	1 (5)
Morgan Hill	84	2	0 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (2)
Superstition Hills(B)	87	2	1 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (1)
Loma Prieta	89	8	0 (0)	4 (0)	1 (1)	3 (7)
Erzincan, Turkey	92	1	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)
Landers	92	1	1 (0)	0 (1)	0 (0)	0 (0)
Northridge	94	10	3 (0)	4 (4)	3 (2)	0 (4)
Kobe	95	4	0 (0)	1 (0)	0 (1)	3 (3)
Kocaeli, Turkey	99	4	0 (0)	3 (2)	0 (0)	1 (2)
<b>Totals</b>		48	7 (0)	24 (10)	7 (13)	10 (25)

**Πίνακας 2.6: Αριθμός παλμών ( $N_v$ ) από γεγονός για 48 κοντινού πεδίου κινήσεις (κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα). Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι οι αριθμοί των ημι-κύκλων του παλμού της ταχύτητας που έχουν εύρη τουλάχιστον 33% της PHV. (Rodriguez - Marek 2000)**

### 2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Οι επιδράσεις της παραμένουσας μετακίνησης (fling step) της εδαφικής κίνησης στην απόκριση των κατασκευών θεωρείτο ότι είχαν λιγότερη σημασία από τις επιδράσεις της κατευθυντικότητας. Οι πρόσφατοι σεισμοί στην Τουρκία (1999) και στην Ταϊβάν (1999), τόνισαν τη σημασία της παραμένουσας παραμόρφωσης που συνδέεται με τη ρήξη επιφάνειας στην απόκριση των κτιρίων. Οι ευδιάκριτες εδαφικές μεταθέσεις, οι διαφορικές καθιζήσεις και η παραμόρφωση του εδάφους, είναι μερικές εκφάνσεις αυτού του φαινομένου.

Η παραμένουσα μετακίνηση, που είναι αποτέλεσμα στατικής μετατόπισης του εδάφους, χαρακτηρίζεται γενικά από έναν παλμό ταχύτητας μονής κατεύθυνσης και ένα μονοτονικό βήμα στη χρονοϊστορία των μετατοπίσεων. Το βήμα στη χρονοϊστορία μετατοπίσεων εμφανίζεται παράλληλα στην διεύθυνση της ολίσθησης ρήγματος (δηλ., κατά μήκος της διάρρηξης).

Για όλους τους τύπους ρηγμάτων, η μέγιστη μετατόπιση (MD) ρήγματος σε μέτρα, μπορεί να συσχετισθεί με το μέγεθος σεισμού (m) του γεγονότος μέσω της εξίσωσης:

$$\log_{10}(\text{MD}) = - 5.46 + 0.82m$$

Εξίσωση 2.9

Ισχύει για εύρος μεγέθους σεισμού  $m=5.2-8.1$ , και για εύρος MD από 0.01m σε 14.6m.

Η μέση μετατόπιση (AD) ρήγματος για όλους τους τύπους ρηγμάτων είναι:

$$\log_{10}(\text{AD}) = - 4.80 + 0.69m$$

Εξίσωση 2.10

Ισχύει για εύρος μεγέθους σεισμού  $m=5.6-8.1$

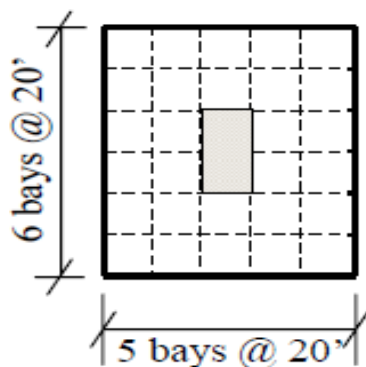
Η παραμένουσα μετακίνηση επιφάνειας ως αποτέλεσμα της διάρρηξης ρηγμάτων μπορεί να ποικίλει σημαντικά με την απόσταση από το ίχνος του ρήγματος. Η τεκτονική μετατόπιση μακριά από το ρήγμα μπορεί να εντοπιστεί σε ίχνη δευτεροβάθμιων ρηγμάτων και σε άλλες ασυνέχειες.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

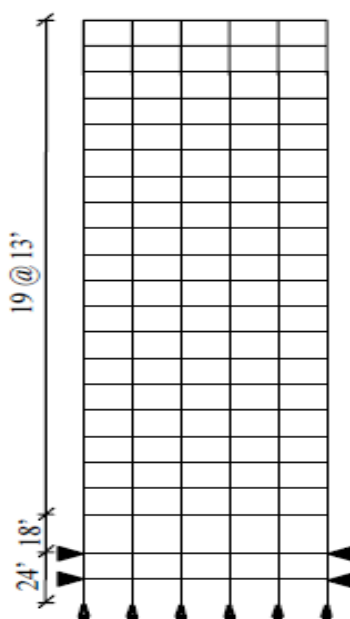
### 3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ, ΦΟΡΤΙΑ

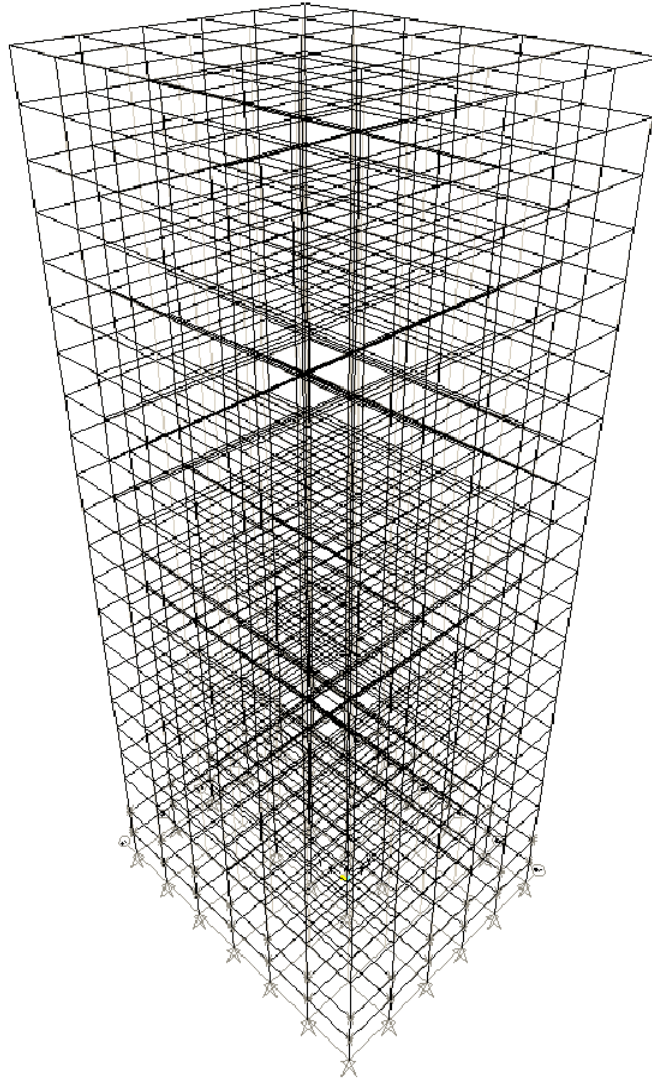
Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης σε σεισμικές φορτίσεις κοντινού πεδίου είναι μια εικοσαώροφη μεταλλική κατασκευή με υπόγειο, σχεδιασμένη για το Seattle της Αμερικής με βάση τις Pre-Northridge οδηγίες των ΗΠΑ. Αυτό το σχέδιο βασίστηκε σε πρακτικές σχεδιασμού ευρέως διαδεδομένες πριν το σεισμό του Northridge χωρίς να ληφθεί υπόψη το έγγραφο της FEMA 267 (1995). Όλες οι ισχύουσες απαιτήσεις έχουν ληφθεί υπόψη για φορτία βαρύτητας, φορτία ανέμου και σεισμικά φορτία σχεδιασμού. Ο φορέας σχεδιάστηκε ως σύνηθες κτίριο γραφείων εδραζόμενο πάνω σε σκληρό έδαφος. Στο Σχήμα 3.1 δίνεται η κάτοψη, στο Σχήμα 3.2 δίνεται η τομή, και στο Σχήμα 3.3 δίδεται τρισδιάστατη απεικόνιση της κατασκευής.



Σχήμα 3.1: Κάτοψη κτιρίου.



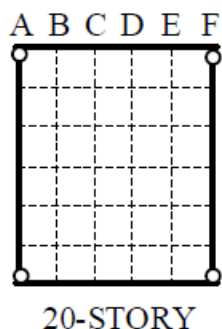
Σχήμα 3.2: Τομή κτιρίου.



**Σχήμα 3.3:** Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου.

Το κτίριο αποτελείται από 19 ορόφους ύψους 13 πόδια (3.9624 m) ο καθένας, από το ισόγειο ύψους 18 πόδια (5.4864 μέτρα) και το υπόγειο ύψους 24 πόδια (7.3152 m). Το υπόγειο είναι δύο επιπέδων όπως φαίνεται και από την τομή του κτιρίου. Το συνολικό ύψος του κτιρίου εξαιρουμένου του υπογείου είναι 265 πόδια (80.772 m). Κατά τη μία διεύθυνση υπάρχουν 5 ανοίγματα μήκους 20 πόδια (6.096 m) το καθένα και κατά την άλλη 6 ανοίγματα μήκους 20 πόδια το καθένα. Πιο συγκεκριμένα οι διαστάσεις της κάτοψης είναι μήκος 100 πόδια (30.48 m) και πλάτος 120 πόδια (36.576 m). Παρατηρώντας την κάτοψη συμπεραίνουμε πως το κτίριο είναι συμμετρικό ως προς τον κάθε άξονα. Επίσης η σκιασμένη περιοχή φανερώνει την τοποθεσία του δώματος. Τα κατακόρυφα φορτία παραλαμβάνονται από τα εσωτερικά πλαίσια. Οι οριζόντιες δυνάμεις παραλαμβάνονται από τα περιμετρικά πλαίσια τα οποία φαίνονται με έντονα υπογραμμισμένες γραμμές στο Σχήμα 3.4.





Σχήμα 3.4: Κάτοψη κτιρίου και θέση πλαισίων που αναλαμβάνουν αποκλειστικά τα οριζόντια φορτία.

Οι πληροφορίες σχετικά με τα φορτία που καταπονούν το κτίριο είναι οι εξής:

- **Μεταλλικός σκελετός:** Σύμφωνα με τις διαστάσεις των μελών και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε.
- **Όροφοι και στέγη:** 3 ίντσες ο φέρων μεταλλικός οργανισμός του δαπέδου, εκ των οποίων οι 2.5 ίντσες αντιστοιχούν σε κανονικού βάρους σκυρόδεμα πλήρωσης και σε υλικά πυροπροστασίας.
- **Επικάλυψη στέγης:** 7 psf κατά μέσο όρο.
- **Οροφές/Δάπεδα:** 3 psf κατά μέσο όρο, συμπεριλαμβανομένου και της πυροπροστασίας.
- **Μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις:** 7 psf κατά μέσο όρο για όλους τους ορόφους, και πρόσθετα 40 psf στο δώμα για εξοπλισμό.
- **Χωρίσματα:** Όπως ορίζεται από τον ισχύοντα κανονισμό (10 psf για τα σεισμικά φορτία και 20 psf για τα φορτία σχεδιασμού βαρύτητας).
- **Εξωτερικός τοίχος:** 25 psf για την επιφάνεια του τοίχου, συμπεριλαμβανομένου του δώματος.
- **Κινητά φορτία:** Τυπικές τιμές φορτίων με βάση τον κανονισμό για τη λειτουργία του κτιρίου ως κτίριο γραφείων (50 psf σε όλη την έκταση της κάτοψης του κτιρίου).
- **Φορτία ανέμου:** Ότι απαιτεί ο κανονισμός και σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή.
- **Σεισμικά φορτία:** Όπως ορίζονται από τον κανονισμό.

Τα φορτία που αναλυτικά αναφέραμε παραπάνω υπολογίζονται ως εξής για κάθε όροφο του κτιρίου (βάρος χάλυβα θεωρείται ότι είναι 13 psf):

- Μόνιμο φορτίο ορόφου για τον υπολογισμό του βάρους: 96 psf
- Μόνιμο φορτίο ορόφου για τον υπολογισμό της μάζας: 86 psf
- Μόνιμο φορτίο για τη στέγη χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του δώματος: 83 psf
- Μόνιμο φορτίο λόγω του δώματος: 116 psf
- Μειωμένο κινητό φορτίο ανά όροφο και για τη στέγη: 20 psf

Όπου η μονάδα psf αντιστοιχεί σε 48 Pa.

### **3.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (POST, PRE-NORTHRIDGE), ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΦΟΡΕΑ**

Για πολλά χρόνια η βασική πρόθεση των διατάξεων του σεισμικού κώδικα των κτιρίων ήταν να παράσχουν κτίρια που θα αντέχουν σε έντονη εδαφική κίνηση χωρίς να καταρρέουν, αλλά δυναμικά θα εμφανίζουν κάποιες σημαντικές δομικές ζημιές. Για να επιτευχθεί αυτό, μια από τις βασικές αρχές-προϋποθέσεις είναι τα στοιχεία των κατασκευών να έχουν πλάστιμη συμπεριφορά. Μια κατασκευή συμπεριφέρεται με πλάστιμο τρόπο εάν είναι ικανή να αντέχει μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις χωρίς σημαντική υποβάθμιση σε αντοχή και χωρίς την ανάπτυξη αστάθειας και κατάρρευσης. Οι δυνάμεις σχεδιασμού που καθορίζονται με βάση κατασκευαστικούς κώδικες για ορισμένα συστήματα σχετίζονται με το ποσό της πλαστιμότητας που θεωρείται ότι κατέχει το σύστημα. Γενικά, κατασκευαστικά συστήματα με περισσότερη πλαστιμότητα είναι σχεδιασμένα για μικρότερες δυνάμεις από ότι λιγότερο πλάστιμα συστήματα, αφού τα πλάστιμα συστήματα θεωρούνται ικανά να αντέχουν σε απαιτήσεις αντοχής που είναι σημαντικά μεγαλύτερες από το ελαστικό όριο αντοχής τους. Ξεκινώντας από τη δεκαετία του 1960, οι μηχανικοί άρχισαν να θεωρούν πως οι συγκολλητές μεταλλικές κατασκευές βρίσκονται μεταξύ των πλέων πλάστιμων συστημάτων. Πολλοί μηχανικοί πίστευαν ότι τα μεταλλικά κτίρια ήταν ουσιαστικά άτρωτα σε σεισμό που προκαλεί κατασκευαστικές ζημιές και πως εάν τέτοια ζημιά συνέβαινε, θα περιοριζόταν σε πλάστιμη διαρροή μελών και συνδέσεων. Δεν θεωρούσαν πως μπορούσε να συμβεί κατάρρευση. Ως αποτέλεσμα αυτής της πεποίθησης πολλές μεγάλες βιομηχανικές και εμπορικές κατασκευές από χάλυβα κατασκευάστηκαν, ιδίως στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Ο σεισμός του Northridge στις 17 Ιανουαρίου 1994 αμφισβήτησε αυτό το παράδειγμα. Κατόπιν αυτού του σεισμού μια σειρά από μεταλλικά κτίρια βρέθηκαν να έχουν υποστεί ψαθυρές ζημιές στις συνδέσεις. Τα βλαβέντα κτίρια είχαν ύψη που κυμαίνονταν από 1 έως 26 ορόφους και ήταν ηλικίας από 30 χρόνων μέχρι κτίρια που ανεγείρονταν την περίοδο που συνέβη ο σεισμός. Βρίσκονταν διάσπαρτα σε μεγάλη γεωγραφική περιοχή, συμπεριλαμβανομένων περιοχών που βίωσαν μόνο μέτρια επίπεδα κίνησης εδάφους. Αν και σχετικά λίγα κτίρια βρίσκονταν σε περιοχές που βίωσαν την ισχυρότερη κίνηση εδάφους, η ζημιά σε αυτά τα κτίρια ήταν εκτεταμένη. Η ανακάλυψη αυτών των απρόβλεπτων συνεπειών στις συνδέσεις προκάλεσε ανησυχία. Γι' αυτό και οι Pre-Northridge οδηγίες, που έως τότε εφαρμόζονταν στις κατασκευές, αναθεωρήθηκαν ως ένα βαθμό.

Θα πρέπει να αναφερθεί πως τόσο οι κατασκευές του Seattle όσο και αυτές του LA που σχεδιάστηκαν με τις Post-Northridge οδηγίες παρουσιάζουν αναμφισβήτητα καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με άλλες που σχεδιάστηκαν στις ίδιες περιοχές με βάση τις Pre-Northridge οδηγίες. Ένα πρώτο στοιχείο που διαφοροποιεί τις δύο οδηγίες είναι οι επιλεγόμενες διατομές των μελών της κατασκευής. Με βάση τις Post-Northridge οδηγίες οι διατομές που επιλέγονται είναι αρκετά μεγαλύτερων διαστάσεων έναντι αυτών που προβλέπονται από τις Pre-Northridge, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη καμπτική αντοχή της κατασκευής. Μια δεύτερη διαφορά των δύο μεθόδων είναι η χρήση ελασμάτων ενίσχυσης στη θέση σύνδεσης δοκού-υποστύλωματος στον Post-Northridge σχεδιασμό. Με αυτό τον τρόπο οι σχεδιαστές επιθυμούσαν να μεταφερθεί η αστοχία εκτός κόμβου. Πιο συγκεκριμένα, στόχος ήταν

## ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

η μεταφορά της θέσης της πλαστικής άρθρωσης στην δοκό και εκτός του κόμβου συνδέσεως δοκού-υποστυλώματος. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι παρά τις μεταβολές που έγιναν ανάμεσα στον Post-Northridge και στον Pre-Northridge σχεδιασμό, η ολική ακαμψία του κτιρίου παρέμεινε σταθερή, αφού αυτό που επηρεάστηκε κυρίως ήταν η τοπική κατανομή των απαιτήσεων στην περιοχή της σύνδεσης.

Το εικοσαώροφο κτίριο που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε με βάση τις Pre-Northridge οδηγίες κυρίως για δράση του ανέμου και όχι του σεισμού (βασιζόμενο σε μια ταχύτητα ανέμου της τάξης των 80 μιλίων την ώρα). Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 3.1 και Πίνακας 3.2) δίνονται οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν με βάση τις Pre-Northridge και τις Post-Northridge οδηγίες αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι σύμφωνα με τις Pre-Northridge οδηγίες για τις δοκούς επιλέγεται διατομή W21X57 ενώ η αντίστοιχη του Post-Northridge είναι W21X62. Επίσης η διατομή υποστυλώματος στις Pre-Northridge οδηγίες είναι W24X229 ενώ η αντίστοιχη του Post-Northridge είναι W24X306. Και στις δύο περιπτώσεις σημειώνεται μια αύξηση του πλάτους της διατομής στον Post-Northridge κανονισμό.

20-story Building

Story/Floor	COLUMNS		DOUBLER PLATES (in)	GIRDER	COLUMNS		BEAMS	
	Exterior	Interior			40 feet span	20 feet span		
-2/-1	W24X229		0,0	W12X14	W14X426	W21X44	W12X14	
-1/1	W24X229		0,14	W30X132	W14X426	W21X50	W12X16	
1/2	W24X229, W24X229		0,14	W30X132	W14X426, W14X398	W21X44	W12X14	
2/3	W24X229		0,14	W30X132	W14X398	W21X44	W12X14	
3/4	W24X229, W24X229		0,14	W30X132	W14X398, W14X342	W21X44	W12X14	
4/5	W24X229		0,14	W30X132	W14X342	W21X44	W12X14	
5/6	W24X229, W24X192		0,1/2	W30X132	W14X342, W14X311	W21X44	W12X14	
6/7	W24X192		0,1/2	W30X132	W14X311	W21X44	W12X14	
7/8	W24X192, W24X192		0,1/2	W30X132	W14X311, W14X257	W21X44	W12X14	
8/9	W24X192		0,14	W30X116	W14X257	W21X44	W12X14	
9/10	W24X192, W24X192		0,14	W30X116	W14X257, W14X233	W21X44	W12X14	
10/11	W24X192	Same as Exterior Columns	0,14	W27X114	W14X233	W21X44	W12X14	
11/12	W24X192, W24X192		0,14	W27X114	W14X233, W14X193	W21X44	W12X14	
12/13	W24X192		0,14	W27X94	W14X193	W21X44	W12X14	
13/14	W24X192, W24X162		0,14	W27X94	W14X193, W14X159	W21X44	W12X14	
14/15	W24X162		0,14	W27X94	W14X159	W21X44	W12X14	
15/16	W24X162, W24X162		0,14	W27X94	W14X159, W14X120	W21X44	W12X14	
16/17	W24X162		0,0	W24X62	W14X120	W21X44	W12X14	
17/18	W24X162, W24X131		0,0	W24X62	W14X120, W14X90	W21X44	W12X14	
18/19	W24X131		0,0	W21X57	W14X90	W21X44	W12X14	
19/20	W24X131, W24X131		0,0	W21X57	W14X90, W14X61	W21X44	W12X14	
20/Roof	W24X131		0,0	W21X57	W14X61	W18X35	W12X14	

Notes:

1. The basement floor (-1 level) has simple connections

**Πίνακας 3.1: Διατομές μελών εικοσαώροφης μεταλλικής κατασκευής με βάση τον Pre-Northridge κανονισμό.**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

20-story Building

Story/Floor	COLUMNS		DOUBLER PLATES (in)	GIRDER	COLUMNS			BEAMS	
	Exterior	Interior				40 feet span	20 feet span		
-2/-1	W24X306		0,0	W12X14	W14X426	W21X44		W12X14	
-1/1	W24X306		0,3/8	W27X129	W14X426	W21X50		W12X16	
1/2	W24X306, W24X306		0,3/8	W27X129	W14X426, W14X398	W21X44		W12X14	
2/3	W24X306		0,3/8	W27X129	W14X398	W21X44		W12X14	
3/4	W24X306, W24X306		0,3/8	W27X129	W14X398, W14X342	W21X44		W12X14	
4/5	W24X306		0,3/8	W27X129	W14X342	W21X44		W12X14	
5/6	W24X306, W24X279		0,3/8	W27X129	W14X342, W14X311	W21X44		W12X14	
6/7	W24X279		0,3/8	W27X129	W14X311	W21X44		W12X14	
7/8	W24X279, W24X279		0,3/8	W27X129	W14X311, W14X257	W21X44		W12X14	
8/9	W24X279		0,3/8	W27X129	W14X257	W21X44		W12X14	
9/10	W24X279, W24X279	Same as Exterior Columns	0,3/8	W24X103	W14X257, W14X233	W21X44		W12X14	
10/11	W24X279		0,3/8	W24X103	W14X233	W21X44		W12X14	
11/12	W24X279, W24X229		0,3/8	W24X103	W14X233, W14X193	W21X44		W12X14	
12/13	W24X229		0,3/8	W24X103	W14X193	W21X44		W12X14	
13/14	W24X229, W24X192		0,3/8	W24X84	W14X193, W14X159	W21X44		W12X14	
14/15	W24X192		0,3/8	W24X84	W14X159	W21X44		W12X14	
15/16	W24X192, W24X162		0,1/2	W24X84	W14X159, W14X120	W21X44		W12X14	
16/17	W24X162		0,3/8	W21X62	W14X120	W21X44		W12X14	
17/18	W24X162, W24X131		0,3/8	W21X62	W14X120, W14X90	W21X44		W12X14	
18/19	W24X131		0,3/8	W21X62	W14X90	W21X44		W12X14	
19/20	W24X131, W24X131		0,3/8	W21X62	W14X90, W14X61	W21X44		W12X14	
20/Roof	W24X131		0,7/16	W21X62	W14X61	W18X35		W12X14	

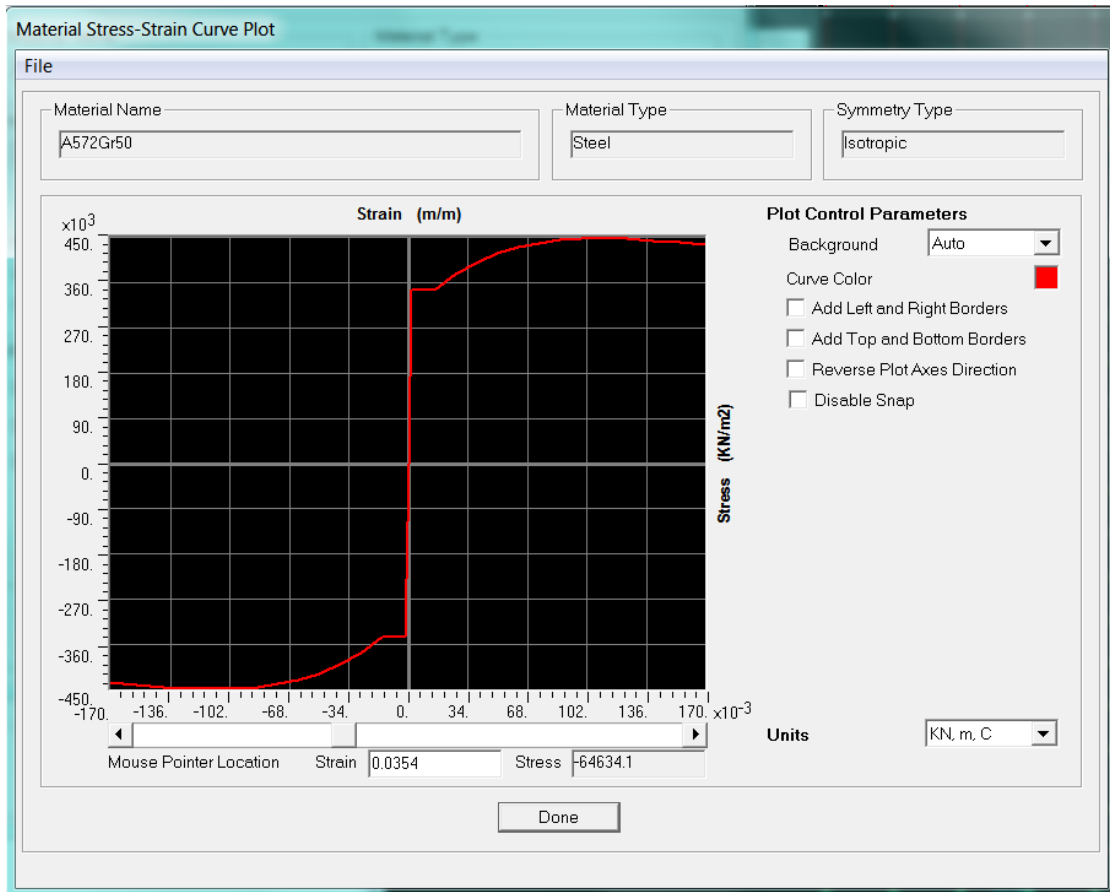
Notes:

1. The basement floor (-1 level) has simple connections

**Πίνακας 3.2: Διατομές μελών εικοσαώροφης μεταλλικής κατασκευής με βάση τον Post-Northridge κανονισμό.**

### 3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΑΛΥΒΑ

Η ποιότητα του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή είναι A572 Gr. 50 με ονομαστική τιμή διαρροής τα 50 ksi και αναμενόμενη αντοχή διαρροής τα 67.6 ksi. Το μέτρο ελαστικότητας είναι ίσο με  $E=200$  GPa. Το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα είναι το εξής:



**Σχήμα 3.5: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα A572 Gr. 50.**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

## 4. ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ, ΚΑΜΠΥΛΗ PUSHOVER ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

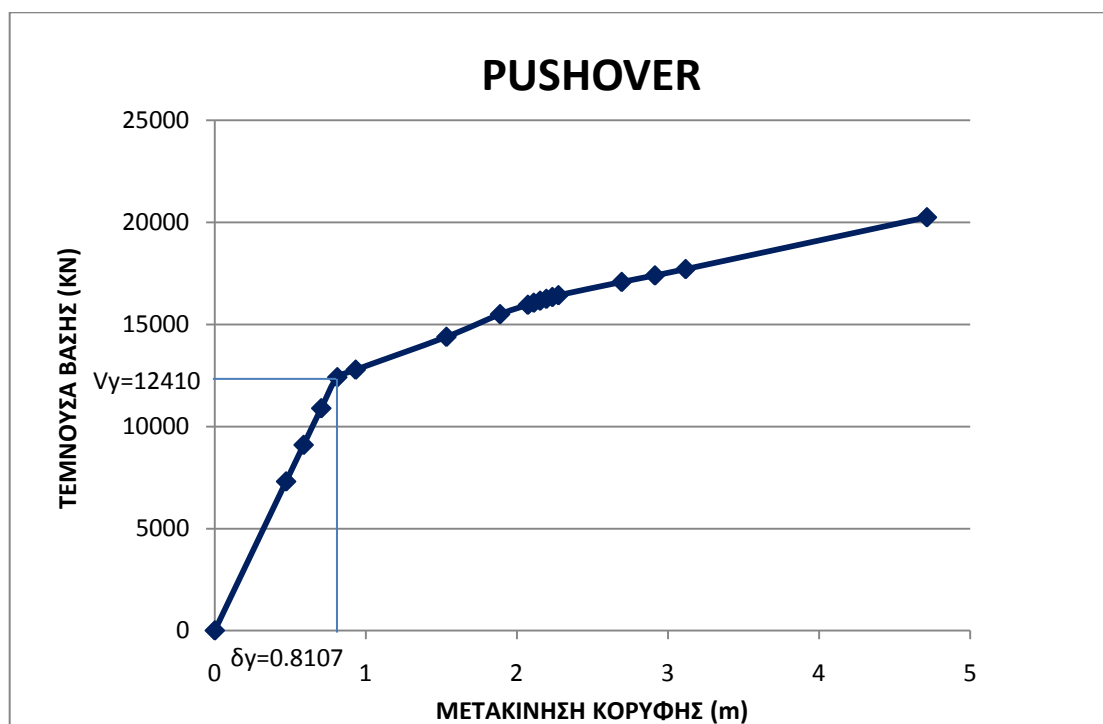
### 4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SAP2000 11 και κάνοντας ιδιομορφική ανάλυση προκύπτουν οι ιδιοπερίοδοι του φορέα. Οι τιμές των δύο πρώτων ιδιοπεριόδων είναι οι εξής:

- Πρώτη ιδιοπερίοδος:  $T_1 = 3.618924 \text{ sec}$
- Δεύτερη ιδιοπερίοδος:  $T_2 = 1.306339 \text{ sec}$

### 4.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER

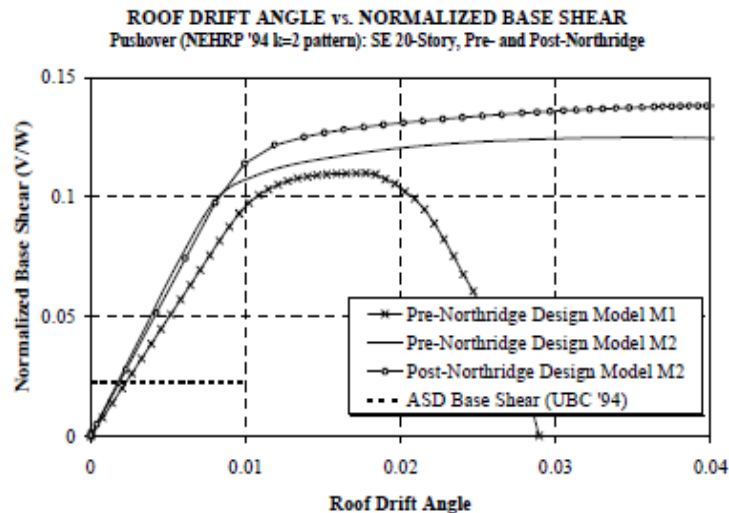
Η καμπύλη pushover έγινε αξιοποιώντας τα αποτελέσματα του προγράμματος SAP. Πιο συγκεκριμένα έγινε ανελαστική στατική ανάλυση (pushover analysis) για κατανομή φορτίων σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή. Η καμπύλη pushover δίνεται στο Σχήμα 4.1 που ακολουθεί. Αυτή η τεχνική ανάλυσης επιτρέπει μια εκτίμηση της υπεραντοχής, την αξιολόγηση των απαιτήσεων δύναμης σε εύθραυστα στοιχεία, την αξιολόγηση της πληρότητας και της επάρκειας του φορτίου, καθώς και μια εκτίμηση της ανελαστικής δύναμης και της παραμόρφωσης για πλαστικά στοιχεία. Η ανελαστική στατική ανάλυση είναι χρήσιμη για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς της κατασκευής. Για την κατασκευή της pushover έχουν ληφθεί υπόψη τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως σε ότι έχει σχέση με την αύξηση των παραμορφώσεων και έχει ρυθμιστεί να μην υπάρχει απώλεια αντοχής με την αύξηση της παραμόρφωσης.



Σχήμα 4.1: Καμπύλη pushover.

Η παραπάνω καμπύλη pushover συμβαδίζει με την καμπύλη Pre-Northridge Design Model M2, Σχήμα 4.2, που προτείνει το εγχειρίδιο της fema για το συγκεκριμένο κτίριο, καθώς

- $V_y/W=12410/134998.2=0.091927$  (όπου  $W$  η κατακόρυφη αντίδραση του κτιρίου όταν υπόκειται στη φόρτιση  $G+0.3Q$ ) και
- Roof drift angle= $\delta_{\text{κορυφής}}/H_{\text{κτιρίου}}=0.8107/80.772=0.010037$  που αντιστοιχεί στη διαρροή.



**(c) Seattle 20-Story Structures**

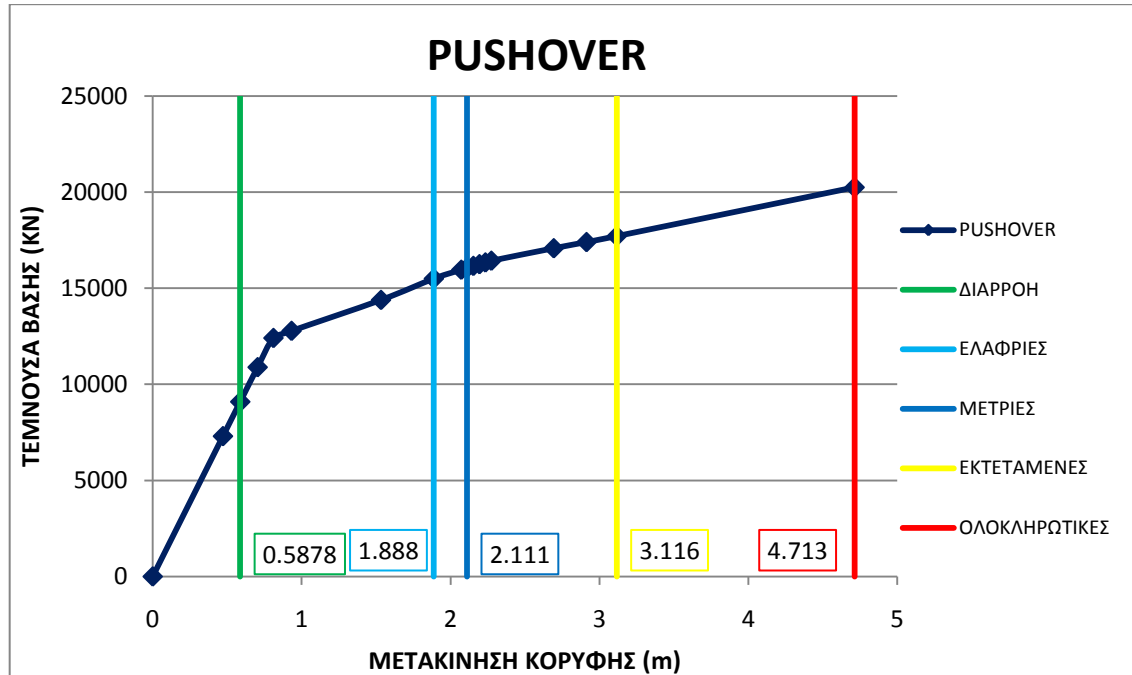
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα Κανονικοποιημένης τέμνουσας βάσης-κλίσης κτιρίου για τις κατασκευές του Seattle.

### 4.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ (FRAGILITY CURVES)

Με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS θα ορίσουμε τέσσερις καμπύλες τρωτότητας που αντιστοιχούν στα ελαφριά, μέτρια, εκτεταμένα και ολοκληρωτικά επίπεδα βλάβης του κτιρίου. Επιπροσθέτως θα ορίσουμε και μία πέμπτη καμπύλη που αντιστοιχεί στη διαρροή του κτιρίου. Δηλαδή αν η κατασκευή βρίσκεται πριν από αυτή την καμπύλη τότε συμπεραίνουμε πως βρίσκεται στην ελαστική περιοχή. Αρχικά από την καμπύλη pushover καθορίζουμε τις μέσες μετακινήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε επίπεδο βλάβης. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εκλογή αυτών των μέσων μετακινήσεων ορίζεται στο εγχειρίδιο του HAZUS (Πίνακας 1.9). Αναλυτικότερα για το εικοσαώροφο κτίριο που μελετήσαμε προέκυψαν τα παρακάτω: Η πρώτη καμπύλη, που αντιστοιχεί στην φάση κατά την οποία η κατασκευή διαρρέει, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 0.5878 m (δηλαδή τη χρονική στιγμή που είχαμε μέγιστη μετακίνηση στην κατασκευή 0.5878 m εμφανίστηκε και η πρώτη πλαστική άρθρωση). Η καμπύλη που ορίζει το ελαφρύ επίπεδο βλάβης, δηλαδή την στιγμή που έχουμε την πρώτη αστοχία πλαστικής άρθρωσης, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 1.888 m. Η καμπύλη που ορίζει το μέτριο επίπεδο βλάβης αντιστοιχεί στο σημείο της pushover στο οποίο μόλις το 5% των διατομών έχουν αστοχήσει και ισοδυναμεί σε τιμή μέσης μετακίνησης ίση με 2.111 m. Η καμπύλη



που ορίζει τις εκτεταμένες ζημιές, όταν δηλαδή το 25% των διατομών αστοχήσουν, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 3.116 m. Τέλος η καμπύλη που ορίζει τις ολοκληρωτικές ζημιές, όταν δηλαδή το 50% των διατομών αστοχήσουν, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 4.713 m. Πρέπει να σημειωθεί πως οι παραπάνω υπολογισμοί αναφέρονται σε διατομές στα άκρα δοκών και υποστυλωμάτων του περιφερειακού πλαισίου πέντε ανοιγμάτων. Στο Σχήμα 4.3 δίδεται η καμπύλη pushover και οι μέσες μετακινήσεις που ορίζουν τα επίπεδα βλάβης.



Σχήμα 4.3: Καμπύλη pushover με τις μέσες μετακινήσεις των 5 επιπέδων βλαβών.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση (Beta), η οποία θα εφαρμοστεί στη λογαριθμοκανονική κατανομή για τον ορισμό των καμπύλων τρωτότητας. Παρακάτω δίδονται η εξίσωση υπολογισμού της τυπικής απόκλισης (1-16) και οι παράμετροι που είναι απαραίτητοι για τον ορθό υπολογισμό της.

$$\beta_{ds} = \sqrt{(\beta_c)^2 + (\beta_{T,ds})^2}$$

Εξίσωση 1.13

Για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης λάβαμε υπόψη τα εξής δύο στοιχεία:

- Από τη στιγμή που αναφερόμαστε σε ένα κτίριο και όχι σε μία ομάδα κτιρίων που ανήκουν σε μία συγκεκριμένη κατηγορία, η τυπική απόκλιση είναι μικρότερη από εκείνη που αναμένεται στην δεύτερη περίπτωση.
- Τα όρια που αναφέρονται σε μικρά επίπεδα ζημιάς παρουσιάζουν μικρότερη απόκλιση καθώς η συμπεριφορά του υλικού είναι περισσότερο προβλέψιμη κοντά στη διαρροή από ότι είναι κοντά στην αστοχία.

Οι τιμές των μεταβλητών  $\beta_c$  και  $\beta_{T,ds}$  δίνονται από πίνακες στο εγχειρίδιο του HAZUS σε συνάρτηση με τα ακόλουθα δομικά χαρακτηριστικά και κτιριακά κριτήρια:

- Ομάδες κτιρίων ανά ύψος-Κτίρια χαμηλού ύψους (Πίνακας 1.11), Μέτριου ύψους Κτίρια (Πίνακας 1.12) και πολυώροφα κτίρια (Πίνακας 1.13).
- Μετά τη διαρροή απομείωση του δομικού συστήματος-Ήσσονος, Μείζονος και υπερβολική απομείωση.
- Μεταβλητότητα ορίου επιπέδων βλάβης-Μικρή, Μέτρια ή μεγάλη μεταβλητότητα.
- Μεταβλητότητα καμπύλης ικανότητας-Πολύ Μικρή, Μικρή, μέτρια ή μεγάλη μεταβλητότητα.

Για το εικοσαώροφο μεταλλικό κτίριο ο πίνακας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Πίνακας 1.13 για μεγάλου ύψους κτίρια, καθώς σύμφωνα με την ταξινόμηση των κτιρίων κατά τον HAZUS ένα εικοσαώροφο μεταλλικό κτίριο θεωρείται ότι ανήκει στα υψηλά κτίρια (Πίνακας 1.3).

Πιο συγκεκριμένα τώρα οι τιμές των μεταβλητών  $\beta_c$  και  $\beta_{T,ds}$  που επιλέχθηκαν ήταν για κάθε στάθμη ζημιάς οι εξής:

Καμπύλη διαρροής:  $\beta_{T,ds} = 0.20$  και  $\beta_c = 0.55$

Καμπύλη για ελαφριές βλάβες:  $\beta_{T,ds} = 0.40$  και  $\beta_c = 0.75$

Καμπύλη για μέτριες βλάβες:  $\beta_{T,ds} = 0.40$  και  $\beta_c = 0.75$

Καμπύλη για εκτεταμένες βλάβες:  $\beta_{T,ds} = 0.40$  και  $\beta_c = 0.75$

Καμπύλη για ολοκληρωτικές βλάβες:  $\beta_{T,ds} = 0.60$  και  $\beta_c = 1.0$

Επομένως, εφαρμόζοντας την Εξίσωση 1.13 εκτιμάται η τιμή της τυπικής απόκλισης για κάθε στάθμη. Έτσι για :

Καμπύλη διαρροής:  $\beta_{ds} = 0.585235$

Καμπύλη για ελαφριές βλάβες:  $\beta_{ds} = 0.85$

Καμπύλη για μέτριες βλάβες:  $\beta_{ds} = 0.85$

Καμπύλη για εκτεταμένες βλάβες:  $\beta_{ds} = 0.85$

Καμπύλη για ολοκληρωτικές βλάβες:  $\beta_{ds} = 1.16619$

Ακολουθεί η εξίσωση υπολογισμού της πιθανότητας λογαριθμοκανονικής κατανομής.

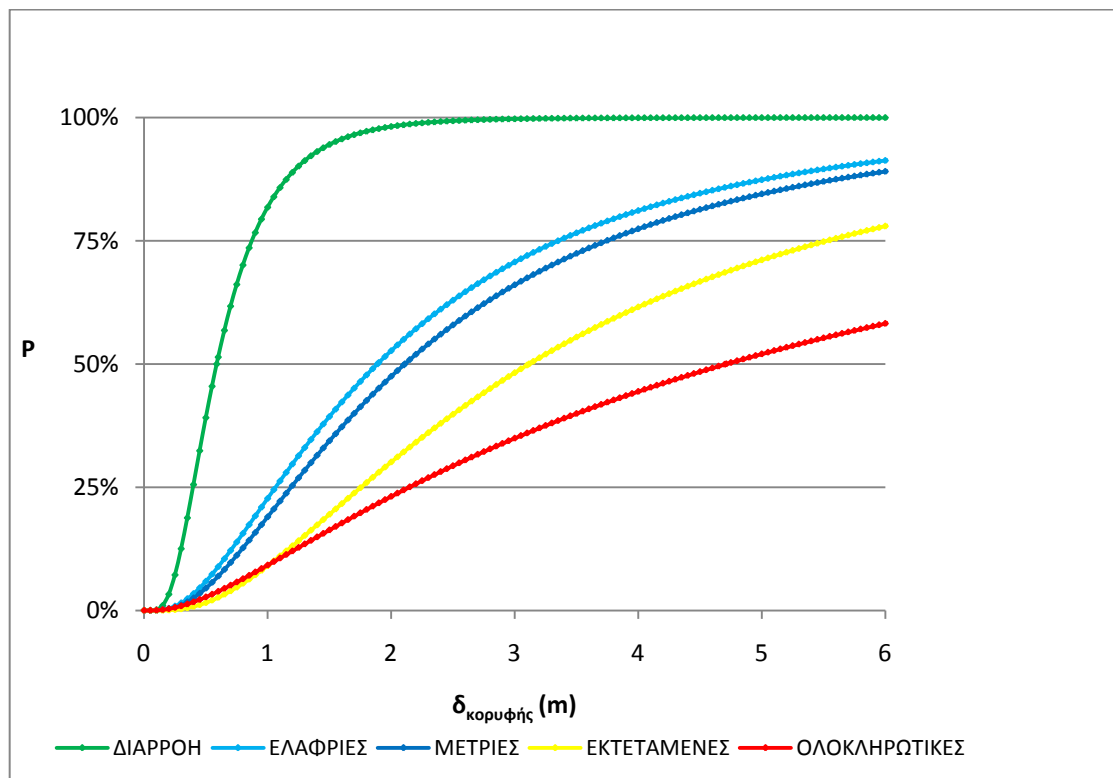
$$P[ds | S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right]$$

ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ, ΚΑΜΠΥΛΗ PUSHOVER ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Όπου

- $d_s$ : η κάθε στάθμη βλάβης
- $S_{d,d_s}$  : η τιμή της μέσης φασματικής μετατόπισης που εκτιμάται για κάθε επίπεδο βλάβης  $d_s$
- $\beta_{d_s}$  : η τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της φασματικής μετακίνησης για στάθμη βλάβης  $d_s$
- $\Phi$ : η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής πιθανότητας της κανονικής κατανομής.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση τις τιμές των μέσων μετακινήσεων  $S_{d,d_s}$  και την τυπική απόκλιση  $\beta_{d_s}$  για κάθε στάθμη, προκύπτουν οι πέντε καμπύλες τρωτότητας, και δίδονται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Καμπύλες τρωτότητας (fragility curves)

Άμεσα εξαγόμενο συμπέρασμα από τη μορφή των παραπάνω καμπυλών τρωτότητας, το οποίο θα επαληθευτεί και στη συνέχεια της εργασίας είναι ότι για το συγκεκριμένο εικοσαώροφο μεταλλικό κτίριο απαιτούνται μεγάλες μετακινήσεις για να προκληθούν σοβαρές βλάβες. Απαιτείται μετακίνηση 4.713 m ώστε το κτίριο να περιέλθει σε κατάσταση πλήρους αστοχίας λόγω ολοκληρωτικών βλαβών.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

## 5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι μέγιστες μετακινήσεις κορυφής της εικοσαώροφης κατασκευής που προέκυψαν ύστερα από ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας για σεισμικές διεγέρσεις κοντινού πεδίου. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SAP, οι σεισμοί εφαρμόστηκαν μέσω του επιταχυνσιογραφήματος τους στο κτίριο λαμβάνοντας υπόψη και τα άλλα φορτία που καταπονούν το κτίριο, όπως αυτά προβλέπονται από τον κανονισμό. Επίσης προσπαθήσαμε να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο η κατευθυντικότητα, η απόσταση του ρήγματος από την καταγραφή, το μέγεθος της σεισμικής ροπής και η διεύθυνση της καταγραφής επηρεάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

### 5.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Οι σεισμοί που χρησιμοποιήσαμε αποτελούν το έως τώρα γνωστό αρχείο σεισμών κοντινού πεδίου, που διαθέτουμε σε διεθνές επίπεδο. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία κάθε σεισμού.

	LOCATION	DATE	Mw	F/M	STATION	S/C	DIR/TY	C/D	COMP.	SDmax
1	Imperial Valley CA, USA	19/05/1940	6.6	SS	El Centro	SL	B	8.0	180 - 270	26.07 – 36.40
2	Olympia WA, USA	13/04/1949	6.6	SS	Olympia Highway Test Lab	-	-	56	86 - 356	25.43 – 16.00
					Seattle Army Base	-	-	83	182 - 272	5.75 – 6.63
3	Puget Sound, WA, USA	29/04/1965	6.7	NM	Olympia Highway Test Lab (OLY)	-	-	75	176 - 266	5.21 - 8.73
					Seattle Federal Office Building (SEF)	-	-	63	148 - 238	6.75 - 10.62
4	Parkfield, CA, USA	27/6/1966	6.0	SS	Cholame Shandon Array 2 (CO2)	SL	F	0.1	65	38.65
					Cholame Shandon Array 5 (CO5)	SL	F	5.2	85 - 355	20.01 - 11.78
					Cholame Shandon Array 8 (CO8)	SL	F	9.2	50 - 320	16.21 - 14.34
					Temblor Station 2 (TMB)	-	F	6.5	205 - 295	10.95 - 7.55
5	San Fernando, CA, USA	9/2/1971	6.7	SS	Pacoima Dam (PCD)	HR	F	3.0	254 - 164	23.38 - 88.53
6	Gazli, USSR	17/5/1976	6.7	RV	Karakyr Point (KAR)	SR	N	3.0	0 - 90	82.29 - 68.15
7	Tabas, Iran	16/9/1978	7.1	RV	Tabas (TAB)	SL	N	1.2	74 - 344	243.73 - 131.32
8	Coyote Lake ,CA, USA	8/6/1979	5.6	SS	Gilroy Array 1 (GA1)	HR	F	9.0	230 - 320	1.47 - 2.74
					Gilroy Array 2 (GA2)	SL	F	7.2	50 - 140	4.91 - 11.39
					Gilroy Array 3 (GA3)	SL	F	5.1	50 - 140	11.49 - 9.55
					Gilroy Array 4 (GA4)	SL	F	3.5	270 - 360	8.18 - 10.15
					Gilroy Array 6 (GA6)	SR	F	1.2	230 - 320	58.51 - 33.95
					San Martin Coyote Creek (SMCC)	-	B	0.2	160 - 250	3.37 - 4.81
9	Imperial Valley, CA, USA	15/10/1979	6.4	SS	Aeropuerto Mexicall (AEP)	SL	F	0.4	45 - 315	31.14 - 8.73
					Agrarias (AGR)	SL	N	0.6	33 - 273	21.89 - 27.79
					El Centro Array 3, Pine Union Schl (E03)	SL	F	11.7	140 - 230	54.26 - 55.52
					El Centro Array 4, Anderson Rd (E04)	SL	F	6.0	140 - 230	68.96 - 123.84
					El Centro Array 5, James Rd (E05)	SL	F	2.7	140 - 230	112.33 - 127.06
					El Centro Array 6, Huston Rd (E06)	SL	F	0.3	140 - 230	66.62 - 155.55
					El Centro Array 7, Imperial Val. Cl (E07)	SL	F	1.8	140 - 230	65.21 - 117.6
					El Centro Array 8, Cruickshank Rd (E08)	SL	F	5.0	140 - 230	79.31 - 85.67
					El Centro Array 10, Hospital (E10)	SL	F	9.6	320 - 50	51.48 - 92.28
					Bonds Corner (BCR)	SL	F	2.0	230 - 140	33.94 - 28.93
					Calexico Fire Station (CXO)	SL	N	11.0	225 - 315	49.42 - 27.93
					Mexicall Casa Flores (MXC)	SL	N	10.4	0 - 270	11.33 - 14.08
					Compuertas (CMP)	SL	B	15.5	15 - 285	12.78 - 12.12
					Meloland Route Overpass (EMO)	SL	F	1.2	0 - 270	51.06 - 111.05
Brawley Airport (BRA)	SL	F	8.2	225 - 315	31.15 - 56.58					

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

					Differential Array-Dogwood Rd (EDA)	SL	F	6.3	0 – 270	48.69 - 92.10
					Post Office,Hotville (HVP)	SL	F	6.9	315 - 225	76.50 - 69.72
10	Mexicali Valley, Mexico	9/6/1980	6.4	SS	Cerro Prieto (CPR)	HR	F	6.5	45 - 315	24.49 - 9.04
11	Morgan Hill, CA,USA	24/4/1984	6.2	SS	Anderson Dam,Downstream (AND)	SL	F	2.6	250 – 340	11.80 - 13.32
					Coyote Lake Dam,San Martin (CLD)	SR	F	0.1	195 – 285	16.33-28.51
					Halls Valley (HAL)	SL	B	2.0	150 - 240	4.93-12.64
12	Nahanni, Canada	23/12/1985	6.7	RV	Iverson,NW Territories (SITE 1)	HR	N	9.4	10 – 280	29.04-34.37
					Slide Mountain (SITE2)	HR	N	5.2	240 - 330	13.44-11.72
13	Palm Springs, CA,USA	8/7/1986	6.1	OB	Cabazon Post Office (CAB)	SL	F	6.0	180 – 270	6.44 - 7.05
					Desert Hot Springs (DSP)	SL	N	6.4	0 – 90	15.42 - 9.79
					North Palm Springs Post Office (NPS)	SL-SR	F	4.0	210 – 300	24.95 - 11.03
					Palm Springs Airport (PSA)	SL	F	10.8	0 – 90	7.69 - 7.31
					Whitewater Trout Farm (WWT)	SL	F	6.5	180 - 270	11.08 - 7.80
14	Superstition Hills, CA,USA	24/11/1987	6.4	SS	Parachute Test Site (PTS)	-	F	0.7	225 – 315	89.62 – 51.31
					Superstition Mountain (SSM)	SR-HR	N	5.7	45 – 135	14.47 - 19.76
					Poe Road (POE)	-	N	10.7	270 – 360	24.99 - 28.25
					Kornbloom Poad (KRN)	-	N	17.8	270 – 360	15.60 - 15.15
					Westmorland Fire station (WST)	SL	F	13.2	90 – 180	68.58 - 77.22
					El Centro (ELC)	SL	F	13.6	0 – 90	95.43 - 103.15
15	Loma Prieta, USA	17/10/1989	6.9	OB	Corralitos (COR)	SR	N	2.3	0 – 90	20.77 - 28.73
					Gavilan College Physics Sci. Bldg (GIL)	SL	N	10.5	67 – 337	12.28 - 13.78
					Gilroy 1-Gavilan Coll. Water Tank (G01)	SR	N	10.1	0 – 90	13.91 - 12.29
					Lexington Dam-Left Abutment (LXD)	SR	F	6.7	0 – 90	33.75 - 42.97
					Los Gatos Presentation Center (LGP)	HR	F	3.0	0 – 90	115.24 - 31.58
					Saratoga-Aloha Avenue (STG)	SL	F	8.3	0 – 90	30.76 - 72.16
					Gilroy Historic Building (GHB)	-	F	11.1	90 – 180	21.62 - 10.24
					Capitola Fire Station (CAP)	SL	B	15.8	0 – 90	34.12 - 15.82
					Branciforte Drive (BRN)	-	B	11.5	0 – 90	22.46 - 14.21
16	Sierra Madre, CA, USA	28/6/1991	5.6	RV	Cogswell Dam (COG)	-	F	9.4	65 – 155	1.90 - 4.72
					Eaton Canyon Park-Altadena (ETN)	SL	F	9.6	0 – 90	7.13 - 2.62
					Mt. Wilson-Caltech Station (MTW)	HR	F	11.9	0 – 90	3.32 - 2.57
					San Marino-SW Academy (SNM)	SL	F	15.6	0 - 90	2.73 - 2.24
17	Erzincan, Turkey	13/3/1992	6.6	SS	Erzincan (ERZ)	SL	F	2.0	0 - 90	56.46 - 71.02
18	Petrolia, CA,USA	25/4/1992	6.9	RV	Cape Mendocino (CAP)	HR	F	7.8	0 – 90	73.13 - 36.23
					Petrolia (PGS)	SL	F	8.9	0 – 90	30.15 - 50.75
					Fortuna (FOR)	SL-SR	N	13.5	0 – 90	42.75 - 32.34
					Rio Dell (RIO)	SL-SR	N	13.1	270 – 360	35.93 –21.56
19	Landers, CA,USA	28/6/1992	7.3	SS	Joshua Tree-Fire Station (JSH)	SL	B	11.6	0 – 90	19.09 - 35.07
					Lucerne Valley (LUC)	SL	F	1.1	0 – 90	36.74 – 156.90
20	Northridge, CA,USA	17/1/1994	6.7	RV	Jensen Filtration Plant (JFA)	SL	F	5.2	22 – 292	109.88 - 72.43
					Pacoima Kagel Canyon (PKC)	HR	N	7.4	90 – 360	43.64 - 21.30
					Newhall,LA Country Fire Station (NWH)	SL	F	6.5	90 – 360	38.92 - 60.13
					Arleta,Nordhoff Fire Station (SFY)	SL	N	8.0	90 – 360	21.31 - 29.37
					Pacoima Dam-Downstream (PCD)	HR	F	7.2	175 – 265	17.84 - 16.53
					Rinaldi Receiving Station (RRS)	SL	F	6.0	318 – 228	66.95 - 58.09
					Sylmar Converter Station (SCG)	SL	F	5.1	52 – 142	131.88 - 87.25
					Sylmar Converter Station East (SCH)	SL	F	5.0	11 – 281	97.63 - 69.41
					Sepulveda Veterans Hospital (VSP)	SL	F	8.0	270 – 360	29.70 - 55.36
					Los Angeles Dam (LDW)	SL	F	5.6	334 – 64	48.01 - 51.30
					Sylmar Country Hospital (SYH)	SL	F	5.5	90 – 360	59.99 - 77.68
					Canoga Park Epiphany Church (CPC)	SL	N	13.7	196 – 106	47.26 - 26.13
					Canyon Country (CCY)	SL	F	12.9	0 – 270	31.60 - 19.65
					LA Fire Station 108 (LF5)	SL	B	19.2	35 – 125	15.00 - 10.04
					LA Fire Station 99 (LF6)	SL	B	17.3	9 – 279	34.00 - 36.96
					LA UCLS Grounds (ULA)	SL	B	19.9	90 – 360	11.59 - 26.65
					LA Westlake School (LWS)	SL	B	19.0	0 – 90	8.00 - 10.14
					Newhall,Pico Canyon (NWS)	SL	F	5.3	46 – 316	83.66 - 47.60
					North Hollywood Coldwater Can. (NHW)	SL	N	11.8	270 – 180	26.10 - 29.72
					Northridge White Oak Cov.Church (NRG)	SL	F	11.5	90 – 180	53.81 - 28.39
Simi Valley (SMI)	SL	N	12.4	0 – 90	20.12 - 17.26					

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ

					Sun Valley Grace Comm.. Church (SVG)	SL	N	9.3	0 – 90	21.38 - 29.07
					Tarzana Nursery (TAR)	SL-SR	B	14.8	90 – 360	38.62 - 42.64
21	Hanshin (Kobe), Japan	17/1/1995	6.8	SS	Kobe University (KBU)	HR	F	0.7	0 – 90	41.58 - 24.14
					Kobe Port Island, Surface (KPI)	SL	F	3.2	0 – 90	77.52 - 67.44
					Takarazuka (TAZ)	SL	F	0.4	0 – 90	50.88 - 41.71
					Takatori (TAK)	SL	F	1.1	0 – 90	114.89 - 95.42
					Nishi-Akashi (NIS)	SL	N	10.5	0 – 90	28.13 - 32.22
22	Izmit, Turkey	17/8/1999	7.4	SS	Arcelik Arge Lab (ARC)	SR	F	14.0	0 – 270	36.13 - 78.02
					Yarimca Petkim (YPT)	SL	F	2.6	0 - 270	107.42 - 145.02
23	Chi-Chi, Taiwan	20/9/1999	7.6	RV	CHY024	SL	F	7.7	90 – 360	96.88 - 111.29
					CHY028	SL	N	2.3	90 – 360	52.39 - 53.66
					CHY101	SL	F	7.7	90 – 360	107.61 - 223.06
					TCU049	SL	F	2.7	90 – 360	152.55 – 150.49
					TCU051	SL	F	6.9	90 – 360	121.08 - 164.26
					TCU052	SL	F	0.8	90 – 360	338.74 – 496.22
					TCU053	SL	F	4.6	90 – 360	130.10 – 166.76
					TCU054	SL	F	4.7	90 – 360	140.54 – 154.95
					TCU055	SL	F	6.5	90 – 360	40.25 – 135.96
					TCU065	SL	F	0.1	90 – 360	248.53 - 182.93
					TCU067	SL	F	0.2	90 – 360	188.42 – 110.20
					TCU068	SL	F	0.2	90 – 360	597.22 – 768.98
					TCU071	SL	F	4.1	90 – 360	49.43 – 108.32
					TCU072	SL	F	6.8	90 – 360	101.14 – 96.47
					TCU074	SL	F	11.4	90 – 360	55.73 - 46.24
					TCU075	SL	F	0.6	90 – 360	144.31 - 109.91
					TCU076	SL	F	2.3	90 – 360	69.75 – 69.84
					TCU078	SL	F	5.4	90 – 360	69.18 – 24.59
					TCU082	SL	F	5.0	90 – 360	148.13 – 140.59
					TCU087	SR	F	5.8	90 – 360	158.30 – 83.87
					TCU089	SR	F	6.2	90 – 360	64.53 – 51.24
					TCU101	SL	F	1.5	90 – 360	165.26 - 122.05
					TCU102	SL	F	0.6	90 – 360	199.98 - 123.92
TCU103	SL	F	4.4	90 – 360	180.67 - 75.22					
TCU116	SL	F	11.5	90 – 360	90.14 - 97.47					
TCU120	SR	F	6.1	90 – 360	90.55 - 125.74					
TCU122	SL	F	8.5	90 – 360	115.11 - 105.40					
TCU129	SL	F	1.5	90 – 360	125.95 - 73.84					
24	Duzce, Turkey	12/11/1999	7.1	OB	Duzce (DZC)	SL	N	8.3	180 – 270	145.65 - 159.53
					Bolu (BOL)	SL	F	19.9	0 - 90	49.54 - 30.70

Όπου

- $M_w$ : σεισμική ροπή
- F/M: μηχανισμός διάρρηξης (SS: ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης, NM: κανονικό ρήγμα, RV: ανάστροφο ρήγμα)
- S/C: τύπος εδάφους (SL: έδαφος και αλλουβιακές αποθέσεις, SR: ιζηματογενής και κροκαλοπαγής βράχος, HR: σκληρό βραχώδες έδαφος)
- DIR/TY: κατευθυντικότητα (F: έμπροσθεν, B: όπισθεν, N: ουδέτερη)
- C/D: πλησιέστερη απόσταση:  
Απόσταση από ίχνος ρήγματος για τους σεισμούς: 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 19, 21, 22, 24  
Απόσταση από επιφάνεια ρήγματος για τους σεισμούς: 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 23  
Απόσταση από το υπόκεντρο για τους σεισμούς: 2, 3
- COMP.: συνιστώσα καταγραφής (γωνία ως προς βορρά)
- SDmax: μέγιστη φασματική μετακίνηση

Στους πίνακες δίδονται οι μέγιστες μετακινήσεις του κτιρίου που προέκυψαν για κάθε σεισμό καθώς και η στάθμη επιτελεστικότητας κάθε καταγραφής. Το επίπεδο των μέτρων βλαβών σχετίζεται με οριακή κατάσταση ‘ΑΜΕΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ’

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

(IMMEDIATE OCCUPANCY). Το επίπεδο των εκτεταμένων βλαβών σχετίζεται με οριακή κατάσταση 'ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΖΩΗΣ' (LIFE SAFETY). Το επίπεδο των ολοκληρωτικών βλαβών σχετίζεται με οριακή κατάσταση 'ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ' (COLLAPSE PREVENTION). Αναλυτικότερα, για κάθε καταγραφή ανάλογα με την μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου ταξινομήσαμε σε 6 κατηγορίες το κτίριό μας. Για μέγιστες μετακινήσεις που είναι μικρότερες από τη μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για τη διαρροή (0.5878 m), (πράσινο χρώμα), θα δίδεται ο χαρακτηρισμός ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΔΙΑΡΡΟΗ και το πράσινο χρώμα. Για μέγιστες μετακινήσεις που βρίσκονται ανάμεσα στη μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για τη διαρροή (0.5878 m) και στη μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για ελαφριές βλάβες (1.888 m), (γαλάζιο χρώμα), θα δίδεται ο χαρακτηρισμός ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ και το γαλάζιο χρώμα (δηλαδή ουσιαστικά δίνουμε την ονομασία και το χρώμα της άνω οριακής κατάστασης. Ομοίως και για τις παρακάτω περιπτώσεις). Αντίστοιχα, οι μέγιστες μετακινήσεις ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για ελαφριές (1.888 m) και μέτριες βλάβες (2.111 m), (μπλε χρώμα), χαρακτηρίζονται ως ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ (Immediate Occupancy) και δίδεται το μπλε χρώμα. Οι μέγιστες μετακινήσεις ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για μέτριες (2.111 m) και εκτεταμένες βλάβες (3.116 m), (κίτρινο χρώμα), χαρακτηρίζονται ως ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ (Life safety) και δίδεται το κίτρινο χρώμα. Οι μέγιστες μετακινήσεις ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για εκτεταμένες (3.116 m) και ολοκληρωτικές βλάβες (4.713 m), (κόκκινο χρώμα), χαρακτηρίζονται ως ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ (Collapse prevention) και δίδεται το κόκκινο χρώμα. Τέλος οι μέγιστες μετακινήσεις που είναι μεγαλύτερες από την μέση μετακίνηση που αντιστοιχεί στην καμπύλη ολοκληρωτικής ζημιάς, θα χαρακτηριστούν ως ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ (Collapse) και δίδεται το μαύρο χρώμα. Επίσης παρατίθενται διαγράμματα στα οποία παρουσιάζονται οι τέσσερις καμπύλες τρωτότητας και η καμπύλη που αντιστοιχεί στην διαρροή της κατασκευής, καθώς επίσης για κάθε σεισμική διέγερση δίνεται γραφικά η μέγιστη μετακίνηση της κορυφής του κτιρίου με το ανάλογο χρώμα. Στο εξής με τον όρο μετακίνηση θα αναφερόμαστε στην μέγιστη μετακίνηση της κατασκευής. Τα αποτελέσματα δίνονται κατά αύξουσα σειρά μεγέθους σεισμού.

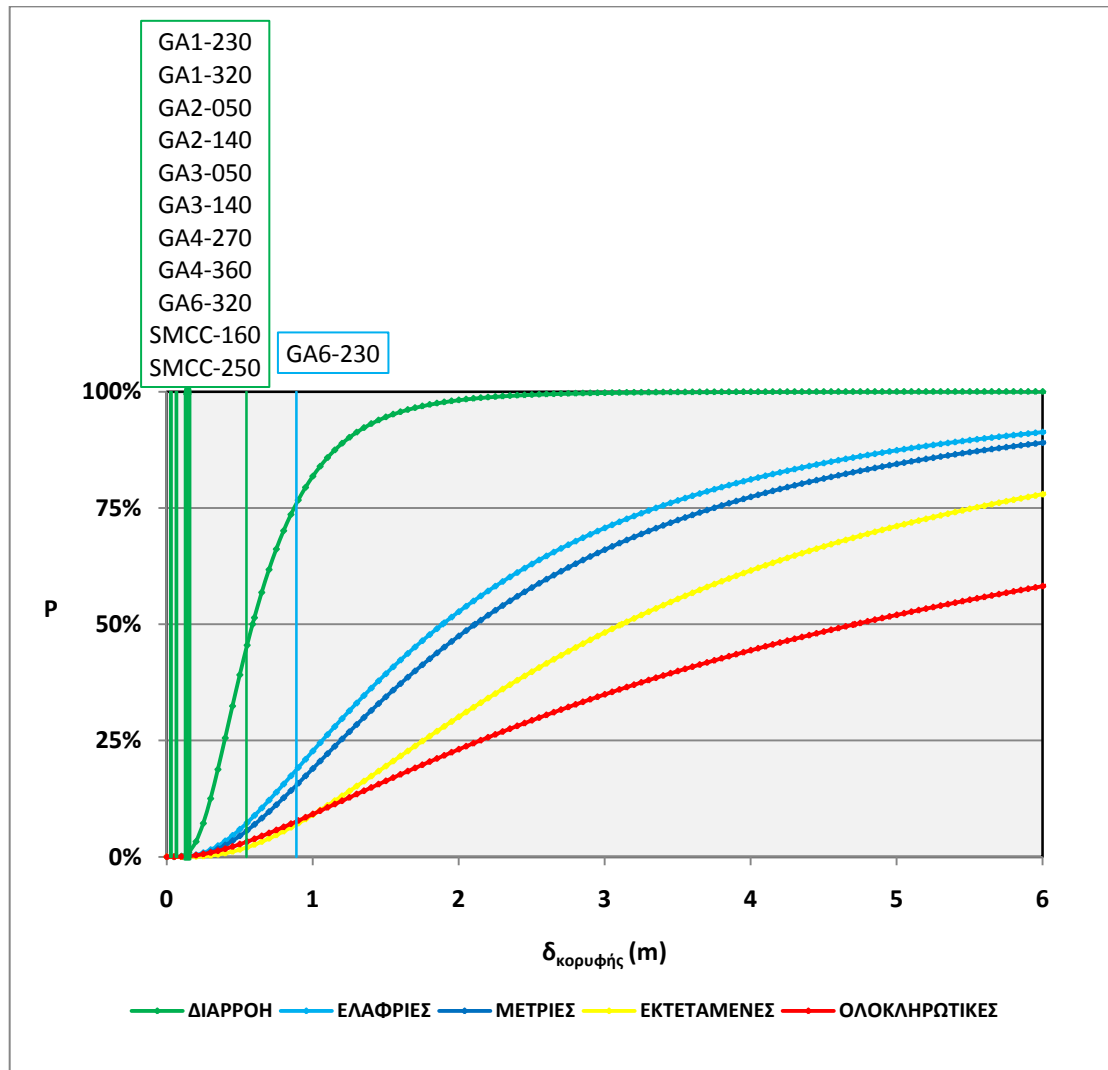
### 5.2.1 COYOTE LAKE, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
GA1 - 230	F	9	0.02311	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA1 - 320	F	9	0.06361	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA2 - 050	F	7.2	0.06984	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA2 - 140	F	7.2	0.15990	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA3 - 050	F	5.1	0.12370	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA3 - 140	F	5.1	0.14290	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA4- 270	F	3.5	0.13680	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ



GA4 - 360	F	3.5	0.14270	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA6 - 230	F	1.2	0.88770	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
GA6 - 320	F	1.2	0.54640	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SMCC - 160	B	0.2	0.03320	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SMCC - 250	B	0.2	0.06361	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.1: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή COYOTE LAKE.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή COYOTE LAKE. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή Coyote Lake της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (8/6/1979) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=5.6$ . Όλες οι σεισμικές διεγέρσεις διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα), εκτός από την καταγραφή GA6-230 που η μετακίνησή της βρίσκεται ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα). Η τοποθεσία του σταθμού GA6 βρίσκεται σε μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (1.2 km) και αντιστοιχεί σε θέση έμπροσθεν κατευθυντικότητας, γεγονός που δικαιολογεί ότι από το συγκεκριμένο

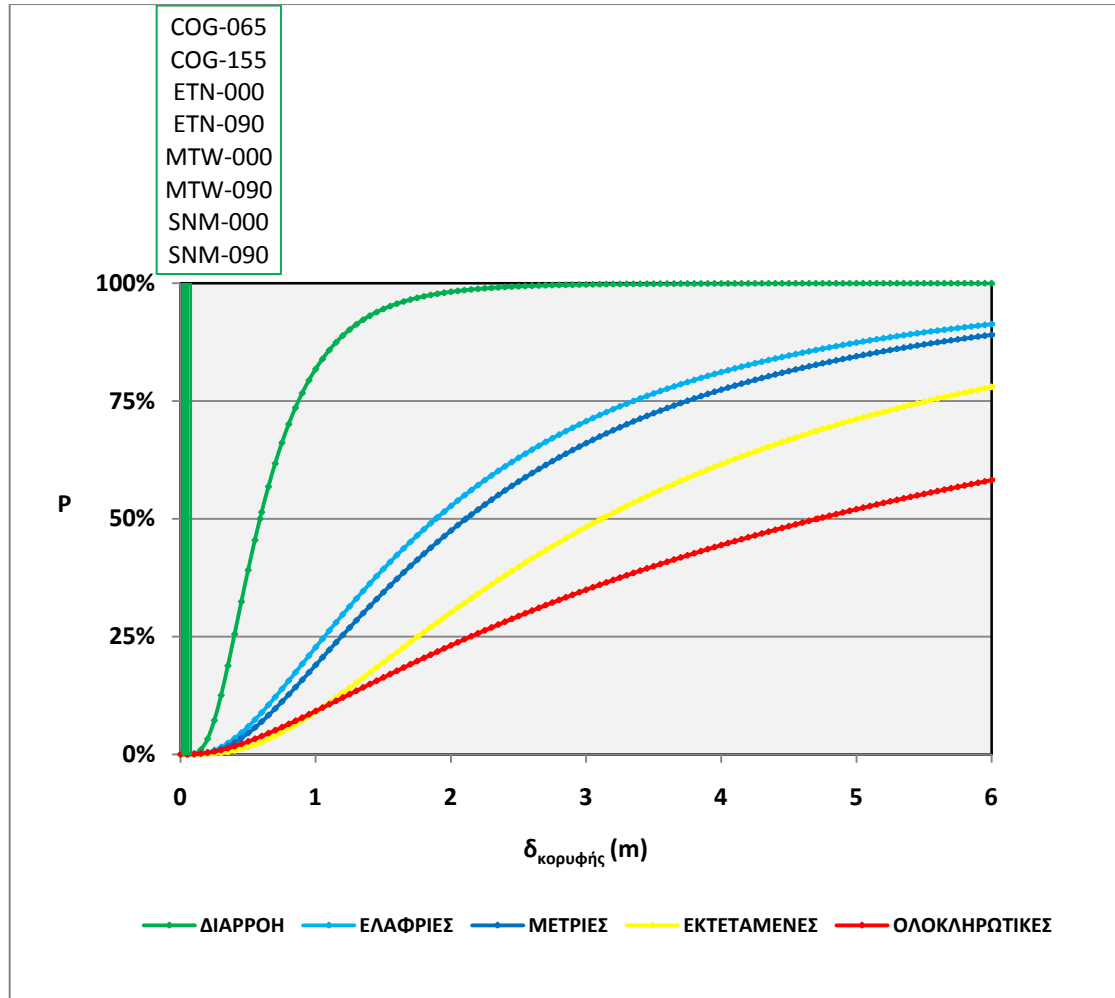
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

σταθμό έχουμε τις μέγιστες μετακινήσεις. Οι καταγραφές του σταθμού SMCC μας δίνουν μικρές μετακινήσεις καθώς είναι όπισθεν κατευθυντικότητας, παρόλο που ο σταθμός βρίσκεται μόλις 0.2 km από το ίχνος του ρήγματος. Οι υπόλοιποι σταθμοί αν και είναι έμπροσθεν κατευθυντικότητας εμφανίζουν μικρές μετακινήσεις καθώς απέχουν αρκετά μεγαλύτερη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος σε σχέση με τον GA6. Σε ότι αφορά τον σταθμό GA6, η 230° συνιστώσα δίνει μετατόπιση κορυφής 0.8877 m ενώ η 320° συνιστώσα δίνει 0.5464 m παρόλο που και οι δύο καταγραφές προέρχονται από τον ίδιο σταθμό. Αυτή η διαφορά πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι η GA6-230 κατέγραψε την κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα της σεισμικής δόνησης (ισχυρή) ενώ η GA6-320 κατέγραψε την παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα (ασθενής). Επομένως γίνεται κατανοητή και η σπουδαιότητα που έχει η κατεύθυνση της καταγραφής, πέρα από τη σημασία της κατευθυντικότητας και της απόστασης από το ρήγμα.

### 5.2.2 SIERRA MADRE, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
COG - 065	F	9.4	0.02229	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
COG - 155	F	9.4	0.05765	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ETN - 000	F	9.6	0.07586	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ETN - 090	F	9.6	0.01771	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
MTW - 000	F	11.9	0.04066	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
MTW - 090	F	11.9	0.02661	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SNM - 000	F	15.6	0.02875	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SNM - 090	F	15.6	0.01939	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

**Πίνακας 5.2: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή SIERRA MADRE, CA, USA.**



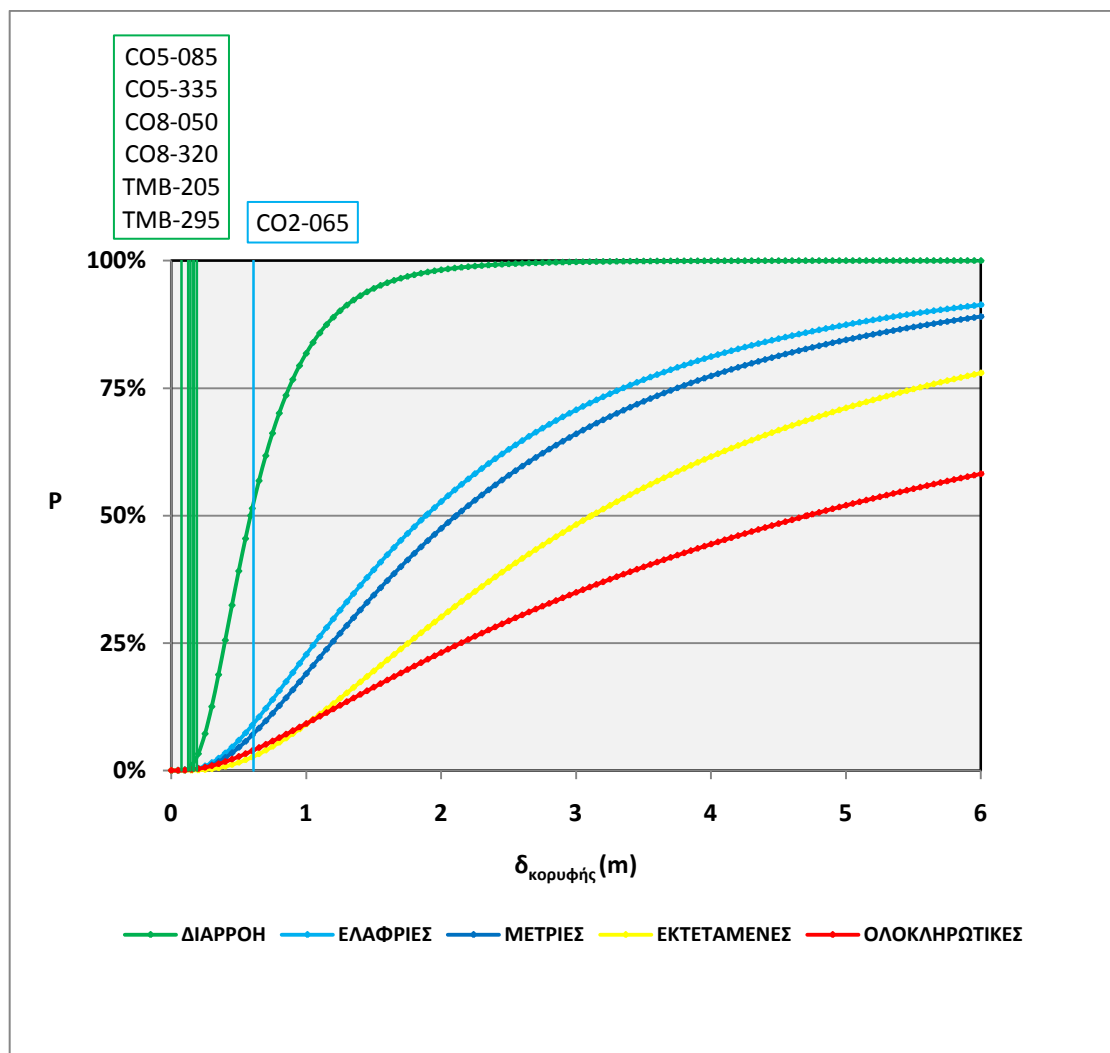
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή SIERRA MADRE, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή SIERRA MADRE της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (28/6/1991) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=5.6$ . Όλες οι σεισμικές διεγέρσεις διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) και μάλιστα καταγράφηκαν πολύ μικρές μετακινήσεις. Παρόλο, δηλαδή, που οι σεισμικές διεγέρσεις εμφάνισαν όλες έμπροσθεν κατευθυντικότητα, η μεγάλη απόσταση των σταθμών από την επιφάνεια του ρήγματος σε συνδυασμό με το μεσαίο μέγεθος της σεισμικής ροπής, δικαιολογούν τις χαμηλές τιμές των μετακινήσεων κορυφής. Άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση η κατευθυντικότητα δεν επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα. Τέλος, δεν παρατηρείται αναλογία στη σχέση απόστασης από την επιφάνεια του ρήγματος και μετακίνησης κορυφής.

### 5.2.3 PARKFIELD, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
CO2 - 065	F	0.1	0.61080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CO5 - 085	F	5.2	0.16380	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CO5 - 355	F	5.2	0.19070	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CO8 - 050	F	9.2	0.16770	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CO8 - 320	F	9.2	0.14320	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TMB - 205	F	6.5	0.07578	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TMB - 295	F	6.5	0.12610	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.3: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PARKFIELD, CA, USA.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PARKFIELD, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

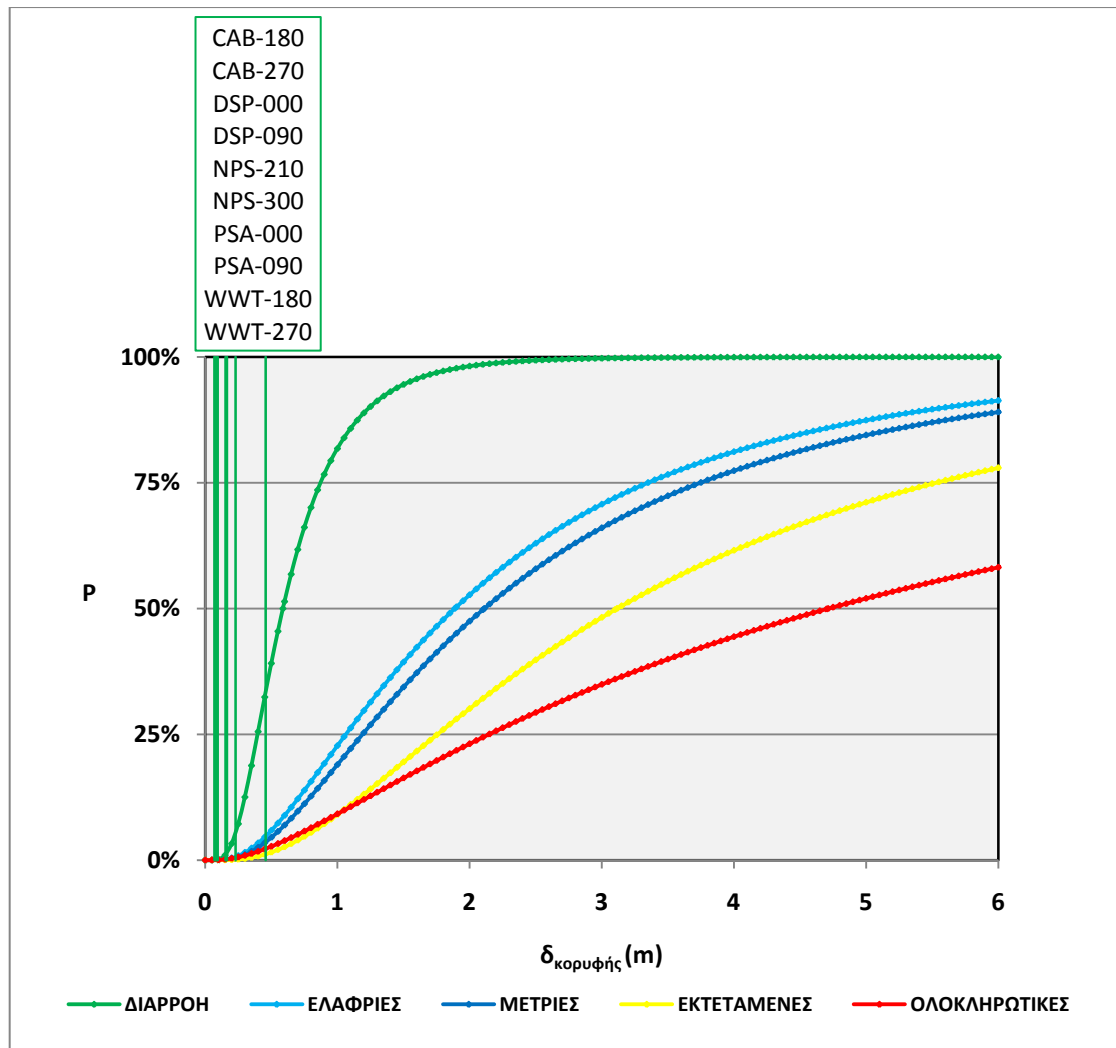
Ο σεισμός στην περιοχή PARKFIELD της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (27/6/1966) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6$ . Όλες οι σεισμικές διεγέρσεις διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) εκτός από την καταγραφή CO2-065, που η μετακίνησή της βρίσκεται ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα). Ο συγκεκριμένος σταθμός εμφανίζει έμπροσθεν κατευθυντικότητα και απέχει πολύ μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (0.1 km), γι' αυτό και εμφανίζει τη μέγιστη μετακίνηση (0.6108 m). Το γεγονός ότι οι υπόλοιπες μετακινήσεις είναι αρκετά μικρές οφείλεται στις μεγάλες αποστάσεις των σταθμών από το ίχνος του ρήγματος. Επίσης, συγκριτικά με τον σεισμό του Coyote Lake (όπου και εκεί οι αποστάσεις των σταθμών που δίδονται είναι από το ίχνος του ρήγματος), με βάση τις αποστάσεις από το ίχνος του ρήγματος θα έπρεπε να προκύπτουν μικρότερες μετακινήσεις. Αυτό όμως δεν συμβαίνει ίσως λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους της σεισμικής ροπής αυτού του σεισμού ( $M_w=5.6$  για σεισμό στην περιοχή COYOTE LAKE). Η έμπροσθεν κατευθυντικότητα που παρατηρείται δεν επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα. Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε πως το μέγεθος της σεισμικής ροπής είναι καθοριστικότερος παράγοντας από την απόσταση από το ίχνος του ρήγματος και από την κατευθυντικότητα.

#### 5.2.4 PALM SPRINGS, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
CAB - 180	F	6.0	0.07512	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CAB - 270	F	6.0	0.08954	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
DSP - 000	N	6.4	0.22980	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
DSP - 090	N	6.4	0.15780	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NPS - 210	F	4.0	0.45750	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NPS - 300	F	4.0	0.15450	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PSA - 000	F	10.8	0.08000	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PSA - 090	F	10.8	0.07041	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WWT - 180	F	6.5	0.16340	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WWT - 270	F	6.5	0.09441	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

**Πίνακας 5.4: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PALM SPRINGS, CA, USA.**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



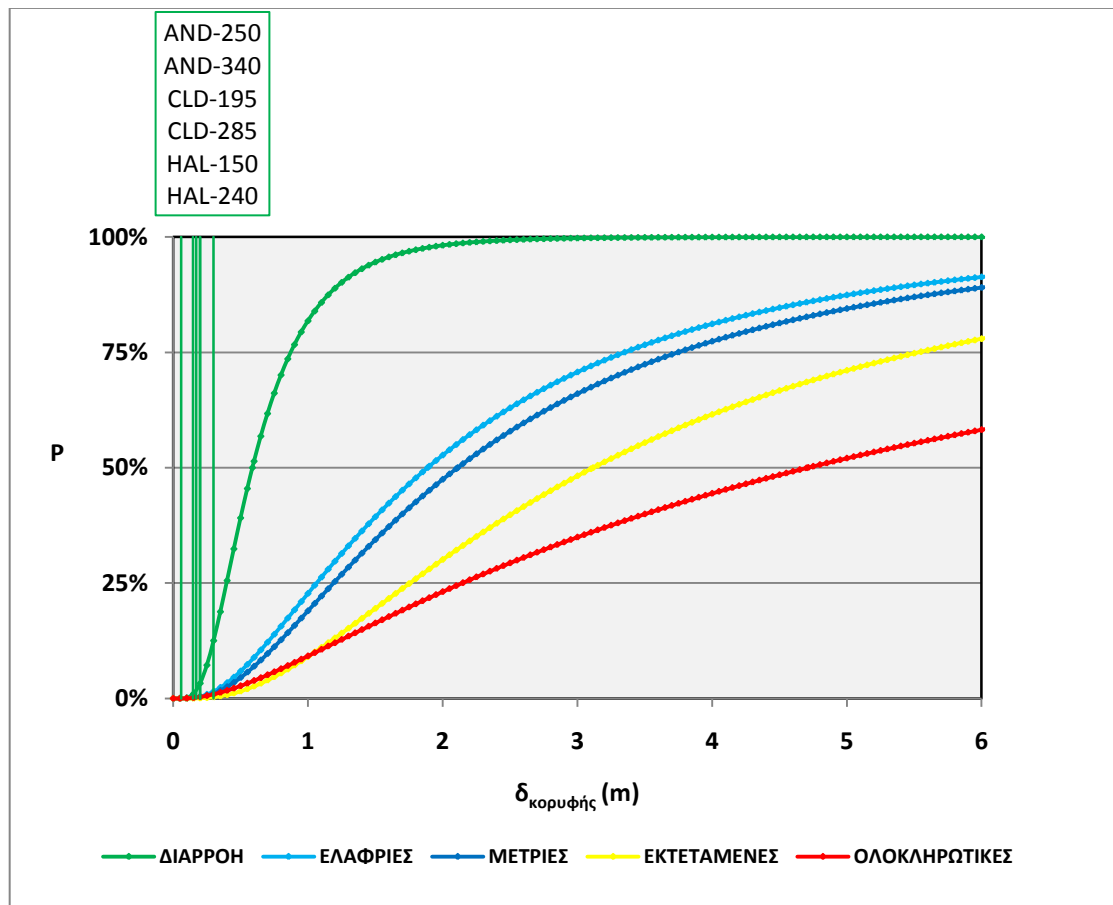
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PALM SPRINGS, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή PALM SPRINGS της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (8/7/1986) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.1$ . Όλες οι σεισμικές διεγέρσεις διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Όλοι οι σταθμοί εμφάνισαν έμπροσθεν κατευθυντικότητα εκτός από τον DPS που εμφάνισε ουδέτερη κατευθυντικότητα. Η καταγραφή NPS-210 έδωσε την μέγιστη μετακίνηση γεγονός που δικαιολογείται από την μικρή απόσταση του σταθμού από την επιφάνεια του ρήγματος (4 km) και από την έμπροσθεν κατευθυντικότητα. Η καταγραφή NPS-210 δίνει μετακίνηση κορυφής 0.4574 m ενώ η NPS-300 μόλις 0.1545 m. Η διαφορά αυτή μάλλον οφείλεται στο ότι η καταγραφή 210 κατέγραψε την κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα (ισχυρή) ενώ η 300 την παράλληλη (ασθενής). Συγκριτικά με τον σεισμό στην περιοχή SIERRA MADRE ο συγκεκριμένος σεισμός έδωσε αρκετά μεγαλύτερες μετακινήσεις εξαιτίας των μικρότερων αποστάσεων των σταθμών από την επιφάνεια του ρήγματος καθώς και λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους της σεισμικής ροπής ( $M_w=5.6$  για σεισμό στην περιοχή SIERRA MADRE).

5.2.5 MORGAN HILL, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
AND - 250	F	2.6	0.14540	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
AND - 340	F	2.6	0.17060	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CLD - 195	F	0.1	0.29800	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CLD - 285	F	0.1	0.19920	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
HAL - 150	B	2.00	0.05959	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
HAL - 240	B	2.00	0.19850	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.5: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή MORGAN HILL, CA, USA.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή MORGAN HILL, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή MORGAN HILL της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (24/4/1984) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.2$ . Όλες οι σεισμικές διεγέρσεις διατήρησαν την κατασκευή στον ελαστικό κλάδο (πράσινο χρώμα) αν και οι σταθμοί απείχαν μικρές αποστάσεις από το ίχνος του ρήγματος και ήταν έμπροσθεν κατευθυντικότητας, εκτός από τον σταθμό HAL που εμφάνισε όπισθεν κατευθυντικότητα. Ο σταθμός CLD δίνει τις μεγαλύτερες τιμές μετακινήσεων καθώς αντιστοιχεί σε θέση έμπροσθεν

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

κατευθυντικότητας και απέχει τη μικρότερη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (0.1 km). Η καταγραφή HAL-150 εύλογα δίνει πολύ μικρή μετακίνηση σε σχέση με τις άλλες καθώς είναι όπισθεν κατευθυντικότητας. Επίσης αν συγκρίνουμε τις καταγραφές έμπροσθεν κατευθυντικότητας αυτού του σεισμού με εκείνες του σεισμού στην περιοχή PARKFIELD θα καταλήξουμε σε αναντιστοιχία των μετακινήσεων αυτού του σεισμού (μικρότερες μετακινήσεις από του σεισμού PARKFIELD) με τους παράγοντες της απόστασης των σταθμών από το ίχνος του ρήγματος (μικρότερες σε αυτό το σεισμό) και του μεγέθους της σεισμικής ροπής (μεγαλύτερη σε αυτό το σεισμό).

**5.2.6 IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979**

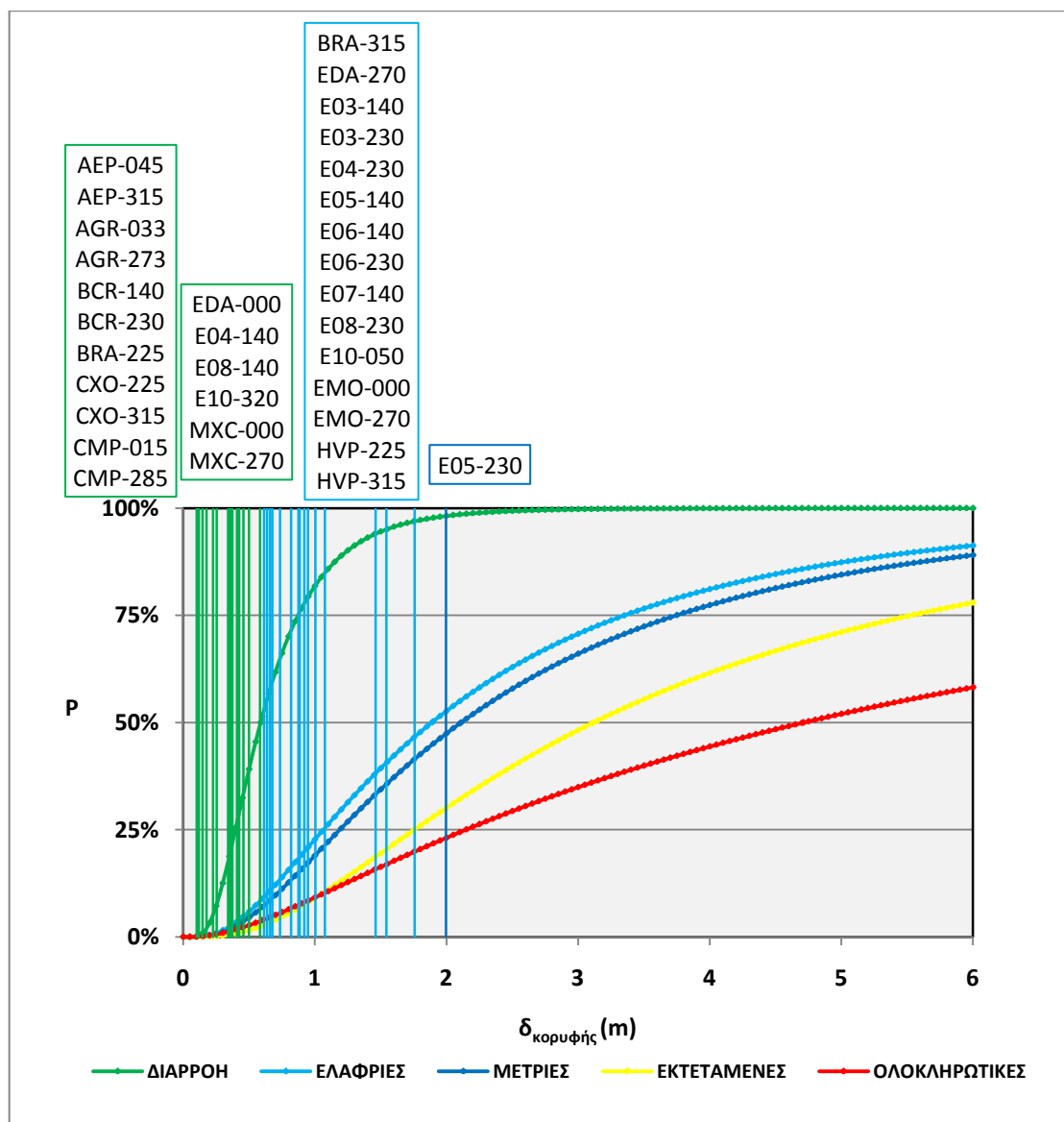
ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΑΕΡ - 045	F	0.4	0.4235	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΑΕΡ - 315	F	0.4	0.1022	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΑGR - 033	N	0.6	0.3629	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΑGR - 273	N	0.6	0.4081	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
BCR - 140	F	2.0	0.3720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
BCR - 230	F	2.0	0.2540	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
BRA - 225	F	8.2	0.3496	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
BRA - 315	F	8.2	0.6595	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CXO - 225	N	11.0	0.3539	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CXO - 315	N	11.0	0.1772	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CMP - 015	B	15.5	0.2253	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CMP - 285	B	15.5	0.1176	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
EDA - 000	F	6.3	0.4567	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
EDA - 270	F	6.3	0.9479	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E03 - 140	F	11.7	0.6130	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E03 - 230	F	11.7	0.6757	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E04 - 140	F	6.0	0.3394	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
E04 - 230	F	6.0	1.4620	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E05 - 140	F	2.7	0.7358	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E05 - 230	F	2.7	1.9960	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
E06 - 140	F	0.3	0.9203	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E06 - 230	F	0.3	1.7570	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E07 - 140	F	1.8	0.6368	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E08 - 140	F	5.0	0.5002	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ



ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ

E08 - 230	F	5.0	0.8747	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
E10 - 320	F	9.6	0.5824	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
E10 - 050	F	9.6	1.0040	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
EMO - 000	F	1.2	0.8191	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
EMO - 270	F	1.2	1.5440	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
MXC - 000	N	10.4	0.1087	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
MXC - 270	N	10.4	0.1472	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
HVP - 225	F	6.9	0.8838	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
HVP - 315	F	6.9	1.0770	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 5.6: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεσιμότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή IMPERIAL VALLEY, CA, USA, 1979.**

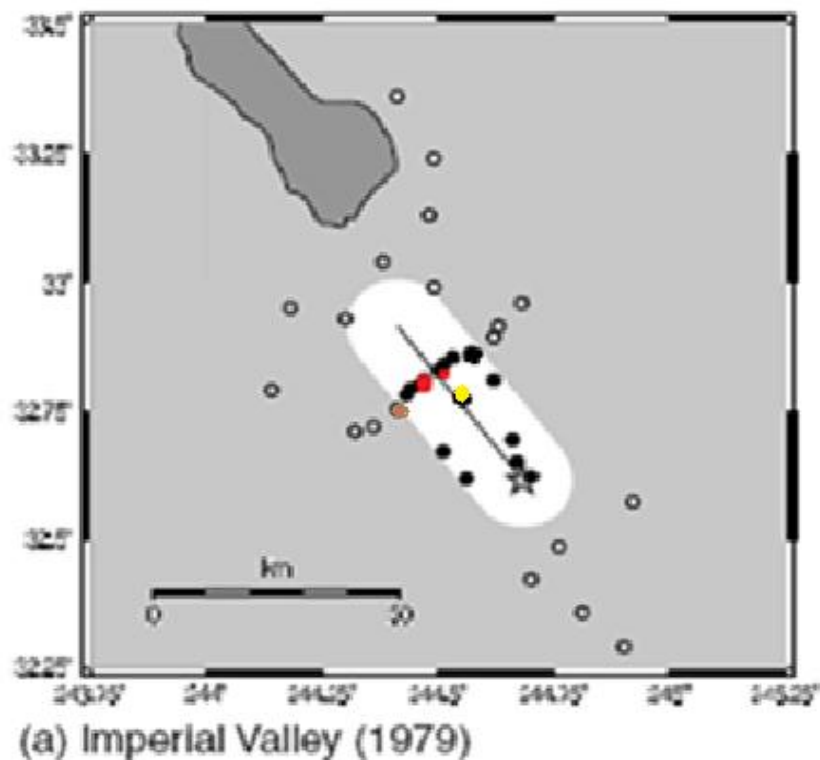


**Σχήμα 5.6: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IMPERIAL VALLEY, CA, USA, 1979. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2)**

Ο σεισμός στην περιοχή IMPERIAL VALLEY της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (15/10/1979) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.4$ . Οι περισσότεροι σταθμοί βρίσκονταν σε θέσεις που εμφάνισαν εμπροσθεν κατευθυντικότητα εκτός από τον CMP, που εμφάνισε όπισθεν, και τους AGR, CXO, MXC που εμφάνισαν ουδέτερη κατευθυντικότητα. Περίπου ίσος αριθμός καταγραφών βρίσκεται στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) και στην περιοχή ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα). Η καταγραφή E05-230 εμφάνισε τη μεγαλύτερη μετακίνηση (2 m) και βρίσκεται ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για ελαφριές και μέτριες βλάβες (μπλε χρώμα). Αυτό δηλώνει πως η πιθανότητα υπέρβασης της στάθμης ελαφριών ζημιών είναι μεγαλύτερη από 50%, και αυτή της άμεσης χρήσης μικρότερη από 50%. Στη μεγάλη μετακίνηση της καταγραφής E05-230 συνετέλεσαν η σχετικά μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (2.7 km), η εμπροσθεν κατευθυντικότητα και η μεσαίου μεγέθους σεισμική ροπή. Οι επόμενες δύο καταγραφές με μεγάλες μετακινήσεις είναι η E06-230 και η EMO-270, επηρεαζόμενες πάλι από την μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (0.3 km και 1.2 km αντίστοιχα) και την εμπροσθεν κατευθυντικότητα. Πρέπει να αναφερθεί πως οι καταγραφές 230° βρίσκονται κάθετα στο ρήγμα και συνεπώς επηρεάζονται από ισχυρή εμπροσθεν κατευθυντικότητα. Οι παράλληλες προς το ίχνος του ρήγματος καταγραφές E06-140, E05-140 έδωσαν μετακινήσεις μειωμένες περίπου κατά 50% σε σχέση με τις κάθετες στο ρήγμα καταγραφές των ίδιων σταθμών. Τέλος, παρατηρούμε πως οι σταθμοί που εμφάνισαν ουδέτερη και όπισθεν κατευθυντικότητα διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή και μάλλον δεν επηρεάστηκαν πολύ από την απόσταση τους από το ίχνος του ρήγματος (χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο σταθμός AGR, με ουδέτερη κατευθυντικότητα και απόσταση μόλις 0.6 km από το ίχνος του ρήγματος). Συγκριτικά με προαναφερθέντες σεισμούς, ο συγκεκριμένος εμφανίζει ισχυρότερες βλάβες λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους της σεισμικής ροπής.

Παρακάτω δίδεται ο Χάρτης 5.1 για την καλύτερη κατανόηση της διαφοροποίησης των μετακινήσεων. Το ρήγμα είναι οριζόντιας ολίσθησης. Ο σταθμός CMP που εμφανίζει όπισθεν κατευθυντικότητα πιθανότατα είναι αυτός δίπλα στο επίκεντρο. Ως γνωστόν τα σημαντικότερα αποτελέσματα εμπρόσθιας κατευθυντικότητας προκύπτουν από τις μικρότερες γωνίες μεταξύ της εξεταζόμενης περιοχής και του ρήγματος και για τα μεγαλύτερα μέρη του διερρηγμένου ρήγματος μεταξύ της θέσης και επικέντρου. Επειδή παρατηρείται μια σειρά σταθμών να βρίσκεται πάνω σε μια νοητή κάθετη ευθεία στο ρήγμα (δηλαδή όλοι αυτοί οι σταθμοί απέχουν ίδια  $s$  από το επίκεντρο, βλέπε Σχήμα 2.6) , άρα με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως ο σταθμός από αυτούς που είναι πιο κοντά στο ρήγμα (μικρότερη γωνία  $\theta$  μεταξύ του σταθμού και του ρήγματος) θα εμφανίσει τη μεγαλύτερη εμπρόσθια κατευθυντικότητα και άρα τη μεγαλύτερη μετακίνηση. Άρα οι σταθμοί των καταγραφών με τις μεγαλύτερες μετακινήσεις E05-230, E06-230 είναι αυτοί που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα. Οι υπόλοιποι σταθμοί με εμπροσθεν κατευθυντικότητα και μεγαλύτερες αποστάσεις από το ρήγμα εμφανίζουν μικρότερες μετακινήσεις κορυφής. Η καταγραφή E03-230 η πιο απομακρυσμένη από το ρήγμα (11.7 km) έδωσε μετακίνηση μόλις 0.6757 m, σχεδόν το ένα τρίτο της μετακίνησης της καταγραφής E05-230 (πιθανή θέση απεικονίζεται με καφέ κουκίδα).

Από τον πίνακα παρατηρούμε πως υπάρχουν καταγραφές έμπροσθεν κατευθυντικότητας που απέχουν μικρότερη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος σε σχέση με την καταγραφή E05-230 και παρόλα αυτά εμφανίζουν μικρότερη μετακίνηση. Αυτές οι καταγραφές πιθανότατα απέχουν αρκετά μικρότερη απόσταση  $s$  από το επίκεντρο σε σχέση με την E05-230 και άρα η έμπροσθεν κατευθυντικότητα είναι πιο ασθενής. Βέβαια η γωνία  $\theta$  είναι μικρότερη και άρα μεγαλύτερη έμπροσθεν κατευθυντικότητα, αλλά ο παράγοντας της απόστασης  $s$  είναι πιο ισχυρός. Έτσι παρόλο που βρίσκονται πιο κοντά στο ρήγμα βρίσκονται πιο κοντά και στο επίκεντρο δηλαδή η έμπροσθεν κατευθυντικότητα δεν είναι τόσο ισχυρή, γι' αυτό και προκύπτουν μικρές μετακινήσεις. Μια τέτοια θέση σημειώνεται με την κίτρινη κουκίδα (Χάρτης 5.1).

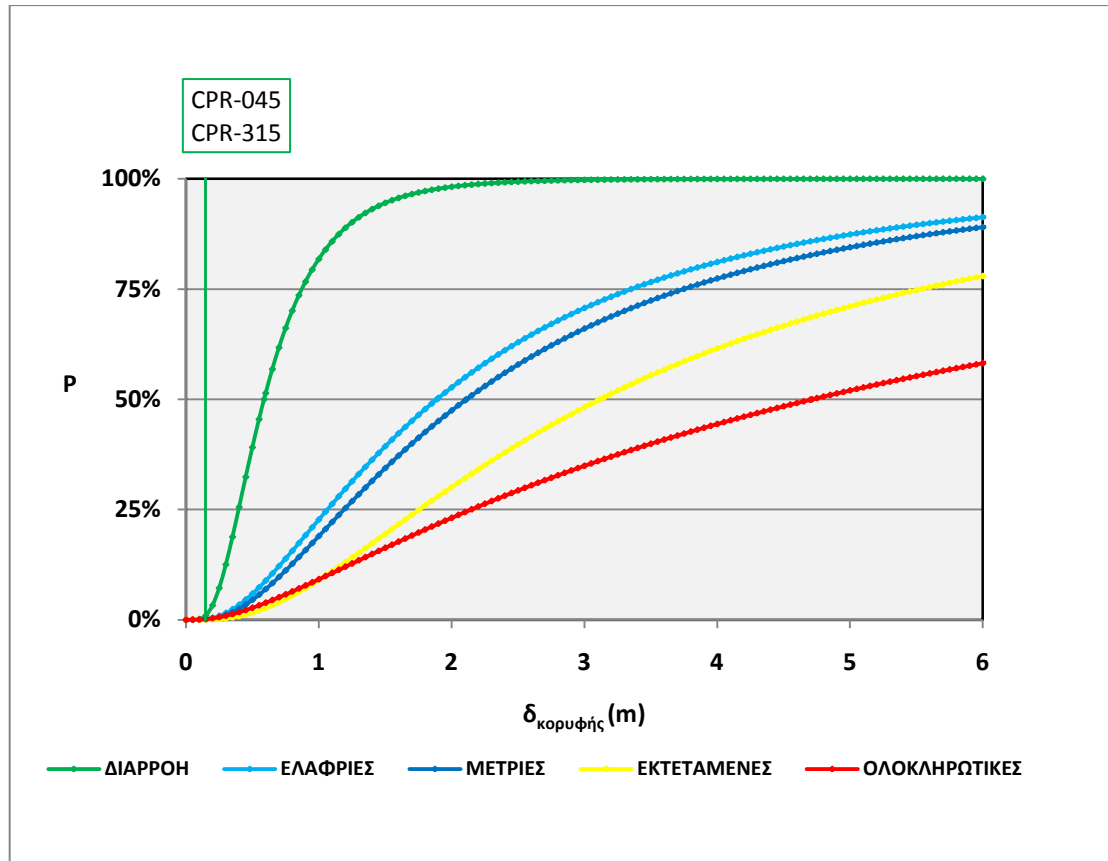


**Χάρτης 5.1:** Θέσεις των σταθμών σε σχέση με το ρήγμα του σεισμού στην περιοχή IMPERIAL VALLEY, CA, USA, 1979. Με λευκό χρώμα είναι η περιοχή με απόσταση μικρότερη από 10 km από το ίχνος του ρήγματος.

### 5.2.7 MEXICALI VALLEY, MEXICO

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
CPR – 045	F	6.50	0.1462	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CPR – 315	F	6.50	0.1456	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.7: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή MEXICALI VALLEY, MEXICO.



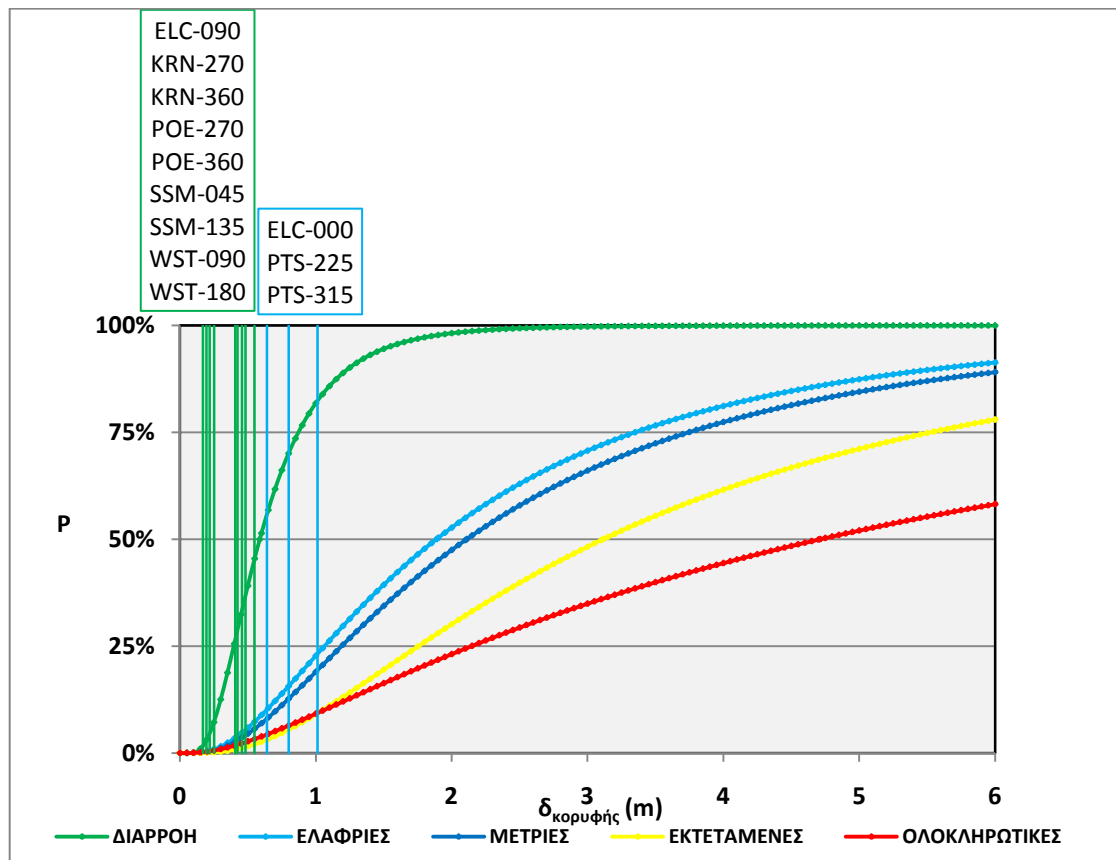
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή MEXICALI VALLEY, MEXICO. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή MEXICALI VALLEY στο Μεξικό (9/6/1980) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.4$ . Από τις καταγραφές προέκυψε πως η κατασκευή διατηρήθηκε στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) παρόλο που το μέγεθος της σεισμικής ροπής ήταν μεσαίο και εμφανίστηκε έμπροσθεν κατευθυντικότητα. Το στοιχείο που επικράτησε ήταν η μεγάλη απόσταση του σταθμού από το ίχνος του ρήγματος (6.5 km), γι' αυτό και εμφανίστηκαν τόσο μικρές μετακινήσεις στην κατασκευή.

5.2.8 SUPERSTITION HILLS, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δοκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ELC - 000	F	13.6	0.6415	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ELC - 090	F	13.6	0.4563	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
KRN - 270	N	17.8	0.2179	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
KRN - 360	N	17.8	0.2512	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PTS - 225	F	0.7	1.0120	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PTS - 315	F	0.7	0.7997	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
POE - 270	N	10.7	0.4062	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
POE - 360	N	10.7	0.4239	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SSM - 045	N	5.7	0.1942	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SSM - 135	N	5.7	0.1683	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WST - 090	F	13.2	0.4829	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WST - 180	F	13.2	0.5497	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.8: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή SUPERSTITION HILLS, CA, USA.



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή SUPERSTITION HILLS, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

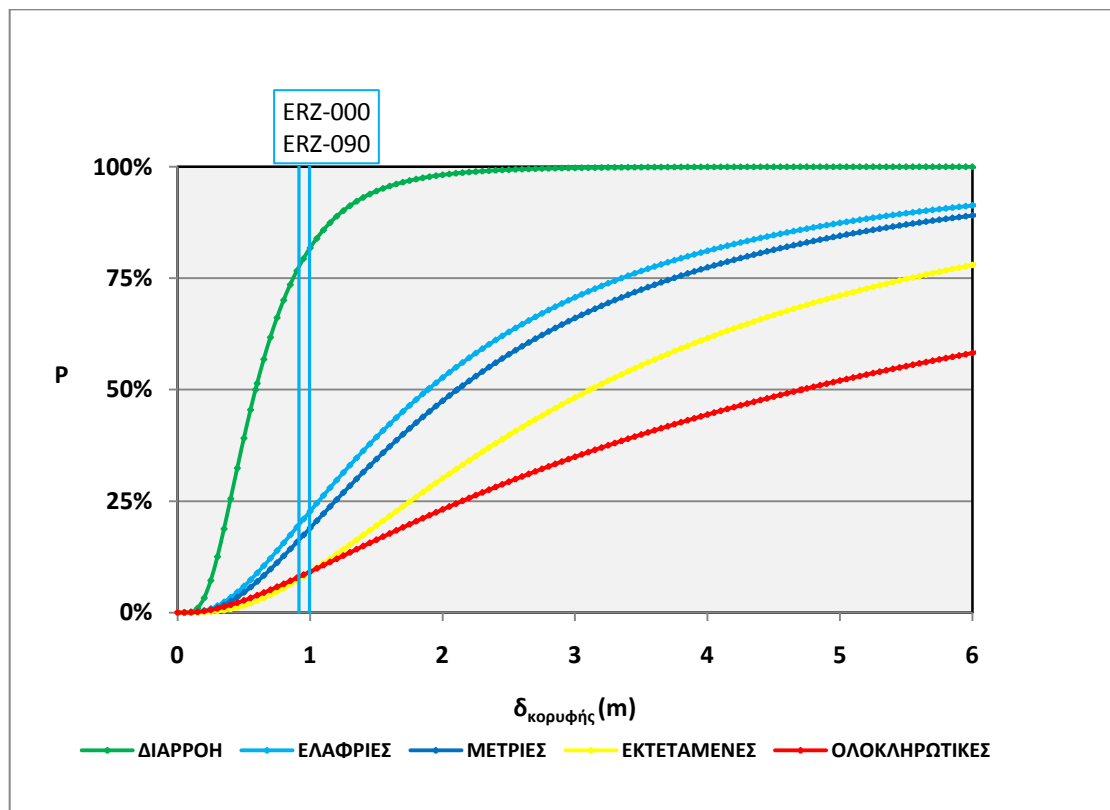
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Ο σεισμός στην περιοχή SUPERSTITION HILLS της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (24/11/1987) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.4$ . Οι καταγραφές ELC-000, PTS-225, PTS-315 έδωσαν μετακινήσεις που βρίσκονται ανάμεσα στην καμπύλη διαρροής και στην καμπύλη για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα). Οι υπόλοιπες διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Οι σταθμοί KRN, POE, SSM είναι λογικό να έδωσαν μικρές μετακινήσεις αφού εμφανίζουν ουδέτερη κατευθυντικότητα. Ο σταθμός που δίνει τις μέγιστες μετακινήσεις είναι ο PTS, αφού απέχει τη μικρότερη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (0.7 km) και εμφανίζει έμπροσθεν κατευθυντικότητα. Η διαφορά που παρατηρείται στις μετακινήσεις των καταγραφών PTS-225 (1.012 m) και PTS-315 (0.7997 m) οφείλεται στο ότι η 225 αντιστοιχεί στην καταγραφή της κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας (ισχυρή) ενώ η 315 αντιστοιχεί στην παράλληλη προς το ρήγμα συνιστώσα (ασθενής).

### 5.2.9 ERZINCAN, TURKEY

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δοκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ERZ - 000	F	2	0.9171	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ERZ - 090	F	2	0.9965	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 5.9: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή ERZINCAN, TURKEY



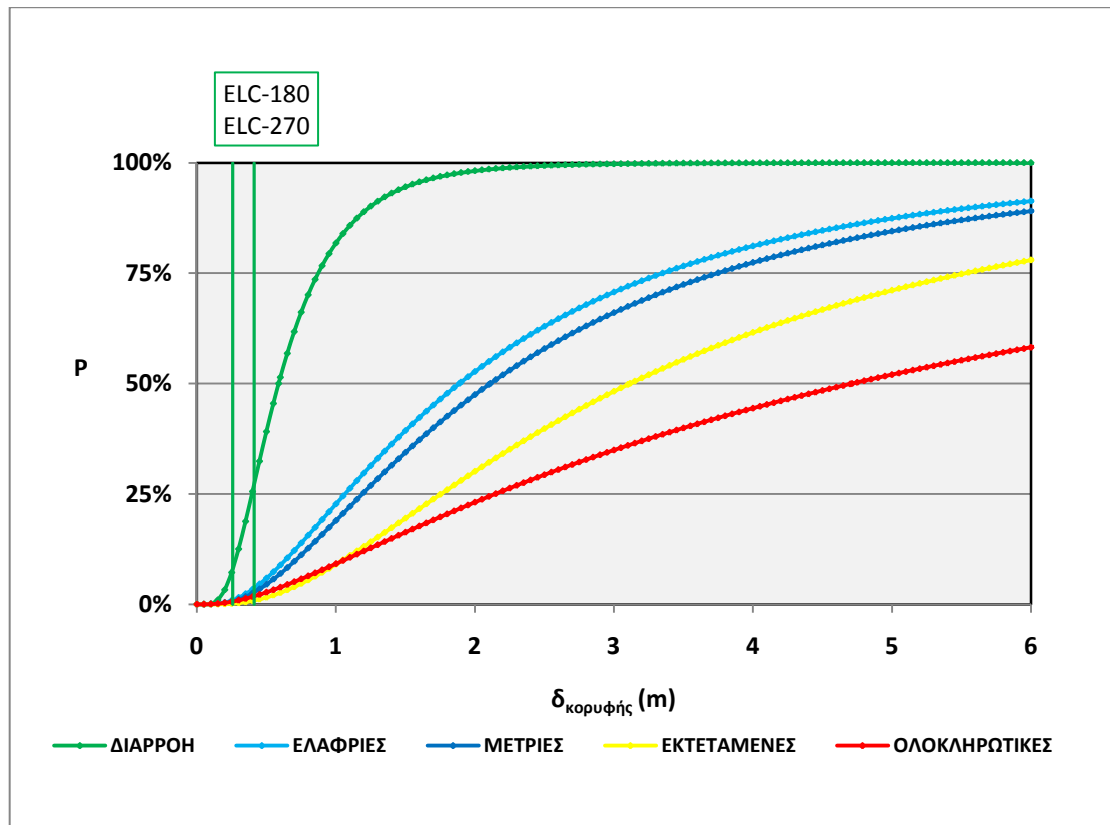
Σχήμα 5.9: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή ERZINCAN, TURKEY. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή ERZINCAN της Τουρκίας (13/3/1992) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.6$ . Ο σταθμός ERZ αντιστοιχεί σε θέση έμπροσθεν κατευθυντικότητας και η απόστασή του από το ρήγμα είναι μικρή (2 km). Αυτά τα στοιχεία σε συνδυασμό με το μεγάλο μέγεθος της σεισμικής ροπής δικαιολογούν τις μεγάλες μετακινήσεις, και τοποθετούν την κατασκευή ανάμεσα στην καμπύλη της διαρροής και στην καμπύλη για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα).

### 5.2.10 IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ELC - 180	B	8	0.2580	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ELC - 270	B	8	0.4118	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.10: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940.



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

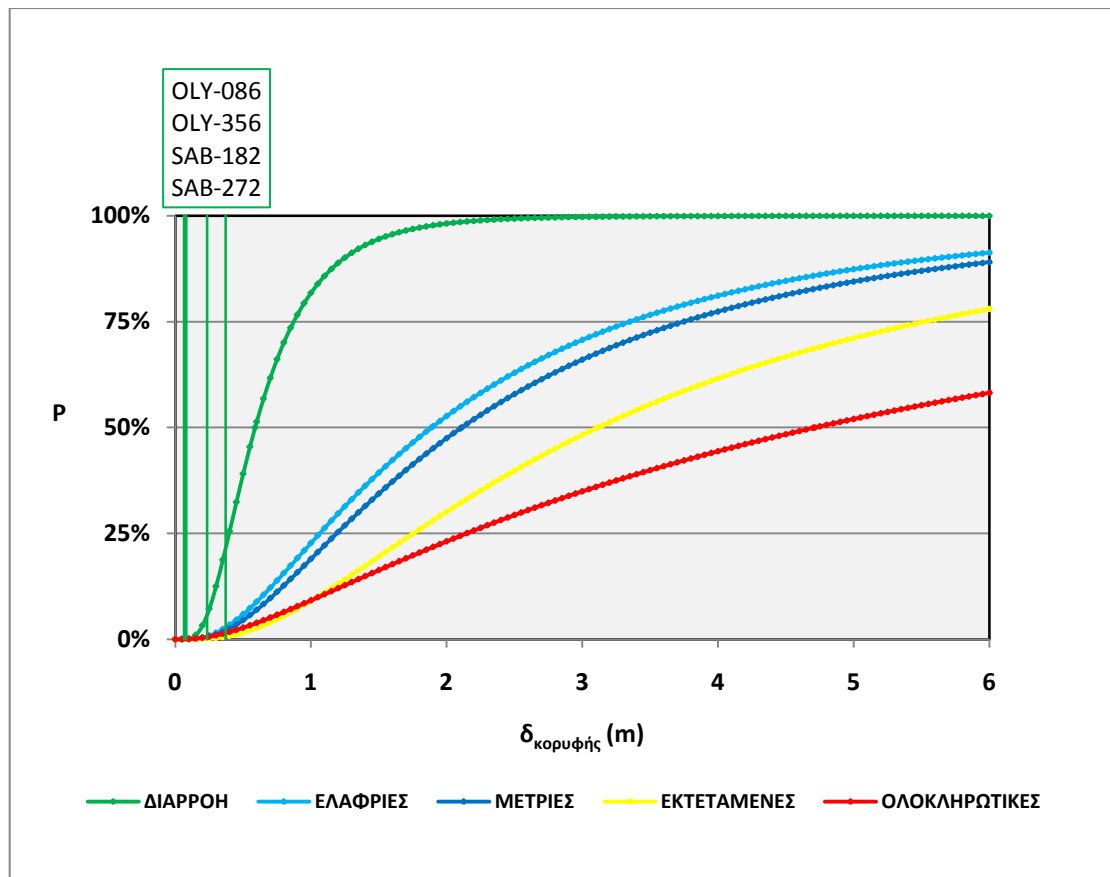
Ο σεισμός στην περιοχή IMPERIAL VALLEY της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (19/5/1940) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.6$ . Ο σταθμός ELC βρισκόταν σε θέση που εμφάνισε όπισθεν κατευθυντικότητα και απείχε αρκετά μεγάλη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος. Για τους παραπάνω λόγους οι μετακινήσεις που καταγράφηκαν ήταν μικρές και διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Σε σύγκριση με προηγούμενους σεισμούς εμφανίζει σχετικά

μεγαλύτερες μετακινήσεις αυτός ο σεισμός και αυτό οφείλεται και στο μεγαλύτερο μέγεθος της σεισμικής ροπής.

### 5.2.11 OLYMPIA WA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
OLY - 086	-	56	0.37100	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
OLY - 356	-	56	0.23530	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SAB - 182	-	83	0.06413	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SAB - 272	-	83	0.08095	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.11: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή OLYMPIA WA, USA.



Σχήμα 5.11: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή OLYMPIA WA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

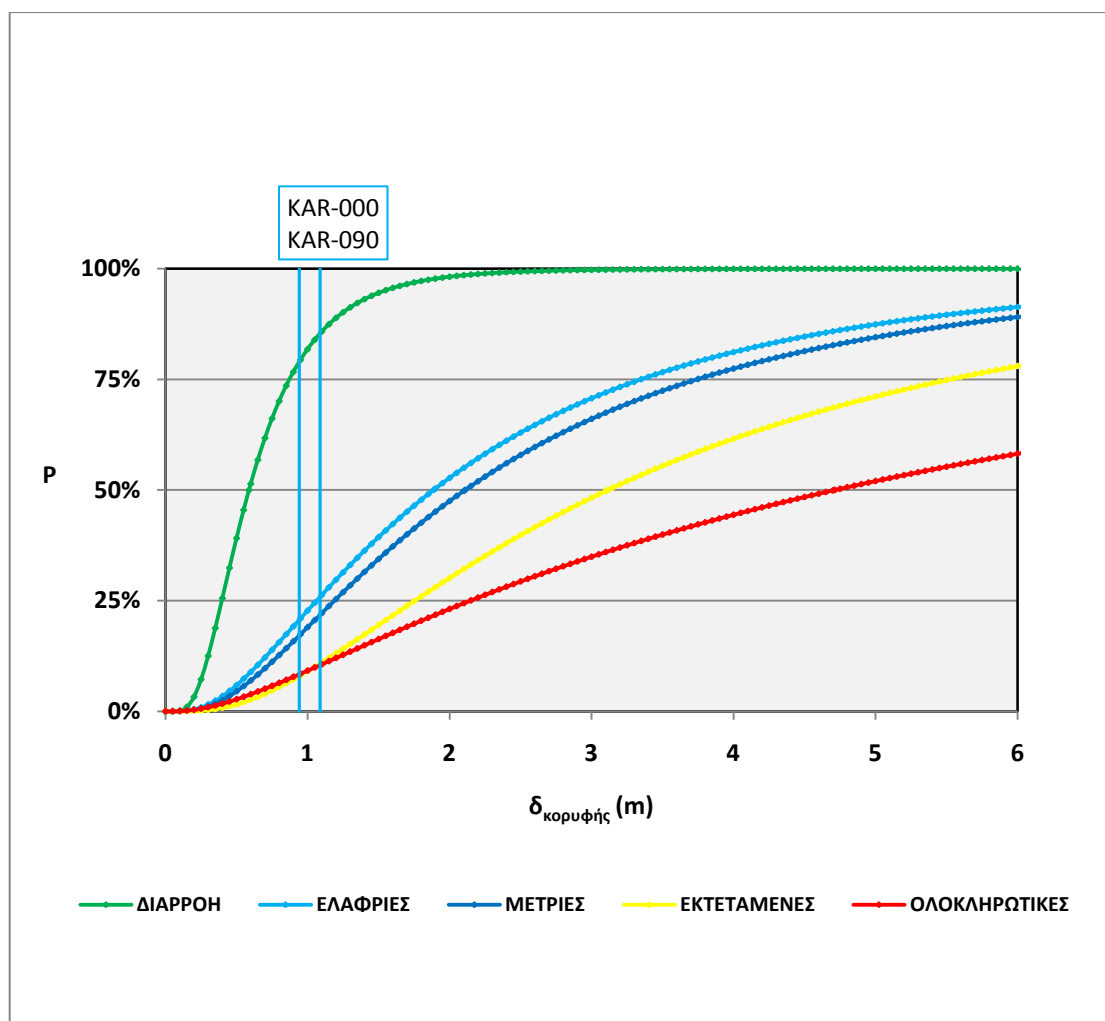
Ο σεισμός στην περιοχή OLYMPIA των ΗΠΑ (13/4/1949) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.6$ . Λόγω της πολύ μεγάλης απόστασης των σταθμών OLY και SAB από το ρήγμα καταγράφηκαν μικρές μετακινήσεις που διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Η κατευθυντικότητα δεν είναι γνωστή.



### 5.2.12 GAZLI, USSR

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δοκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
KAR - 000	N	3	1.0880	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KAR - 090	N	3	0.9423	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 5.12: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή GAZLI, USSR.



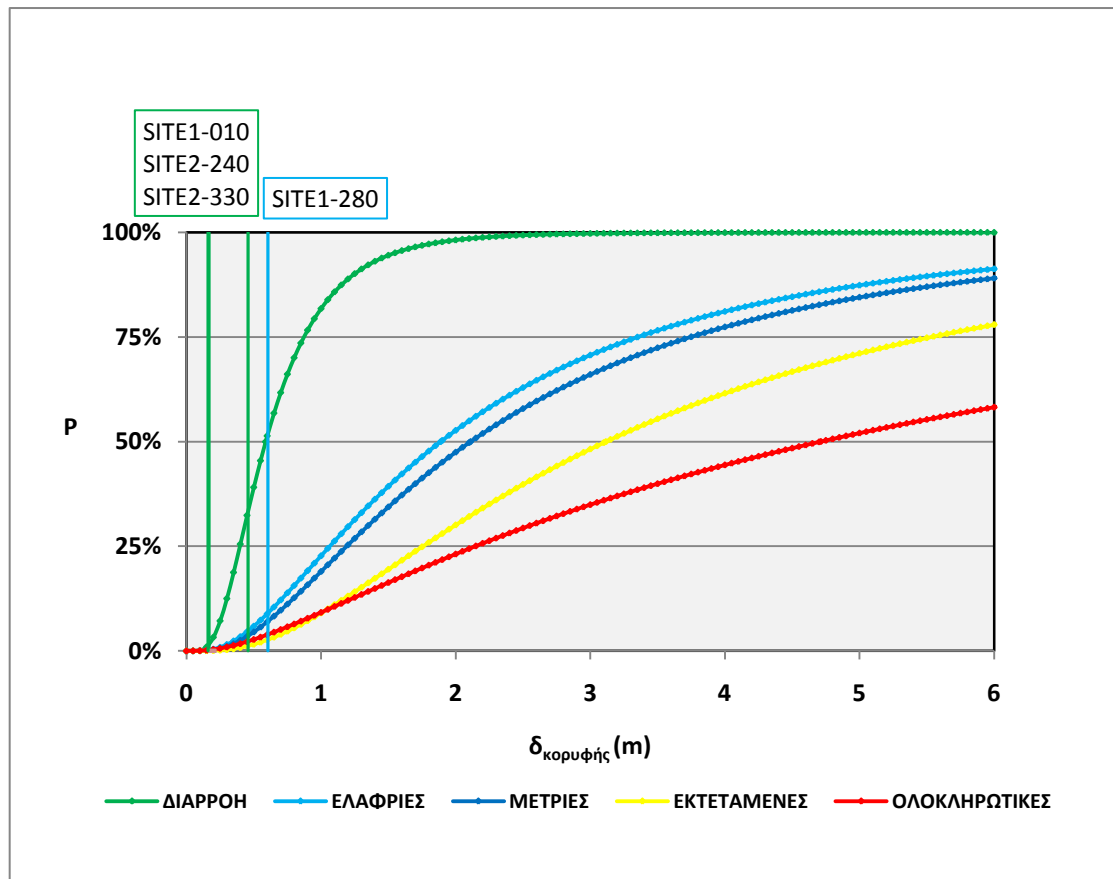
Σχήμα 5.12: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή GAZLI, USSR. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή GAZLI της Σοβιετικής Ένωσης (17/5/1976) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.7$ . Οι τιμές των μετακινήσεων είναι αρκετά μεγάλες, ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα), γεγονός που οφείλεται στην μικρή απόσταση του σταθμού KAR από το ρήγμα και στην μεγάλη ένταση του σεισμού, παρά το ότι βρισκόταν σε θέση που εμφάνισε ουδέτερη κατευθυντικότητα.

### 5.2.13 NAHANNI, CANADA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
SITE 1 - 010	N	9.4	0.4574	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SITE 1 - 280	N	9.4	0.6045	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SITE 2 - 240	N	5.2	0.1676	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SITE 2 - 330	N	5.2	0.1608	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

**Πίνακας 5.13: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή NAHANNI, CANADA.**



**Σχήμα 5.13: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή NAHANNI, CANADA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).**

Ο σεισμός στην περιοχή NAHANNI στον Καναδά (23/12/1985) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.7$ . Ο σταθμός SITE2 και η καταγραφή SITE1-010 διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Ο SITE1-280 κατέγραψε μετακίνηση που αντιστοιχεί ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα), βέβαια πολύ κοντά στην καμπύλη διαρροής. Η ουδέτερη κατευθυντικότητα, η απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος και η ένταση του σεισμού επηρέασαν τα αποτελέσματα. Άξιο παρατήρησης είναι ότι παρόλο που ο σταθμός SITE2 βρίσκεται σε πιο κοντινή απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος σε σχέση με τον SITE1, παρουσιάζει μικρότερες μετακινήσεις.

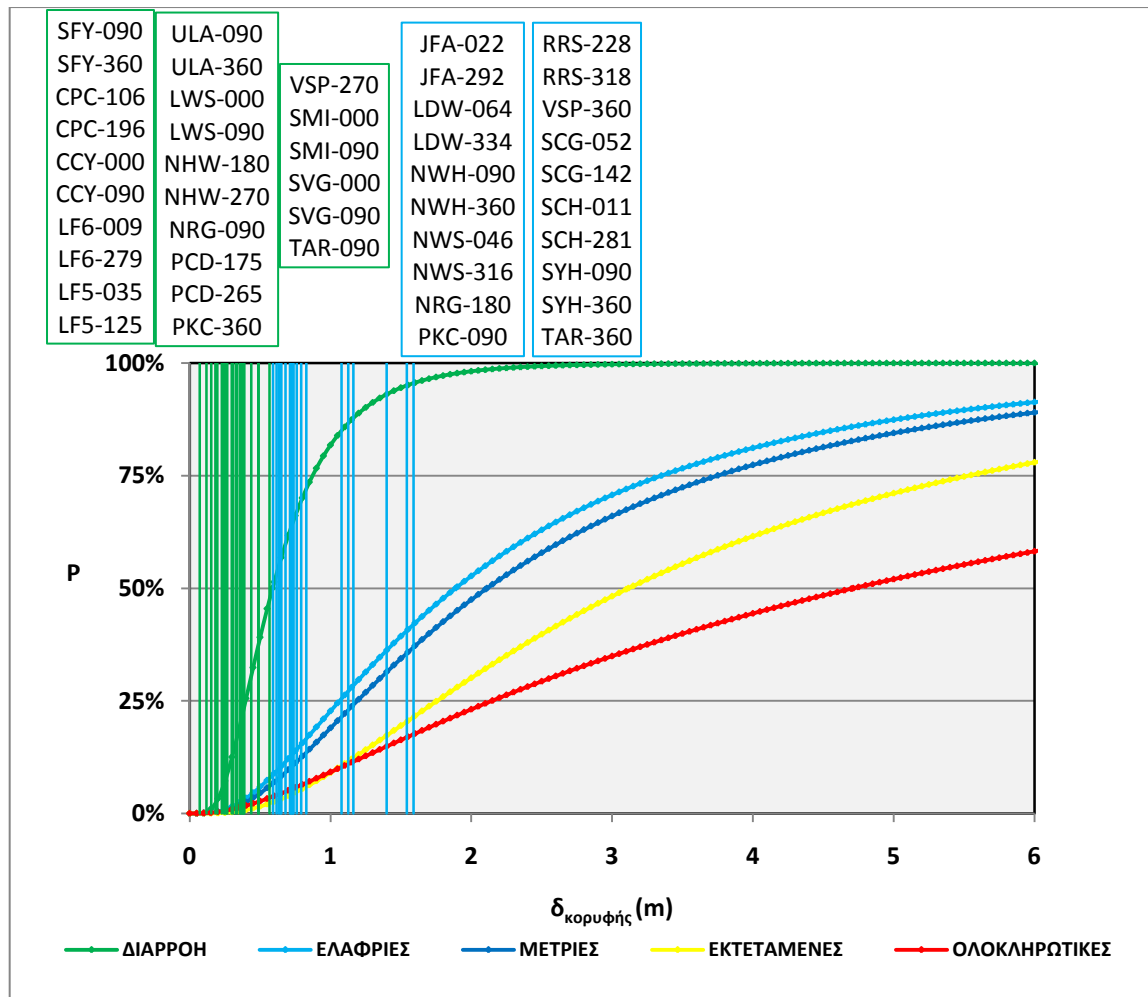
5.2.14 NORTHRIDGE, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δοκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
SFY - 090	N	8.0	0.29950	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SFY - 360	N	8.0	0.37890	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CPC - 106	N	13.7	0.35530	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CPC - 196	N	13.7	0.49000	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CCY - 000	F	12.9	0.36250	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CCY - 090	F	12.9	0.37720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
JFA - 022	F	5.2	1.16200	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
JFA - 292	F	5.2	0.72200	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LF6 - 009	B	17.3	0.36380	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LF6 - 279	B	17.3	0.33500	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LF5 - 035	B	19.2	0.22710	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LF5 - 125	B	19.2	0.15250	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ULA - 090	B	19.9	0.19600	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ULA - 360	B	19.9	0.24500	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LWS - 000	B	19.0	0.07185	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LWS - 090	B	19.0	0.11960	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LDW - 064	F	5.6	0.76080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LDW - 334	F	5.6	0.68090	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NHW - 090	N	11.8	0.72140	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NHW - 360	N	11.8	0.79160	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NWS - 046	F	5.3	1.58900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NWS - 316	F	5.3	0.61740	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NHW -180	N	11.8	0.38560	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NHW - 270	N	11.8	0.56730	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NRG - 090	F	11.5	0.32740	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NRG - 180	F	11.5	0.65170	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PCD - 175	F	7.2	0.26640	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PCD - 265	F	7.2	0.24560	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PKC - 090	N	7.4	0.63240	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PKC - 360	N	7.4	0.38760	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
RRS - 228	F	6.0	1.07900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
RRS - 318	F	6.0	0.59120	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

VSP - 270	F	8.0	0.48720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
VSP - 360	F	8.0	0.71190	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SMI - 000	N	12.4	0.25790	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SMI - 090	N	12.4	0.18360	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SVG - 000	N	9.3	0.30680	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SVG - 090	N	9.3	0.26070	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SCG - 052	F	5.1	1.39900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SCG - 142	F	5.1	1.12600	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SCH - 011	F	5.0	1.54300	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SCH - 281	F	5.0	0.73740	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SYH - 090	F	5.5	0.73180	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SYH - 360	F	5.5	0.82940	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAR - 090	B	14.8	0.43650	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TAR - 360	B	14.8	0.64440	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 5.14: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή NORTHRIDGE, CA, USA.**

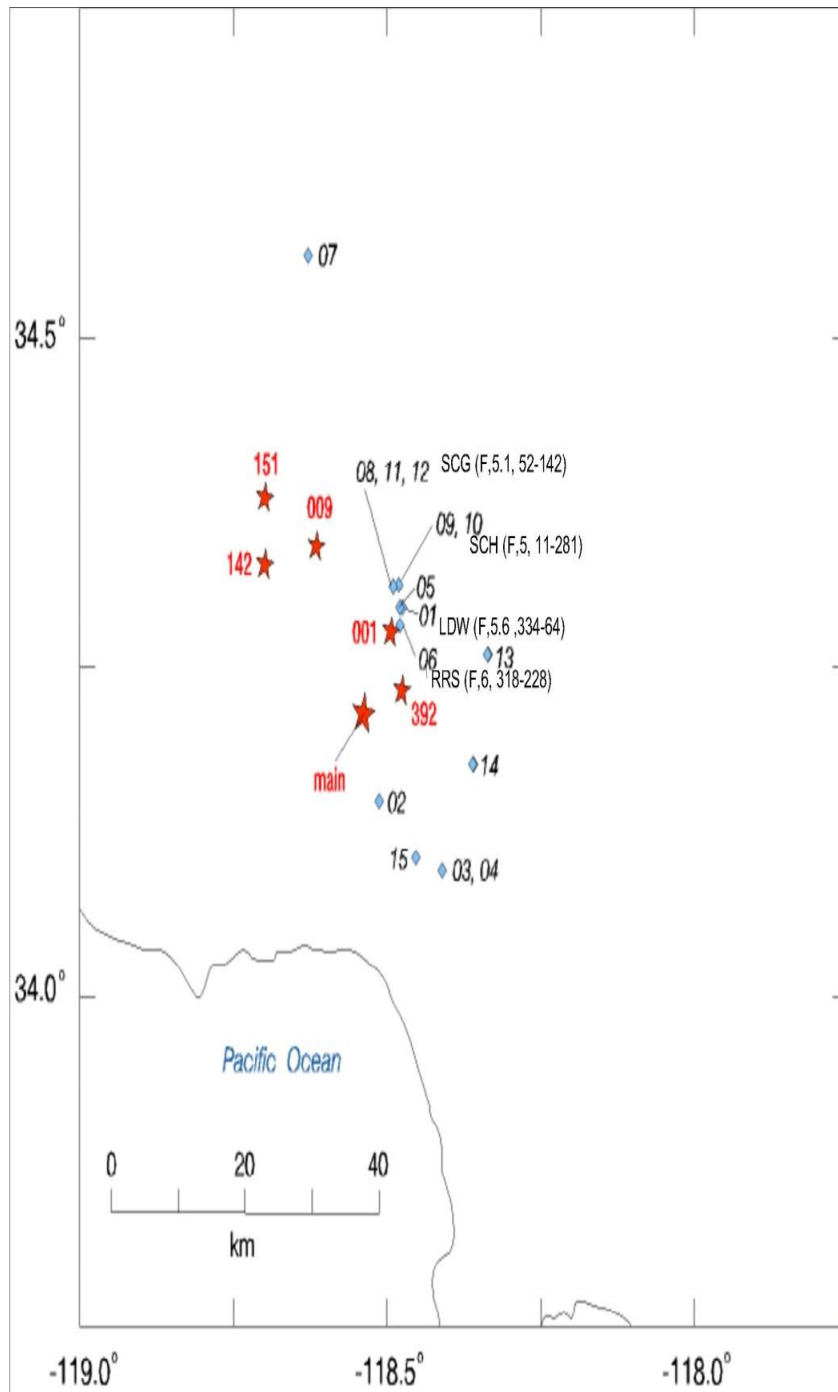


Σχήμα 5.14: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή NORTHBRIDGE, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

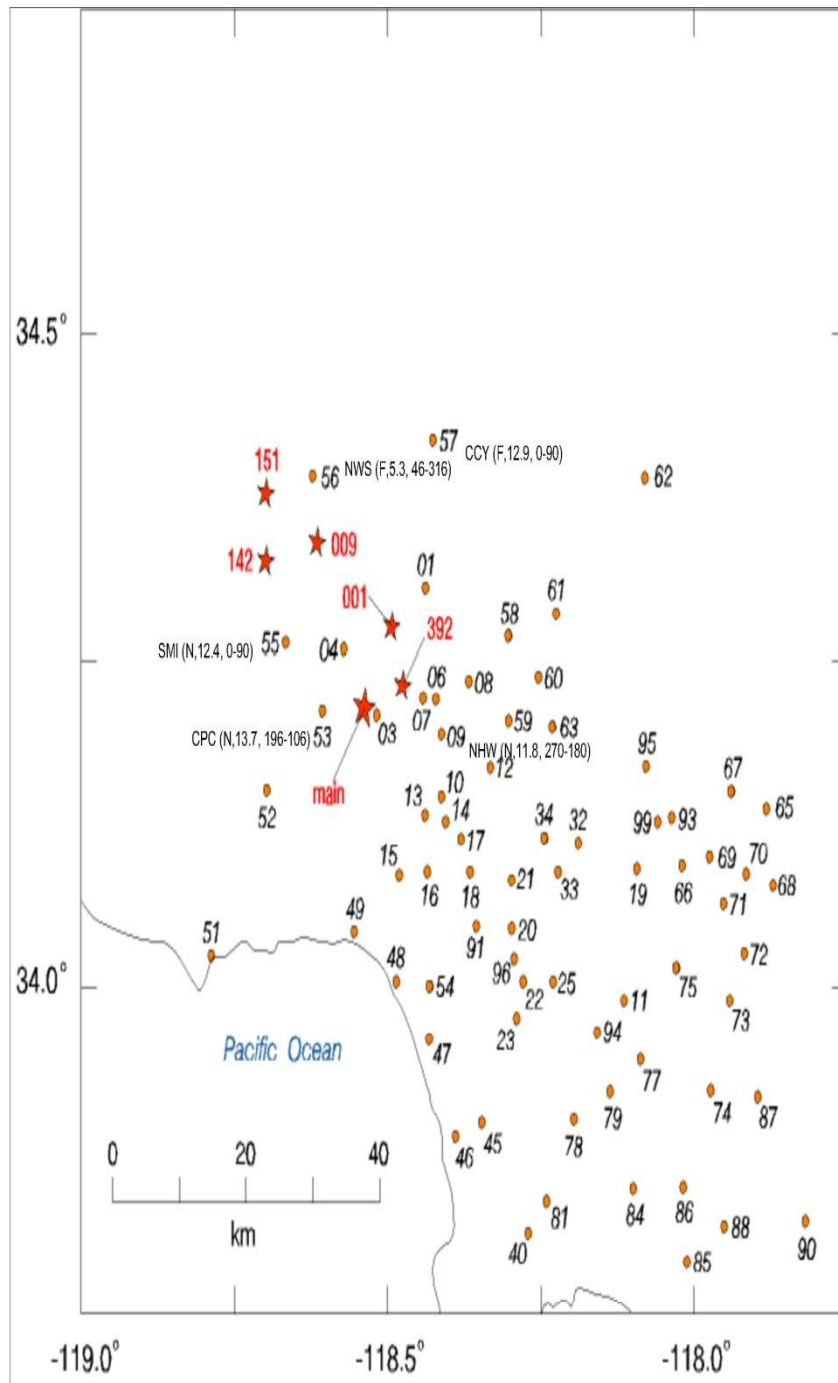
Ο σεισμός στην περιοχή NORTHBRIDGE της Καλιφόρνια (17/1/1994) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.7$ . Οι σταθμοί που έδωσαν μετακινήσεις ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα) απείχαν μικρές αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος και εμφάνισαν έμπροσθεν κατευθυντικότητα, εκτός από τις NHW και PKC-090 που βρίσκονταν σε θέσεις που εμφάνισαν ουδέτερη κατευθυντικότητα και την TAR-360 που βρισκόταν σε θέση που εμφάνισε όπισθεν κατευθυντικότητα. Οι σταθμοί που διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) βρίσκονταν κυρίως σε θέσεις που εμφάνισαν όπισθεν ή ουδέτερη κατευθυντικότητα, εκτός από τους σταθμούς CCY, NRG-090, PCD, VSP-270. Αυτό δικαιολογείται και από το γεγονός ότι όλοι αυτοί οι σταθμοί απείχαν μεγάλες αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος, γι' αυτό και εμφάνισαν μικρές μετακινήσεις. Γενικότερα οι καταγραφές με τις δύο μεγαλύτερες μετατοπίσεις ήταν οι SCH-011 και NWS-046, αφού βρίσκονταν σε θέσεις έμπροσθεν κατευθυντικότητας και απείχαν μικρές αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος (5 και 5.3 km αντίστοιχα). Συγκριτικά με τους προηγούμενους σεισμούς ο συγκεκριμένος είχε αρκετές καταγραφές μετά την καμπύλη διαρροής αφού η ένταση της σεισμικής ροπής ήταν μεγαλύτερη.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Παρακάτω δίδονται χάρτες που αποτυπώνουν την θέση των σταθμών καταγραφής για τον σεισμό του NORTHBRIDGE.

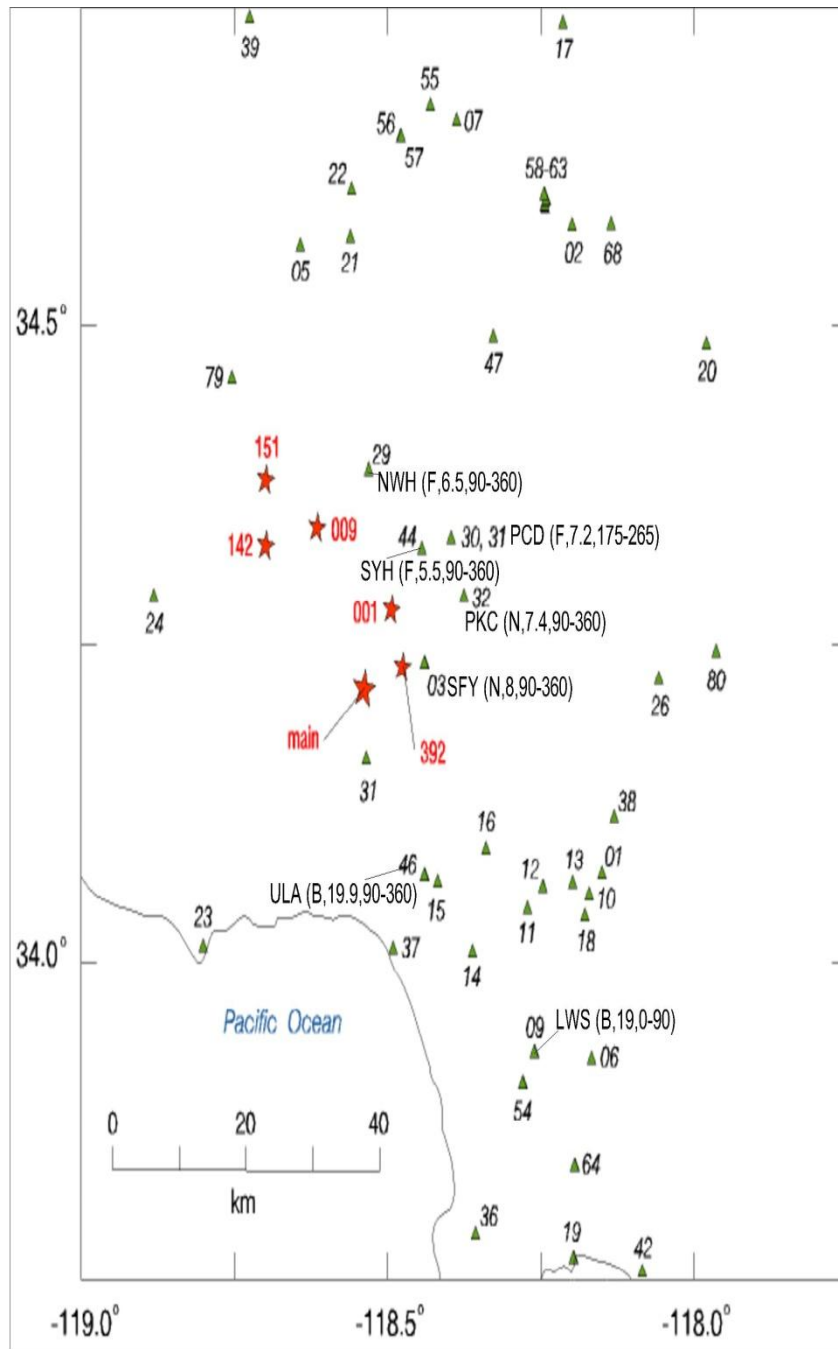


Χάρτης 5.2: Σταθμοί DWP που κατέγραψαν το σεισμό Northridge



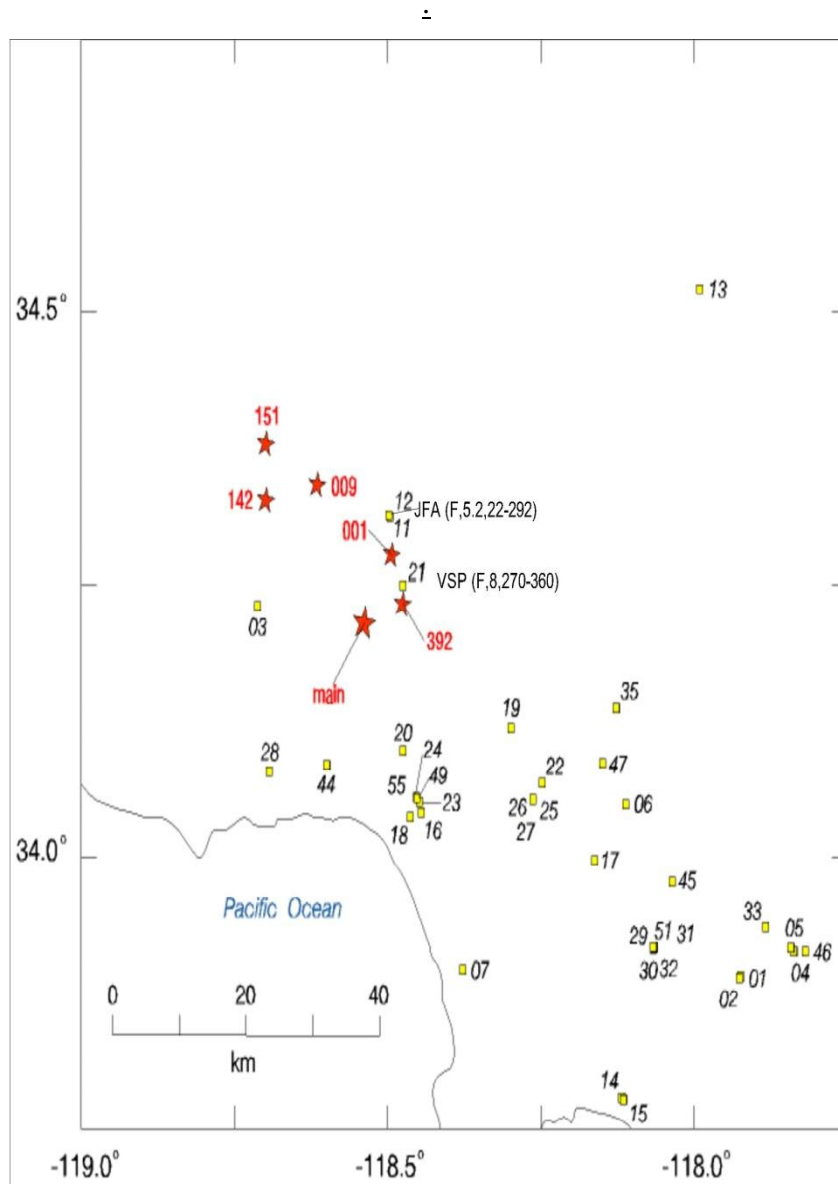
Χάρτης 5.3: Σταθμοί USC που κατέγραψαν το σεισμό Northridge

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

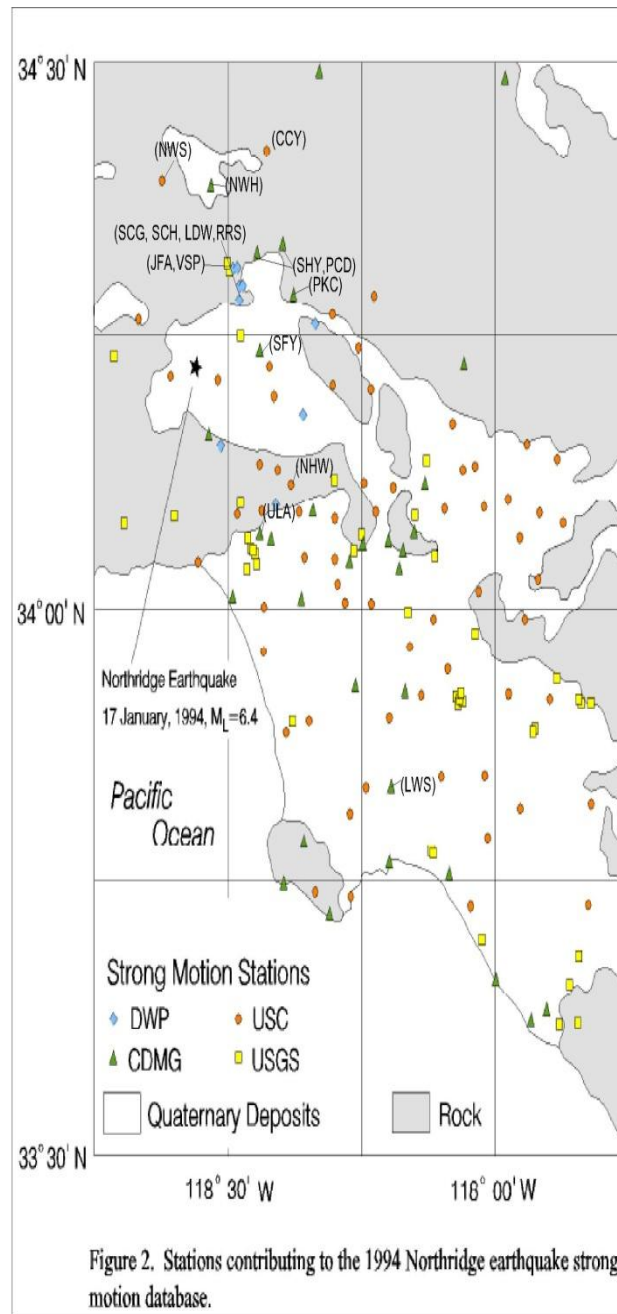


Χάρτης 5.4: Σταθμοί CDMG που κατέγραψαν το σεισμό Northridge





Χάρτης 5.5: Σταθμοί USGS που κατέγραψαν το σεισμό Northridge.

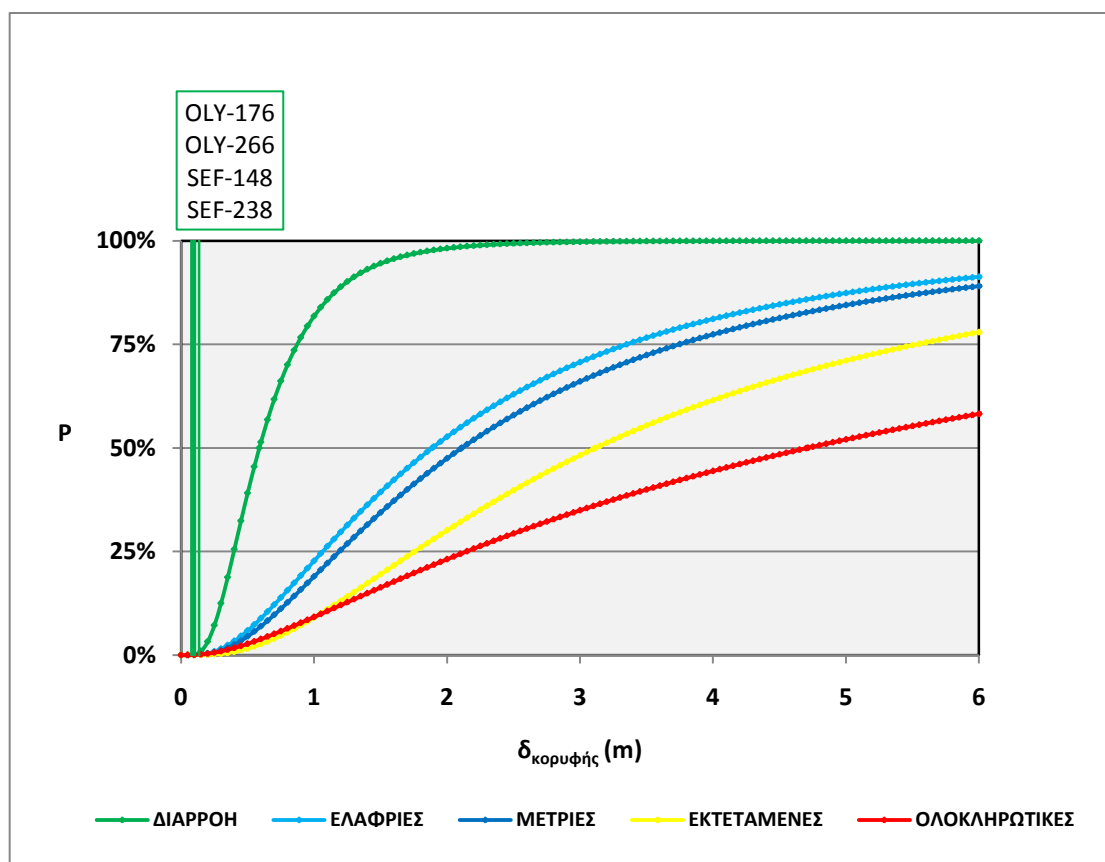


Χάρτης 5.6: Συγκεντρωτικός χάρτης με όλα τα δίκτυα σταθμών (DWP, USC, CDMG, USGS) για τον σεισμό Northridge. Το αστέρι απεικονίζει το επίκεντρο της σεισμικής διέγερσης.

## 5.2.15 PUGET SOUND, WA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
OLY - 176	-	75	0.07771	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
OLY - 266	-	75	0.09236	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SEF - 148	-	63	0.10360	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SEF - 238	-	63	0.13650	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.15: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PUGET SOUND, WA, USA.



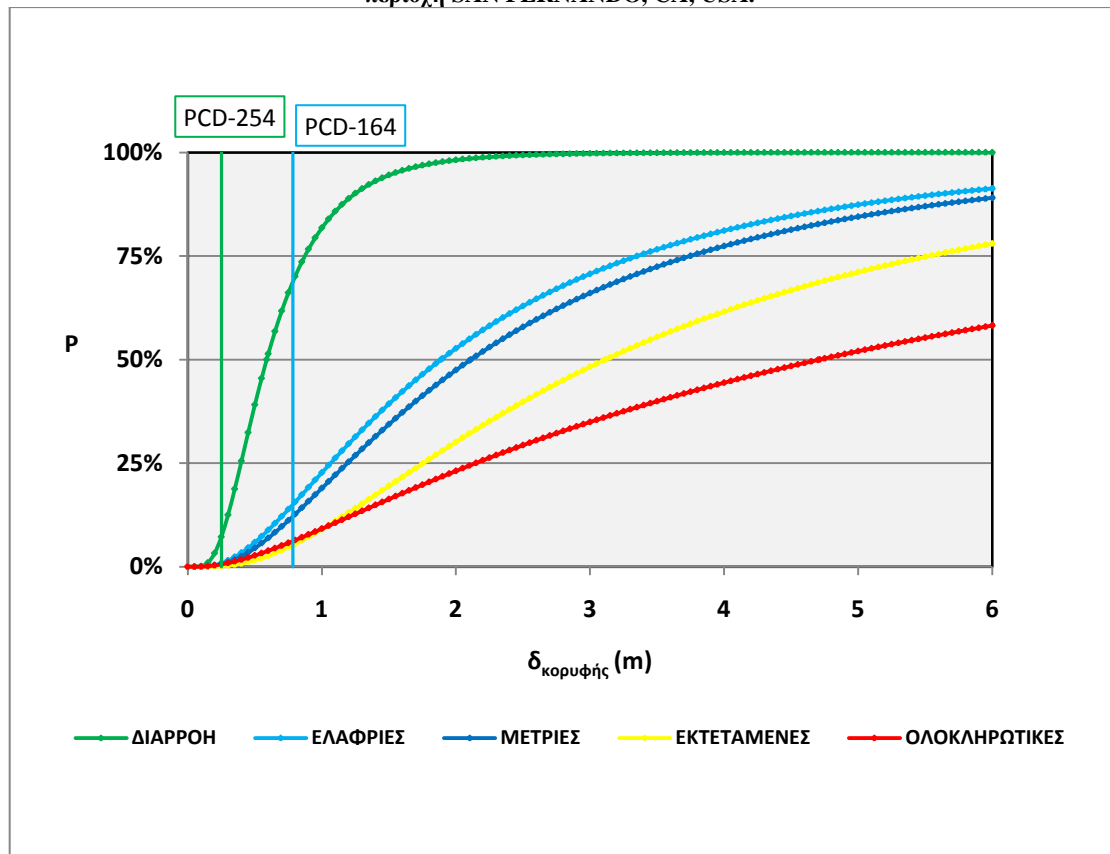
Σχήμα 5.15: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PUGET SOUND, WA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή PUGET SOUND των ΗΠΑ (29/4/1965) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.7$ . Στην πολύ μεγάλη απόσταση των σταθμών από το ρήγμα οφείλονται οι πολύ μικρές μετακινήσεις που καταγράφηκαν και διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα), αν και η ένταση του σεισμού ήταν μεγάλη. Οι θέσεις που βρίσκονταν οι σταθμοί δεν εμφάνισαν γνωστή κατευθυντικότητα. Η σύγκριση με τον σεισμό OLYMPIA WA, USA, φανερώνει λογική στα αποτελέσματα που προέκυψαν.

### 5.2.16 SAN FERNANDO, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
PCD - 164	F	3.0	0.7830	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PCD - 254	F	3.0	0.2527	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 5.16: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή SAN FERNANDO, CA, USA.



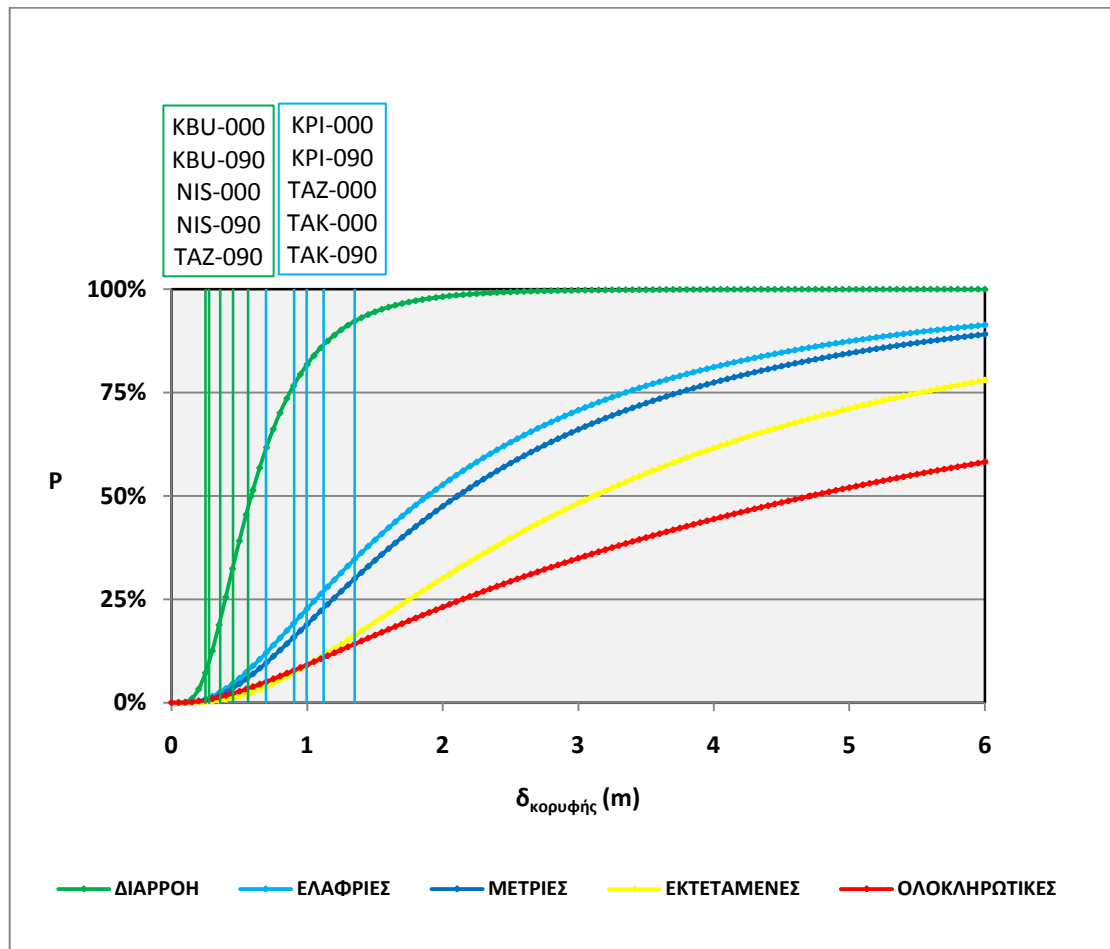
Σχήμα 5.16: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή SAN FERNANDO, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή SAN FERNANDO στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ (9/2/1971) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.7$ . Η καταγραφή PCD-254 έδωσε μετακίνηση που αντιστοιχεί στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) παρόλο που η κατευθυντικότητα είναι έμπροσθεν και η απόσταση από το ίχνος του ρήγματος μικρή (3 km). Πιο λογικό είναι το αποτέλεσμα της καταγραφής PCD-164 καθώς η μετακίνηση που προέκυψε κατατάσσει την κατασκευή ανάμεσα στις καμπύλες διαρροής και ελαφριών βλαβών (γαλάζιο χρώμα). Η μεγάλη διαφορά των δύο καταγραφών, που προέρχονται από τον ίδιο σταθμό, οφείλεται στο ότι η 164 κατέγραψε την κάθετη προς το ρήγμα συνιστώσα (ισχυρή) και η 254 την παράλληλη (ασθενής). Σε σύγκριση με προηγούμενους σεισμούς ο συγκεκριμένος σεισμός επηρεαζόμενος από τη μεγάλη σεισμική ένταση δίνει μεγαλύτερες μετακινήσεις.

5.2.17 HANSHIN (KOBE), JAPAN

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
KPI - 000	F	3.2	1.3510	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KPI - 090	F	3.2	0.9955	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KBU - 000	F	0.7	0.5634	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
KBU - 090	F	0.7	0.3586	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NIS - 000	N	10.5	0.2747	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NIS - 090	N	10.5	0.2501	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TAZ - 000	F	0.4	0.6954	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAZ - 090	F	0.4	0.4522	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TAK - 000	F	1.1	0.9036	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAK - 090	F	1.1	1.1220	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 5.17: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή HANSHIN (KOBE), JAPAN.



Σχήμα 5.17: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή HANSHIN (KOBE), JAPAN. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

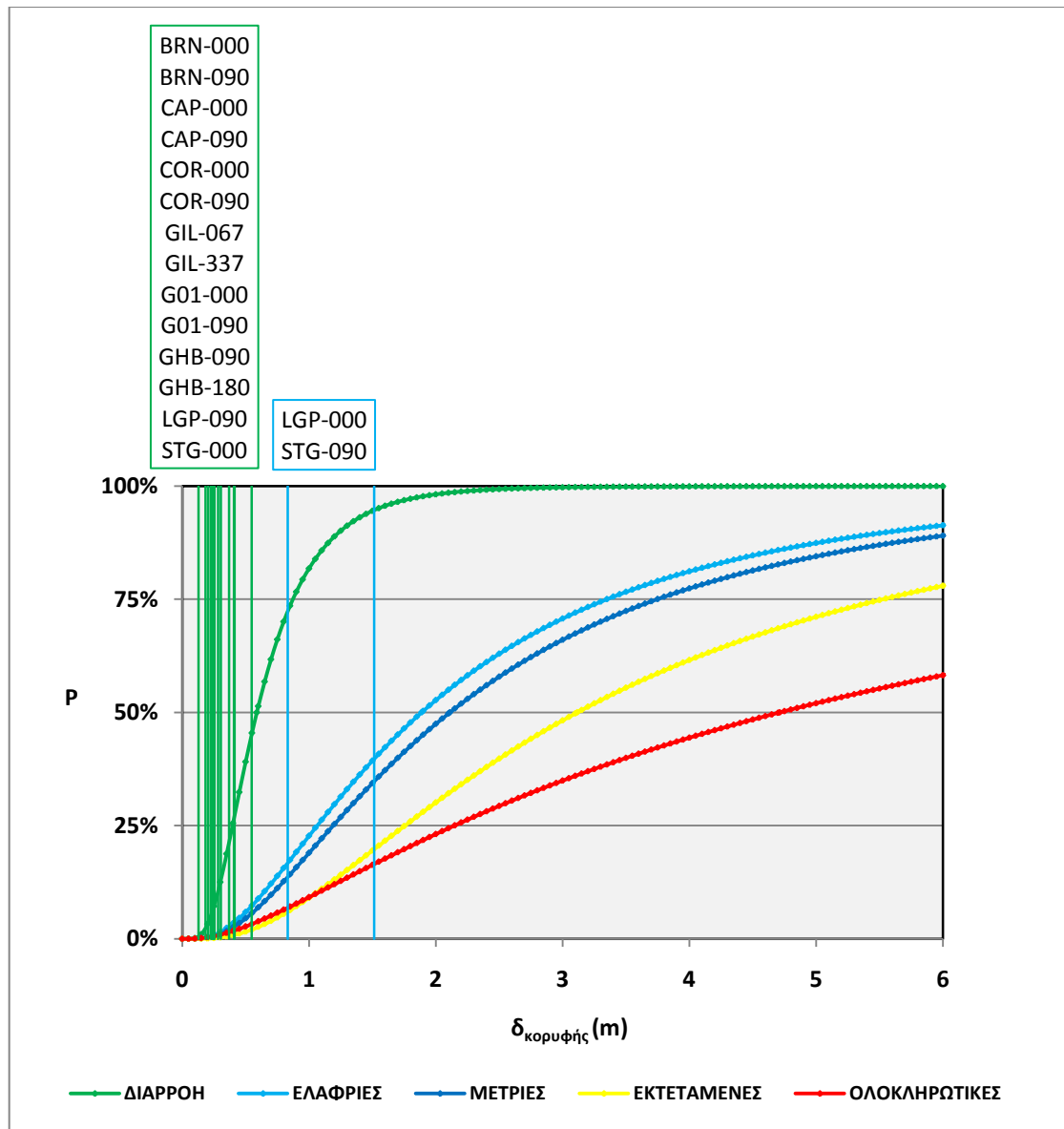
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Ο σεισμός στην περιοχή HANSHIN (KOBE) της Ιαπωνίας (17/1/1995) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.8$ . Ίσος αριθμός σταθμών διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) και ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα). Μεγάλες μετακινήσεις εμφάνισαν οι σταθμοί που βρίσκονταν σε μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (KPI, TAK, TAZ-000) και εμφάνισαν έμπροσθεν κατευθυντικότητα. Επίσης και η μεγάλη ένταση του σεισμού συνέβαλλε σε αυτό το αποτέλεσμα. Η απόκλιση στις μετακινήσεις των KPI-000, KPI-090, που ανήκουν στον ίδιο σταθμό, οφείλεται στο γεγονός ότι ο 000 καταγράφει την κάθετη προς το ρήγμα συνιστώσα (ισχυρή) ενώ ο 090 καταγράφει την παράλληλη προς το ρήγμα συνιστώσα (ασθενής).

### 5.2.18 LOMA PRIETA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
BRN - 000	B	11.5	0.3703	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
BRN - 090	B	11.5	0.2538	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CAP - 000	B	15.8	0.2504	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CAP - 090	B	15.8	0.2337	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
COR - 000	N	2.3	0.2819	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
COR - 090	N	2.3	0.4125	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GIL - 067	N	10.5	0.2262	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GIL - 337	N	10.5	0.1831	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
G01 - 000	N	10.1	0.2058	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
G01 - 090	N	10.1	0.2423	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GHB - 090	F	11.1	0.3049	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GHB - 180	F	11.1	0.1288	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LGP - 000	F	3	1.5140	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LGP - 090	F	3	0.5480	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
STG - 000	F	8.3	0.4084	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
STG - 090	F	8.3	0.8309	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 5.18: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή LOMA PRIETA, USA.**



Σχήμα 5.18: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή LOMA PRIETA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή LOMA PRIETA των ΗΠΑ (17/10/1989) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.9$ . Οι καταγραφές που έδωσαν μετακινήσεις ανάμεσα στις καμπύλη διαρροής και στην καμπύλη για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα), LGP-000 και STG-090, βρίσκονταν σε θέσεις έμπροσθεν κατευθυντικότητας και επέδειξαν μικρή απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος σε σχέση με τις άλλες καταγραφές (3 και 8.3 km αντίστοιχα). Οι υπόλοιπες που έδωσαν μικρές μετακινήσεις και δεν διέρρευσε το κτίριο, εμφανίζουν στην πλειοψηφία ουδέτερη ή όπισθεν κατευθυντικότητα καθώς επίσης απέχουν κυρίως μεγάλες αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος. Ο σταθμός COR παρότι βρίσκεται σε θέση ουδέτερης κατευθυντικότητας, απέχει την μικρότερη απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος γι' αυτό και εμφανίζει μεγαλύτερες μετακινήσεις από τους άλλους σταθμούς ουδέτερης κατευθυντικότητας. Οι LGP-090 και STG-000 αν και έμπροσθεν κατευθυντικότητας και με μικρή απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος, δίνουν μετακινήσεις που διατηρούν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή αλλά είναι

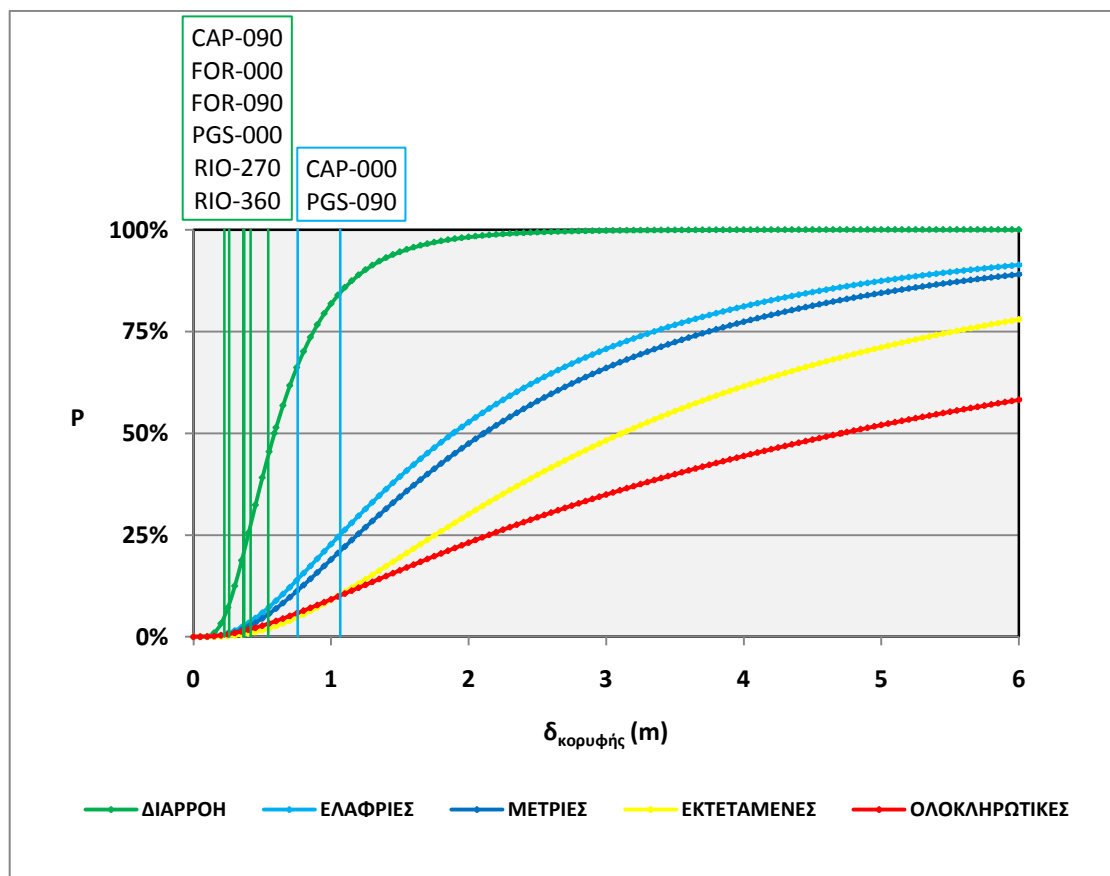
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

αρκετά αυξημένες. Ο σταθμός GHB εμφανίζει και αυτός έμπροσθεν κατευθυντικότητα, απέχει όμως μεγάλη απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος γι' αυτό και καταγράφει μικρές μετακινήσεις. Οι LGP-000, STG-090 καταγράφουν την κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα, ενώ οι LGP-090, STG-000 την παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα που είναι και ασθενέστερη.

**5.2.19 PETROLIA, CA, USA**

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
CAP - 000	F	7.8	1.0660	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CAP - 090	F	7.8	0.4153	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
FOR - 000	N	13.5	0.3603	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
FOR - 090	N	13.5	0.5422	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PGS - 000	F	8.9	0.3691	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PGS - 090	F	8.9	0.7560	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
RIO - 270	N	13.1	0.2583	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
RIO - 360	N	13.1	0.2250	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

**Πίνακας 5.19:** Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PETROLIA, CA, USA.



**Σχήμα 5.19:** Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PETROLIA, CA, USA (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 7.2).

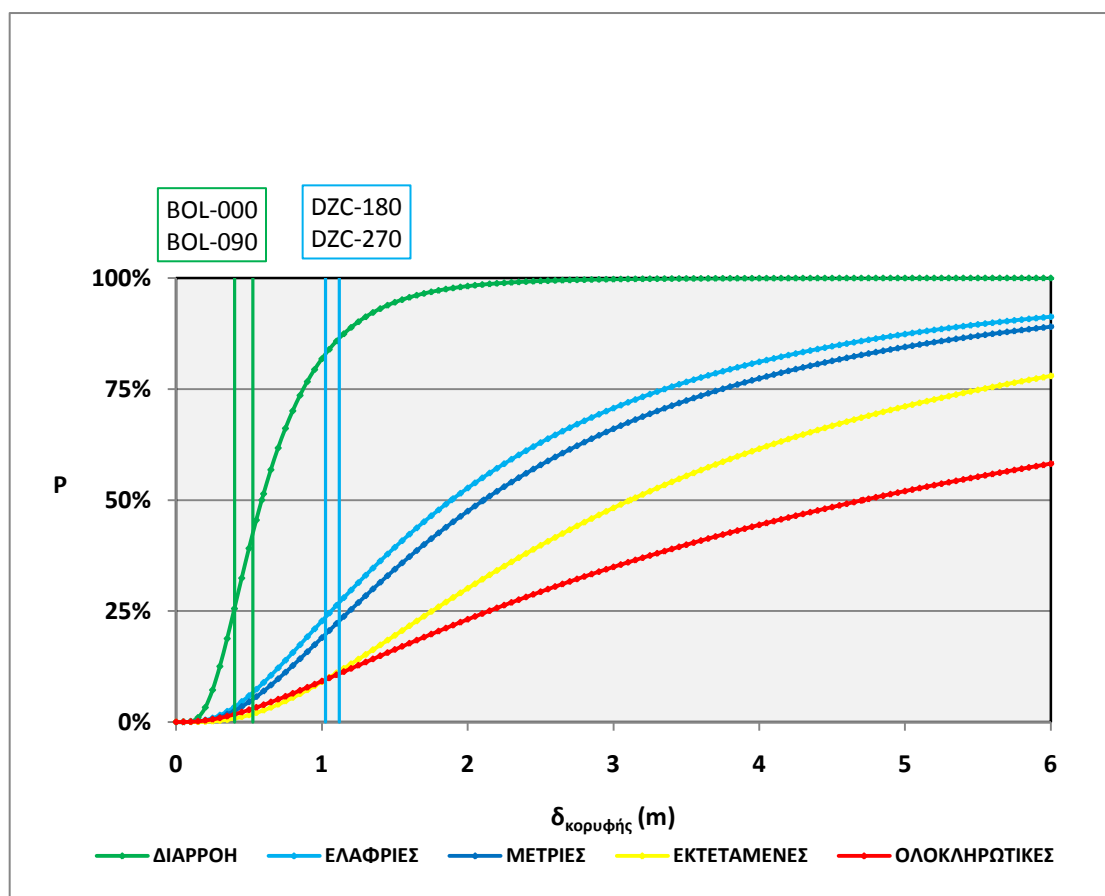


Ο σεισμός στην περιοχή PETROLIA της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (25/4/1992) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=6.9$ . Οι καταγραφές CAP-000, PGS-090 που η μετακίνησή τους βρίσκεται ανάμεσα στην καμπύλη διαρροής και στην καμπύλη για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα), εμφανίζουν έμπροσθεν κατευθυντικότητα και απέχουν μικρότερες αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος σε σχέση με τις άλλες καταγραφές. Οι καταγραφές που διατηρούν την κατασκευή πριν την καμπύλη διαρροής (πράσινο χρώμα) είναι ουδέτερης κατευθυντικότητας και απέχουν μεγάλες αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος. Εξαίρεση αποτελούν οι CAP-090, PGS-000 που διατηρούν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή αν και είναι έμπροσθεν κατευθυντικότητας και απέχουν τις μικρότερες αποστάσεις από την επιφάνεια του ρήγματος. Αξίζει να επισημανθεί όμως ότι εμφανίζουν τις μέγιστες μετακινήσεις που βρίσκονται πριν τη διαρροή. Η μεγάλη διαφορά στις μετακινήσεις των καταγραφών CAP-000 και CAP-090 που προέρχονται από τον ίδιο σταθμό οφείλεται στο γεγονός ότι η 000 καταγράφει την κάθετη προς το ρήγμα συνιστώσα (ισχυρή) ενώ η 090 καταγράφει την παράλληλη προς το ρήγμα συνιστώσα (ασθενής). Παρά το μεγάλο μέγεθος της σεισμικής ροπής συνεχίζει η κατασκευή να κατατάσσεται σε μικρά επίπεδα βλαβών με βάση τις καμπύλες τρωτότητας.

### 5.2.20 DUZCE, TURKEY

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
BOL - 000	F	19.9	0.5253	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
BOL - 090	F	19.9	0.4006	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
DZC - 180	N	8.3	1.1180	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
DZC - 270	N	8.3	1.0250	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 5.20: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή DUZCE, TURKEY.



Σχήμα 5.20: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή DUZCE, TURKEY (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

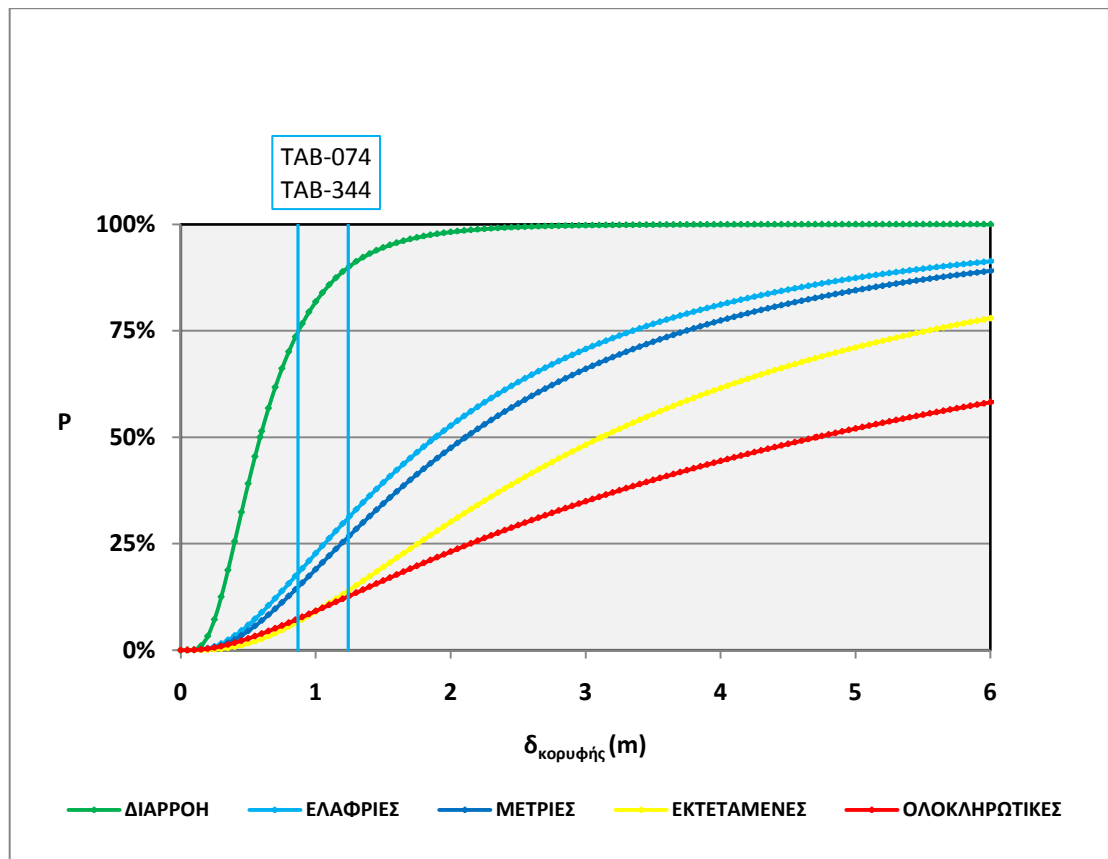
Ο σεισμός στην περιοχή DUZCE της Τουρκίας (12/11/1999) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=7.1$ . Σε αυτόν τον σεισμό παρατηρούμε πως ο σταθμός BOL αν και βρίσκεται σε θέση έμπροσθεν κατευθυντικότητας και υφίσταται μια μεγάλου μεγέθους σεισμική ροπή, εμφανίζει μικρές μετακινήσεις (η κατασκευή διατηρείται στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα)), καθώς απέχει πολύ μεγάλη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (19.9 km). Επίσης ο σταθμός DZC αν και ουδέτερης κατευθυντικότητας εμφανίζει μεγαλύτερες μετακινήσεις (ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα)) από τον BOL που είναι έμπροσθεν κατευθυντικότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο DZC απέχει πολύ μικρότερη

απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (8.3 km) σε σχέση με την απόσταση του BOL από το ίχνος. Δηλαδή παρατηρούμε πως η απόσταση από το ρήγμα παίζει πολύ πιο σημαντικό ρόλο από την κατευθυντικότητα. Συγκριτικά με προηγούμενους σεισμούς όπως του HANSIN (KOBE), JAPAN παρατηρούνται μεγαλύτερες μετακινήσεις λόγω τις μεγάλης έντασης της σεισμικής ροπής.

### 5.2.21 TABAS, IRAN

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
TAB - 074	N	1.2	1.2410	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAB - 344	N	1.2	0.8686	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 5.21: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή TABAS, IRAN.



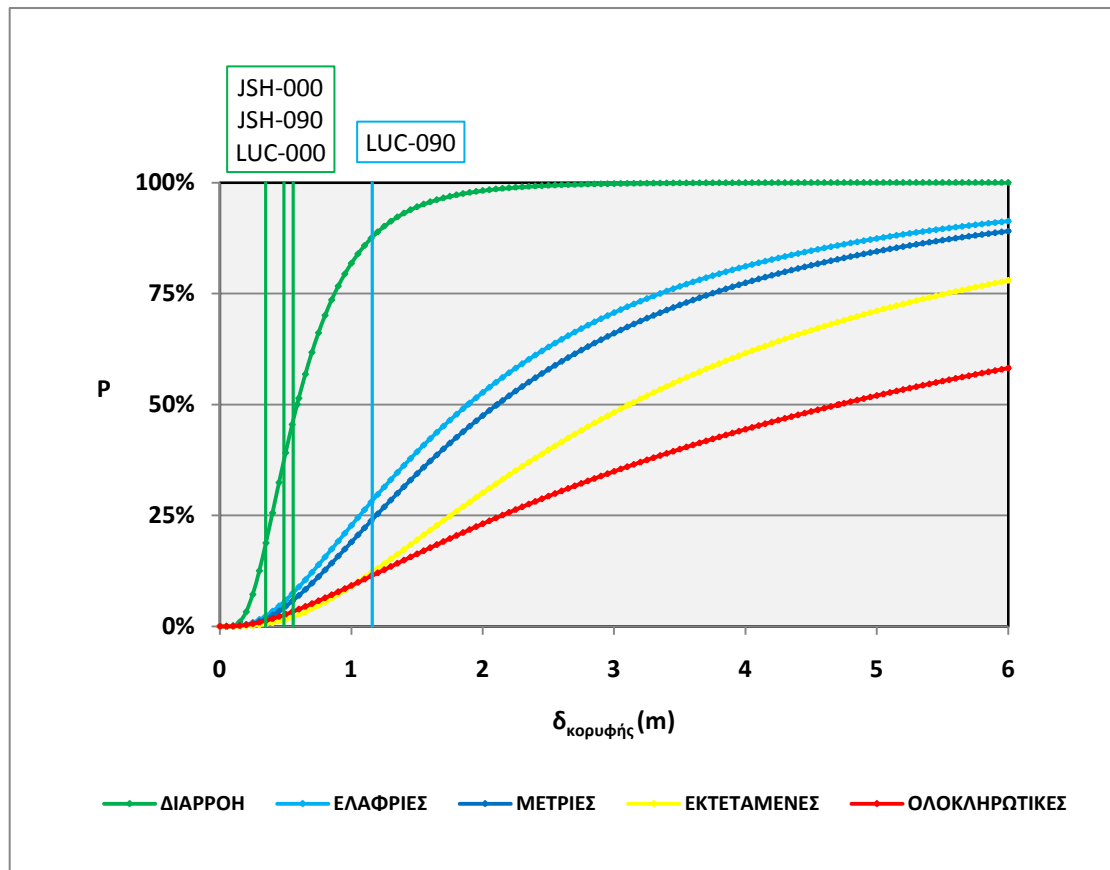
Σχήμα 5.21: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή TABAS, IRAN. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή TABAS του Ιράν (16/9/1978) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=7.1$ . Ο σταθμός TAB έδωσε μετακινήσεις που βρίσκονται ανάμεσα στην καμπύλη διαρροής και στην καμπύλη για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα). Η πολύ μικρή απόσταση του σταθμού από το ίχνος του ρήγματος (1.2 km), η μεγάλου μεγέθους σεισμική ένταση και όχι τόσο η κατευθυντικότητα που ήταν ουδέτερη συνέβαλλαν σε αυτό το αποτέλεσμα.

### 5.2.22 LANDERS, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δοκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
JSH - 000	B	11.6	0.3485	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
JSH - 090	B	11.6	0.4880	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LUC - 000	F	1.1	0.5566	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LUC - 090	F	1.1	1.1600	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 5.22: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή LANDERS, CA, USA.

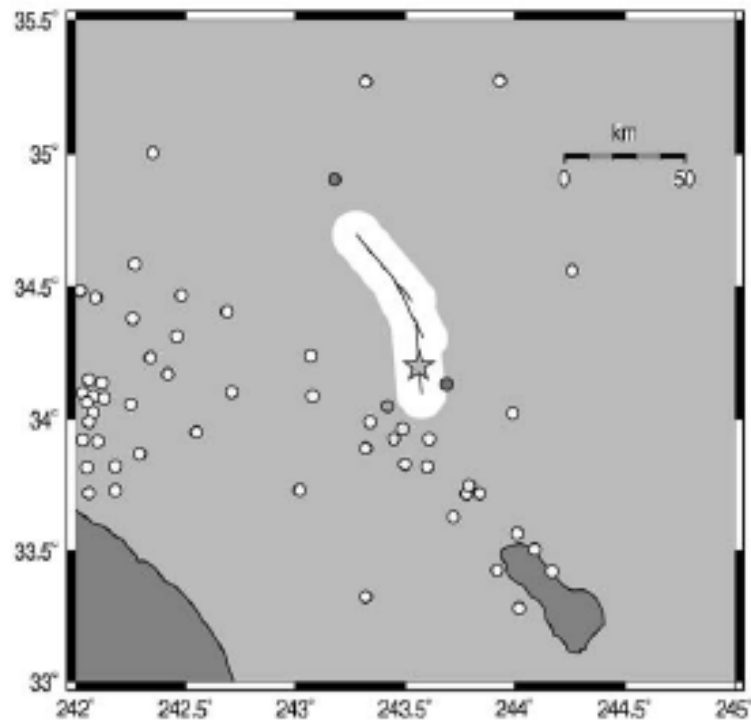


Σχήμα 5.22: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή LANDERS, CA, USA. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή LANDERS της Καλιφόρνια των ΗΠΑ (28/6/1992) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=7.3$ . Ο σταθμός JSH βρισκόταν σε θέση που εμφάνισε όπισθεν κατευθυντικότητα και απείχε μεγάλη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (11.6 km), γι' αυτό και έδωσε μετακινήσεις που διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Αντίθετα η καταγραφή LUC-090 εμφάνισε εμπροσθεν κατευθυντικότητα και απείχε πολύ μικρή απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (1.1 km), γι' αυτό κατέγραψε την μέγιστη μετακίνηση (1.16 m) που τοποθέτησε την κατασκευή ενδιάμεσα στις καμπύλες διαρροής και ελαφρών βλαβών. Η διαφορά στις μετακινήσεις των καταγραφών LUC-090, LUC-000, του ίδιου

σταθμού, οφείλεται στο γεγονός ότι η 090° κατέγραψε την κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα (ισχυρή), ενώ η 000° κατέγραψε την παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα (ασθενής) και έδωσε μετακίνηση μειωμένη κατά 50% σε σχέση με την 090° διατηρώντας την κατασκευή στην ελαστική περιοχή.

Στον χάρτη που ακολουθεί απεικονίζεται το ρήγμα και οι θέσεις των σταθμών.

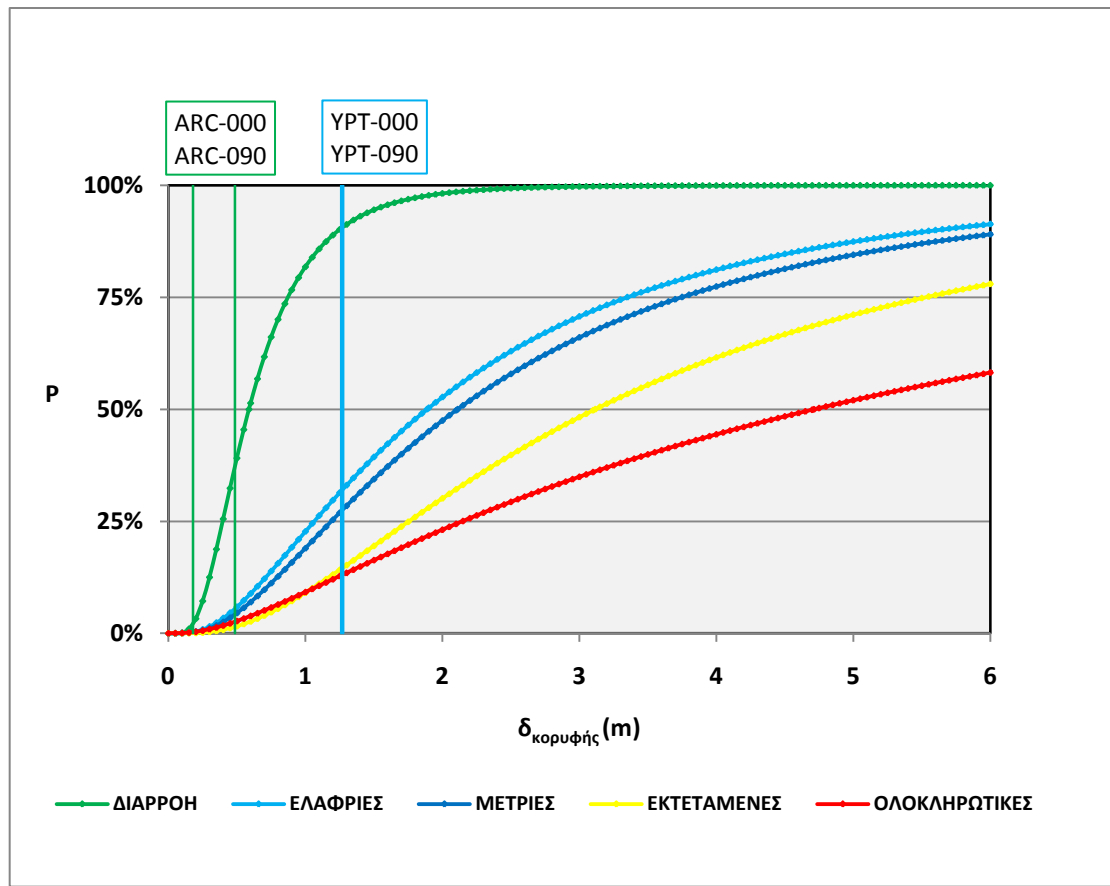


**Χάρτης 5.7: Επίκεντρο σεισμού LANDERS, CA, USA (αντιστοιχεί στην ένδειξη με το αστεράκι), θέσεις σταθμών καταγραφής.**

### 5.2.23 IZMIT, TURKEY

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	Κ/ΤΑ	Π/Α (km)	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ARC - 000	F	14.0	0.1798	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ARC - 090	F	14.0	0.4860	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
YPT - 000	F	2.6	1.2760	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
YPT - 090	F	2.6	1.2620	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 5.23:** Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή IZMIT, TURKEY.



**Σχήμα 5.23:** Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IZMIT, TURKEY. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή IZMIT της Τουρκίας (17/8/1999) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=7.4$ . Και οι δύο σταθμοί ARC, YPT βρίσκονταν σε θέσεις έμπροσθεν κατευθυντικότητας, όμως ο ARC απέιχε μεγάλη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος (14 km) γι' αυτό και έδωσε μετακινήσεις που διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) ενώ ο YPT απέιχε μόλις 2.6 km γι' αυτό και έδωσε μετακινήσεις που βρίσκονται ανάμεσα στις καμπύλες διαρροής και ελαφρών βλαβών (γαλάζιο χρώμα). Παρότι το μέγεθος της σεισμικής ροπής είναι πολύ μεγάλο συνεχίζουμε να παρατηρούμε μετακινήσεις που αντιστοιχούν πριν από την καμπύλη διαρροής, γεγονός που μαρτυρά την μεγάλη επίδραση στα αποτελέσματα της

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ

απόστασης των σταθμών από το ρήγμα και ίσως όχι τόσο του μεγέθους της σεισμικής έντασης και της κατευθυντικότητας.

**5.2.24 CHI-CHI, TAIWAN**

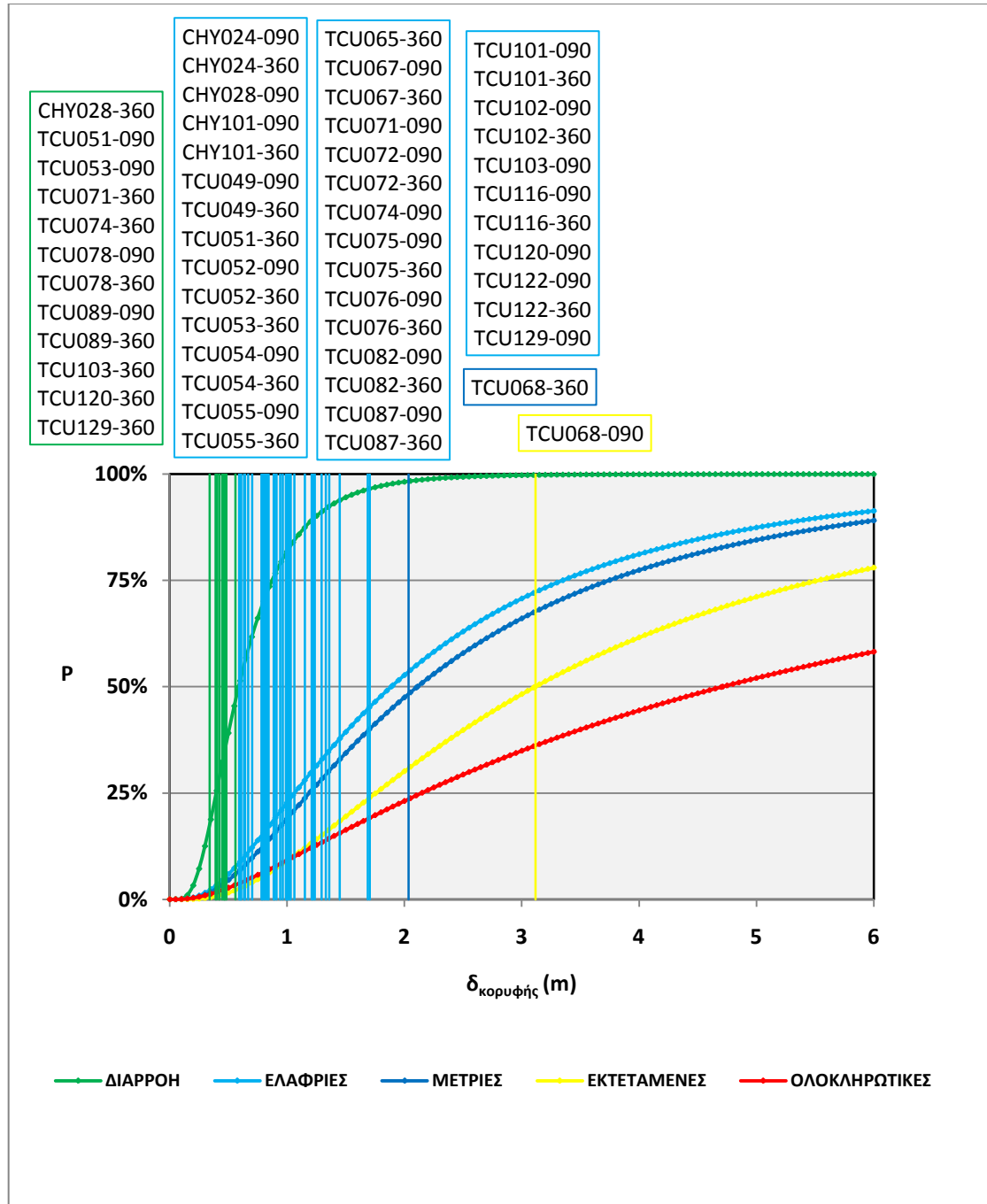
<b>ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ</b>	<b>Κ/ΤΑ</b>	<b>Π/Α (km)</b>	<b>δκορυφής (m)</b>	<b>ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ</b>
CHY024 - 090	F	7.7	1.2940	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY024 - 360	F	7.7	0.8925	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY028 - 090	N	2.3	0.6334	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY028 - 360	N	2.3	0.4748	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CHY101 - 090	F	7.7	1.1520	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY101 - 360	F	7.7	1.4480	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU049 - 090	F	2.7	0.5981	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU049 - 360	F	2.7	0.9097	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU051 - 090	F	6.9	0.4676	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU051 - 360	F	6.9	0.8914	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU052 - 090	F	0.8	1.6780	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU052 - 360	F	0.8	1.7040	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU053 - 090	F	4.6	0.4458	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU053 - 360	F	4.6	0.6416	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU054 - 090	F	4.7	0.8415	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU054 - 360	F	4.7	0.6056	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU055 - 090	F	6.5	1.0000	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU055 - 360	F	6.5	1.0030	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU065 - 360	F	0.1	1.3580	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU067 - 090	F	0.2	0.8000	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU067 - 036	F	0.2	1.2080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU068 - 090	F	0.2	3.1160	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ
TCU068 - 360	F	0.2	2.0360	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
TCU071 - 090	F	4.1	1.0000	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU071 - 360	F	4.1	0.4656	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU072 - 090	F	6.8	0.7875	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU072 - 360	F	6.8	0.6330	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU074 - 090	F	11.4	0.8080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU074 - 360	F	11.4	0.3901	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU075 - 090	F	0.6	1.3300	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

TCU075 - 360	F	0.6	1.0180	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU076 - 090	F	2.3	0.8330	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU076 - 360	F	2.3	0.7027	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU078 - 090	F	5.4	0.3403	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU078 - 360	F	5.4	0.4002	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU082 - 090	F	5.0	0.7810	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU082 - 360	F	5.0	0.9900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU087 - 090	F	5.8	0.7895	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU087 - 360	F	5.8	0.9969	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU089 - 090	F	6.2	0.4208	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU089 - 360	F	6.2	0.4827	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU101 - 090	F	1.5	0.8229	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU101 - 360	F	1.5	0.5903	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU102 - 090	F	0.6	1.0310	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU102 - 360	F	0.6	1.2210	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU103 - 090	F	4.4	0.9624	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU103 - 360	F	4.4	0.4609	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU116 - 090	F	11.5	0.8861	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU116 - 360	F	11.5	1.0620	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU120 - 090	F	6.1	1.2360	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU120 - 360	F	6.1	0.5598	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU122 - 090	F	8.5	0.9408	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU122 - 360	F	8.5	0.6675	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU129 - 090	F	1.5	0.6081	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU129 - 360	F	1.5	0.4219	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

**Πίνακας 5.24: Μετακινήσεις κορυφής και στάθμες επιτελεστικότητας για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή CHI – CHI, TAIWAN.**



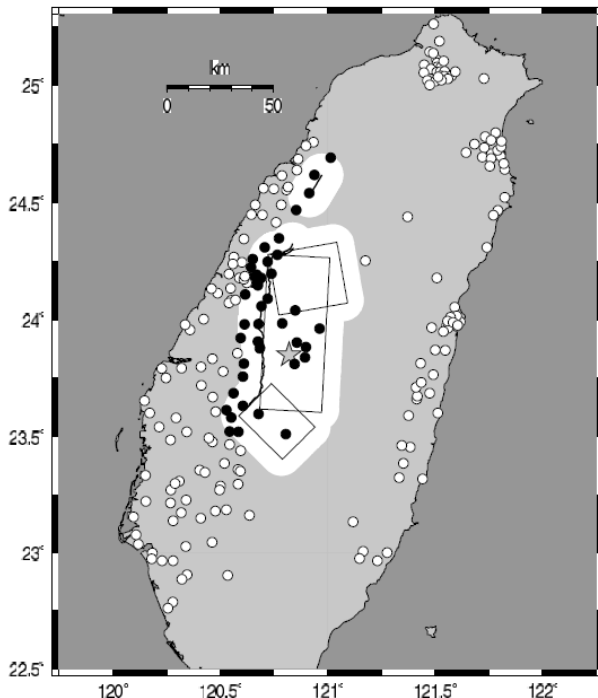


Σχήμα 5.24: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή CHI – CHI, TAIWAN. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2).

Ο σεισμός στην περιοχή CHI-CHI, TAIWAN (20/9/1999) είχε μέγεθος σεισμικής ροπής  $M_w=7.6$ . Ο σεισμός αυτός συνοδεύτηκε από μια τεράστια επιφάνεια-ζώνη ρήξης σχεδόν 100 χιλιόμετρα μήκους και προκλήθηκε από εσωτερικές ωθήσεις ενώ αποκάλυψε διάφορες πτυχές ενός μεγάλου σεισμού. Πυκνές γεωφυσικές και γεωλογικές παρατηρήσεις στο πλαίσιο της γειτνίασης με την περιοχή προέλευσης και σε όλη την Ταϊβάν έδειξαν ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτού του σεισμού. Συγκεκριμένα περισσότερες από 600 ψηφιακές παρατηρήσεις ισχυρής κίνησης (Lee et al., 1999 Shin et al., 2000) και πάνω από 40 εντοπισμένες θέσεις (GPS) σταθμών παγκοσμίως που βρίσκονται κοντά στο επίκεντρο του σεισμού

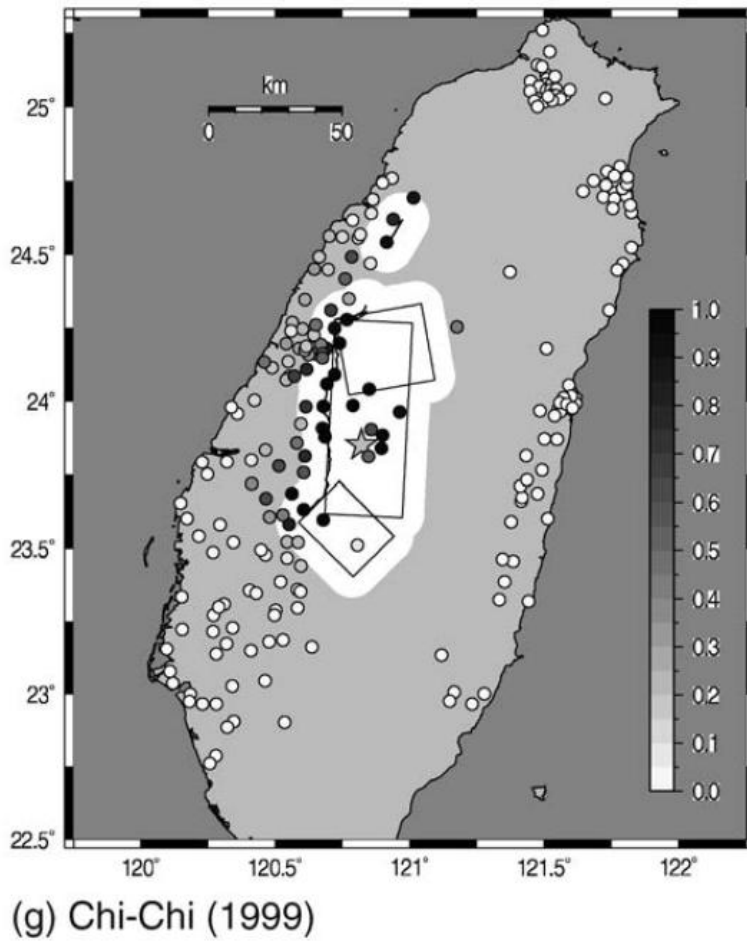
παρέχουν πρωτοφανείς λεπτομέρειες του σεισμού. Όλοι οι σταθμοί βρίσκονταν σε θέσεις που εμφάνισαν έμπροσθεν κατευθυντικότητα εκτός από τον CHY028 με ουδέτερη κατευθυντικότητα. Μερικές καταγραφές έδωσαν μετακινήσεις που διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα). Οι περισσότερες όμως καταγραφές έδωσαν μετακινήσεις που αντιστοιχούν στην περιοχή μεταξύ της καμπύλης διαρροής και της καμπύλης για ελαφριές ζημιές (γαλάζιο χρώμα). Είναι γνωστό πως οι καταγραφές με τις μεγαλύτερες μετακινήσεις βρίσκονται σε σημεία απομακρυσμένα από το επίκεντρο και κοντά στο ίχνος του ρήγματος. Αυτό επαληθεύτηκε στο συγκεκριμένο σεισμό. Η καταγραφή TCU068-360 έδωσε μετακίνηση (2.036 m) που αντιστοιχεί ανάμεσα στις καμπύλες για ελαφριές και μέτριες ζημιές (μπλε χρώμα), γεγονός που δικαιολογείται από την μικρή απόσταση του σταθμού από την επιφάνεια του ρήγματος (0.2 km), από την έμπροσθεν κατευθυντικότητα και από την μεγάλη μεγέθους σεισμική ένταση. Τα ίδια χαρακτηριστικά επηρεάζουν και την μετακίνηση της καταγραφής TCU068-090 (3.116 m) που είναι ίση με την μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για εκτεταμένες ζημιές (κίτρινο χρώμα). Η απομακρυσμένη θέση του σταθμού TCU068 από το επίκεντρο φαίνεται σε χάρτη που ακολουθεί (Χάρτης 5.13). Η πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή το όριο της προστασίας ζωής είναι 50%. Η πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή το όριο της οιονεί κατάρρευσης είναι 35%. Σε αυτό το σεισμό παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες βλάβες.

Οι χάρτες που ακολουθούν δίνουν τις ακριβείς θέσεις των σταθμών καταγραφής.



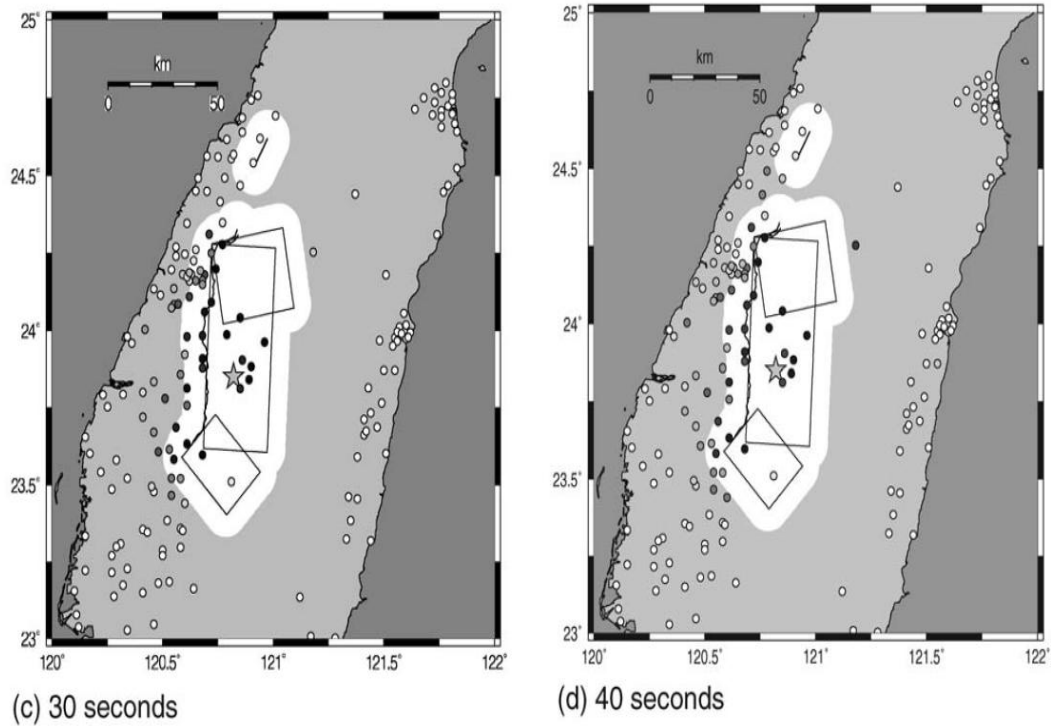
(g) Chi-Chi (1999)

**Χάρτης 5.8:** Χάρτης στον οποίο οι μαύρες γραμμές δείχνουν την προβολή της επιφάνειας διάρρηξης με βάση τα υποδείγματα αστοχίας. Σταθμοί μέσα σε 10 km από το προβολή του ρήγματος (οι λευκές περιοχές στο σχήμα) κατατάσσονται ως κοντινοί στο επίκεντρο, και επισημαίνονται με μαύρους κύκλους. Οι σταθμοί που βρίσκονται πιο μακριά παρουσιάζονται με άσπρους κύκλους. Το αστέρι δηλώνει το επίκεντρο του σεισμού.

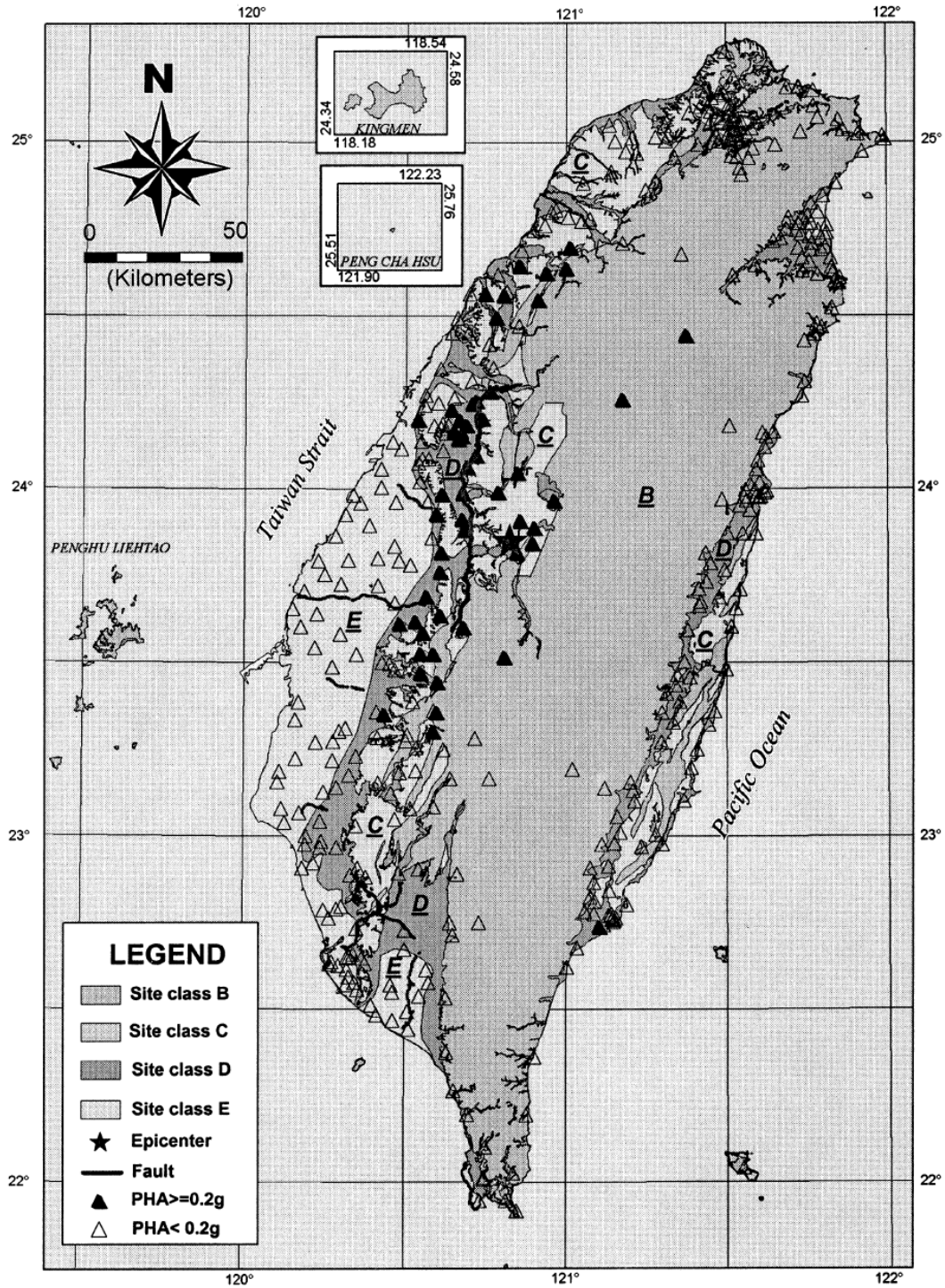


Χάρτης 5.9: Χάρτης στον οποίο τα πιο σκούρα σήματα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν ως σταθμοί που βρίσκονται σε μία περιοχή κοντά στην πηγή. Όλοι οι σταθμοί χρησιμοποιούν τον ίδιο χρωματικό κώδικα για την κλίμακα. Τα σύμβολα για την αστοχία και το επίκεντρο είναι τα ίδια όπως προηγουμένως.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



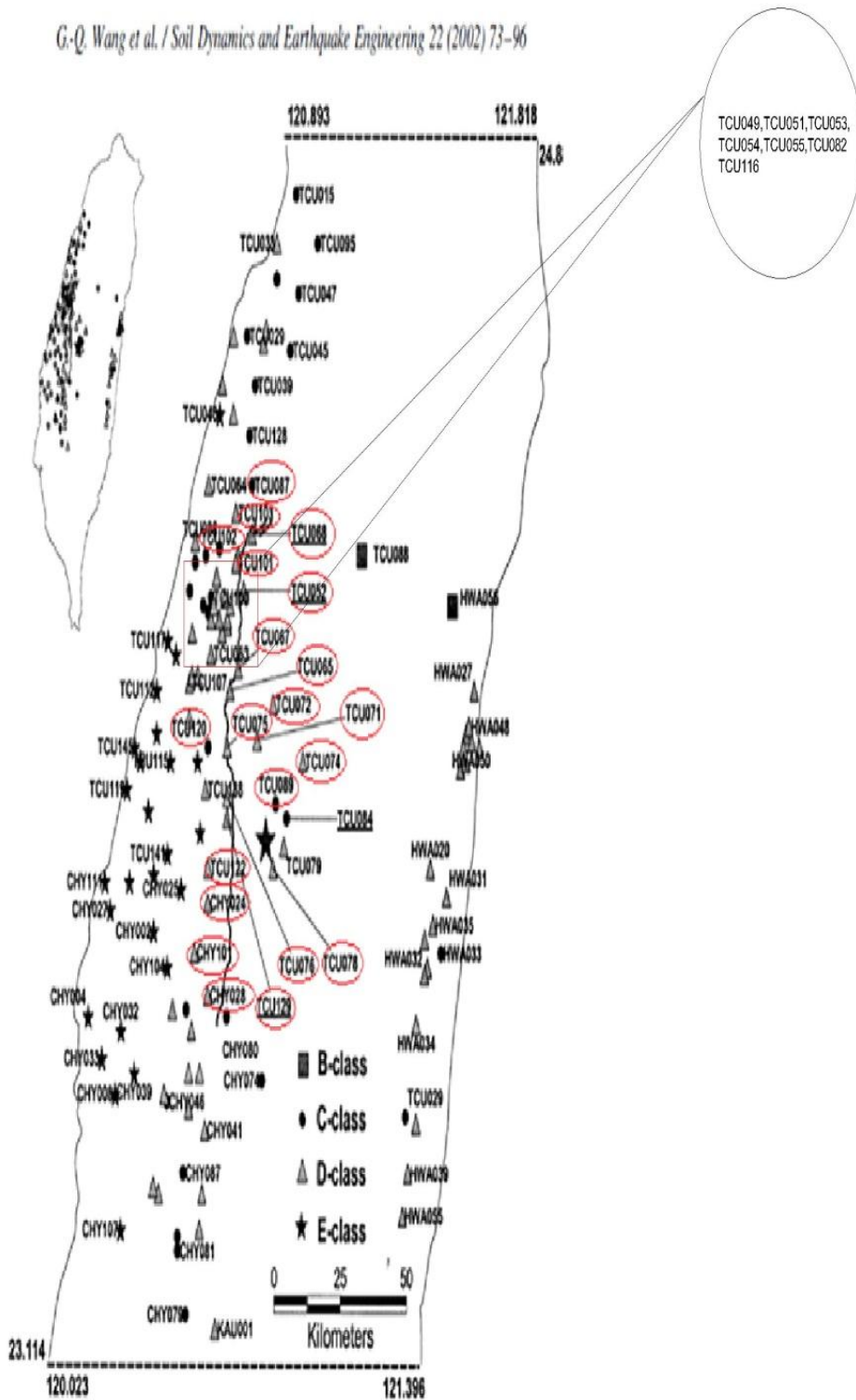
**Χάρτης 5.10: Χάρτες που δείχνουν στιγμιότυπα από τις πιθανότητες κοντά στην πηγή για το σεισμό Chi-Chi, με βάση την βέλτιστη διακριτική λειτουργία από τη Bayesian προσέγγιση. Ο μεγάλος κύκλος είναι το θεωρητικό μέτωπο ρήξης αν υποταθεί ότι η ταχύτητα ρήξης είναι 2 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο.**



Χάρτης 5.11: Χάρτης που δείχνει τους 441 σταθμούς καταγραφής επιτάχυνσης. Επειδή μερικοί σταθμοί διαθέτουν περισσότερους από έναν καταγραφέα επιταχύνσεων, ουσιαστικά υπάρχουν 412 σταθμοί. Ανάμεσα στους 441 σταθμούς, οι 56 από αυτούς που υποδηλώνονται με ένα συμπαγές μαύρο τρίγωνο, δείχνουν τους σταθμούς με καταγραφή μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης μεγαλύτερης από 0.2 g.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

G.-Q. Wang et al. / Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22 (2002) 73–96



**Χάρτης 5.12:** Χάρτης που δείχνουν την τοποθεσία 130 σταθμών κοντινού πεδίου. Τα διάφορα σύμβολα υποδεικνύουν τα διαφορετικά γεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους. 2 σταθμοί υπάρχουν στην κατηγορία εδάφους B, 30 στην C, 73 στην D και 25 στην E



Χάρτης 5.13: Η επιφάνεια ρήξης και οι τοποθεσίες των τόπων της έρευνας και το ισχυρόν κινήσεων που παρατηρήθηκαν. Το αστέρι δείχνει το επίκεντρο του κυρίως σεισμού.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



## **6. ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ HAZUS**

---

### **6.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**

Στο παρόν κεφάλαιο σκοπός μας είναι να διαπιστώσουμε αν η μεθοδολογία του HAZUS που εφαρμόσαμε ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Γι' αυτό το λόγο θα παρουσιάσουμε τις μέγιστες μετακινήσεις των σεισμικών διεγέρσεων, όπως κάναμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατηγοριοποιώντας τις όμως με βάση το ποσοστό των διατομών που αστόχησαν τη χρονική στιγμή που εμφανίστηκαν αυτές οι μετακινήσεις. Πιο συγκεκριμένα εντοπίσαμε αυτό το ποσοστό ανάμεσα σε ποια ποσοστά των επιπέδων βλάβης του HAZUS βρίσκεται. Προς αυτή την κατεύθυνση συνέβαλλε το SAP, που ύστερα από την ανάλυση ιστορίας για κάθε σεισμό, μας έδωσε την παραμορφωμένη μορφή του φορέα και σε πιο στάδιο βρίσκονταν οι κόμβοι σύνδεσης κάθε χρονική στιγμή. Έτσι μπορέσαμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαστικών αρθρώσεων, καθώς και τα ποσοστά των διατομών που αστόχησαν σε κάθε σεισμική διέγερση. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε στα διαγράμματα τρωτότητας τα νέα αποτελέσματα και τα συγκρίναμε με τα διαγράμματα του προηγούμενου κεφαλαίου προκειμένου να αξιολογήσουμε τις δύο μεθόδους.

### **6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφονται τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων για όλες τις σεισμικές διεγέρσεις. Επίσης δίδονται διαγράμματα που απεικονίζονται οι μετακινήσεις της κατασκευής για κάθε καταγραφή και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα ποσοστά των διατομών που αστόχησαν. Πιο συγκεκριμένα τώρα, η στάθμη επιτελεστικότητας PRIN ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ, (πράσινο χρώμα), ορίζεται όταν δεν έχουν σχηματιστεί τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης πλαστικές αρθρώσεις στην κατασκευή. Εάν δεν έχουν αστοχήσει οι πλαστικές αρθρώσεις τότε θεωρείται πως η κατασκευή δεν έχει υπερβεί το όριο των ελαφριών βλαβών. Σε αυτή την περίπτωση η κατακόρυφη γραμμή που δείχνει την μετακίνηση κορυφής παίρνει το χρώμα αυτού του ορίου (γαλάζιο) καθώς και την ονομασία του, δηλαδή ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ. Στην περίπτωση που το ποσοστό των διατομών που αστοχούν είναι μεγαλύτερο από 0% και μικρότερο από 5% η κατασκευή θεωρείται πως έχει υπερβεί το όριο των ελαφριών βλαβών αλλά δεν έχει φτάσει το όριο των μέτριων βλαβών (ή στάθμη άμεσης χρήσης). Τότε, η κατακόρυφη γραμμή της μετακίνησης παίρνει το χρώμα μπλε της καμπύλης τρωτότητας μέτριων βλαβών και την ονομασία ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ. Εάν το ποσοστό των διατομών που αστοχούν είναι ανάμεσα στο 5% και 25% η κατασκευή έχει υπερβεί το όριο των μέτριων βλαβών (ή στάθμη άμεσης χρήσης) αλλά δεν έχει φτάσει το όριο των εκτεταμένων βλαβών (ή στάθμη προστασίας ζωής). Η κατακόρυφη γραμμή της μετακίνησης παίρνει το χρώμα κίτρινο της καμπύλης τρωτότητας εκτεταμένων βλαβών και την ονομασία ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ. Τέλος, εάν το ποσοστό των διατομών που αστοχούν είναι μεγαλύτερο από 25% και μικρότερο από 50% η κατασκευή θεωρείται πως έχει υπερβεί το όριο των εκτεταμένων βλαβών (ή προστασία ζωής) αλλά δεν έχει φτάσει τη στάθμη οιονεί κατάρρευσης. Η κατακόρυφη γραμμή που αναφέρεται στην μετακίνηση κορυφής παίρνει το χρώμα

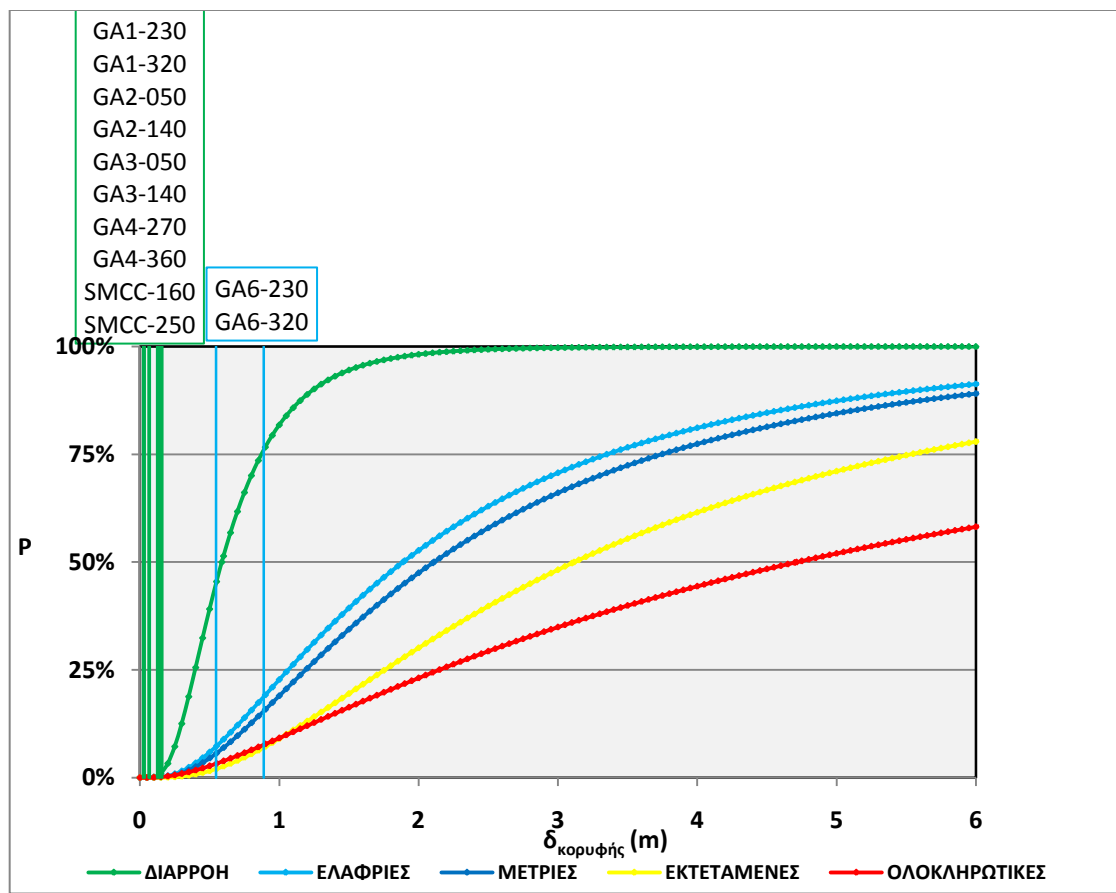
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

κόκκινο της καμπύλης τρωτότητας ολοκληρωτικών βλαβών και την ονομασία ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ.

**6.2.1 COYOTE LAKE, CA, USA**

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
GA1 - 230	0.02311	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA1 - 320	0.06361	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA2 - 050	0.06984	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA2 - 140	0.15990	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA3 - 050	0.12370	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA3 - 140	0.14290	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA4- 270	0.13680	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA4 - 360	0.14270	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GA6 - 230	0.88770	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
GA6 - 320	0.54640	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SMCC - 160	0.03320	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SMCC - 250	0.06361	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

**Πίνακας 6.1:** Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή COYOTE LAKE.



**Σχήμα 6.1:** Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή Coyote Lake, με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

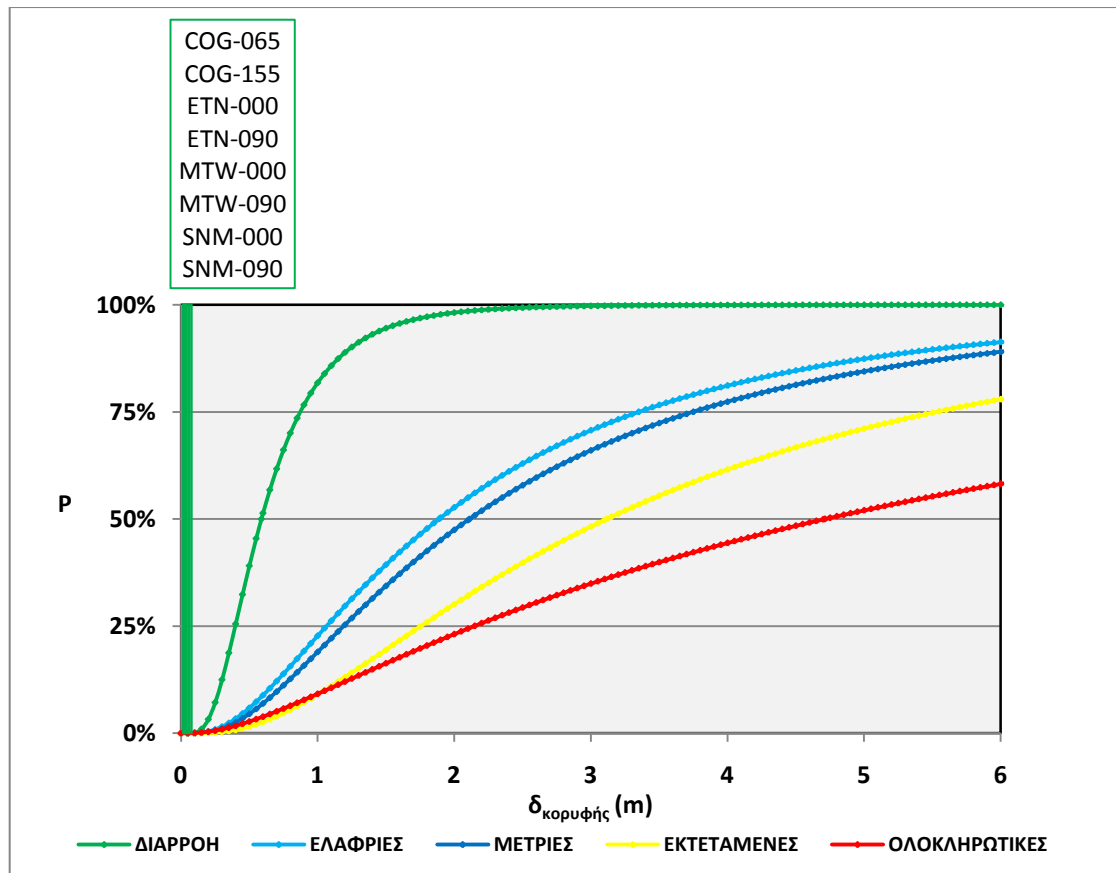
Υπάρχει διαφοροποίηση στα αποτελέσματα SAP και HAZUS μόνο για την καταγραφή GA6-320. Πιο συγκεκριμένα με βάση το SAP προκύπτει πως έχουν σχηματιστεί πλαστικές αρθρώσεις που δεν έχουν όμως αστοχήσει (γαλάζιο χρώμα). Βέβαια μόλις 28 από τις συνολικά 440 διατομές του κτιρίου έχουν διαρρεύσει. Η μετακίνηση κορυφής για αυτή την καταγραφή είναι πολύ κοντά στη μέση μετακίνηση ' διαρροής ' άρα η πιθανότητα να η κατασκευή να φτάσει στη διαρροή είναι σχετικά μεγάλη.

### 6.2.2 SIERRA MADRE, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
COG - 065	0.02229	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
COG - 155	0.05765	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ETN - 000	0.07586	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ETN - 090	0.01771	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
MTW - 000	0.04066	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
MTW - 090	0.02661	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SNM - 000	0.02875	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SNM - 090	0.01939	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.2: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή SIERRA MADRE, CA, USA.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



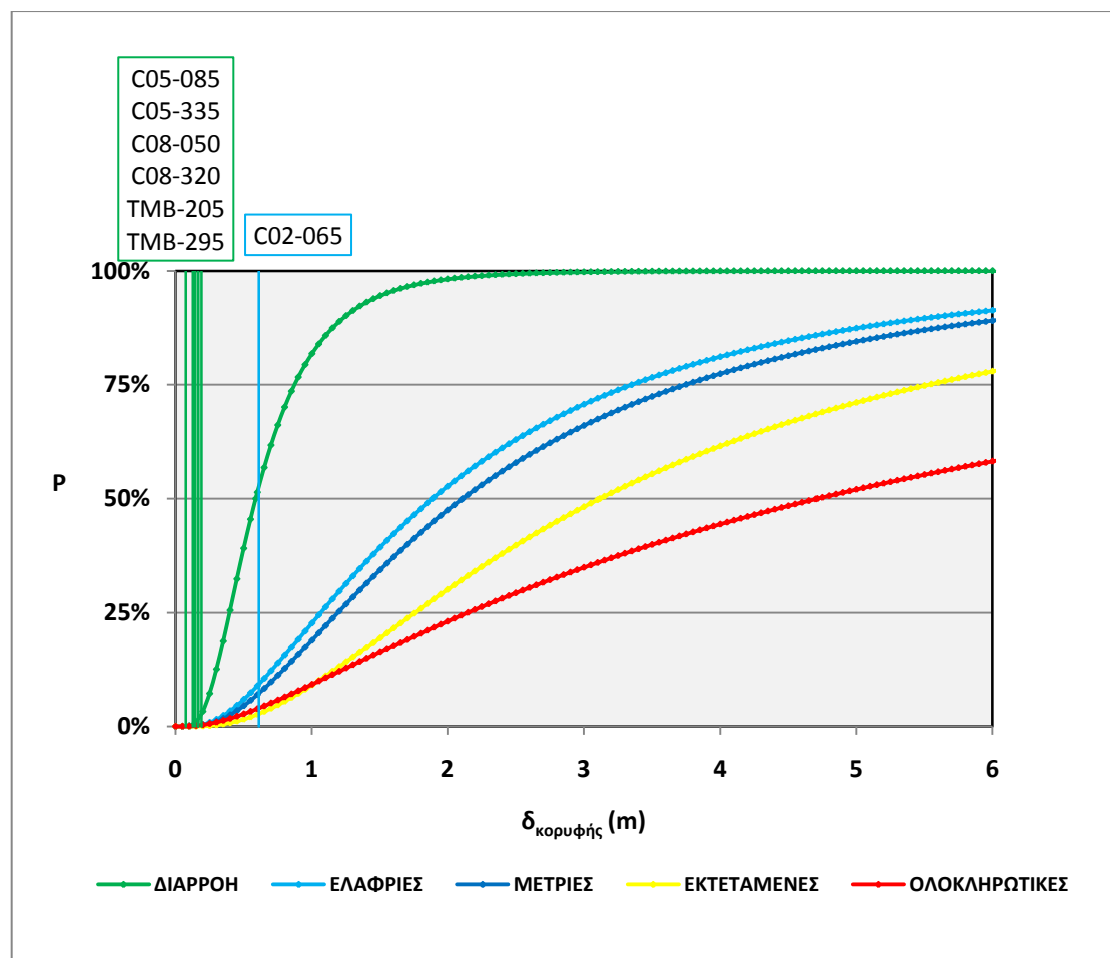
Σχήμα 6.2: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή SIERRA MADRE, CA, USA, με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Όπως προκύπτει δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις δύο μεθόδους.

### 6.2.3 PARKFIELD, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δ <sub>κορυφής</sub> (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
CO2 - 065	0.61080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CO5 - 085	0.16380	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CO5 - 355	0.19070	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CO8 - 050	0.16770	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CO8 - 320	0.14320	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TMB - 205	0.07578	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TMB - 295	0.12610	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.3: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PARKFIELD, CA, USA



Σχήμα 6.3: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PARKFIELD, CA, USA, με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

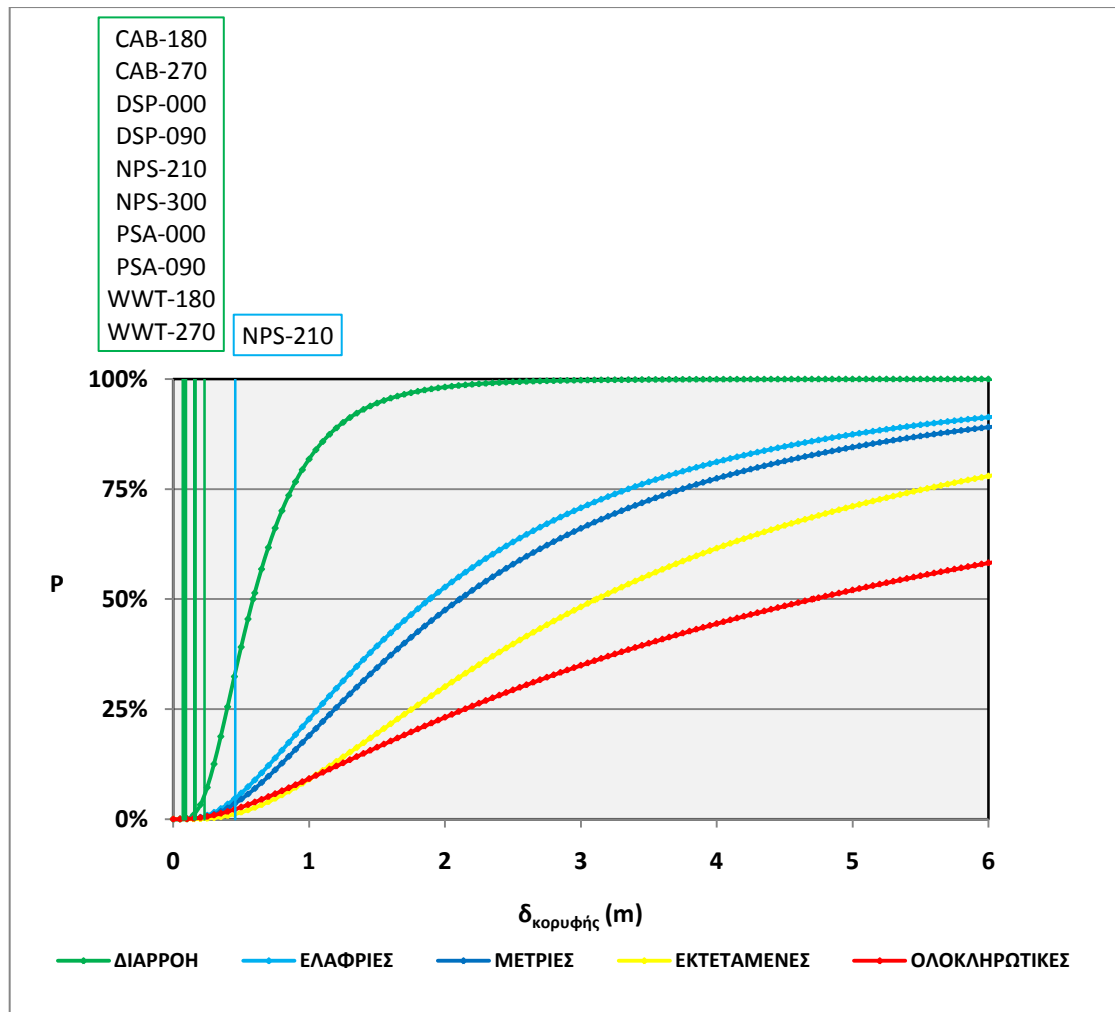
Όπως προκύπτει δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις δύο μεθόδους.

#### 6.2.4 PALM SPRINGS, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
CAB - 180	0.07512	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CAB - 270	0.08954	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
DSP - 000	0.22980	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
DSP - 090	0.15780	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NPS - 210	0.45750	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NPS - 300	0.15450	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PSA - 000	0.08000	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PSA - 090	0.07041	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WWT - 180	0.16340	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WWT - 270	0.09441	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.4: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PALM SPRINGS, CA, USA

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



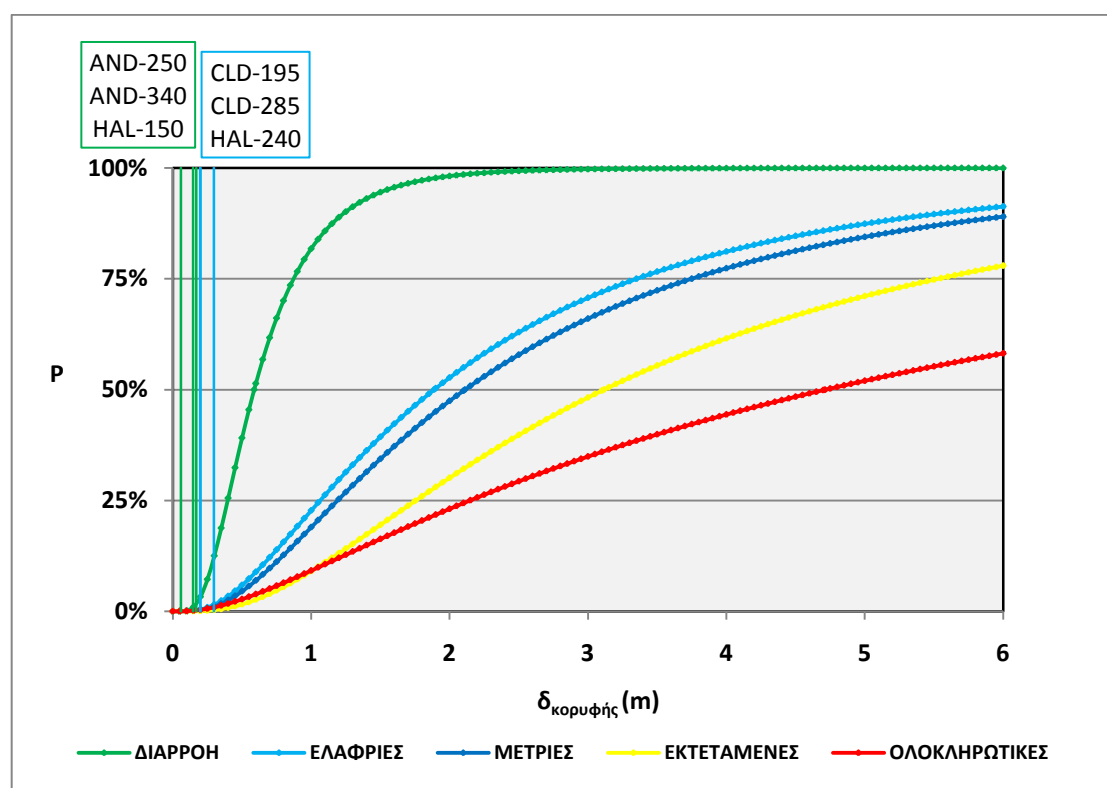
Σχήμα 6.4: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PALM SPRINGS, CA, USA, με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Προκύπτει πως η μόνη διαφοροποίηση στις στάθμες επιτελεστικότητας που υπάρχει είναι στην καταγραφή NPS-210. Με βάση τα αποτελέσματα του SAP 45 από τις 440 διατομές έχουν διαρρεύσει (γαλάζιο χρώμα), ενώ σύμφωνα με το HAZUS η πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή την διαρροή είναι λίγο μικρότερη από 35%.

## 6.2.5 MORGAN HILL, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
AND - 250	0.14540	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
AND - 340	0.17060	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CLD - 195	0.29800	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CLD - 285	0.19920	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
HAL - 150	0.05959	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
HAL - 240	0.19850	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.5: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή MORGAN HILL, CA, USA



Σχήμα 6.5: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή MORGAN HILL, CA, USA, με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Διαφοροποίηση στις δύο μεθόδους δίνουν οι καταγραφές CLD-195, CLD-285, HAL-240. Ενώ με βάση το SAP 20, 49 και 2 διατομές αντίστοιχα από τις 440 έχουν διαρρεύσει (γαλάζιο χρώμα), με βάση το HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 25%.

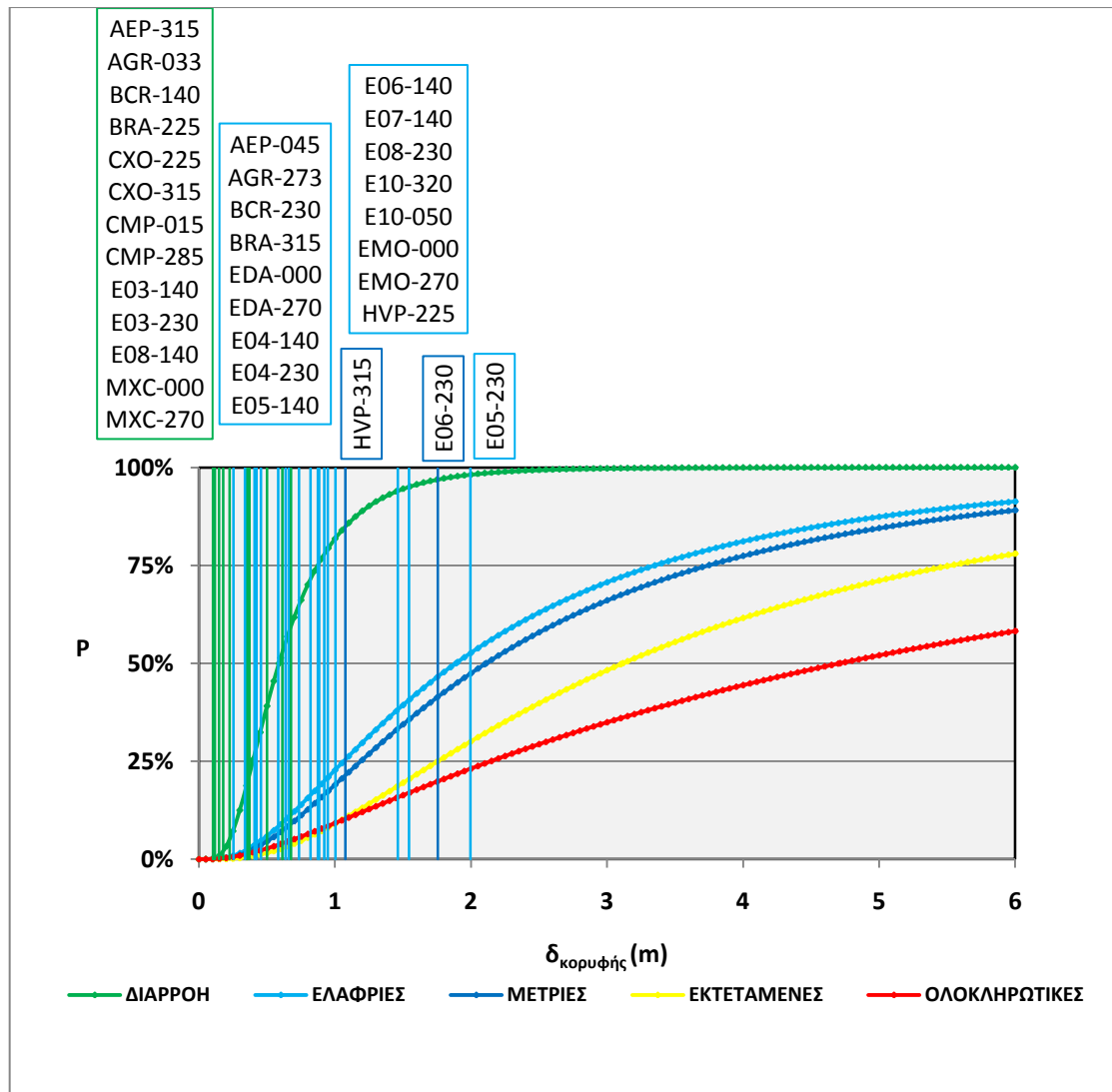
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

**6.2.6 IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979**

ΧΡΟΝΟ- ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
ΑΕΡ - 045	0.42350	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΑΕΡ - 315	0.10220	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΑGR - 033	0.36290	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΑGR - 273	0.40810	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΒCR - 140	0.37200	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΒCR - 230	0.25400	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΒRA - 225	0.34960	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΒRA - 315	0.65950	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΧΧΟ - 225	0.35390	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΧΧΟ - 315	0.17720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
СMP - 015	0.22530	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
СMP - 285	0.11760	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΕDA - 000	0.45670	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΕDA - 270	0.94790	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε03 - 140	0.61300	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
Ε03 - 230	0.67570	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
Ε04 - 140	0.33940	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε04 - 230	1.46200	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε05 - 140	0.73580	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε05 - 230	1.99600	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε06 - 140	0.92030	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε06 - 230	1.75700	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.2273	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
Ε07 - 140	0.63680	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε08 - 140	0.50020	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
Ε08 - 230	0.87470	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε10 - 320	0.58240	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
Ε10 - 050	1.00400	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΕMO - 000	0.81910	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΕMO - 270	1.54400	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΜΧC - 000	0.10870	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΜΧC - 270	0.14720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΗVP - 225	0.88380	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΗVP - 315	1.07700	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.4545	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ

**Πίνακας 6.6:** Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979





Σχήμα 6.6: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979 με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

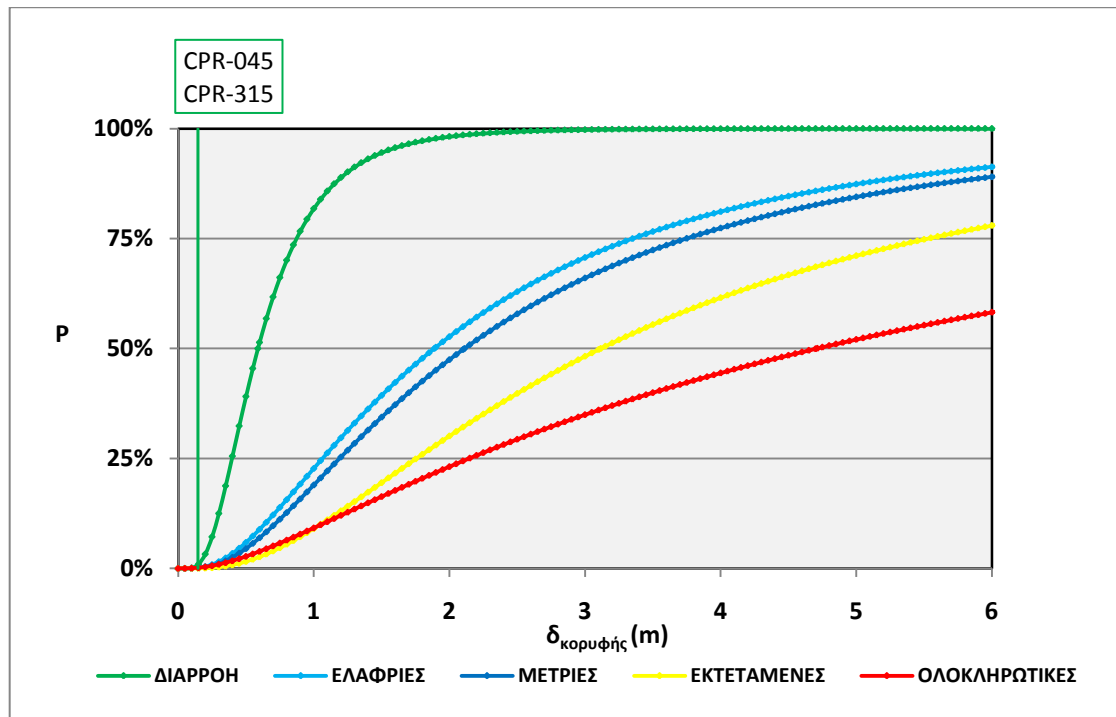
Οι περιπτώσεις όπου το SAP έχει δώσει πλαστικές αρθρώσεις που δεν έχουν αστοχήσει (γαλάζιο χρώμα) είναι οι AEP-045, AGR-273, BCR-230, EDA-000, E04-140, E10-320. Ο αριθμός των πλαστικών αρθρώσεων που μετρήθηκαν ήταν 10, 7, 1, 34, 11 και 31 αντίστοιχα από τις 440 διατομές ενώ με βάση το HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 50%. Η αντίστροφη περίπτωση, δηλαδή όταν οι διατομές δεν διέρρευσαν (πράσινο χρώμα) ενώ με το HAZUS η πιθανότητα να δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις είναι μεγαλύτερη από 50%, συνέβη στις καταγραφές E03-140, E03-230. Βέβαια οι μετακινήσεις που έδωσαν αυτές οι καταγραφές (0.613 m και 0.6757 m αντίστοιχα) βρίσκονται πολύ κοντά στην μέση μετακίνηση που ορίζει την καμπύλη τρωτότητας για διαρροή (0.5878 m). Επίσης στην E05-230 δεν αστόχησε καμία πλαστική άρθρωση (γαλάζιο χρώμα) ενώ με βάση την μεθοδολογία του HAZUS η κατασκευή βρισκόταν ανάμεσα στις καμπύλες ελαφρών και μέτριων ζημιών (μπλε χρώμα). Δηλαδή με βάση το HAZUS, η πιθανότητα να έχουν αστοχήσει πλαστικές αρθρώσεις είναι μεγαλύτερη από 50%. Όμως η μετακίνηση που έδωσε η συγκεκριμένη καταγραφή (1.996 m) βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση μετακίνηση που ορίζει το επίπεδο βλάβης για ελαφριές ζημιές (1.888

m). Τέλος ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασαν οι καταγραφές E06-230, HVP-315 που ενώ με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS η κατασκευή βρισκόταν ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές ζημιές (γαλάζιο χρώμα), με βάση το SAP η κατασκευή βρέθηκε να έχει ποσοστό αστοχίας ανάμεσα στο 0% και το 5% (μπλε χρώμα). Όπως όμως φαίνεται και από τον πίνακα αυτά τα δύο ποσοστά είναι ιδιαίτερα μικρά και ουσιαστικά αντιστοιχούν σε αστοχία 1 και 2 πλαστικών αρθρώσεων αντίστοιχα. Όμως ειδικά στην περίπτωση της HVP-315 υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων καθώς με βάση το HAZUS η πιθανότητα να έχουμε αστοχία των πλαστικών αρθρώσεων είναι περίπου 25%. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται ταύτιση των αποτελεσμάτων.

### 6.2.7 MEXICALI VALLEY, MEXICO

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
CPR - 045	0.1462	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CPR - 315	0.1456	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.7: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή MEXICALI VALLEY, MEXICO



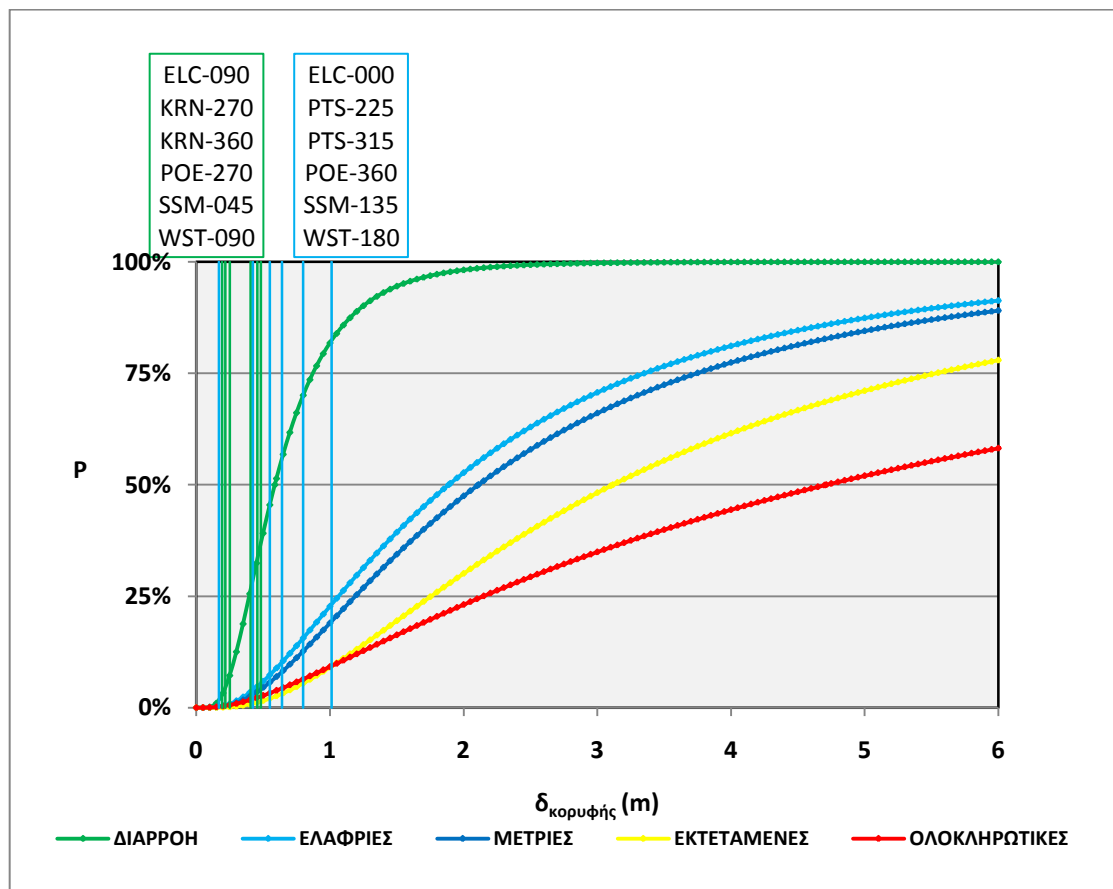
Σχήμα 6.7: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή MEXICALI VALLEY, MEXICO, 1979 με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

## 6.2.8 SUPERSTITION HILLS, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
ELC - 000	0.6415	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ELC - 090	0.4563	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
KRN - 270	0.2179	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
KRN - 360	0.2512	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PTS - 225	1.0120	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PTS - 315	0.7997	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
POE - 270	0.4062	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
POE - 360	0.4239	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SSM - 045	0.1942	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SSM - 135	0.1683	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
WST - 090	0.4829	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
WST - 180	0.5497	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.8: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή SUPERSTITION HILLS, CA, USA



Σχήμα 6.8: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή SUPERSTITION HILLS, CA, USA, 1979 με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 8.2)

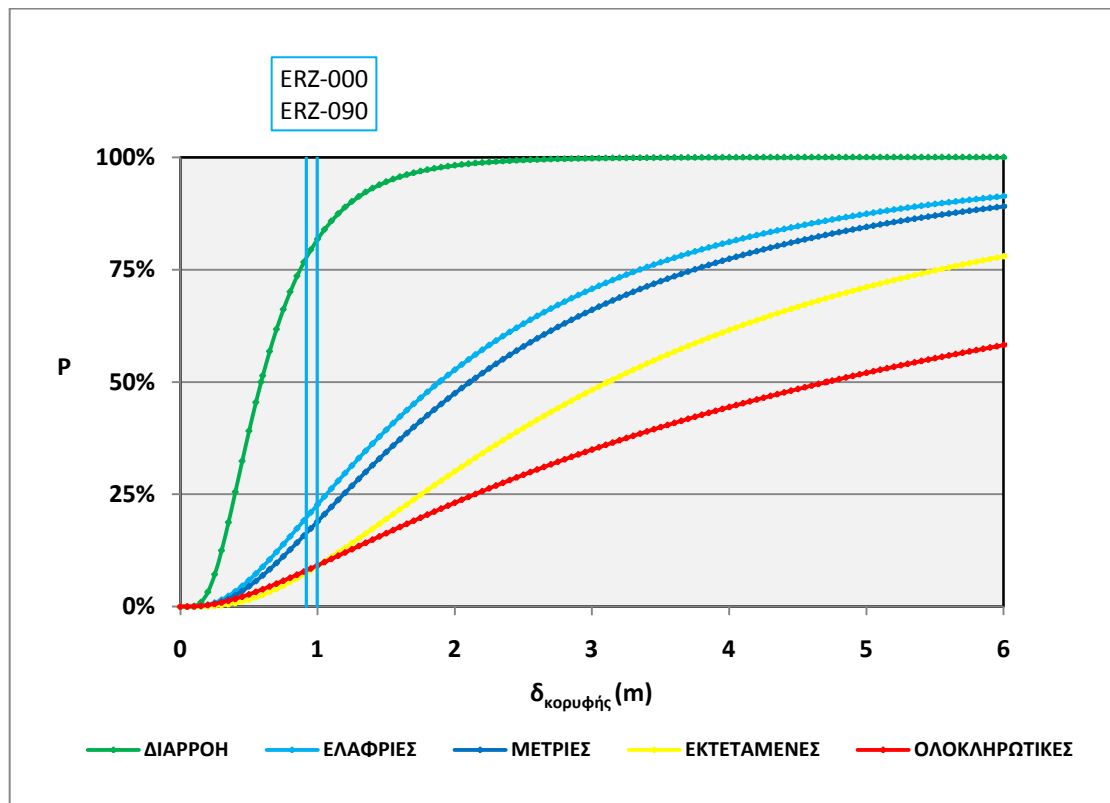
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Απόκλιση είχαμε στα αποτελέσματα των ΡΟΕ-360, SSM-135, WST-180 με το SAP να δίνει 2, 6, 24 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα που δεν έχουν αστοχήσει (γαλάζιο χρώμα), σε αντίθεση με το HAZUS που θέλει την κατασκευή να βρίσκεται πριν την καμπύλη διαρροής (πράσινο χρώμα) δηλαδή η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 50%. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

### 6.2.9 ERZINCAN, TURKEY

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
ERZ - 000	0.9171	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ERZ - 090	0.9965	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.9: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή ERZINCAN, TURKEY



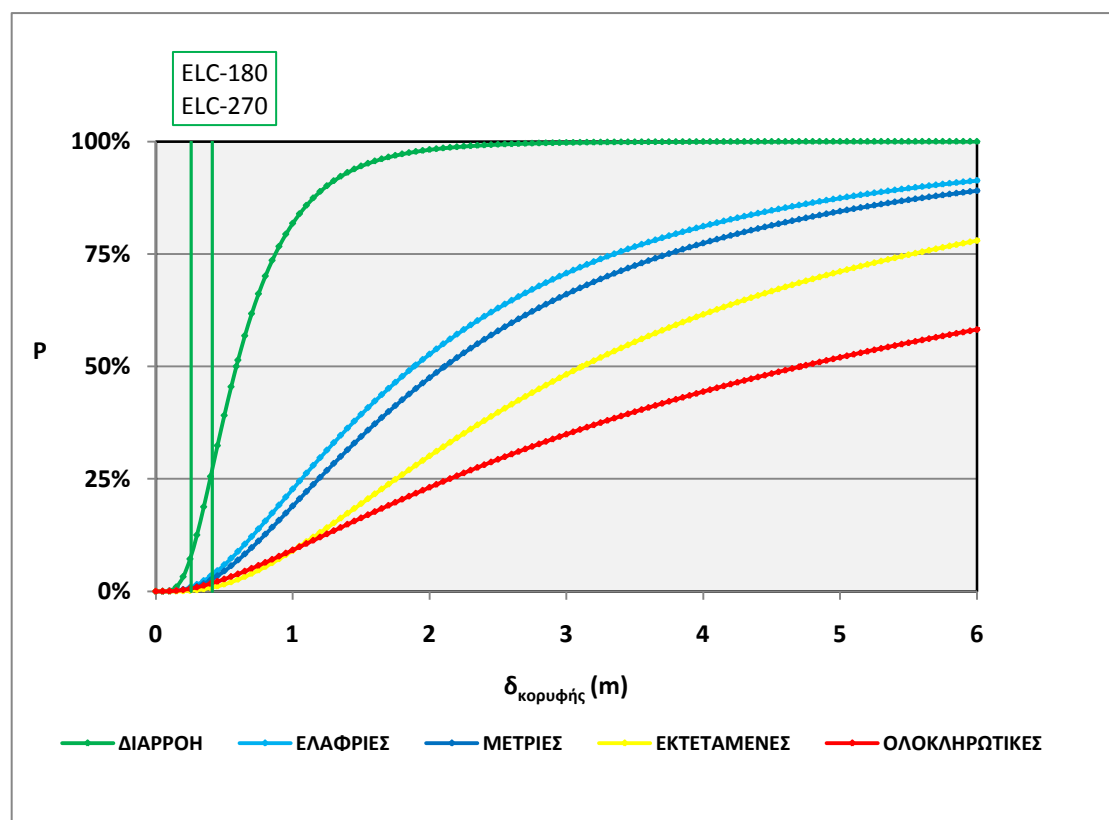
Σχήμα 6.9: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή ERZINCAN, TURKEY με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

## 6.2.10 IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
ELC - 180	0.2580	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ELC - 270	0.4118	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.10: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940



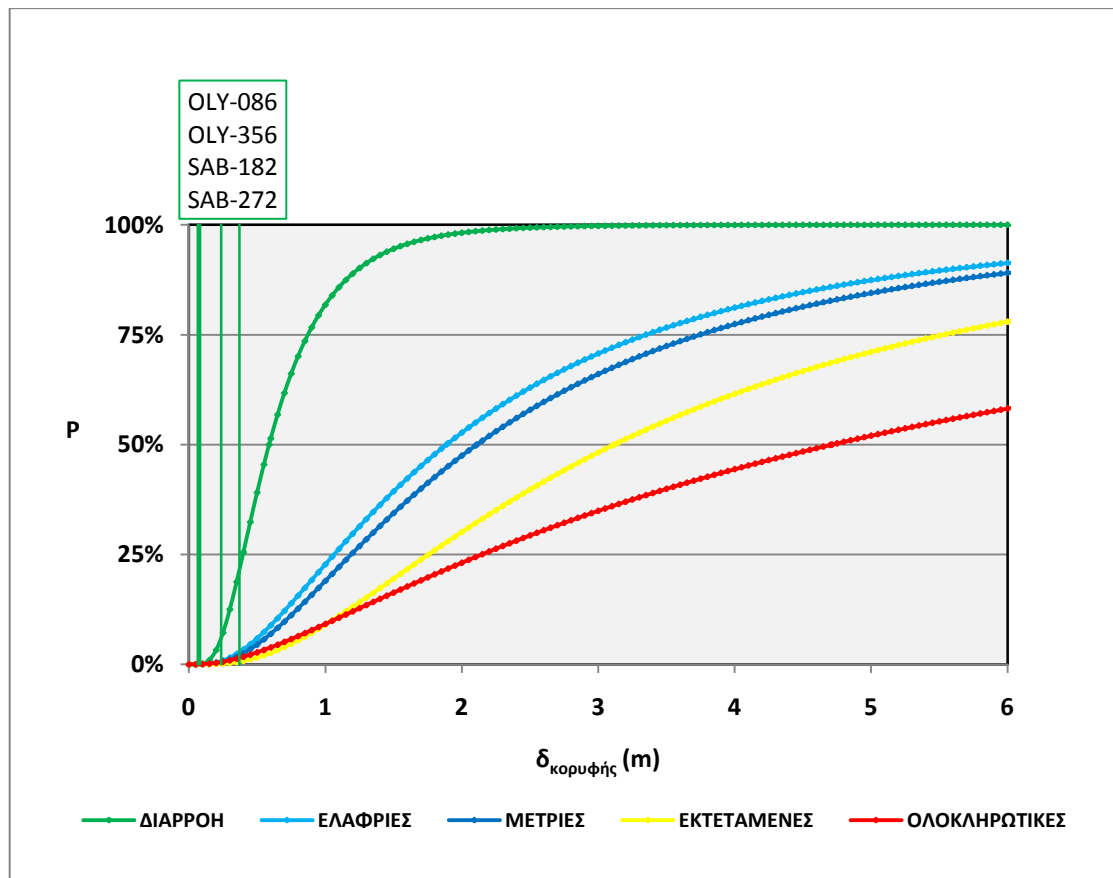
Σχήμα 6.10: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1940 με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

### 6.2.11 OLYMPIA WA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
OLY - 086	0.37100	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
OLY - 356	0.23530	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SAB - 182	0.06413	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SAB - 272	0.08095	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.11: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή OLYMPIA WA, USA



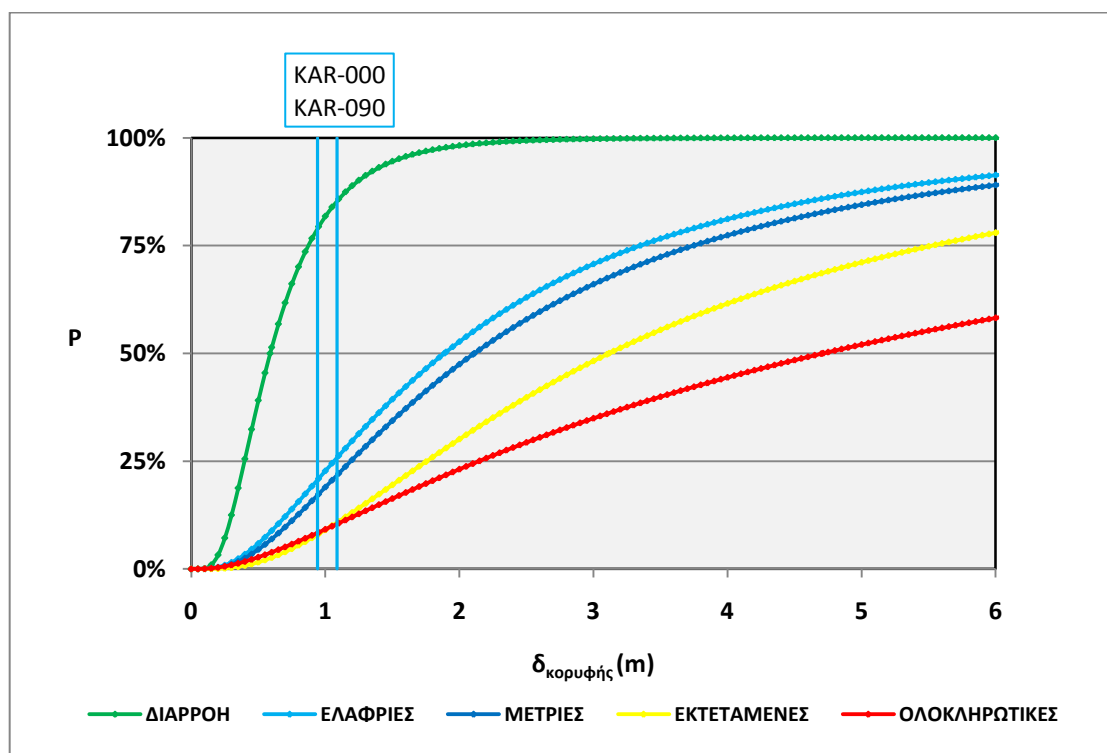
Σχήμα 6.11: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή OLYMPIA WA, USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

6.2.12 GAZLI, USSR

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
KAR - 000	1.0880	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KAR - 090	0.9423	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.12: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή GAZLI, USSR



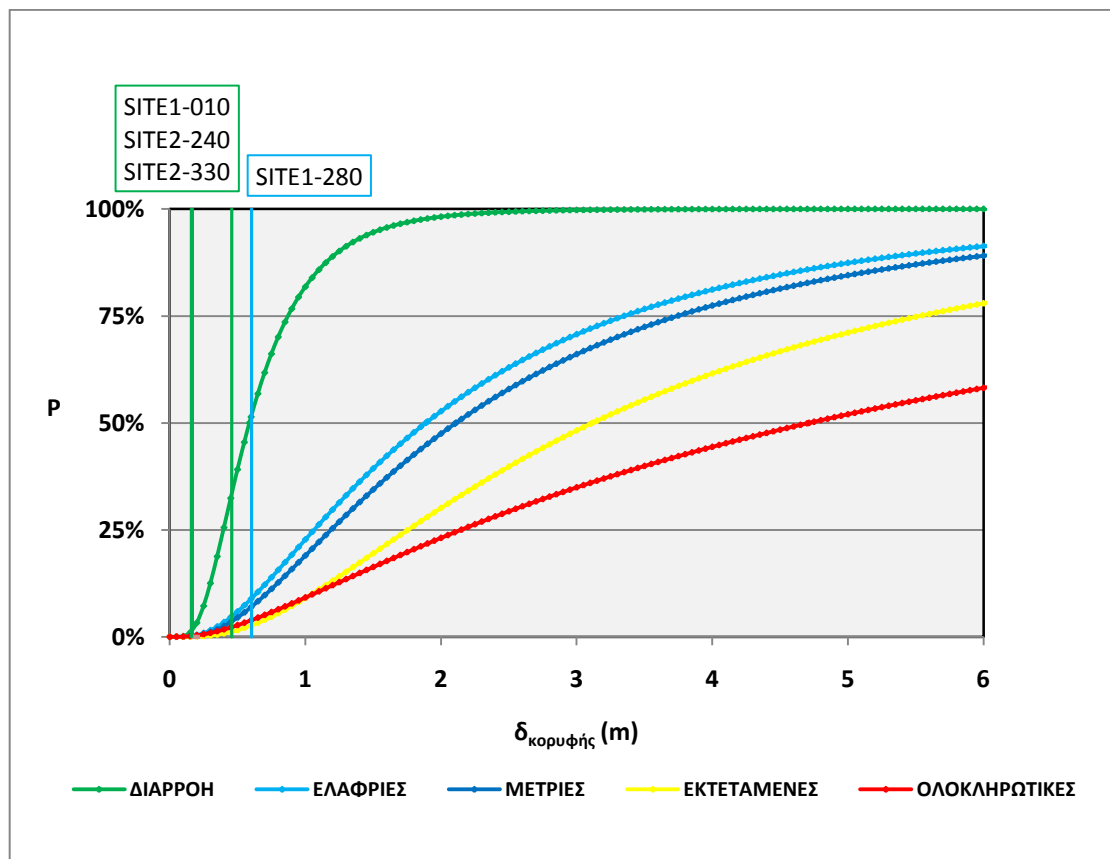
Σχήμα 6.12: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή GAZLI, USSR με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

### 6.2.13 ΝΑΗΑΝΝΙ, CANADA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
SITE 1 - 010	0.4574	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SITE 1 - 280	0.6045	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SITE 2 - 240	0.1676	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SITE 2 - 330	0.1608	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.13: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή ΝΑΗΑΝΝΙ, CANADA



Σχήμα 6.13: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή ΝΑΗΑΝΝΙ, CANADA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.



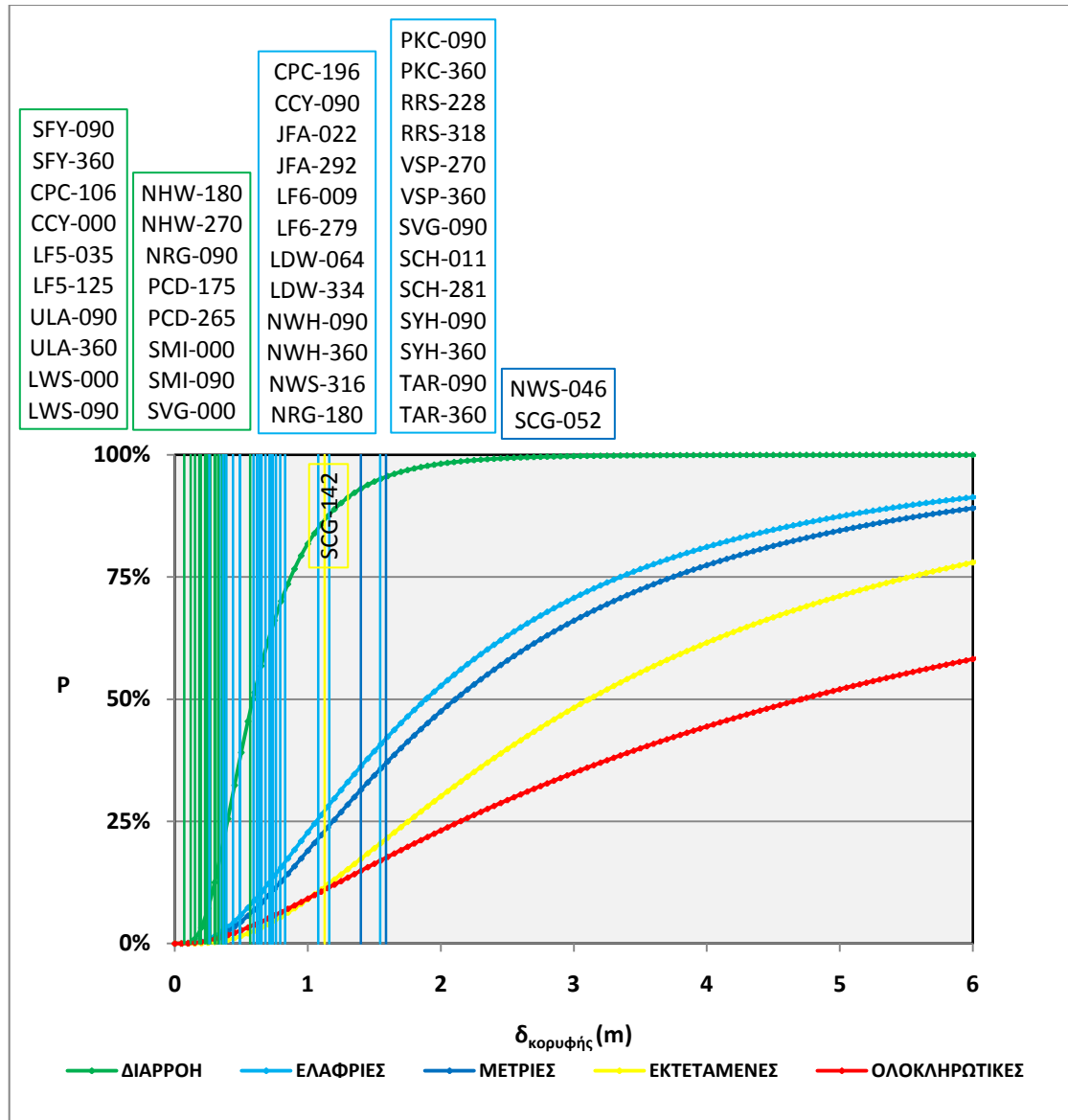
## 6.2.14 NORTHRIDGE, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
SFY - 090	0.29950	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SFY - 360	0.37890	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CPC - 106	0.35530	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CPC - 196	0.49000	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CCY - 000	0.36250	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
CCY - 090	0.37720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
JFA - 022	1.16200	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
JFA - 292	0.72200	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LF6 - 009	0.36380	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LF6 - 279	0.33500	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LF5 - 035	0.22710	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LF5 - 125	0.15250	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ULA - 090	0.19600	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ULA - 360	0.24500	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LWS - 000	0.07185	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LWS - 090	0.11960	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LDW - 064	0.76080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LDW - 334	0.68090	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NHW - 090	0.72140	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NHW - 360	0.79160	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NWS - 046	1.58900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	1.364	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
NWS - 316	0.61740	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NHW - 180	0.38560	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NHW - 270	0.56730	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NRG - 090	0.32740	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NRG - 180	0.65170	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PCD - 175	0.26640	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PCD - 265	0.24560	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
PKC - 090	0.63240	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PKC - 360	0.38760	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
RRS - 228	1.07900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
RRS - 318	0.59120	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
VSP - 270	0.48720	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
VSP - 360	0.71190	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SMI - 000	0.25790	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SMI - 090	0.18360	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SVG - 000	0.30680	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SVG - 090	0.26070	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SCG - 052	1.39900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.2273	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

SCG - 142	1.12600	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	7.045	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ
SCH - 011	1.54300	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SCH - 281	0.73740	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SYH - 090	0.73180	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
SYH - 360	0.82940	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAR - 090	0.43650	ΠΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAR - 360	0.64440	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.14: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή NORTHRIDGE, CA USA



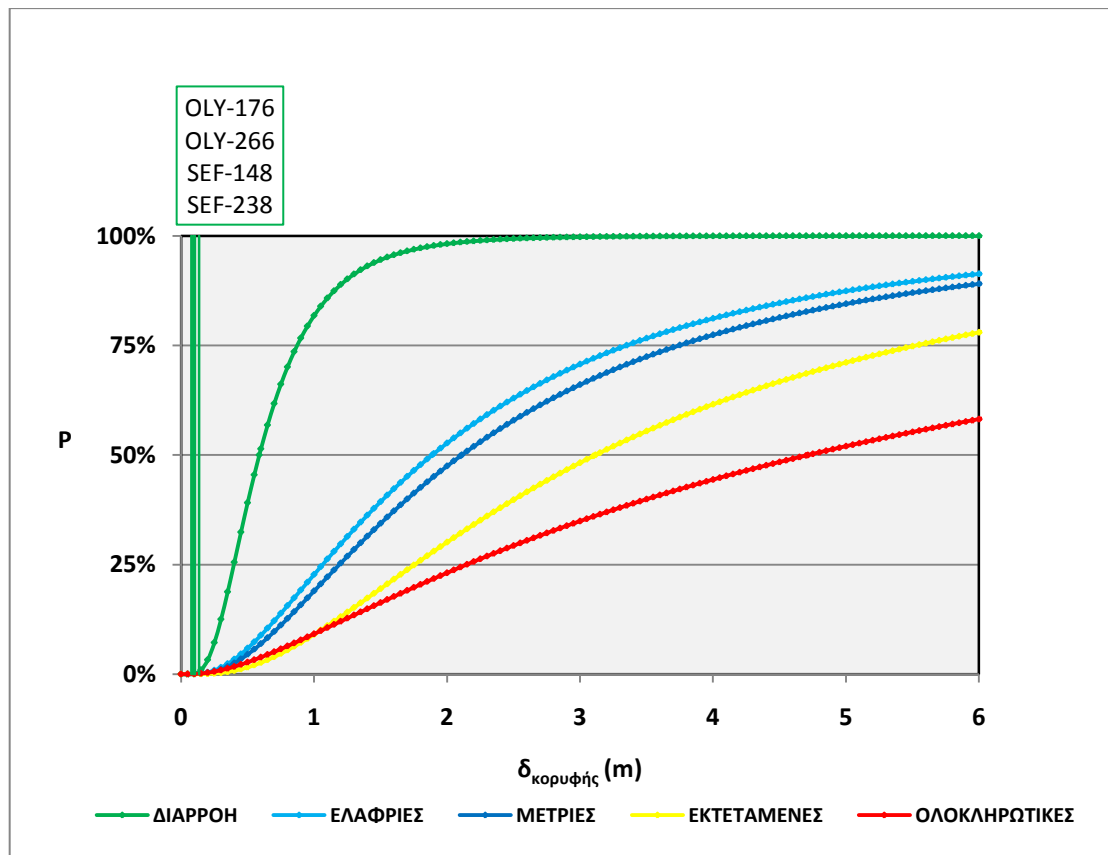
Σχήμα 6.14: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή NORTHRIDGE, CA USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Οι περιπτώσεις όπου η μεθοδολογία του HAZUS έχει κατατάξει την κατασκευή πριν από την καμπύλη διαρροής (πράσινο χρώμα) ενώ το SAP έχει δώσει πλαστικές αρθρώσεις που όμως δεν αστοχούν (γαλάζιο χρώμα) είναι οι CPC-196, CCY-090, LF6-009, LF6-279, PKC-360, VSP-270, SVG-090, TAR-090. Ο αριθμός των πλαστικών αρθρώσεων που μετρήθηκαν να έχουν διαρρεύσει ήταν μικρός σε σχέση με το σύνολο των διατομών (8, 8, 31, 39, 1, 58, 8, 76 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα από τις 440 διατομές). Οι καταγραφές NWS-046, SCG-052 με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS τοποθέτησαν την κατασκευή ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές ζημιές (γαλάζιο χρώμα) (δηλαδή η πιθανότητα η κατασκευή να έχει πλαστικές αρθρώσεις που αστοχούν είναι μικρότερη από 50%), ενώ με βάση το SAP η κατασκευή βρέθηκε να έχει ποσοστό αστοχίας ανάμεσα στο 0% και το 5% (μπλε χρώμα). Βέβαια μόλις 6 και 1 αντίστοιχα πλαστικές αρθρώσεις αστόχησαν. Τέλος σύμφωνα με την καταγραφή SCG-142 η κατασκευή βρέθηκε ανάμεσα στις καμπύλες διαρροής και ελαφριών βλαβών (γαλάζιο χρώμα) με βάση το HAZUS, ενώ το SAP έδωσε ποσοστό αστοχίας διατομών μεταξύ του 5% και 25% που σημαίνει ότι υπερέβη τη στάθμη άμεσης χρήσης αν και αυτή η πιθανότητα με βάση το HAZUS είναι μικρότερη από 25%). Από τις 440 διατομές 31 πλαστικές αρθρώσεις αστόχησαν. Η πιθανή αιτία αυτής της πολύ μεγάλης απόκλισης στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων αναλύεται παρακάτω. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

### 6.2.15 PUGET SOUND, WA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
OLY - 176	0.07771	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
OLY - 266	0.09236	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SEF - 148	0.10360	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
SEF - 238	0.13650	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.15: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PUGET SOUND, WA, USA



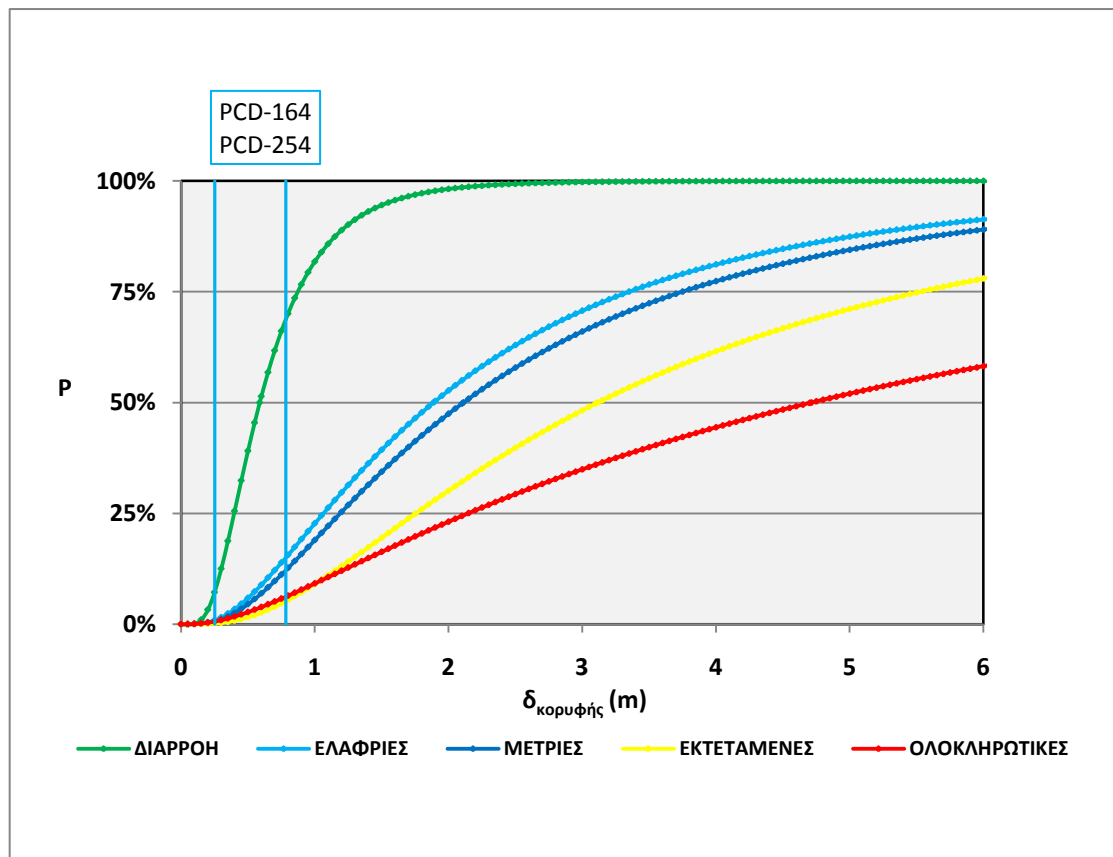
Σχήμα 6.15: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PUGET SOUND, WA, USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

## 6.2.16 SAN FERNANDO, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δ <sub>κορυφής</sub> (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
PCD - 146	0.7830	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PCD - 254	0.2527	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.16: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό πλαστικών αρθρώσεων που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή SAN FERNANDO, CA, USA



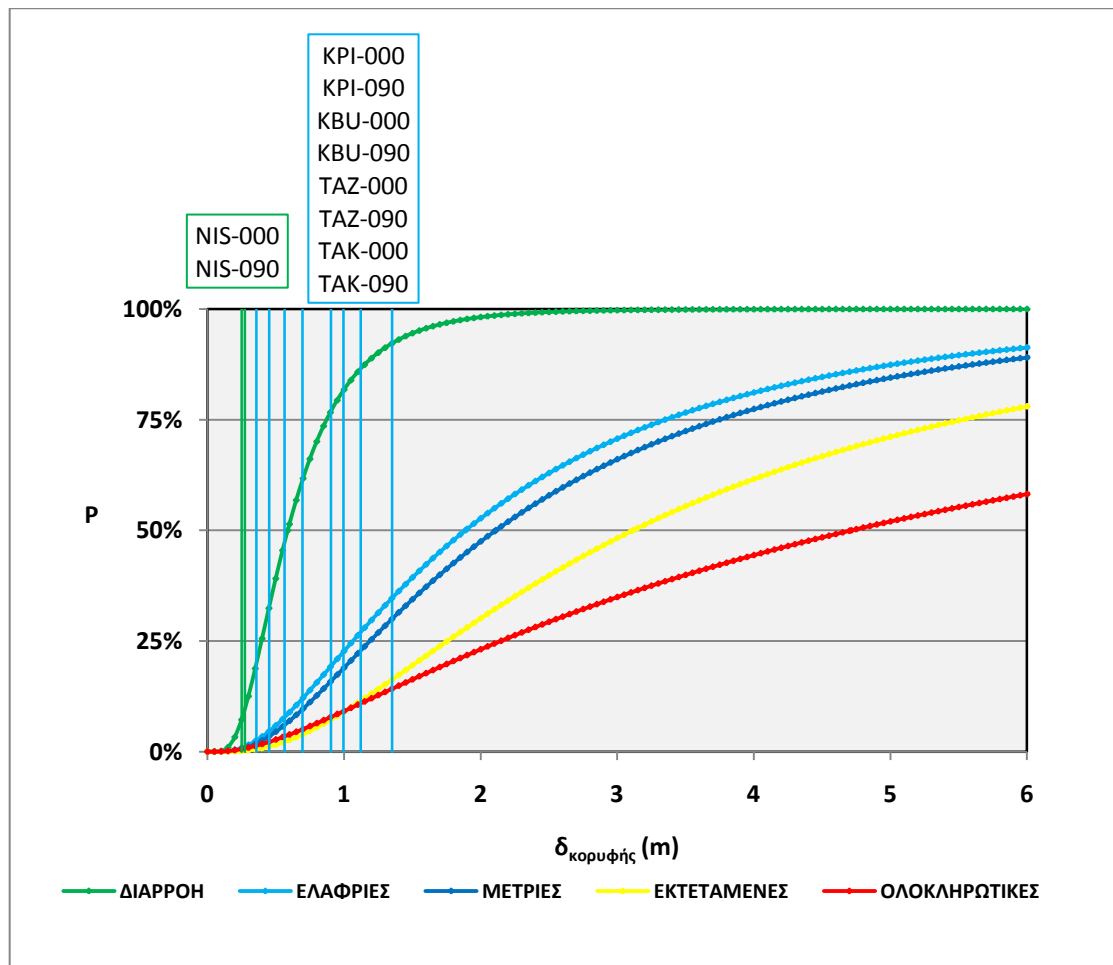
Σχήμα 6.16: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή SAN FERNANDO, CA, USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Μόνο η καταγραφή PCD-254 διαφοροποιείται στις δύο μεθόδους. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης έχουν σχηματιστεί 29 πλαστικές αρθρώσεις που δεν έχουν αστοχήσει ενώ με βάση το HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 25%.

### 6.2.17 HANSHIN (ΚΟΒΕ), JAPAN

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
KPI - 000	1.3510	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KPI - 090	0.9955	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KBU - 000	0.5634	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
KBU - 090	0.3586	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
NIS - 000	0.2747	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
NIS - 090	0.2501	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TAZ - 000	0.6954	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAZ - 090	0.4522	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAK - 000	0.9036	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TAK - 090	1.1220	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.17: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή HANSHIN (ΚΟΒΕ), JAPAN



Σχήμα 6.17: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή HANSHIN (ΚΟΒΕ), JAPAN με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

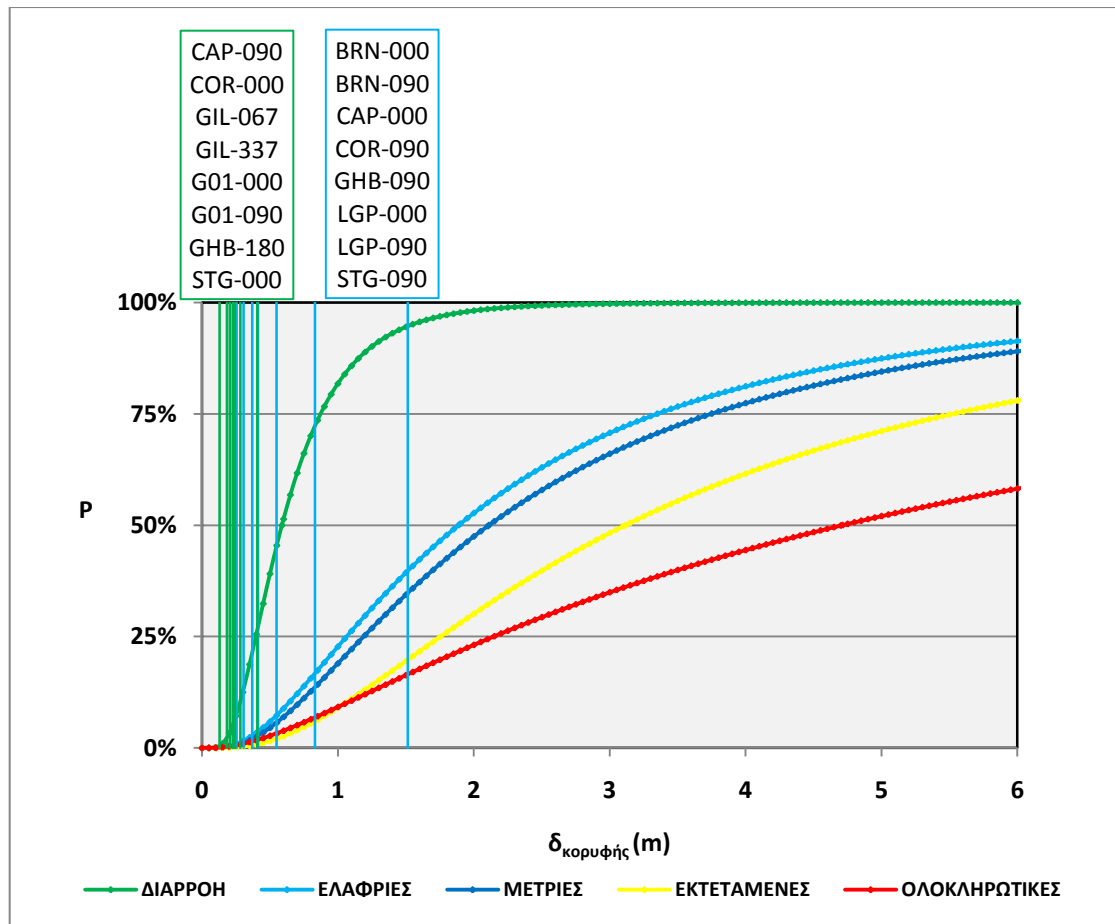
Διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις καταγραφές KBU-000, KBU-090, TAZ-090. Πιο συγκεκριμένα και στις τρεις περιπτώσεις σύμφωνα με τη μέθοδο του HAZUS η μετακίνηση της κατασκευής είναι μικρότερη από τη μέση μετακίνηση που ορίζει την καμπύλη διαρροής (πράσινο χρώμα) (δηλαδή η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 50%), ενώ σύμφωνα με το SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης έχουν σχηματιστεί 68, 6, 77 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα που δεν έχουν αστοχήσει. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

### 6.2.18 LOMA PRIETA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
BRN - 000	0.3703	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
BRN - 090	0.2538	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CAP - 000	0.2504	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CAP - 090	0.2337	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
COR - 000	0.2819	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
COR - 090	0.4125	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
GIL - 067	0.2262	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GIL - 337	0.1831	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
G01 - 000	0.2058	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
G01 - 090	0.2423	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
GHB - 090	0.3049	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
GHB - 180	0.1288	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
LGP - 000	1.5140	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LGP - 090	0.5480	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
STG - 000	0.4084	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
STG - 090	0.8309	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 6.18: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή LOMA PRIETA, USA**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



Σχήμα 6.18: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή LOMA PRIETA, USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

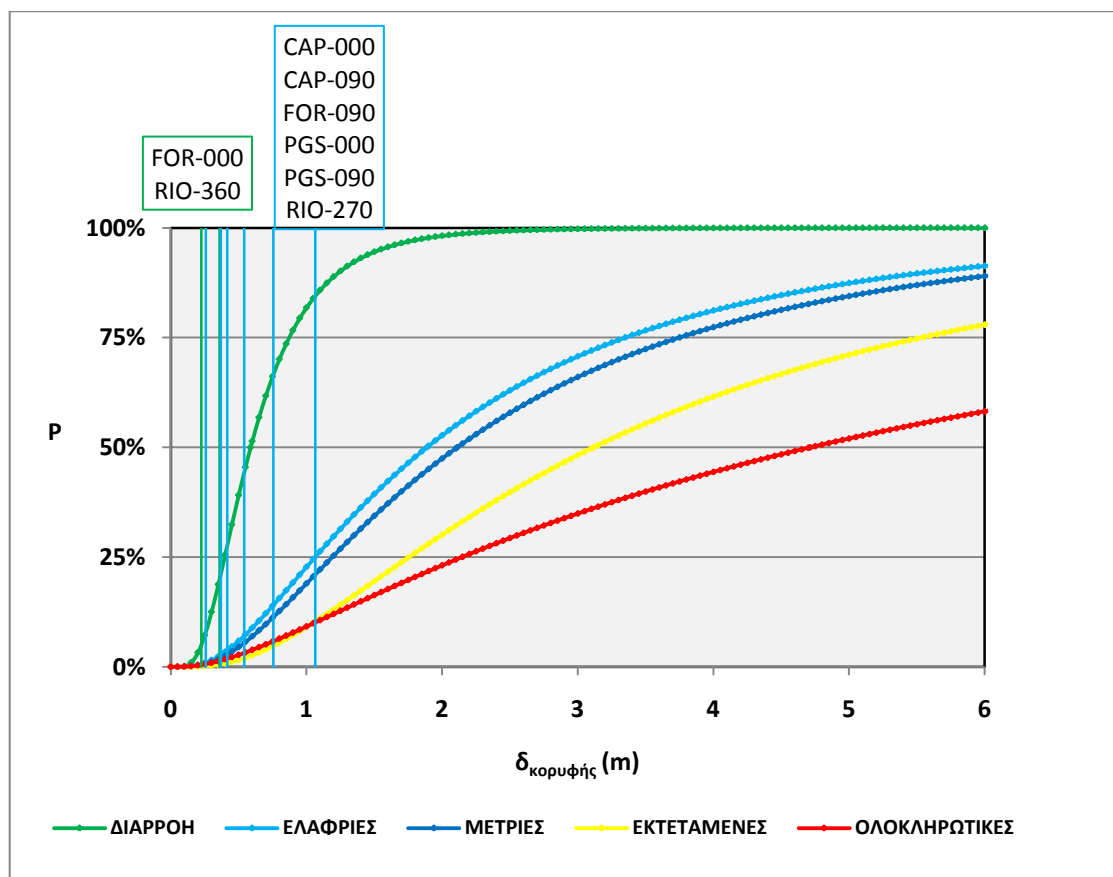
Διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις καταγραφές BRN-000, BRN-090, CAP-000, COR-090, GHB-090, LGP-090. Πιο συγκεκριμένα σε όλες τις περιπτώσεις σύμφωνα με τη μέθοδο του HAZUS η μετακίνηση της κατασκευής είναι μικρότερη από τη μέση μετακίνηση που ορίζει την καμπύλη διαρροής (πράσινο χρώμα) (δηλαδή η πιθανότητα σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων είναι μικρότερη από 50%), ενώ σύμφωνα με το SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης έχουν σχηματιστεί 36, 11, 23, 14, 14, 36 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα που δεν έχουν αστοχήσει. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.



## 6.2.19 PETROLIA, CA, USA

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
CAP - 000	1.0660	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CAP - 090	0.4153	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
FOR - 000	0.3603	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
FOR - 090	0.5422	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PGS - 000	0.3691	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
PGS - 090	0.7560	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
RIO - 270	0.2583	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
RIO - 360	0.2250	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Πίνακας 6.19: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή PETROLIA, CA, USA



Σχήμα 6.19: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή PETROLIA, CA, USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις καταγραφές CAP-090, FOR-090, PGS-000, RIO-270. Πιο συγκεκριμένα σε όλες τις περιπτώσεις σύμφωνα με τη μέθοδο του HAZUS η μετακίνηση της κατασκευής είναι μικρότερη από τη μέση μετακίνηση που

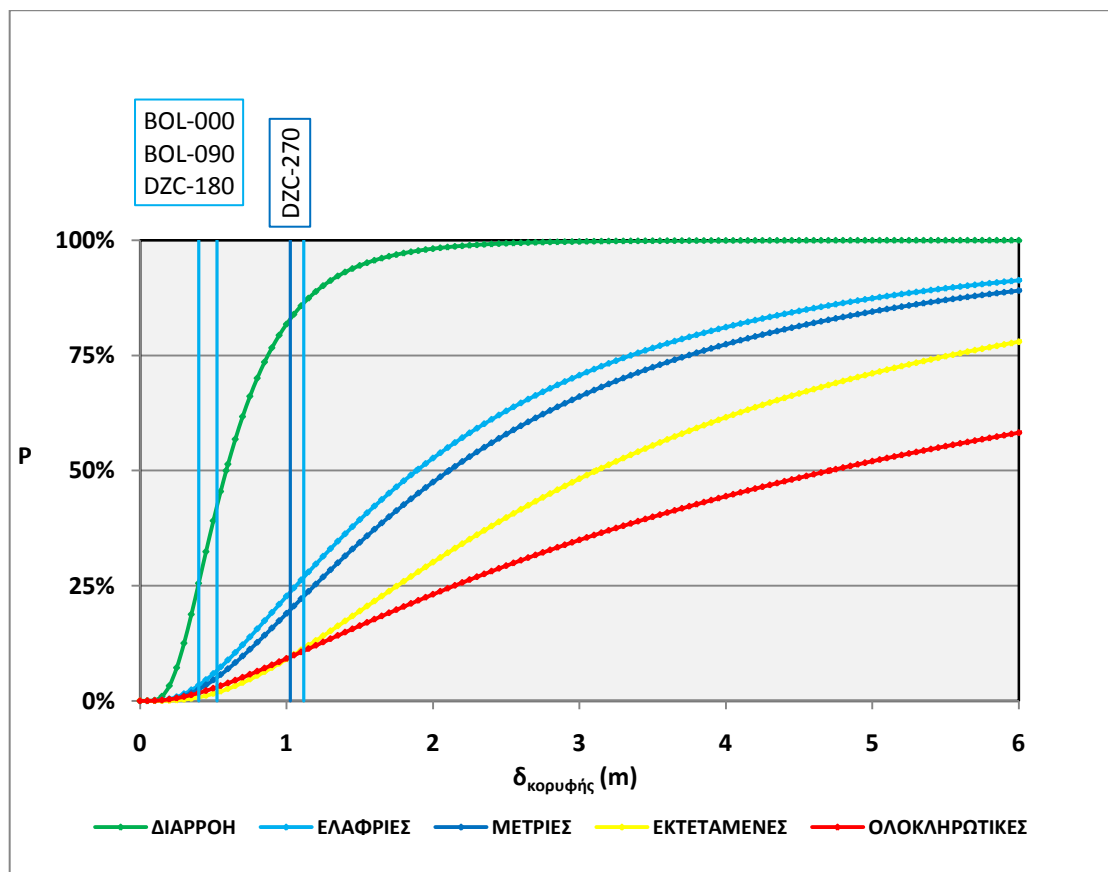
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

ορίζει την καμπύλη διαρροής (πράσινο χρώμα) (δηλαδή η πιθανότητα σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων είναι μικρότερη από 50%), ενώ σύμφωνα με το SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης έχουν σχηματιστεί 3, 1, 14, 6 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα που δεν έχουν αστοχήσει (γαλάζιο χρώμα). Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

**6.2.20 DUZCE, TURKEY**

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
BOL - 000	0.5253	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
BOL - 090	0.4006	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
DZC - 180	1.1180	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
DZC - 270	1.0250	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.2273	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ

**Πίνακας 6.20:** Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή DUZCE, TURKEY



**Σχήμα 6.20:** Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή DUZCE, TURKEY με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

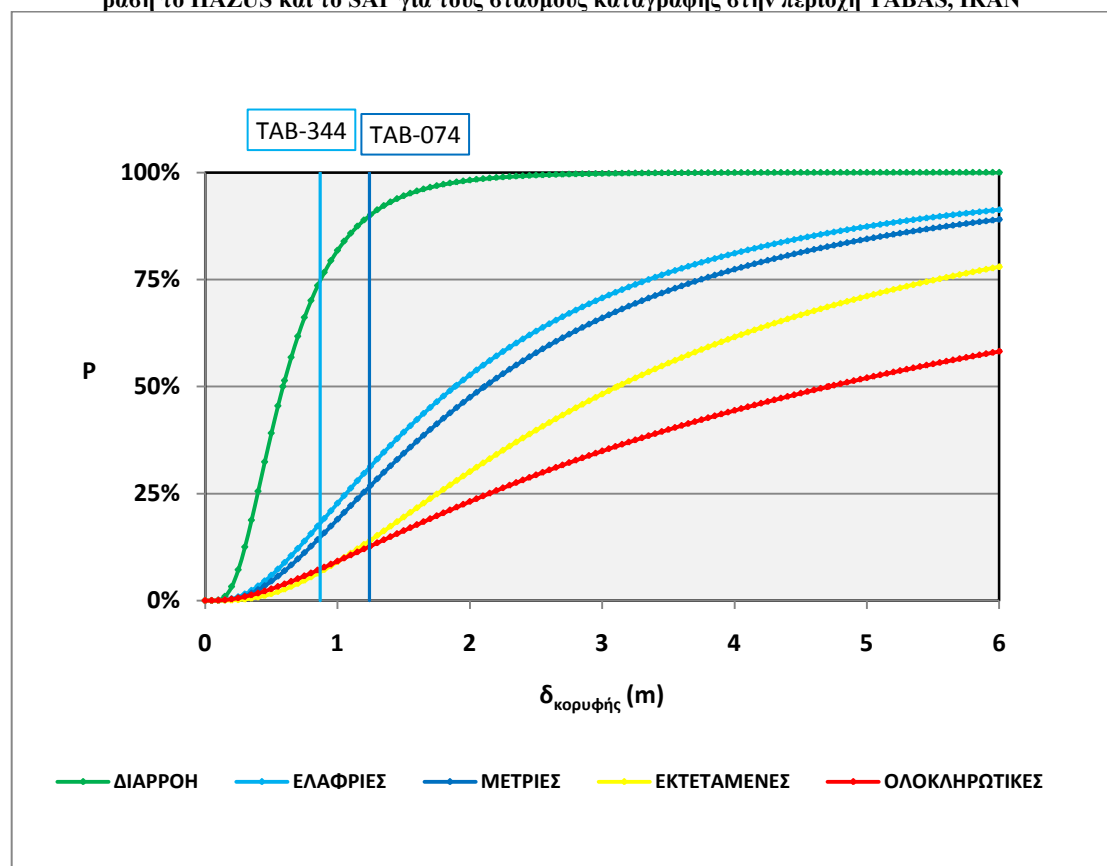
Στις καταγραφές BOL-000 και BOL-090 ενώ με βάση το SAP σχηματίστηκαν πλαστικές αρθρώσεις που δεν αστόχησαν (γαλάζιο χρώμα), (25 και 41 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα), με βάση το HAZUS η πιθανότητα δημιουργίας πλαστικών

αρθρώσεων είναι μικρότερη από 50%. Επίσης στην καταγραφή DZC-270 με βάση τη μεθοδολογία του SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης 1 πλαστική άρθρωση αστόχησε, και άρα το ποσοστό αστοχίας βρέθηκε ανάμεσα στο 0% και 5% (μπλε χρώμα), ενώ με βάση το HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης του επιπέδου ελαφριών βλαβών είναι μικρότερη από 25%. Η καταγραφή DZC-180 δίνει ταύτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

### 6.2.21 TABAS, IRAN

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
TAB - 074	1.2410	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.2273	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
TAB - 344	0.8686	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.21: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή TABAS, IRAN



Σχήμα 6.21: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή TABAS, IRAN με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Η καταγραφή TAB-074 με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS κατέταξε την κατασκευή ανάμεσα στην καμπύλη της διαρροής και στην καμπύλη για ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα) (η πιθανότητα υπέρβασης του επιπέδου ελαφριών βλαβών είναι λίγο μεγαλύτερη από 25%), ενώ με βάση το SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης 1 πλαστική άρθρωση αστόχησε, και άρα το ποσοστό αστοχίας

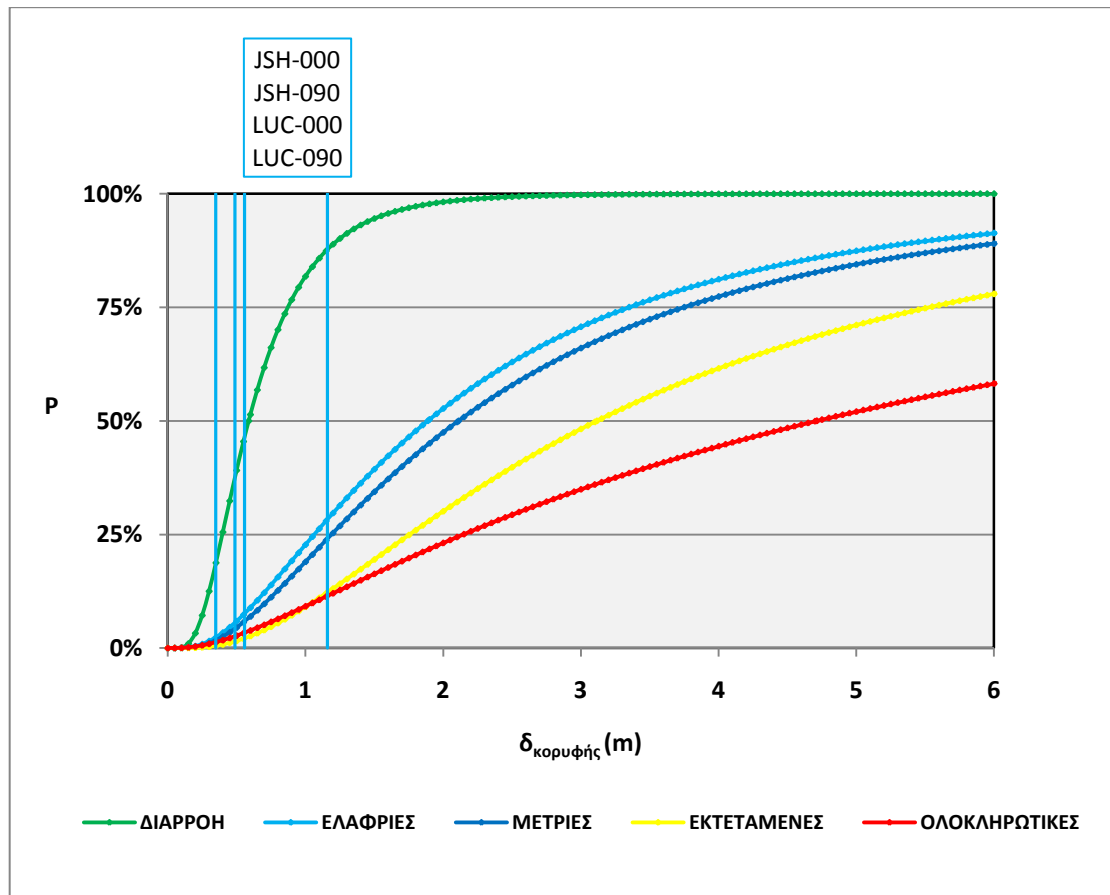
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

βρέθηκε ανάμεσα στο 0% και 5% (μπλε χρώμα). Η καταγραφή TAB-344 δίνει ταύτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

**6.2.22 LANDERS, CA, USA**

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
JSH - 000	0.3485	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
JSH - 090	0.4880	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LUC - 000	0.5566	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
LUC - 090	1.1600	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 6.22: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή LANDERS, CA, USA**



**Σχήμα 6.22: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή LANDERS, CA, USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)**

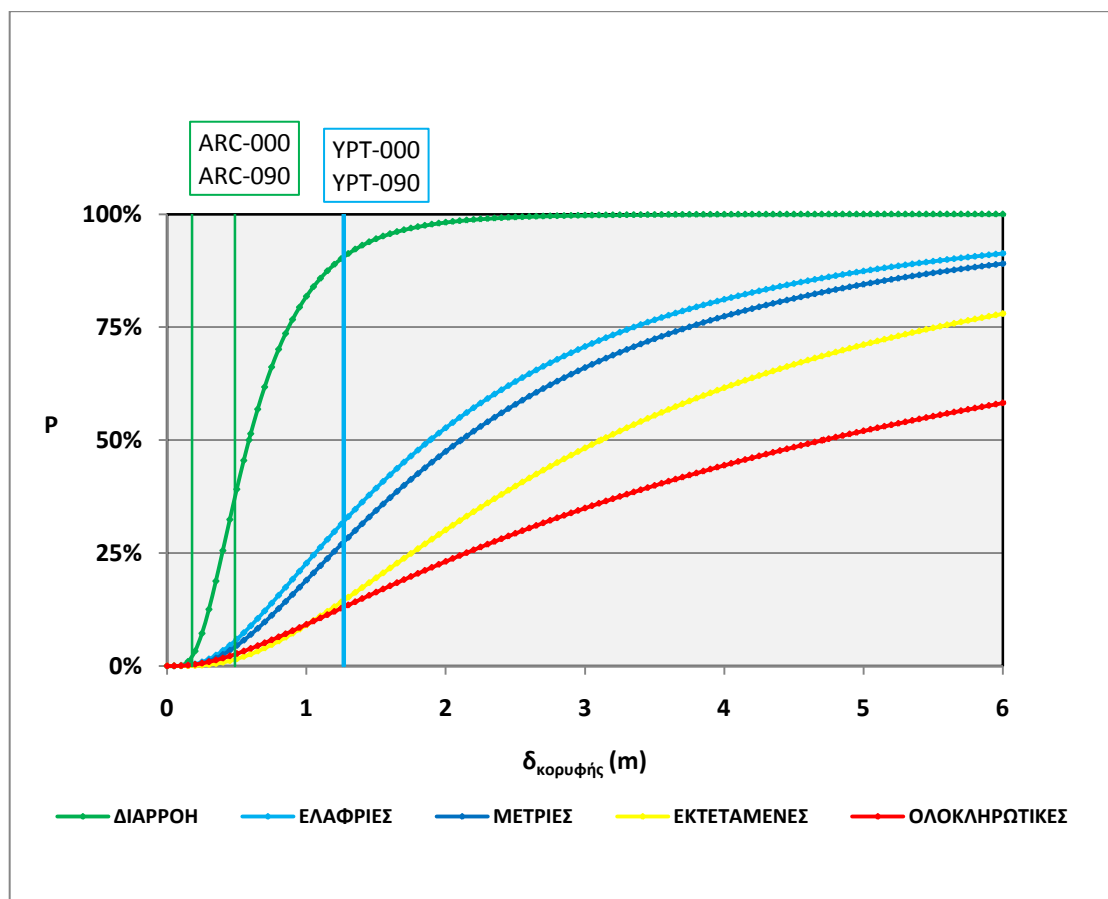
Διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις καταγραφές JSH-000, JSH-090, LUC-000. Πιο συγκεκριμένα και σε όλες τις περιπτώσεις σύμφωνα με το SAP τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης έχουν σχηματιστεί 2, 33, 9 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα που δεν έχουν αστοχήσει (γαλάζιο χρώμα), ενώ με βάση το HAZUS η πιθανότητα

υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 50%. Η καταγραφή LUC-090 δίνει ταύτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

### 6.2.23 IZMIT, TURKEY

ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
ARC - 000	0.1798	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ARC - 090	0.4860	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
ΥΡΤ - 000	1.2760	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
ΥΡΤ - 090	1.2620	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

Πίνακας 6.23: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεστικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή IZMIT, TURKEY



Σχήμα 6.23: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IZMIT, TURKEY με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Παρατηρείται ταύτιση των δύο μεθόδων.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

**6.2.24 CHI-CHI, ΤΑΙΩΑΝ**

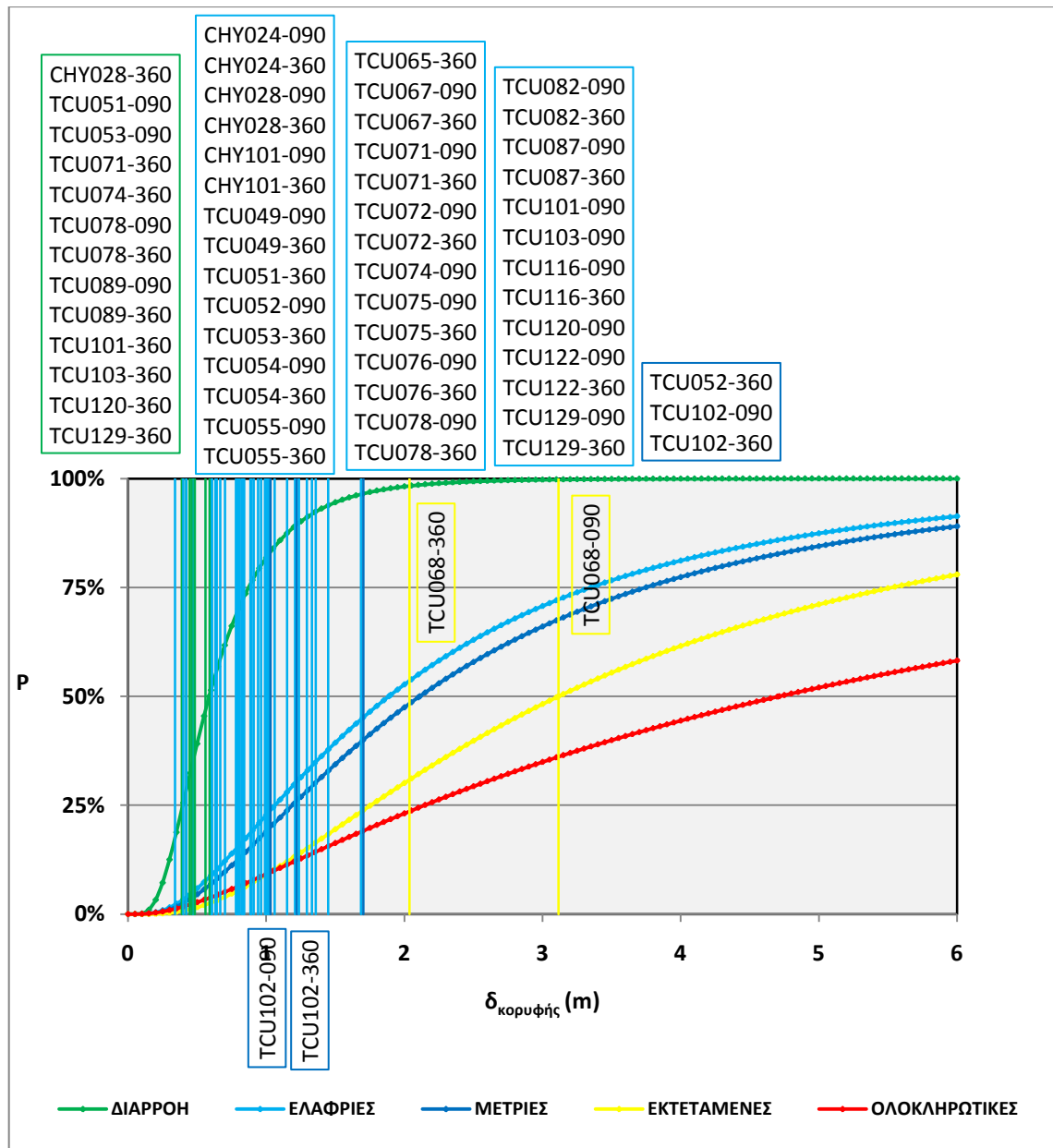
ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ	δκορυφής (m)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (HAZUS)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ (%)	ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (SAP)
CHY024 - 090	1.2940	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY024 - 360	0.8925	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY028 - 090	0.6334	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY028 - 360	0.4748	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY101 - 090	1.1520	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
CHY101 - 360	1.4480	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU049 - 090	0.5981	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU049 - 360	0.9097	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU051 - 090	0.4676	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU051 - 360	0.8914	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU052 - 090	1.6780	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU052 - 360	1.7040	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	1.818	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
TCU053 - 090	0.4458	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU053 - 360	0.6416	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU054 - 090	0.8415	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU054 - 360	0.6056	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU055 - 090	1.0000	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU055 - 360	1.0030	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU065 - 360	1.3580	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU067 - 090	0.8000	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU067 - 036	1.2080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU068 - 090	3.1160	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ	24.1	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ
TCU068 - 360	2.0360	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ	6.36	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ
TCU071 - 090	1.0000	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU071 - 360	0.4656	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU072 - 090	0.7875	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU072 - 360	0.6330	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU074 - 090	0.8080	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU074 - 360	0.3901	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU075 - 090	1.3300	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU075 - 360	1.0180	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU076 - 090	0.8330	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU076 - 360	0.7027	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU078 - 090	0.3403	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU078 - 360	0.4002	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU082 - 090	0.7810	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU082 - 360	0.9900	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU087 - 090	0.7895	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU087 - 360	0.9969	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ HAZUS

TCU089 - 090	0.4208	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU089 - 360	0.4827	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU101 - 090	0.8229	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU101 - 360	0.5903	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU102 - 090	1.0310	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.2273	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
TCU102 - 360	1.2210	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0.9091	ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ
TCU103 - 090	0.9624	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU103 - 360	0.4609	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU116 - 090	0.8861	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU116 - 360	1.0620	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU120 - 090	1.2360	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU120 - 360	0.5598	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ
TCU122 - 090	0.9408	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU122 - 360	0.6675	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU129 - 090	0.6081	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ
TCU129 - 360	0.4219	ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ	0	ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ

**Πίνακας 6.24: Μετακινήσεις κορυφής, ποσοστό διατομών που αστόχησαν και στάθμες επιτελεσματικότητας με βάση το HAZUS και το SAP για τους σταθμούς καταγραφής στην περιοχή CHI – CHI, TAIWAN**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



Σχήμα 6.24: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή CHI – CHI, TAIWAN με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

Οι περιπτώσεις όπου το SAP έχει δώσει πλαστικές αρθρώσεις που όμως δεν αστόχησαν (γαλάζιο χρώμα) ενώ με βάση το HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μικρότερη από 50%, είναι οι TCU071-360, TCU078-090, TCU078-360, TCU129-360. Ο αριθμός των πλαστικών αρθρώσεων που μετρήθηκαν ήταν μικρός (27, 1, 20 και 5 αντίστοιχα από τις 440 διατομές). Η αντίστροφη περίπτωση, δηλαδή όταν οι διατομές δεν διέρρευσαν (πράσινο χρώμα) ενώ με βάση το HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης της διαρροής είναι μεγαλύτερη από 50%, συνέβη στην καταγραφή TCU101-360. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί πως η μετακίνηση που κατέγραψε η συγκεκριμένη καταγραφή (0.5903 m) είναι πολύ κοντά στη μέση μετακίνηση που ορίζει την καμπύλη τρωτότητας για διαρροή. Για τις καταγραφές TCU052-360, TCU102-090, TCU102-360 με βάση το SAP η κατασκευή βρέθηκε να έχει ποσοστό αστοχίας ανάμεσα στο 0% και το 5% (μπλε χρώμα) ενώ με βάση το



HAZUS η πιθανότητα υπέρβασης του επιπέδου ελαφριών βλαβών είναι μικρότερη από 50%. Όμως πρέπει να αναφερθεί πως μόλις 8, 1 και 4 πλαστικές αρθρώσεις αντίστοιχα αστόχησαν, δηλαδή μικρό ποσοστό. Τέλος η καταγραφή TCU068-360 εμφάνισε 28 πλαστικές αρθρώσεις να αστοχούν δηλαδή ποσοστό αστοχίας ανάμεσα στο 5% και 25% (κίτρινο χρώμα), ενώ σύμφωνα με τη μεθοδολογία του HAZUS η μετακίνηση που προέκυψε βρίσκεται ανάμεσα στις καμπύλες για ελαφριά και μέτρια ζημιά (μπλε χρώμα), δηλαδή η πιθανότητα υπέρβασης του επιπέδου μέτριων βλαβών είναι λίγο μικρότερη από 50%. Οι υπόλοιπες καταγραφές δεν παρουσίασαν αποκλίσεις.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

## 7. ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ

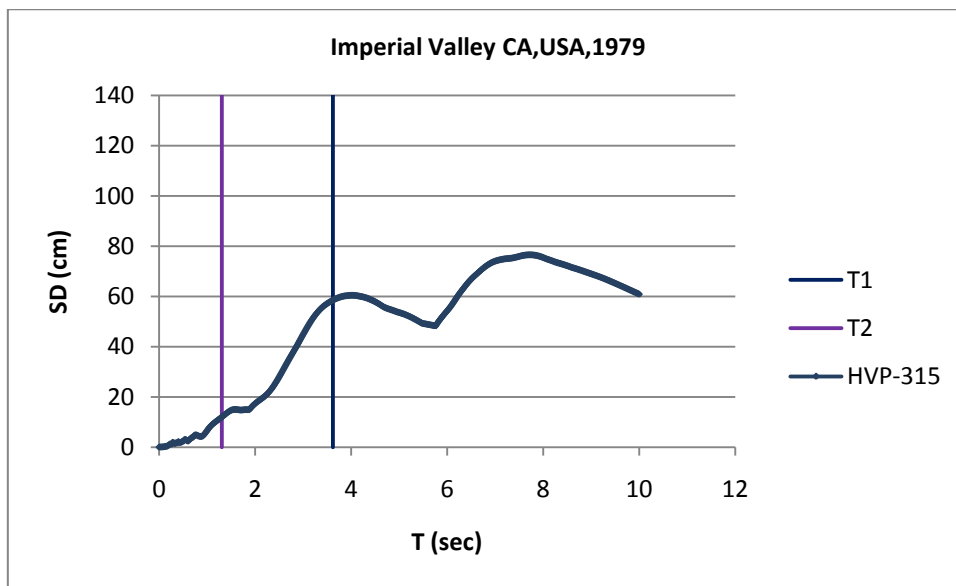
### 7.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετήσαμε περαιτέρω κάποιες καταγραφές των σεισμών IMPERIAL VALLEY (1979), CHI-CHI, NORTHRIDGE που μας έδωσαν μεγάλες αποκλίσεις στα αποτελέσματα των μεθόδων του HAZUS και του SAP.

### 7.2 ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

- IMPERIAL VALLEY

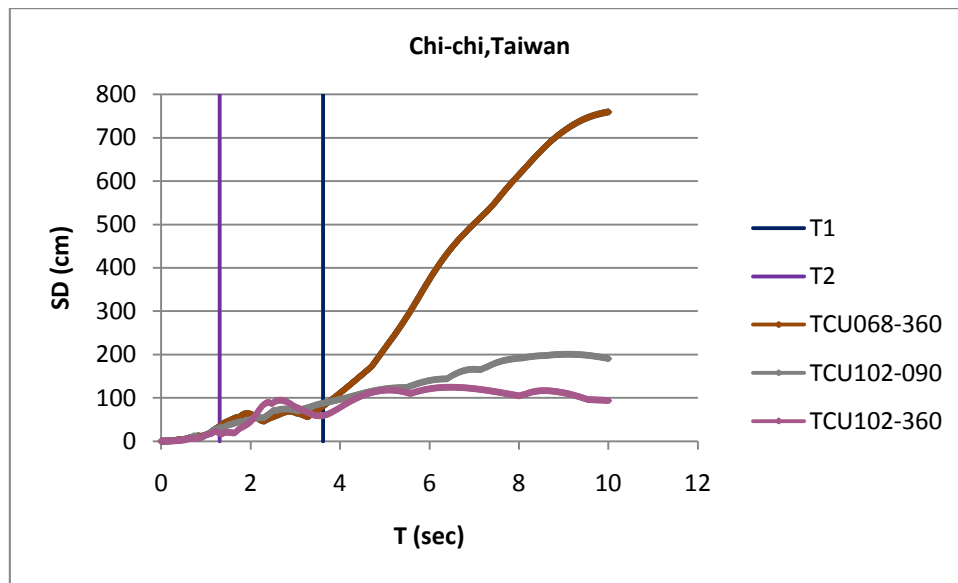
Επειδή λοιπόν η μετακίνηση που έδωσε η καταγραφή HVP-315 ήταν αρκετά μικρή και η πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή την καμπύλη ελαφριών ζημιών είναι περίπου 25% όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.6, κατασκευάσαμε το φάσμα απόκρισης μετακίνησης της συγκεκριμένης καταγραφής από το οποίο προέκυψε πως διεγείρεται η πρώτη ιδιομορφή. Αυτό το στοιχείο επιβεβαιώνει κάποια ορθότητα της μεθοδολογίας του HAZUS όπου η αξιολόγηση των μετακινήσεων έγινε με βάση την καμπύλη pushover, η οποία κατασκευάστηκε σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή.



Σχήμα 7.1: Φάσμα μετακίνησης της σεισμικής διέγερσης HVP-315 για  $\zeta=5\%$

- CHI-CHI, TAIWAN

Φτιάξαμε φάσματα απόκρισης μετακίνησης για τις καταγραφές TCU102-090, TCU102-360 καθώς οι μετακινήσεις που έδωσαν ήταν αρκετά μικρές και η πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή το επίπεδο ελαφριών βλαβών είναι αρκετά μικρότερη από 50% όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.24. Επίσης το ίδιο κάναμε και για την καταγραφή TCU068-360 καθώς η πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή το επίπεδο μέτριων βλαβών είναι λίγο μικρότερη από 50%. Και πάλι προέκυψε πως διεγείρεται η πρώτη ιδιομορφή άρα η μεθοδολογία του HAZUS είναι σχετικά ορθή.



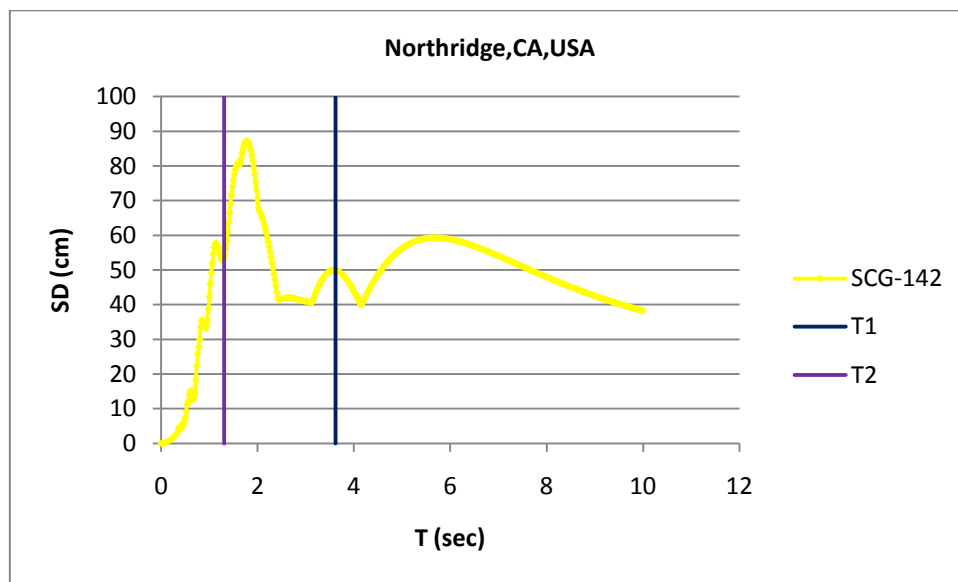
Σχήμα 7.2: Φάσματα μετακίνησης των σεισμικών διεγέρσεων TCU102-090, TCU102-360, TCU068-360 για  $\zeta=5\%$

- NORTHRIDGE, CA, USA

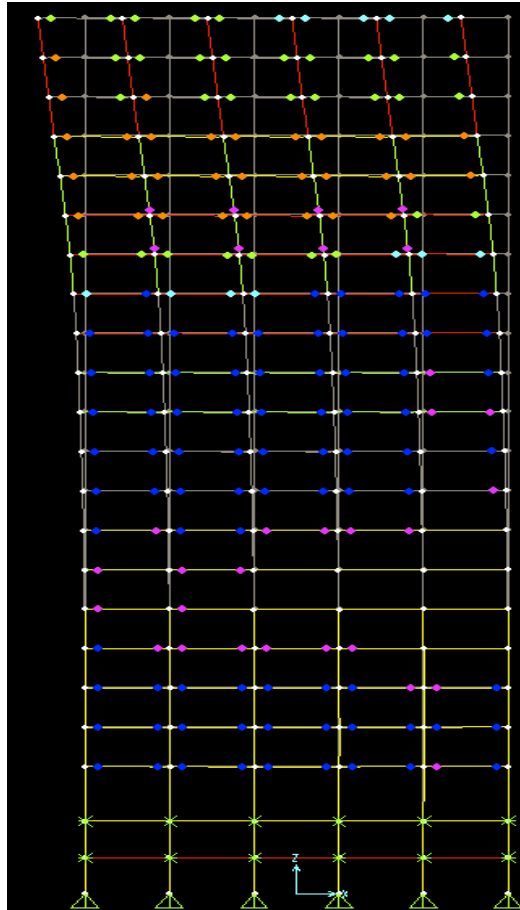
Σε αυτόν το σεισμό μελετήσαμε την καταγραφή SCG-142 καθώς η απόκλιση των αποτελεσμάτων των μεθόδων του HAZUS και του SAP ήταν πολύ μεγάλη. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.14 η μετακίνηση κορυφής που έδωσε η καταγραφή SCG-142 ήταν σχετικά μικρή και η ενδεχόμενη πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή την καμπύλη μέτριων ζημιών είναι μικρή. Για να ερμηνεύσουμε αυτό το φαινόμενο κατασκευάσαμε το φάσμα απόκρισης μετακίνησης. Από αυτό το φάσμα παρατηρούμε πως η δεύτερη ιδιοπερίοδος βρίσκεται κοντά στην περίοδο του παλμού ενώ η πρώτη ιδιοπερίοδος είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο του παλμού, έτσι μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως η συμμετοχή της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής στην απόκριση του κτιρίου είναι σημαντική. Επίσης στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε παρατηρώντας την παραμορφωμένη εικόνα του φορέα τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης, καθώς η αστοχία έχει συγκεντρωθεί στους πάνω ορόφους (Σχήμα 7.4). Έτσι, φαίνεται πως η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθοδολογίες οφείλεται στο γεγονός ότι η καμπύλη pushover και τα επίπεδα ζημιάς που χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία του HAZUS προέκυψαν από την υπόθεση της κατανομής δύναμης σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή. Η ίδια διαπίστωση προκύπτει και στο έγγραφο της fema. Αναλυτικότερα, αυτό το έγγραφο τονίζει τα παρακάτω. Στην περίπτωση που η πρώτη ιδιοπερίοδος της κατασκευής είναι σαφώς μεγαλύτερη

ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΥΟ  
ΜΕΘΟΔΩΝ

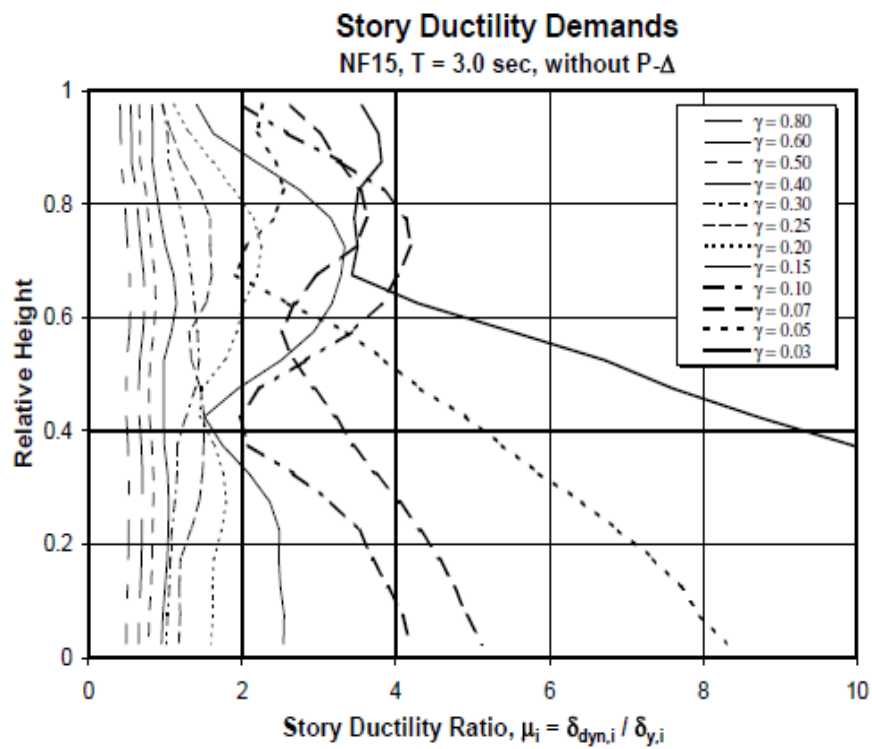
από την περίοδο του παλμού η απόκριση της κατασκευής εξαρτάται από την τέμνουσα βάσης σχεδιασμού. Η ιδιαίτερη απόκριση μιας πολυώροφης κατασκευής με  $T/T_p > 1$  στην κάθετη συνιστώσα μιας κίνησης κοντινού πεδίου φαίνεται στο Σχήμα 7.5.  $T$  είναι η πρώτη ιδιοπερίοδος της κατασκευής και  $T_p$  είναι η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου παλμού. Το σχήμα αυτό δείχνει τις απαιτήσεις πλαστιμότητας ορόφου για ένα 20-όροφο κτίριο του οποίου η τέμνουσα βάσης σχεδιασμού ορίζεται από την παράμετρο  $\gamma = V_y/W$ . Η περίοδος του κτιρίου είναι 3 sec και η κοντινού πεδίου κίνηση είναι η καταγραφή Sylmar (SCG) του NORTHRIDGE της οποίας η περίοδος του παλμού ήταν 2.4 sec. Για ισχυρές κατασκευές ( $\gamma > 0.10$ ) όπως συμβαίνει στην περίπτωση μας, όταν δηλαδή η τέμνουσα βάσης σχεδιασμού είναι ικανοποιητική ώστε το κτίριο να αναπτύξει δυναμική απόκριση σε σεισμό, οι μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας συγκεντρώνονται στους πάνω ορόφους. Άρα δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη η μεθοδολογία του HAZUS σε τέτοιες περιπτώσεις.



Σχήμα 7.3: Φάσμα μετακίνησης της σεισμικής διέγερσης SCG-142 για  $\zeta=5\%$



Σχήμα 7.4 : Παραμορφωμένη εικόνα του φορέα τη στιγμή της μέγιστης μετακίνησης για την καταγραφή SCG-142



Σχήμα 7.5: Εξάρτηση της απαίτησης πλαστιμότητας από την τέμνουσα βάσης σχεδιασμού

## 8. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η τρωτότητα ενός εικοσαώροφου μεταλλικού κτιρίου, που υποβάλλεται σε σεισμούς κοντινού πεδίου, με βάση τη μεθοδολογία του HAZUS και να διαπιστωθεί ο βαθμός αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Η μεθοδολογία του HAZUS είναι ένα σύνολο από ' διαδικασίες ' που προσπαθούν να εκτιμήσουν τη σεισμική διακινδύνευση και την οικονομική επιβάρυνση εξαιτίας ενός σεισμικού σεναρίου. Ξεκινώντας λοιπόν, ο φορέας, ο οποίος κατασκευάστηκε με βάση τις Pre-Northridge οδηγίες, υποβλήθηκε σε ιδιομορφική ανάλυση από την οποία προέκυψαν οι ιδιοπερίοδοι του ( $T_1=3.618924$  sec,  $T_2=1.306339$  sec). Στη συνέχεια υποβλήθηκε σε ανελαστική στατική ανάλυση για κατανομή φορτίων σύμφωνα με την πρώτη ιδιομορφή προκειμένου να κατασκευαστεί η καμπύλη της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της μετακίνησης κορυφής (καμπύλη pushover), (Σχήμα 4.1). Σκοπός στην συνέχεια ήταν να κατασκευαστούν οι καμπύλες τρωτότητας που ορίζει το HAZUS. Αυτές οι καμπύλες κατατάσσουν τη κατασκευή σε τέσσερα επίπεδα ζημιάς (Ελαφριές, Μέτριες, Εκτεταμένες, Ολοκληρωτικές) και περιγράφουν την πιθανότητα να έχουμε ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης στο κτίριο. Θελήσαμε να ορίσουμε και μια πέμπτη καμπύλη που αντιστοιχεί στη διαρροή του κτιρίου. Αναλυτικότερα, από την καμπύλη pushover ορίσαμε τις μέσες μετακινήσεις κάθε επιπέδου βλάβης, δηλαδή κάθε καμπύλης τρωτότητας.

1. Η πρώτη καμπύλη, που αντιστοιχεί στην φάση κατά την οποία η κατασκευή διαρρέει, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 0.5878 m (δηλαδή τη χρονική στιγμή που είχαμε μέγιστη μετακίνηση στην κατασκευή 0.5878 m εμφανίστηκε και η πρώτη πλαστική άρθρωση).
2. Η καμπύλη που ορίζει το ελαφρύ επίπεδο βλάβης, δηλαδή την στιγμή που έχουμε την πρώτη αστοχία πλαστικής άρθρωσης, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 1.888 m.
3. Η καμπύλη που ορίζει το μέτριο επίπεδο βλάβης αντιστοιχεί στο σημείο της pushover στο οποίο μόλις το 5% των διατομών έχουν αστοχήσει και ισοδυναμεί σε τιμή μέσης μετακίνησης ίση με 2.111 m.
4. Η καμπύλη που ορίζει τις εκτεταμένες ζημιές, όταν δηλαδή το 25% των διατομών αστοχήσουν, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 3.116 m.
5. Τέλος η καμπύλη που ορίζει τις ολοκληρωτικές ζημιές, όταν δηλαδή το 50% των διατομών αστοχήσουν, αντιστοιχεί σε μέση μετακίνηση 4.713 m.

Ανάλογα με το είδος του κτιρίου και την καμπύλη τρωτότητας που επιθυμούσαμε να κατασκευάσουμε απαραίτητος ήταν ο υπολογισμός τυπικών αποκλίσεων ( $\beta_{ds}$ ) που λαμβάνουν υπόψη αβεβαιότητες σχετικά με την καμπύλη pushover, με τις στάθμες επιτελεστικότητας, με τα χαρακτηριστικά της κατασκευής, με τον παλμό της κατευθυντικότητας και με την εδαφική κίνηση. Τελικά οι καμπύλες ορίστηκαν ακολουθώντας λογαριθμοκανονική κατανομή (Σχήμα 4.4).

Για τον προσδιορισμό της τρωτότητας της κατασκευής συγκεντρώθηκε όλο το υφιστάμενο δείγμα σεισμών κοντινού πεδίου, με μεγέθη σεισμικής ροπής από 5.6 έως 7.6, και καταγραφές με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι σεισμοί εφαρμόστηκαν

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

μέσω του επιταχυνσιογραφήματος τους στο κτίριο λαμβάνοντας υπόψη και τα άλλα φορτία που καταπονούν το κτίριο, και ύστερα από ανελαστικές αναλύσεις χρονοϊστορίας προέκυψαν οι μέγιστες μετακινήσεις του εικοσαώροφου κτιρίου για κάθε διέγερση. Στη συνέχεια ανάλογα με τη σχέση των μέγιστων αυτών μετακινήσεων με τις μέσες μετακινήσεις των καμπύλων τρωτότητας ταξινομήσαμε σε 6 στάθμες επιτελεστικότητας το κτίριό μας. Επίσης οι μετακινήσεις απεικονίστηκαν και πάνω στα διαγράμματα τρωτότητας με κατακόρυφες μπάρες και το ανάλογο χρώμα. Το επίπεδο των *μέτριων* βλαβών σχετίζεται με οριακή κατάσταση ‘ΑΜΕΣΗΣ ΧΡΗΣΗΣ’ (IMMEDIATE OCCUPANCY). Το επίπεδο των *εκτεταμένων* βλαβών σχετίζεται με οριακή κατάσταση ‘ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΖΩΗΣ’ (LIFE SAFETY). Το επίπεδο των *ολοκληρωτικών* βλαβών σχετίζεται με οριακή κατάσταση ‘ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ’ (COLLAPSE PREVENTION).

- Για μέγιστες μετακινήσεις που ήταν μικρότερες από τη μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για τη διαρροή, δόθηκε ο χαρακτηρισμός ΠΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ και το πράσινο χρώμα.
- Για μέγιστες μετακινήσεις που βρίσκονταν ανάμεσα στη μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για τη διαρροή και στη μέση μετακίνηση της καμπύλης τρωτότητας για ελαφριές βλάβες, δόθηκε ο χαρακτηρισμός ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ και το γαλάζιο χρώμα (δηλαδή ουσιαστικά δίνουμε την ονομασία και το χρώμα της άνω οριακής κατάστασης. Ομοίως και στις παρακάτω περιπτώσεις).
- Για μέγιστες μετακινήσεις που βρίσκονταν ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για ελαφριές και μέτριες βλάβες, δόθηκε ο χαρακτηρισμός ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ και το μπλε χρώμα.
- Για μέγιστες μετακινήσεις που βρίσκονταν ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για μέτριες και εκτεταμένες βλάβες, δόθηκε ο χαρακτηρισμός ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ και το κίτρινο χρώμα.
- Για μέγιστες μετακινήσεις που βρίσκονταν ανάμεσα στις καμπύλες τρωτότητας για εκτεταμένες και ολοκληρωτικές βλάβες, δόθηκε ο χαρακτηρισμός ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ και το κόκκινο χρώμα.
- Για μέγιστες μετακινήσεις που είναι μεγαλύτερες από την μέση μετακίνηση που αντιστοιχεί στην καμπύλη ολοκληρωτικής ζημιάς, δόθηκε ο χαρακτηρισμός ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ και το μαύρο χρώμα.

Απώτερος στόχος ήταν η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το μέγεθος της σεισμικής ροπής, η κατευθυντικότητα, η απόσταση του ρήγματος από την καταγραφή, και η διεύθυνση της καταγραφής επηρέασαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν.



1. *Επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ροπής:*

Όσο αυξάνεται το μέγεθος της σεισμικής ροπής τόσο μεγαλύτερες μετακινήσεις κορυφής εμφανίζει η κατασκευή και άρα ισχυρότερα επίπεδα βλάβης. Οι σεισμοί στις περιοχές COYOTE LAKE, IMPERIAL VALLEY, NORTHRIDGE, CHI-CHI έχουν μέγεθος σεισμικής ροπής 5.6, 6.4, 6.7, 7.6 αντίστοιχα. Αρχικά συγκρίνουμε τις περιπτώσεις των COYOTE LAKE και IMPERIAL VALLEY καθώς τα ρήγματα ήταν οριζόντιας ολίσθησης. Η καταγραφή EMO-000 που εμφανίζει έμπροσθεν κατευθυντικότητα και απέχει 1.2 km από το ίχνος του ρήγματος του IMPERIAL VALLEY δίνει μετακίνηση 1.544 m ενώ η καταγραφή GA6-320 που εμφανίζει και αυτή έμπροσθεν κατευθυντικότητα και απέχει την ίδια απόσταση από το ίχνος του ρήγματος του COYOTE LAKE δίνει μετακίνηση 0.5464 m. Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις περιπτώσεις των NORTHRIDGE και CHI-CHI καθώς τα ρήγματα είναι ανάστροφα. Η καταγραφή TCU116-360 που εμφανίζει έμπροσθεν κατευθυντικότητα και απέχει 11.5 km από την επιφάνεια του ρήγματος του CHI-CHI δίνει μετακίνηση 1.062 m ενώ η καταγραφή NRG-180 που εμφανίζει και αυτή έμπροσθεν κατευθυντικότητα και απέχει την ίδια απόσταση από το ίχνος του ρήγματος του NORTHRIDGE δίνει μετακίνηση 0.5464 m. Άρα είναι φανερή η επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ροπής στα αποτελέσματα. Εξάλλου με βάση τη γνωστή θεωρία κοντινού πεδίου υπάρχει αναλογία ανάμεσα στα χαρακτηριστικά της κίνησης (εύρος και περίοδος παλμού εδαφικής ταχύτητας) και στο μέγεθος της σεισμικής ροπής.

2. *Επίδραση κατευθυντικότητας:*

Στις περιπτώσεις έμπροσθεν κατευθυντικότητας είχαμε αρκετά μεγαλύτερες μετακινήσεις κορυφής από ότι στις περιπτώσεις όπισθεν και ουδέτερης κατευθυντικότητας. Στο σεισμό του COYOTE LAKE ο σταθμός GA6, με τις μέγιστες μετακινήσεις κορυφής, εμφανίζει έμπροσθεν κατευθυντικότητα ενώ ο σταθμός SMCC, με πολύ μικρές μετακινήσεις κορυφής, εμφανίζει όπισθεν κατευθυντικότητα. Στον σεισμό του IMPERIAL VALLEY οι καταγραφές με τις τρεις μεγαλύτερες μετακινήσεις E05-230, E06-230, EMO-270 εμφάνισαν έμπροσθεν κατευθυντικότητα ενώ οι σταθμοί που εμφάνισαν ουδέτερη και όπισθεν κατευθυντικότητα διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή. Οι χρονοϊστορίες του σταθμού AGR, που παρουσίασε ουδέτερη κατευθυντικότητα, προκάλεσαν την μειωμένη απόκριση της κατασκευής αν και η απόσταση του σταθμού από το ίχνος του ρήγματος ήταν μόλις 0.6 km. Στον σεισμό του NORTHRIDGE οι καταγραφές με τις δύο μεγαλύτερες μετακινήσεις ήταν οι SCH-011 και NWS-046 και βρίσκονταν σε θέσεις έμπροσθεν κατευθυντικότητας. Οι σταθμοί που διατήρησαν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή (πράσινο χρώμα) βρίσκονταν κυρίως σε θέσεις που εμφάνισαν όπισθεν και ουδέτερη κατευθυντικότητα, εκτός από τους σταθμούς CCY, NRG-090, PCD, VSP-270. Επίσης οι σταθμοί που έδωσαν μετακινήσεις ανάμεσα στις καμπύλες για διαρροή και ελαφριές βλάβες (γαλάζιο χρώμα) εμφάνισαν έμπροσθεν κατευθυντικότητα, εκτός

από τις NHW και PKC-090 που βρίσκονταν σε θέσεις που εμφάνισαν ουδέτερη κατευθυντικότητα και την TAR-360 που βρισκόταν σε θέση που εμφάνισε όπισθεν κατευθυντικότητα. Τέλος στο σεισμό του CHI-CHI καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες μετακινήσεις από όλους τους σεισμούς, διότι εμφανίστηκε έμπροσθεν κατευθυντικότητα σε όλους τους σταθμούς εκτός από τον CHY028 που βρισκόταν σε θέση ουδέτερης κατευθυντικότητας.

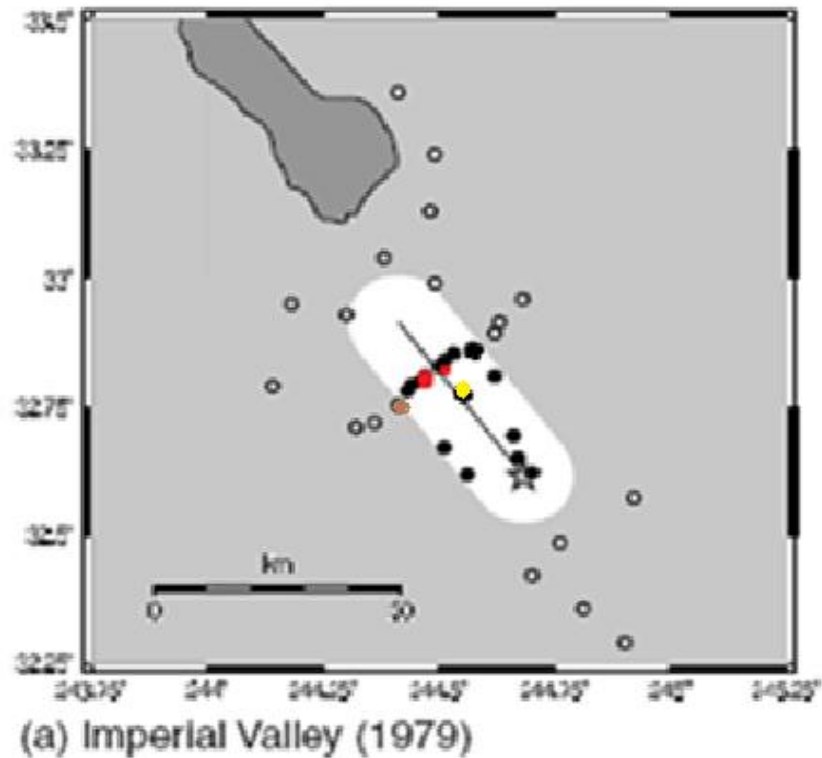
3. *Επίδραση απόστασης σταθμού καταγραφής από το ρήγμα:*

Για τον ίδιο σεισμό και για σταθμούς με την ίδια κατευθυντικότητα οι τιμές των μετακινήσεων κορυφής αυξάνονταν όσο μειωνόταν η απόσταση του σταθμού από το ρήγμα. Για παράδειγμα στο σεισμό του CHI-CHI, ο σταθμός TCU068 που εμφανίζει τις μέγιστες μετακινήσεις, βρίσκεται στην πιο απομακρυσμένη θέση από το επίκεντρο και κοντά στο ίχνος του ρήγματος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο σεισμός του IMPERIAL VALLEY. Στον παρακάτω χάρτη (Χάρτης 8.1) δίδεται το ίχνος του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης, το επίκεντρο και οι θέσεις των σταθμών. Ως γνωστόν τα σημαντικότερα αποτελέσματα εμπρόσθιας κατευθυντικότητας προκύπτουν από τις μικρότερες γωνίες μεταξύ της εξεταζόμενης περιοχής και του ρήγματος και για τα μεγαλύτερα μέρη του διερρηγμένου ρήγματος μεταξύ της θέσης και επικέντρου. Παρατηρείται λοιπόν μια σειρά σταθμών να βρίσκεται πάνω σε μία νοητή κάθετη στο ρήγμα ευθεία (δηλαδή όλοι αυτοί οι σταθμοί απέχουν ίδια  $s$ , βλέπε Σχήμα 2.6). Ο σταθμός από αυτούς που είναι πιο κοντά στο ρήγμα (μικρότερη γωνία  $\theta$  μεταξύ του σταθμού και του ρήγματος) θα εμφανίσει τη μεγαλύτερη εμπρόσθια κατευθυντικότητα και άρα τη μεγαλύτερη μετακίνηση. Άρα οι σταθμοί των καταγραφών E05-230, E06-230 με την έμπροσθεν κατευθυντικότητα και τις πολύ μικρές αποστάσεις από το ίχνος του ρήγματος (2.7 km, 0.3 km αντίστοιχα) είναι αυτοί με τις μεγαλύτερες μετακινήσεις (1.996 m, 1.757 m) και απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα (Χάρτης 8.1). Οι υπόλοιποι σταθμοί με έμπροσθεν κατευθυντικότητα και μεγαλύτερες αποστάσεις από το ρήγμα εμφανίζουν μικρότερες μετακινήσεις κορυφής. Η καταγραφή E03-230 η πιο απομακρυσμένη από το ίχνος του ρήγματος (11.7 km) έδωσε μετακίνηση μόλις 0.6757 m, σχεδόν το ένα τρίτο της μετακίνησης της καταγραφής E05-230 (πιθανή θέση απεικονίζεται με καφέ κουκίδα).

Παρόλα αυτά, παρατηρούμε πως υπάρχουν καταγραφές έμπροσθεν κατευθυντικότητας που απέχουν μικρότερη απόσταση από το ίχνος του ρήγματος σε σχέση με την καταγραφή E05-230 και παρόλα αυτά εμφανίζουν μικρότερη μετακίνηση (βλέπε Πίνακας 5.6). Αυτές οι καταγραφές πιθανότατα απέχουν αρκετά μικρότερη απόσταση  $s$  από το επίκεντρο σε σχέση με την E05-230 και άρα η έμπροσθεν κατευθυντικότητα είναι πιο ασθενής. Βέβαια η γωνία  $\theta$  είναι μικρότερη και άρα μεγαλύτερη έμπροσθεν κατευθυντικότητα, αλλά ο παράγοντας της απόστασης  $s$  είναι πιο ισχυρός. Έτσι παρόλο που βρίσκονται πιο κοντά στο ρήγμα βρίσκονται πιο κοντά και στο επίκεντρο δηλαδή η έμπροσθεν

## ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

κατευθυντικότητα δεν είναι τόσο ισχυρή, γι' αυτό και μπορούν να προκύψουν μικρές μετακινήσεις. Μια τέτοια θέση σημειώνεται με την κίτρινη κουκίδα (Χάρτης 8.1).



**Χάρτης 8.1:** Θέσεις των σταθμών σε σχέση με το ρήγμα του σεισμού στην περιοχή IMPERIAL VALLEY, CA, USA, 1979. Με λευκό χρώμα είναι η περιοχή με απόσταση μικρότερη από 10 km από το ίχνος του ρήγματος.

#### 4. Επίδραση διεύθυνσης καταγραφής:

Υπήρχαν καταγραφές έμπροσθεν κατευθυντικότητας που εμφάνισαν μεγάλη διαφορά στις τιμές των μετακινήσεων κορυφής της κατασκευής παρόλο που ανήκαν στον ίδιο σταθμό. Αυτό οφείλεται, τις περισσότερες φορές, στο γεγονός ότι η μια καταγραφή αντιστοιχεί στην κάθετη στο ρήγμα συνιστώσα της σεισμικής δόνησης (ισχυρή) ενώ η άλλη αντιστοιχεί στην παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα της σεισμικής δόνησης (ασθενής). Για παράδειγμα στον σεισμό του IMPERIAL VALLEY οι καταγραφές  $230^\circ$  των σταθμών E03, E04, E05, E06, E08, E10 που αντιστοιχούν στην κάθετη προς το ρήγμα συνιστώσα δίνουν μετακίνηση κορυφής μεγαλύτερη από τις καταγραφές  $140^\circ$  των ίδιων σταθμών που αντιστοιχούν στην παράλληλη προς το ρήγμα συνιστώσα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

*Όλες οι παράμετροι του κοντινού πεδίου επηρεάζουν εξίσου τα αποτελέσματα, αφού προκαλούν την ίδια διασπορά σε αυτά:*

- ✓ Η μέγιστη απόκριση για ένα γεγονός μεγέθους σεισμικής ροπής 5.6 παρουσίασε μικρότερη από 25% πιθανότητα να υπερβεί το επίπεδο ελαφρών βλαβών ενώ ένα γεγονός μεγέθους σεισμικής ροπής 7.6 παρουσίασε 50% πιθανότητα να υπερβεί το επίπεδο εκτεταμένων βλαβών.
- ✓ Οι καταγραφές έμπροσθεν κατευθυντικότητας προκάλεσαν ελαφριές ή μέτριες ζημιές. Οι καταγραφές όπισθεν και ουδέτερης κατευθυντικότητας δεν προκάλεσαν διαρροή.
- ✓ Για το ίδιο γεγονός και για καταγραφές έμπροσθεν κατευθυντικότητας, οι χρονοϊστορίες για μεγάλες αποστάσεις από το ρήγμα δεν προκάλεσαν διαρροή στην κατασκευή ενώ αυτές κοντά στο ρήγμα προκάλεσαν ένα σημαντικό βαθμό ζημιάς.

*Άρα τα φάσματα της μεθοδολογίας του HAZUS θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη με την ίδια βαρύτητα όλα τα χαρακτηριστικά του κοντινού πεδίου στην εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε μία περιοχή.*

Οι περισσότερες καταγραφές έδωσαν μετακινήσεις μικρότερες από τη μέση μετακίνηση της διαρροής (πράσινο χρώμα) και λιγότερες τοποθέτησαν την κατασκευή ανάμεσα στις καμπύλες διαρροής και ελαφριών βλαβών (γαλάζιο χρώμα). Μόνο οι σεισμοί του CHI-CHI, TAIWAN και IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979 έδωσαν από μία καταγραφή ο καθένας ανάμεσα στις καμπύλες ελαφριών και μέτριων βλαβών (μπλε χρώμα). Τέλος μόνο ο σεισμός του CHI-CHI, TAIWAN έδωσε καταγραφή με μετακίνηση ίση με τη μέση μετακίνηση της καμπύλης των εκτεταμένων βλαβών (κίτρινο χρώμα). *Διαπιστώνουμε δηλαδή ότι δεν προκλήθηκαν πολύ ισχυρές βλάβες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν και στην κατάρρευση του κτιρίου παρά το ότι το εικοσαώροφο κτίριό μας υποβλήθηκε σε ιδιαίτερα ισχυρούς σεισμούς.*

Στη συνέχεια θελήσαμε να διαπιστώσουμε αν η μεθοδολογία του HAZUS που ακολουθήσαμε ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάσαμε τις μέγιστες μετακινήσεις των σεισμικών διεγέρσεων κατηγοριοποιώντας τις αυτή τη φορά με βάση το ποσοστό των διατομών που αστόχησαν τη χρονική στιγμή που εμφανίστηκαν αυτές οι μετακινήσεις (αποτελέσματα SAP).

- Η στάθμη επιτελεστικότητας ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ, (πράσινο χρώμα), ορίζεται όταν δεν έχουν σχηματιστεί τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης πλαστικές αρθρώσεις στην κατασκευή.
- Εάν δεν έχουν αστοχήσει οι πλαστικές αρθρώσεις τότε θεωρείται πως η κατασκευή δεν έχει υπερβεί το όριο των ελαφριών βλαβών. Σε αυτή την περίπτωση η κατακόρυφη γραμμή που δείχνει την μετακίνηση κορυφής παίρνει το χρώμα αυτού του ορίου (γαλάζιο) καθώς και την ονομασία του, δηλαδή ΕΛΑΦΡΙΕΣ ΒΛΑΒΕΣ.

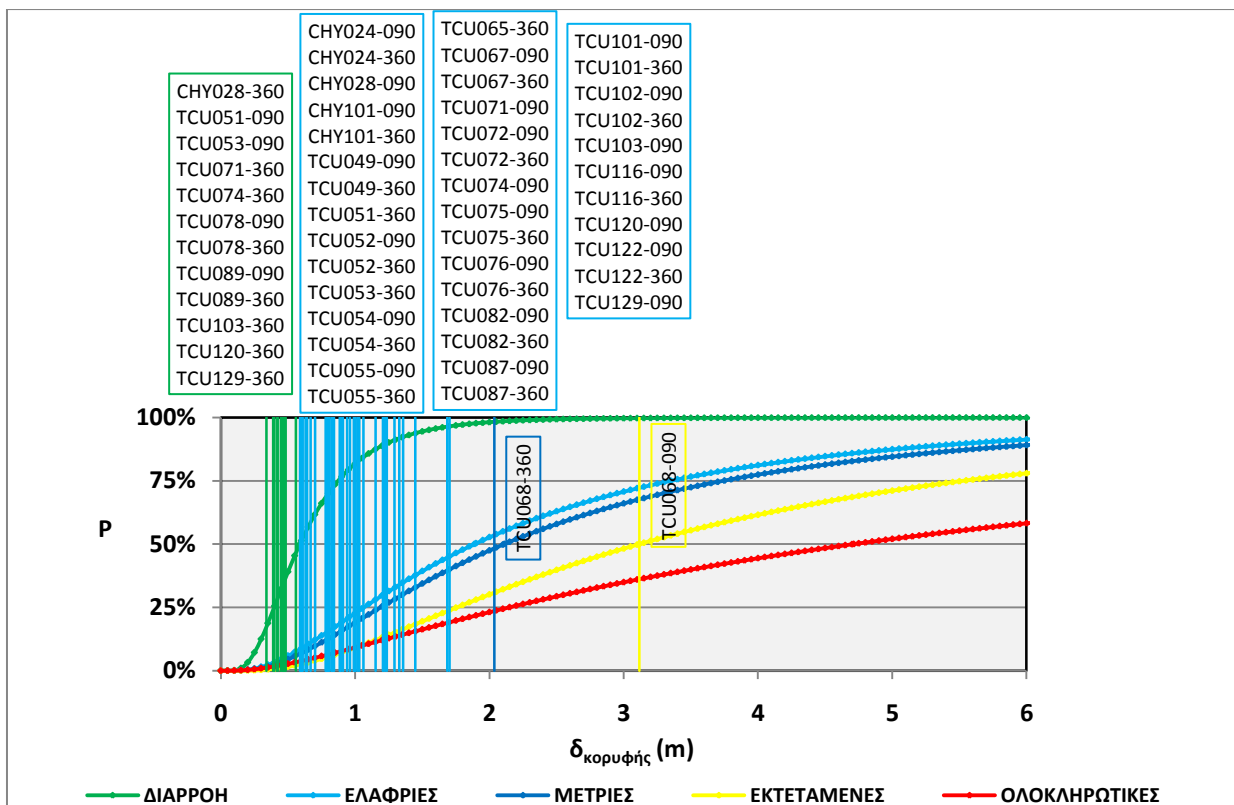
## ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στην περίπτωση που το ποσοστό των διατομών που αστοχούν είναι μεγαλύτερο από 0% και μικρότερο από 5% η κατασκευή θεωρείται πως έχει υπερβεί το όριο των ελαφρών βλαβών αλλά δεν έχει φτάσει το όριο των μέτριων βλαβών (ή στάθμη άμεσης χρήσης). Τότε, η κατακόρυφη γραμμή της μετακίνησης παίρνει το χρώμα μπλε της καμπύλης τρωτότητας μέτριων βλαβών και την ονομασία ΑΜΕΣΗ ΧΡΗΣΗ.
- Εάν το ποσοστό των διατομών που αστοχούν είναι ανάμεσα στο 5% και 25% η κατασκευή έχει υπερβεί το όριο των μέτριων βλαβών (ή στάθμη άμεσης χρήσης) αλλά δεν έχει φτάσει το όριο των εκτεταμένων βλαβών (ή στάθμη προστασίας ζωής). Η κατακόρυφη γραμμή της μετακίνησης παίρνει το χρώμα κίτρινο της καμπύλης τρωτότητας εκτεταμένων βλαβών και την ονομασία ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΩΗΣ.
- Τέλος, εάν το ποσοστό των διατομών που αστοχούν είναι μεγαλύτερο από 25% και μικρότερο από 50% η κατασκευή θεωρείται πως έχει υπερβεί το όριο των εκτεταμένων βλαβών (ή προστασία ζωής) αλλά δεν έχει φτάσει τη στάθμη οιονεί κατάρρευσης. Η κατακόρυφη γραμμή που αναφέρεται στην μετακίνηση κορυφής παίρνει το χρώμα κόκκινο της καμπύλης τρωτότητας ολοκληρωτικών βλαβών και την ονομασία ΟΙΟΝΕΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ.

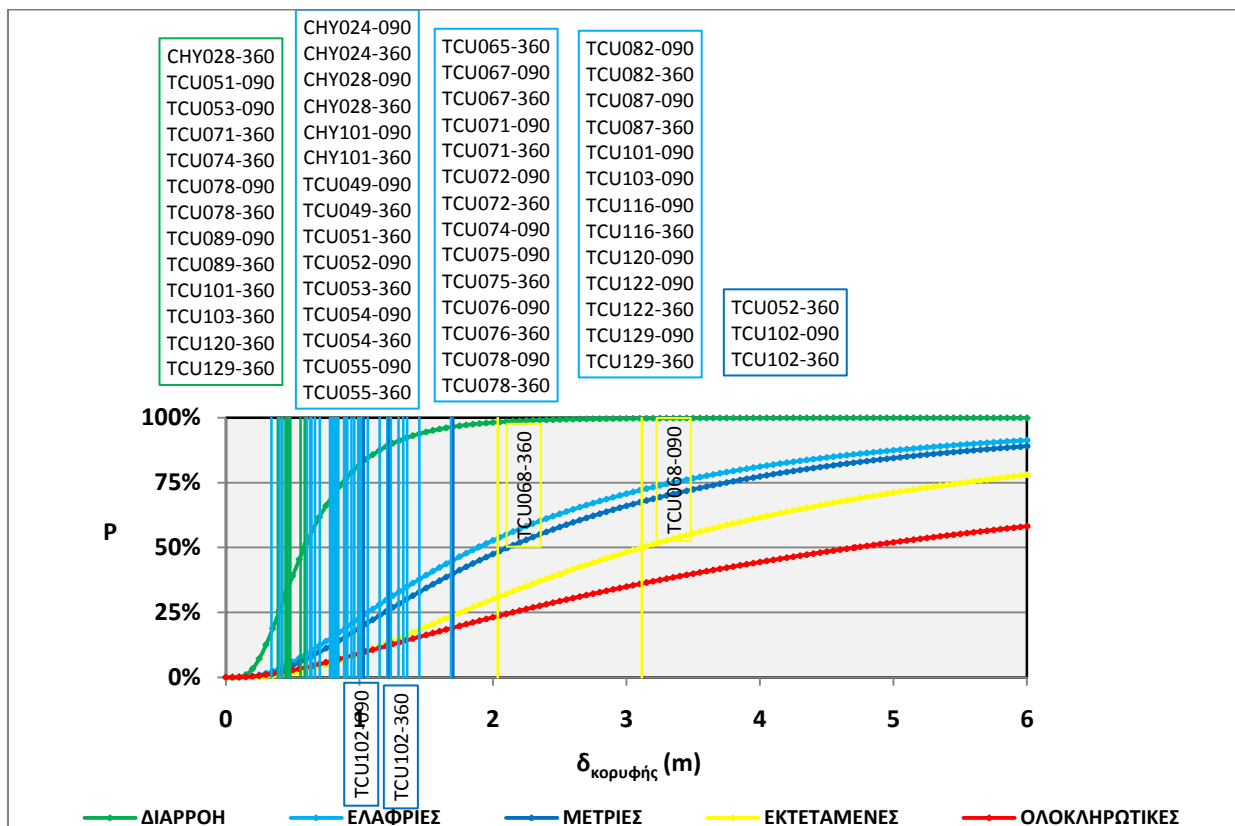
Παρακάτω δίδονται τα διαγράμματα των εξής χαρακτηριστικών παραδειγμάτων:

- CHI-CHI, TAIWAN
- IMPERIAL VALLEY, CA, USA, 1979
- NORTHRIDGE, CA, USA

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

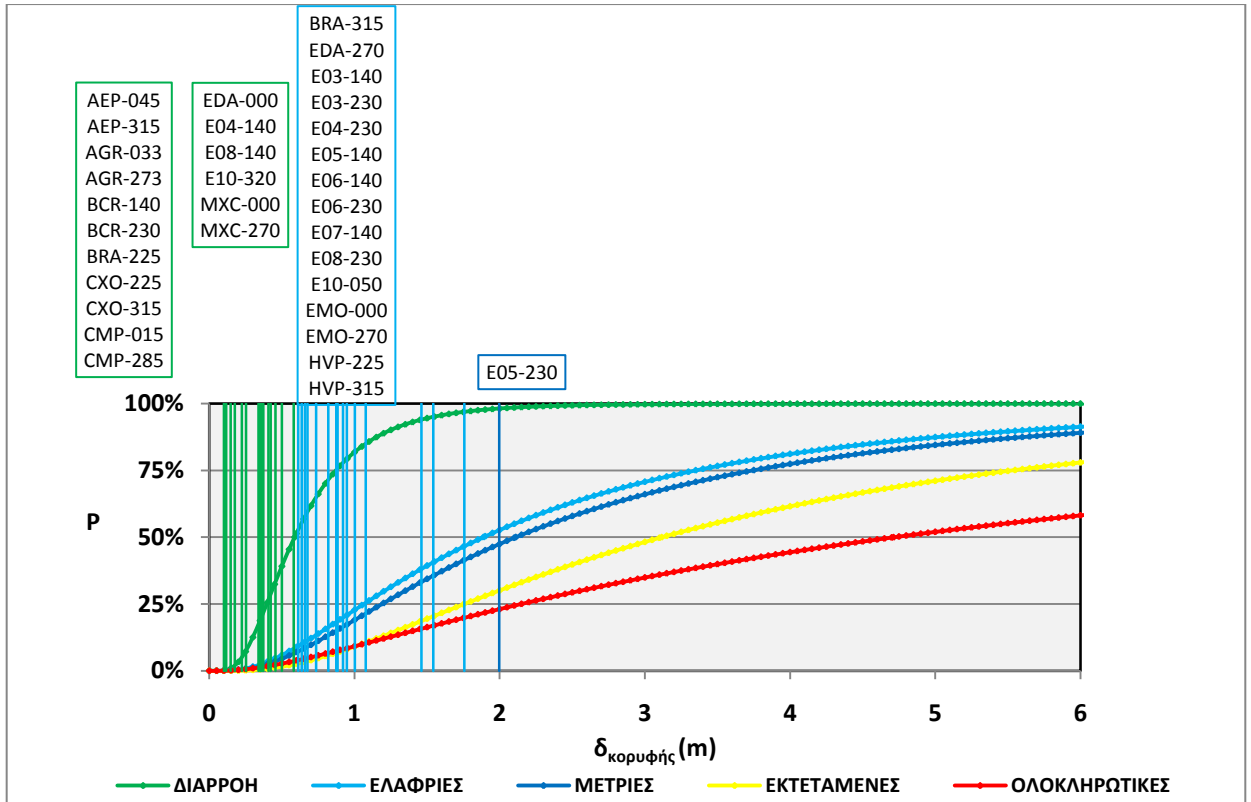


Σχήμα 8.1: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή CHI – CHI, TAIWAN με βάση το HAZUS. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2)

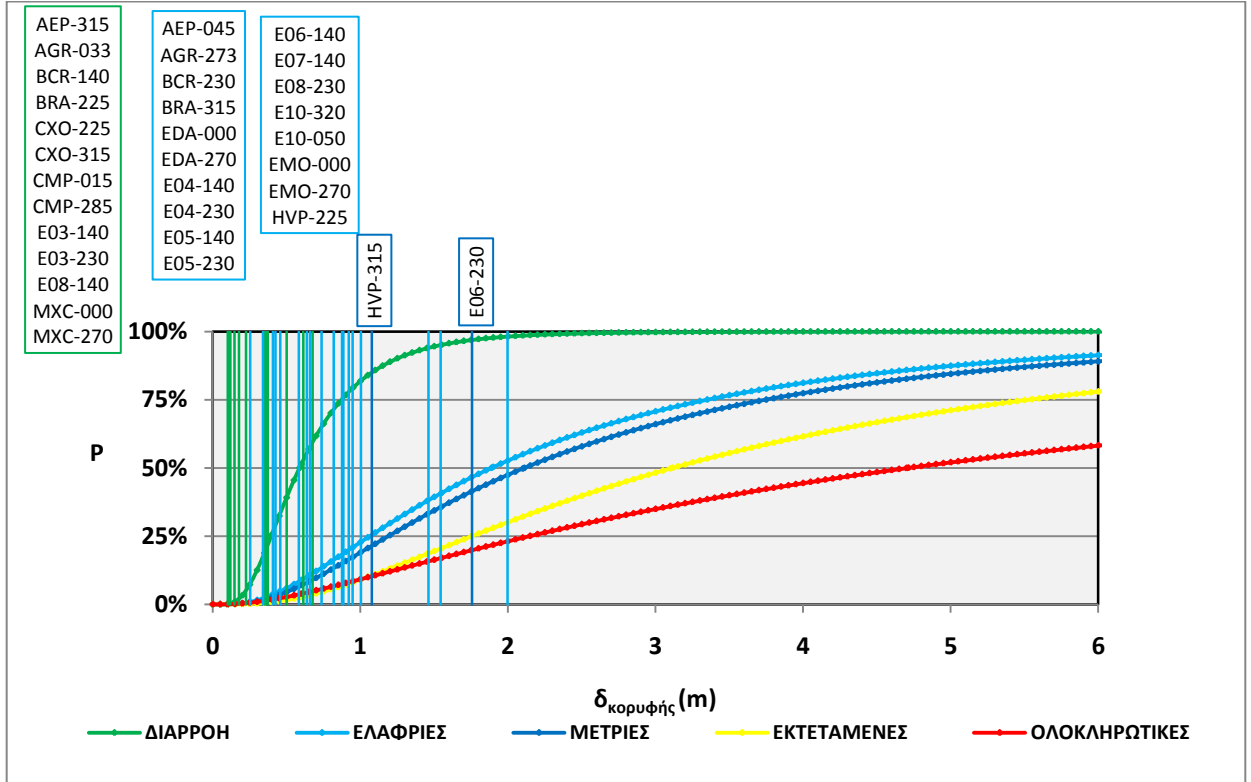


Σχήμα 8.2: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή CHI – CHI, TAIWAN με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

## ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

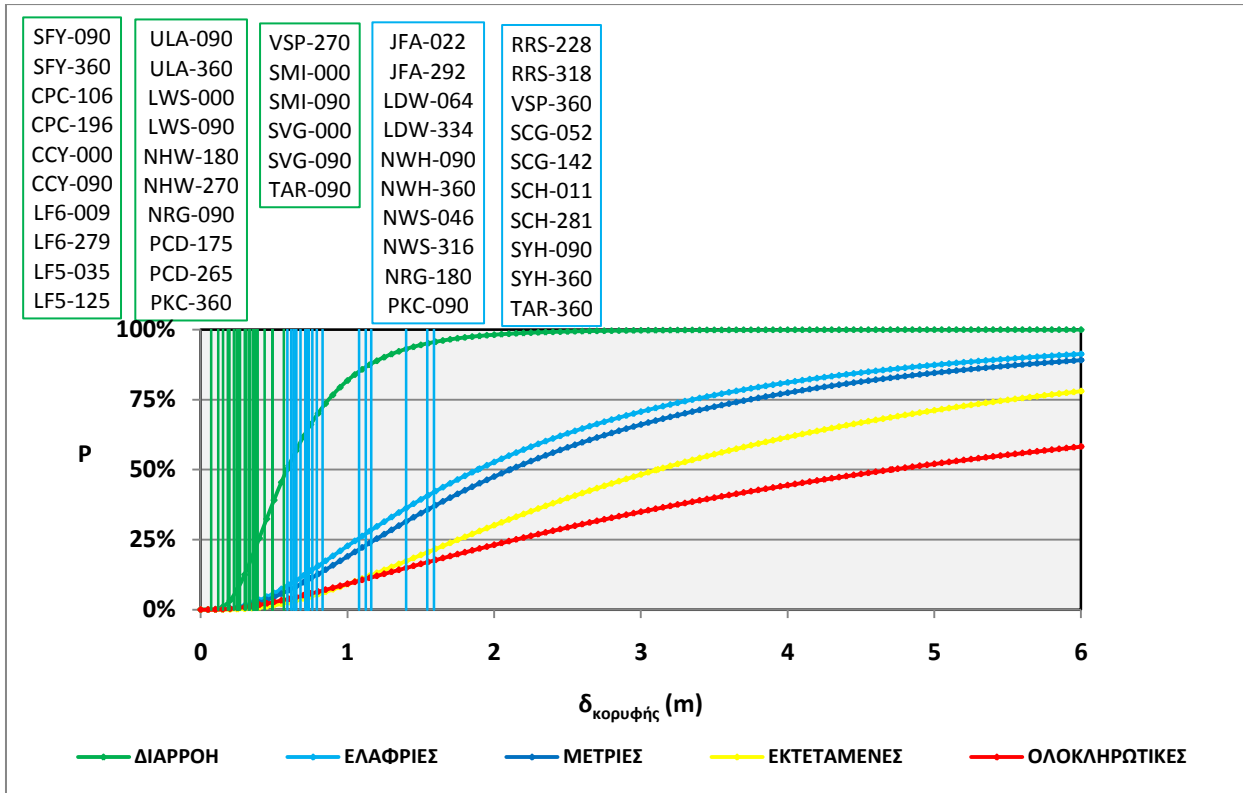


Σχήμα 8.3: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IMPERIAL VALLEY, CA, USA, 1979 με βάση το HAZUS. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2)

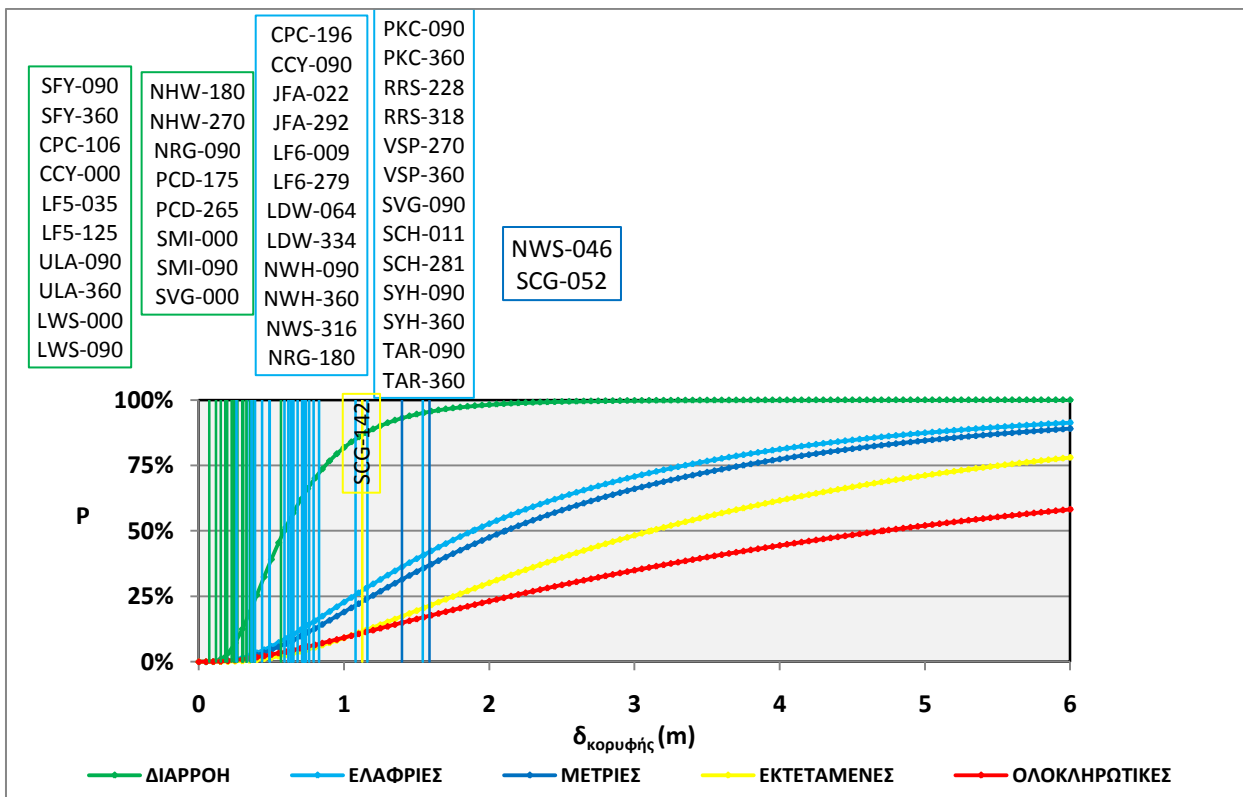


Σχήμα 8.4: Διάγραμμα σύγκρισης των καμπυλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή IMPERIAL VALLEY CA, USA, 1979 με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



**Σχήμα 8.5:** Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή NORTHBRIDGE, CA, USA με βάση το HAZUS. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 5.2)



**Σχήμα 8.6:** Διάγραμμα σύγκρισης των καμπλών τρωτότητας με τις μετατοπίσεις κορυφής για τους σταθμούς στην περιοχή NORTHBRIDGE, CA USA με βάση το SAP. (Για την επιλογή χρωμάτων βλέπε παράγραφο 6.2)



Συμπερασματικά οι περισσότερες αποκλίσεις στις δύο μεθόδους εμφανίστηκαν για μικρές μετακινήσεις, που σύμφωνα με το HAZUS αντιστοιχούσαν στην ελαστική περιοχή της κατασκευής, ενώ με το SAP φαινόταν ότι ένα μικρό ποσοστό των μελών είχε διαρρεύσει. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι διαφορές μπορούμε να πούμε πως ήταν μικρές και πιθανότατα οφείλονται στην διαφορετική μέθοδο ανάλυσης που αυτές οι δύο μέθοδοι εφαρμόζουν. Το λογισμικό του SAP κατηγοριοποίησε τις μετακινήσεις οροφής με βάση το ποσοστό των διατομών που αστόχησαν, σε αντίθεση με το HAZUS, που η αξιολόγηση των μετακινήσεων έγινε με βάση την καμπύλη Pushover. Υπήρχαν βέβαια και μερικές περιπτώσεις που μας έδωσαν μεγάλες αποκλίσεις και αναλύθηκαν περαιτέρω στο κεφάλαιο 7.

Όπως φάνηκε από την σύγκριση των Σχήμα 5.14 και Σχήμα 6.14 η μετακίνηση κορυφής που έδωσε η καταγραφή SCG-142 ήταν σχετικά μικρή και η ενδεχόμενη πιθανότητα να υπερβεί η κατασκευή την καμπύλη μέτριων ζημιών είναι μικρή. Γι' αυτό το λόγο κατασκευάσαμε το φάσμα απόκρισης μετακίνησης της κατασκευής για αυτή την καταγραφή. Σε αυτό παρατηρήσαμε πως η συμμετοχή της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής είναι σημαντική αφού η δεύτερη ιδιοπερίοδος βρίσκεται κοντά στην περίοδο του παλμού ενώ η πρώτη ιδιοπερίοδος είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίοδο του παλμού. Επίσης στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε παρατηρώντας την παραμορφωμένη εικόνα του φορέα τη χρονική στιγμή της μέγιστης μετακίνησης καθώς η αστοχία έχει συγκεντρωθεί στους πάνω ορόφους (Σχήμα 7.4). Έτσι, φαίνεται πως η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθοδολογίες οφείλεται στο γεγονός ότι η καμπύλη pushover και τα επίπεδα ζημιάς που χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία του HAZUS προέκυψαν από την υπόθεση της κατανομής δύναμης σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή. Δεν μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί αξιόπιστη η μεθοδολογία του HAZUS καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την 2<sup>η</sup> ιδιομορφή. Το γεγονός ότι σε κάποιες περιπτώσεις πρέπει να ληφθεί υπόψη και η δεύτερη ιδιομορφή στην ανάλυση επιβεβαιώνεται και από το έγγραφο της FEMA που αναφέρει πως όταν η τέμνουσα βάσης σχεδιασμού είναι ικανοποιητική ( $\gamma = V_y/W > 0.10$ ) ώστε το κτίριο να μπορεί να αναπτύξει δυναμική απόκριση σε σεισμό, όπως στην περίπτωση μας, υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας στους πάνω ορόφους.

*Συμπερασματικά, στις περισσότερες περιπτώσεις η επιλογή του ιδιοσχήματος της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής για την κατασκευή της καμπύλης pushover ανταποκρίνεται με καλή προσέγγιση στην πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής.*

*Όμως υπάρχουν και περιπτώσεις, όπως στην καταγραφή SCG-142, όπου η 1<sup>η</sup> ιδιοπερίοδος είναι μεγαλύτερη από την περίοδο του παλμού ενώ η 2<sup>η</sup> είναι κοντά σε αυτή. Δηλαδή, η 2<sup>η</sup> ιδιοπερίοδος συμβάλλει σημαντικά στην απόκριση της κατασκευής και η πλαστιμότητα συγκεντρώνεται στους πάνω ορόφους.*

*Σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τα χαρακτηριστικά της δεύτερης ιδιομορφής του κτιρίου κατά την κατασκευή της καμπύλης pushover και των διαφόρων επιπέδων ζημιάς.*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΙΚΟΣΑΩΡΟΦΟΥ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

---

1. Baker Jack. W. . *Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis*. Stanford: Bulletin of the Seismological Society of America, Οκτώβριος 2007.
2. Bommer J. J., Georgallides G., Tromans I. J.. «*Is there a Near-Field for Small-to-Moderate Magnitude Earthquakes?*». Journal of Earthquake Engineering. Vol. 5, No. 3 (2001) 395-423, Imperial College Press
3. Chopra A.. *Δυναμική των Κατασκευών. Θεωρία και Εφαρμογές στη Σεισμική Μηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 2008
4. Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Decision Washington, D. C.. *HAZUS-MH MR1. FEMA-356*
5. Faccioli G., Cauzzi C., Paolucci R., Vanini M. and Finazzi D.. *CHAPTER 2: Long Period Strong Motion and it's as input to Displacement Based Design*.
6. Federal Emergency Management Agency. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA-356*
7. Gupta Akshay and Krawinkler Helmut. *Seismic Demands for Performance Evaluation of Steel Moment Resisting Frame Structures*. Stanford University: Report No.132, June 1999
8. Hall J. F., Eeri M., Heaton T. H., Eeri M., Halling W., Eeri M. and Wald D. J., Eeri M.. *CHAPTER4: Near-Source Ground Motion and it's Effects on Flexible Buildings*.
9. Kalkan E., Eeri S. M. and Kunnath S. K., Eeri M..*Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings*.
10. Krawinkler H., Alavi B. and Zareian F.. *Impact of Near-Fault Pulses on Engineering Design*.
11. Makris N. and Black C. J.. *Dimensional Analysis of Bilinear Oscillators Under Pulse-Type Excitations*
12. Mavroeidis G.P. and Papageorgiou A.S.. *A Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions*
13. Mavroeidis G.P., Dong G. and Papageorgiou A.S.. *Near-Fault Ground Motions and the Response of Elastic and Inelastic Single-Degree-Of-Freedom (SDOF) Systems*. EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS 2004, 33:1023-1049 (DOI: 10.1002/eqe.391)
14. Rodriguenz-Marek A.. *Near-Fault Seismic Site Response*.
15. Shuang LI., XIE Li-Li. *Progress and Trend on Near-Field Problems in Civil Engineering*. Vol. 20, No.1 (105-114), ACTA SEISMOLOGICA SINICA, Jan., 2007.
16. Somerville P. G.. *Magnitude Scaling of the Near Fault Rupture Directivity Pulse*. Physics of the Earth and Planetary Interiors 137 (2003) 201-212.
17. Stewart J. P., Chiou S. J., Bray J. D., Graves R. W., Somerville P. G. and Abrahamson N. A. (2001). *Ground Motion Evaluation Procedures for*

*Performance-Based Design*. PERR Report 2001/09, University of California Berkeley.

18. Κάππος Α. Ι.. *Αναλυτική μεθοδολογία Υπολογισμού Καμπύλων Τρωτότητας Γεφυρών*.
19. Καρύδης Π. Γ., Ταφλαμπάς Ι. Μ.. *Τεχνική Σεισμολογία*. Αθήνα 2007
20. Κυριακίδης, Πηλατουκάς, Χρισοστόμου. *Τρωτότητα Κτιρίων από ΟΣ και Εκτίμηση του Σεισμικού Κινδύνου στην Κύπρο*.
21. Παναγόπουλος, Κάππος, Λεκίδης, Σους, Καρακώστας. *Αξιοποίηση Πραγματικών Στοιχείων Βλαβών Καταστροφικών Ζημιών στις Μελέτες Σεισμικής Τρωτότητας*.
22. Τεχνίτης Γεώργιος. *Διερεύνηση Σεισμικής Διακινδύνευσης στην Περιοχή του Δήμου Κηφισίας με την χρήση του Λογισμικού HAZUS*. Πτυχιακή εργασία, Αθήνα, 2007
23. Ψυχάρης Ι.. *Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας*. Αθήνα, 2007