

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ
ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΣΕ
ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ
ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

Τελική Εκθεση

Προς τον

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
(ΟΑΣΠ)

Γ.Α. ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ
Ε.Α. ΛΕΩΝΙΔΟΥ

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2003

Η παρούσα Τεχνική Εκθεση αφορά το Ερευνητικό Πρόγραμμα: **“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΣΕ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ”** η διεξαγωγή του οποίου ανατέθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) στο Εργαστήριο Γεωτεχνικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Επιστημονικός Υπεύθυνος του προγράμματος, σύμφωνα με την από 20-12-2000 καταρτισθείσα Σύμβαση μεταξύ ΟΑΣΠ και ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΟΥ ΠΑΤΡΩΝ, είναι ο καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών Γ. Αθανασόπουλος. Η ανάθεση και χρηματοδότηση του Ερευνητικού Προγράμματος υπήρξε το αποτέλεσμα σχετικής πρότασης η οποία υποβλήθηκε στον ΟΑΣΠ από τον καθηγητή Γ. Αθανασόπουλο τον Ιανουάριο του 2000.

Αντικείμενο του ανωτέρω ερευνητικού προγράμματος αποτέλεσε η διερεύνηση της διάδοσης της διάρρηξης κανονικών ρηγμάτων του υποβάθρου σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς και ο προσδιορισμός της μορφής και της κατανομής των επιφανειακών παραμορφώσεων που αναπτύσσονται ως αποτέλεσμα της διάδοσης της διάρρηξης. Η διερεύνηση είχε ως στόχο την ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον καθορισμό του πλάτους και της θέσης της επικίνδυνης ζώνης της επιφάνειας του εδάφους στο εσωτερικό της οποίας οι παραμορφώσεις έχουν μέγεθος τέτοιο ώστε να απειλείται η λειτουργικότητα και ακεραιότητα, και γενικά η ασφάλεια, των οικοδομικών και λοιπών τεχνικών έργων.

Η διεξαγωγή του Ερευνητικού Προγράμματος συμφωνεί απόλυτα με τα οριζόμενα στη σχετική Σύμβαση και υπήρξε επιτυχής ως προς την εκπλήρωση των προδιαγεγραμμένων στόχων. Σημειώνεται ότι κατά τη διεξαγωγή της έρευνας ελήφθησαν υπόψη όλες οι παρατηρήσεις και τα σχόλια της Επιτροπής Κρίσης (Αμβράζης, Γκαζέτας, Κωνσταντόπουλος, Τόλης) της ενδιάμεσης Εκθεσης Προόδου.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η διεξαγωγή του Ερευνητικού Προγράμματος πραγματοποιήθηκε με μειωμένο κατά 18% προϋπολογισμό, δεδομένου ότι η κράτηση ΦΠΑ δεν είχε προβλεφθεί στην κατάρτιση του αρχικού προϋπολογισμού της Πρότασης και ούτε αναφέρεται ως υποχρεωτική κράτηση στη σχετική Σύμβαση.

Θεωρείται ότι τα αποτελέσματα του Ερευνητικού Προγράμματος (τα οποία συνοψίζονται σε σειρά διαγραμμάτων-νομογραφημάτων) είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμα για τον καθορισμό κυρίως του εύρους αλλά και της θέσης της επικίνδυνης ζώνης της επιφάνειας του εδάφους, σε περιοχές γνωστών κανονικών ή ανάστροφων σεισμικών ρηγμάτων. Ως γνωστά σεισμικά ρήγματα θεωρούνται είτε ρήγματα τα οποία χαρακτηρίζονται από επιφανειακή εκδήλωση του ίχνους τους είτε τυφλά ρήγματα των οποίων το επίπεδο είναι γνωστό από τις θέσεις των υποκέντρων καταγεγραμμένων σεισμικών γεγονότων. Τα ανωτέρω αποτελέσματα είναι δυνατό να αξιοποιηθούν από τον ΟΑΣΠ σε μελλοντική αναθεώρηση του ΕΑΚ με την κατάλληλη εισαγωγή κανονιστικών διατάξεων (ποσοτικού χαρακτήρα) σχετικά με το εύρος και τη θέση ζωνών απαγόρευσης δόμησης σε περιπτώσεις που γνωστά σεισμικά ρήγματα διασχίζουν ήδη δομημένες περιοχές ή περιοχές μελλοντικής οικιστικής ανάπτυξης.

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις ευχαριστίες τους προς τον ΟΑΣΠ για την οικονομική υποστήριξη του ερευνητικού έργου καθώς και για την έγκριση των χρονικών παρατάσεων που απαιτήθηκαν για την ολοκλήρωσή του. Ευχαριστίες εκφράζονται επίσης και προς τον καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ κ. Σπ. Παυλίδη για τη βοήθεια που προσέφερε κατά τη συγκέντρωση της σχετικής με το ερευνώμενο θέμα βιβλιογραφίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xxvii
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	xxix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	7
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	7
2.1. Μελέτη περιπτώσεων πεδίου	13
2.2. Πειραματικές μέθοδοι	17
2.3. Υπολογιστικές μέθοδοι.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	35
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ	35
3.1. Εξιδανίκευση του Φυσικού Προβλήματος.....	35
3.2. Διερευνώμενες και Χρησιμοποιούμενοι Παράμετροι.....	40
3.2.1. Περίπτωση Συνεκτικού Εδάφους ($c \neq 0$, $\varphi = 0$).....	42
3.2.2. Περίπτωση Μη-Συνεκτικού Εδάφους ($\varphi \neq 0$, $c = 0$).....	46
3.3. Χρησιμοποιούμενο Λογισμικό	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	59
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ	59
4.1. Επίδραση του Μεγέθους του Δικτύου των Πεπερασμένων Στοιχείων.....	59
4.2. Επίδραση του Είδους των Πεπερασμένων Στοιχείων.....	62
4.3. Επίδραση της Πυκνότητας των Πεπερασμένων Στοιχείων	68
4.4. Επίδραση του Τρόπου Διάρρηξης του Ρήγματος	68
4.5. Επίδραση του Πάχους του Εδαφικού Στρώματος.....	71
4.6. Επίδραση της Δυσκαμψίας της Θεμελίωσης-Ανωδομής.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	87
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ	87
5.1. Περίπτωση Κανονικού Ρήγματος	87
5.1.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης	90
5.1.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Διάρρηξης	91
5.1.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης	92
5.1.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης	92
5.1.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης	93
5.2. Περίπτωση Ανάστροφου Ρήγματος	108
5.2.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης	109
5.2.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Αστοχίας	109
5.2.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης	109
5.2.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης	111
5.2.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης	112
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	127
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΜΗ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ	127
6.1. Περίπτωση Κανονικού Ρήγματος	127
6.1.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης	129
6.1.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Διάρρηξης	131
6.1.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης	131
6.1.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης	133
6.1.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης	134
6.2. Περίπτωση Ανάστροφου Ρήγματος	158
6.2.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης	161
6.2.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Αστοχίας	161
6.2.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης	161
6.2.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης	163
6.2.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης	163
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	187
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	187
7.1. Ανάπτυξη και Διάδοση της Εδαφικής Διάρρηξης	187
7.1.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης	189
7.1.2. Γωνία Διάδοσης της Διάρρηξης του Εδάφους	190
7.2. Σύγκριση Συμπεριφοράς Κανονικών και Ανάστροφων Ρηγμάτων Υποβάθρου	192
7.2.1. Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση	192
7.2.2. Εύρος Επικίνδυνης Ζώνης	193
7.2.3. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης	193
7.3. Σύγκριση Συμπεριφοράς Συνεκτικών και Μη-συνεκτικών Εδαφών	200
7.4. Κατασκευή Νομογραφημάτων – Κύρια Ζώνη Διάρρηξης	207
7.4.1. Νομογραφήματα Διάρρηξης Κανονικού Ρήγματος	207
7.5. Κατασκευή Νομογραφημάτων - Δευτερεύουσα Ζώνη Διάρρηξης	261
7.6. Εφαρμογή-Σύγκριση των Αποτελεσμάτων της Ερευνας με Δημοσιευμένα Αποτελέσματα	266
7.6.1. Το Ρήγμα της Αγ. Τριάδας στην Πάτρα	266
7.6.2. Μετρήσεις σε Φυσικό Ομοίωμα Μικρής Κλίμακας	272
7.6.3. Πρόσφατα Δημοσιευμένα Αποτελέσματα Αναλύσεων	275
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	283
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	283

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	289
---------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	Error! Bookmark not defined.
--------------------------	-------------------------------------

Διάδοση της εδαφικής διάρρηξης και επικίνδυνη επιφανειακή ζώνη για όλες τις
εξετασθείσες περιπτώσεις..... **Error! Bookmark not defined.**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	Error! Bookmark not defined.
--------------------------	-------------------------------------

Κατανομή των μεγίστων τιμών των εδαφικών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) κατά
την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις.....**Error! Bookmark not defined.**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	Error! Bookmark not defined.
--------------------------	-------------------------------------

Αποτελέσματα όλων των συγκρίσεων του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7..... **Error! Bookmark not defined.**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1.	Επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην τροποποίηση του σεισμικού κραδασμού του υποβάθρου.....	2
Σχήμα 1-2.	Κατά τη διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων υποβάθρου στους υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς προκαλούνται παραμορφώσεις ή και ρηγμάτωση της επιφάνειας του εδάφους με αποτέλεσμα την πρόκληση βλαβών σε οικοδομικά ή άλλα τεχνικά έργα.....	3
Σχήμα 2-1	Δομή και χαρακτηριστικά σεισμικού ρήγματος	7
Σχήμα 2-2.	Είδη σεισμικών ρηγμάτων: (α) κανονικά (β) ανάστροφα και (γ) διεύθυνσης.....	8
Σχήμα 2-3.	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός κανονικού ρήγματος και η κατά κλίση μεταβολή της μετατόπισης ενός ρήγματος (Doutsos and Kouskouvelas, 1998)	9
Σχήμα 2-4.	Τρισδιάστατη απεικόνιση ενός ρήγματος στην οποία φαίνεται μισό από το ελλειψοειδές παραμόρφωσης του ρήγματος (Κουκουβέλας, 1998).....	9
Σχήμα 2-5.	Χαρακτηριστικές περιπτώσεις βλαβών σε κατασκευές εδραζόμενες στην περιοχή της επιφανειακής διάρρηξης κανονικών ρηγμάτων και ρηγμάτων διεύθυνσης κατά τους σεισμούς της Τουρκίας (1999) [(α), (β) και (γ)] και Taiwan (1999) (δ) (http://nisee.berkeley.edu)	11
Σχήμα 2-6.	Μηχανισμοί πρόκλησης βλαβών σε κατασκευές κατά τη διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς (Bray, 2001)	12
Σχήμα 2-7.	Διάδοση διάρρηξης ρήγματος διεύθυνσης σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς (Bray et al., 1994b)	14
Σχήμα 2-8.	Διάδοση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς: (α) σκληρό έδαφος, απότομη κλίση (γ) σκληρό έδαφος, ήπια κλίση (β) μαλακό έδαφος (Bray et al., 1994b)	14
Σχήμα 2-9.	Διάδοση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς: (α) σκληρό έδαφος, απότομη κλίση (β) σκληρό έδαφος, ήπια κλίση (γ) μαλακό έδαφος (Bray et al., 1994b)	15
Σχήμα 2-10.	Σχέση μεγίστων επιφανειακών μετακινήσεων που αναπτύσσονται λόγω σεισμικής διάρρηξης και του μεγέθους του αντίστοιχου σεισμού (α) ευθεία παλινδρόμησης για όλα τα είδη ρηγμάτων (β) ιδιαίτερες ευθείες παλινδρόμησης για διαφορετικά είδη ρηγμάτων (Wells and Coppersmith, 1994)	16

Σχήμα 2-11.	Μήκος επιφανειακής διάρρηξης (SRL) και μέγιστη επιφανειακή μετακίνηση (MD) ρήγματος ως συνάρτηση του σεισμικού μεγέθους, M_s , (Pavlidis et al., 2000)	16
Σχήμα 2-12.	Μέγιστη σεισμική μετακίνηση κανονικού ρήγματος (MD), ως συνάρτηση του μήκους της επιφανειακής διάρρηξης (SRL) (Pavlidis et al., 2000).....	16
Σχήμα 2-13.	Αποτελέσματα δοκιμών διάδοσης εδαφικής διάρρηξης σε άμμο Ottawa και αμμώδη ιλύ σε φυγοκεντριστή 50g (Roth et al., 1981)	18
Σχήμα 2-14.	Διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων κλίσης σε εργαστηριακές δοκιμές πυκνής άμμου (Cole and Lade, 1984)	18
Σχήμα 2-15.	Κατανομή παραμορφώσεων σε συνάρτηση με το βάθος (Lazarte and Bray, 1995).....	19
Σχήμα 2-16.	Κατανομή των ωθήσεων σε βάθος 21.4m από την επιφάνεια του εδάφους (Duncan και Lefebvre, 1973).....	20
Σχήμα 2-17.	Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων και μορφή της ζώνης διάρρηξης του ρήγματος κατά την ανάλυση ευστάθειας της εδαφικής τομής ($\varphi=25^\circ$, $\nu=0.4$) (Scott and Shoustra, 1974).....	20
Σχήμα 2-18.	Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικής και αναλυτικής μεθόδου διερεύνησης της διάδοσης της διάρρηξης σε εδαφικό σχηματισμό (Roth et al., 1982)	21
Σχήμα 2-19.	Σχηματική παρουσίαση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διάδοση ενός ρήγματος του υποβάθρου στην επιφάνεια του εδάφους (Cole and Lade, 1984)	21
Σχήμα 2-20.	Λόγος W/H ως συνάρτηση της κλίσης, α , του ρήγματος και της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , του αμμώδους εδάφους (Cole and Lade, 1984).....	21
Σχήμα 2-21.	Σύγκριση αποτελεσμάτων θεωρητικής και πειραματικής ανάλυσης διάρρηξης ρήγματος σε υπερκείμενο στρώμα πυκνής άμμου (α) ανάστροφο ρήγμα ($\alpha=60^\circ$) και (β) κανονικό ρήγμα ($\alpha=120^\circ$) (Cole and Lade, 1984)	23
Σχήμα 2-22.	Υπερβολικό προσομοίωμα τάσεων-παραμορφώσεων εδαφικού υλικού (Bray et al., 1994a)	23
Σχήμα 2-23.	Αποτελέσματα αναλύσεων με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων για την περίπτωση της διάδοσης της διάρρηξης κανονικού ρήγματος του υποβάθρου σε συνεκτικό έδαφος (α) Παραμορφωμένο δίκτυο κατά τη διάδοση κανονικού ρήγματος κλίσης 60° σε εδαφικό στρώμα πάχους 24m (β) Ισοτασικές καμπύλες για μετακίνηση, $S=0.6m$ κανονικού ρήγματος κλίσης 60° (γ) Ισοτασικές καμπύλες για μετακίνηση, $S=0.6m$ ανάστροφου ρήγματος κλίσης 90° (Bray et al., 1994a)	24
Σχήμα 2-24.	Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της επιφάνειας διάρρηξης, h_f/S_v , ως συνάρτηση της αξονικής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , του εδαφικού υλικού (Bray et al., 1994a).....	24
Σχήμα 2-26.	Σύγκριση οπλισμένου και άοπλου συμπυκνωμένου επιχώματος για $S=2.5cm$ και $S=5.0cm$ (Bray et al., 1993)	25
Σχήμα 2-27.	(α) Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση ευστάθειας εδαφικής τομής, (β) Παραμορφώσεις του δικτύου μετά την μετατόπιση του υποβάθρου κατά 0.50m (Αθανασόπουλος και Λεωνίδου, 1997)	26

Σχήμα 2-28.	(α) Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση ευστάθειας εδαφικής τομής και (β) παραμορφώσεις του δικτύου μετά την μετατόπιση του υποβάθρου (Athanasopoulos and Leonidou, 1996).....	28
Σχήμα 2-29.	Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα δικτύων πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις με τα προγράμματα (α) PLAXIS 6.31 και (β) Z_SOIL 4.24 (Λεωνίδου, 2000).....	29
Σχήμα 2-30.	Κατανομή γωνιακής παραμόρφωσης κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση κανονικού ρήγματος ($\alpha=75^\circ$, $S=2.5m$) και σκληρού συνεκτικού εδαφικού υλικού (Λεωνίδου, 2000)	30
Σχήμα 2-31.	Επίδραση του μεγέθους σεισμικής ολίσθησης, S , επάνω στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης β_{max} , για (α) κανονικά και (β) ανάστροφα ρήγματα και σκληρό συνεκτικό έδαφος (Λεωνίδου, 2000).....	30
Σχήμα 2-32.	Επίδραση του μεγέθους σεισμικής ολίσθησης, S , επάνω στο πλάτος της επικίνδυνης ζώνης $B_{0.002}$ (ή $B_{2\%}$) για (α) κανονικά και (β) ανάστροφα ρήγματα και σκληρό συνεκτικό έδαφος (Λεωνίδου, 2000).....	31
Σχήμα 2-33.	Δίκτυα πεπερασμένων διαφορών για τη διεξαγωγή ψευδοστατικών και δυναμικών αναλύσεων για την περίπτωση κανονικού ρήγματος (Loukidis and Bouckovalas, 2001)	32
Σχήμα 2-34.	Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της διάδοσης ρήγματος (Loukidis and Bouckovalas, 2001)	32
Σχήμα 2-35.	Κατανομή μέγιστων τιμών διατμητικών παραμορφώσεων από αναλύσεις ανάστροφου ρήγματος κλίσης 45° και αμμώδους εδάφους ($\psi=20^\circ$) και σύγκριση με παρατηρήσεις πεδίου (Loukidis and Bouckovalas, 2001)	33
Σχήμα 2-36.	Κατανομή μέγιστων τιμών διατμητικών παραμορφώσεων από αναλύσεις κανονικού ρήγματος κλίσης 45° και αμμώδους εδάφους ($\psi=20^\circ$) και σύγκριση με παρατηρήσεις πεδίου (Loukidis and Bouckovalas, 2001)	33
Σχήμα 2-37.	Κατανομή επιταχύνσεων κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους από αναλύσεις ανάστροφου ρήγματος κλίσης 45° σε αμμώδες έδαφος ($\psi=10^\circ$) (Loukidis and Bouckovalas, 2001)	34
Σχήμα 3-1.	Εξιδανίκευση του φυσικού φαινομένου της διάδοσης της διάρρηξης ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς	36
Σχήμα 3-2.	Ορισμός των βασικών παραμέτρων της ανάλυσης και γεωμετρικών μεγεθών.....	39
Σχήμα 3-3.	Καθορισμός της θέσης στο χώρο του επιπέδου ρήγματος κλίσης με αξιοποίηση της θέσης των υποκέντρων καταγεγραμμένων σεισμικών γεγονότων (α) τυφλό ανάστροφο ρήγμα, Καλιφόρνια (ΗΠΑ) (β) κανονικό ρήγμα Αιγίου (http://www.corinth-rift-lab.org)	39
Σχήμα 3-4.	Περιβάλλουσες αστοχίας (α) συνεκτικού εδάφους (β) μη-συνεκτικού εδάφους και (γ) ελαστοπλαστική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων	41
Σχήμα 3-5.	Γραμμική αύξηση με το βάθος της συνοχής του εδαφικού στρώματος.....	42
Σχήμα 3-6.	Ορισμός γωνιακής παραμόρφωσης θεμελίωσης, β	50
Σχήμα 3-7.	Εκτίμηση της σοβαρότητας των αναμενόμενων βλαβών σε κατασκευές για διάφορες κατηγορίες εδαφών (Clough and O' Rourke, 1990)	50
Σχήμα 3-8.	Θέσεις κόμβων (nodes) και σημείων υπολογισμού τάσεων (stress points) για την περίπτωση α) δεκαπεντάκομβων και β) εξάκομβων πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα PLAXIS ver. 7.2	51

Σχήμα 3-9.	Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα δικτύου πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις με το πρόγραμμα PLAXIS 7.2	53
Σχήμα 3-10.	Επιβολή εξηναγκασμένης μετακίνησης στην βάση και την αριστερή πλευρά του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση της ολίσθησης (α) κανονικού και (β) ανάστροφου ρήγματος.....	53
Σχήμα 3-11.	Οι συνθήκες οριακών επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις διάδοσης της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου	53
Σχήμα 3-12.	Παράθυρα εισαγωγής παραμέτρων του εδαφικού προσομοιώματος Mohr-Coulomb (πρόγραμμα PLAXIS 7.2)	55
Σχήμα 3-13.	Κατανομή γωνιακής παραμόρφωσης, β και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=60^\circ$, S=1.0m) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$).....	57
Σχήμα 3-14.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=60^\circ$, S=1.0m) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$).....	57
Σχήμα 4-1.	Δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων μήκους 1000m και 1500m που χρησιμοποιήθηκαν στις παραμετρικές αναλύσεις επιλογής διαστάσεων δικτύου	60
Σχήμα 4-2.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, S=5.0m) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=15.0\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m.....	60
Σχήμα 4-3.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, S=5.0m) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=15.0\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m.....	61
Σχήμα 4-4.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, S=5.0m) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=5.0\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m.....	61
Σχήμα 4-5.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, S=5.0m) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m.....	62
Σχήμα 4-6.	Κεντρικό τμήμα δικτύου πεπερασμένων στοιχείων με τις θέσεις κόμβων για τις περιπτώσεις χρήσης α) εξάκομβων και β) δεκαπεντάκομβων στοιχείων	63

Σχήμα 4-7.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων	64
Σχήμα 4-8.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=80^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων	64
Σχήμα 4-9.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων	65
Σχήμα 4-10.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων	65
Σχήμα 4-11.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων.....	66
Σχήμα 4-12.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=80^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων.....	66
Σχήμα 4-13.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων.....	67
Σχήμα 4-14.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων.....	67
Σχήμα 4-15.	Δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις (α) αραιό και (β) πολύ πυκνό	69

Σχήμα 4-16.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=5.0\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων	69
Σχήμα 4-17.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=15.0\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων	70
Σχήμα 4-18.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=80^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=5.0\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων	70
Σχήμα 4-19.	Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων	71
Σχήμα 4-20.	Παραμορφωμένα δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων που προέκυψαν από διαφορετικούς τρόπους προσομοίωσης του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, $S=5.0m$, στο βραχύδες υπόβαθρο για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)	72
Σχήμα 4-21.	Επίδραση του μηχανισμού διάρρηξης κανονικού ρήγματος με κλίση $\alpha=50^\circ$ στην υπολογιζόμενη τιμή (α) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} και (β) του εύρους της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}/H$ (συνεκτικό έδαφος). Παρουσιάζονται αποτελέσματα για διάφορες τιμές του ε_f και δύο περιπτώσεις τρόπου διάρρηξης: βύθιση= S και βύθιση= $(2S/3)$ -ανύψωση ($S/3$).	72
Σχήμα 4-22.	Επίδραση του μηχανισμού διάρρηξης κανονικού ρήγματος με κλίση $\alpha=50^\circ$ στην υπολογιζόμενη τιμή (α) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} και (β) του εύρους της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}/H$ (μη-συνεκτικό έδαφος). Παρουσιάζονται αποτελέσματα για διάφορες τιμές του ε_f και δύο περιπτώσεις τρόπου διάρρηξης: βύθιση= S και βύθιση= $(2S/3)$ -ανύψωση ($S/3$).	73
Σχήμα 4-23.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , για την περίπτωση κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$) και συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f=0.5\% - 15.0\%$)	75
Σχήμα 4-24.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση κανονικού ρήγματος και συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f=0.5\% - 15.0\%$)	76
Σχήμα 4-25.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος και συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f=0.5\% - 15.0\%$)	77

Σχήμα 4-26.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος και συνεκτικού εδάφους ($\epsilon_f=0.5\% - 5.0\%$).....	78
Σχήμα 4-27.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση κανονικού ρήγματος και μη-συνεκτικού εδάφους ($\epsilon_f=0.5\% - 15.0\%$).....	79
Σχήμα 4-28.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση κανονικού ρήγματος και μη-συνεκτικού εδάφους ($\epsilon_f=0.5\% - 5.0\%$).....	80
Σχήμα 4-29.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος και μη-συνεκτικού εδάφους ($\epsilon_f=0.5\% - 5.0\%$).....	81
Σχήμα 4-30.	Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος και μη-συνεκτικού εδάφους ($\epsilon_f=0.5\% - 5.0\%$).....	82
Σχήμα 4-31.	Κατανομή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελευθέρου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πάχους 0.50m κατά τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=1.0\%$).....	83
Σχήμα 4-32.	Κατανομή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελευθέρου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πάχους 1.0m κατά τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=1.0\%$).....	84
Σχήμα 4-33.	Κατανομή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελευθέρου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πάχους 2.0m κατά τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=1.0\%$).....	85
Σχήμα 5-1.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) (α) $\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}=2.0\%$ (β) $\beta_{cr}=2.0\%$, $\epsilon_{xx,cr}=5.0\%$	88
Σχήμα 5-2.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$).....	89
Σχήμα 5-3.	Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_r/H ως συνάρτηση του S/H για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος.....	91
Σχήμα 5-4.	Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίση του ρήγματος υποβάθρου για κανονικό ρήγμα σε συνεκτικό έδαφος.....	92
Σχήμα 5-5.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	94

Σχήμα 5-6.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	95
Σχήμα 5-7.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	96
Σχήμα 5-8.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	97
Σχήμα 5-9.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	98
Σχήμα 5-10.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	99
Σχήμα 5-11.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	100
Σχήμα 5-12.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	101
Σχήμα 5-13.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	102
Σχήμα 5-14.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	103
Σχήμα 5-15.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	104
Σχήμα 5-16.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	105
Σχήμα 5-17.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	106
Σχήμα 5-18.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, κανονικό ρήγμα)	107

Σχήμα 5-19.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} , κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) για α) S/H=1.0% ($\beta_{cr}=\varepsilon_{xx,cr}=2\%$) και β) S/H=3.0% ($\beta_{cr}=2\%$ και $\varepsilon_{xx,cr}=5\%$).....	110
Σχήμα 5-20.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ε_{xx} , κατακορύφων ε_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ε_{xx} , ε_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, S/H=1.0%) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)	110
Σχήμα 5-21.	Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_r/H ως συνάρτηση του S_v/H για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος	111
Σχήμα 5-22.	Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίση του ρήγματος υποβάθρου για ανάστροφο ρήγμα σε συνεκτικό έδαφος.....	111
Σχήμα 5-23.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	113
Σχήμα 5-24.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	114
Σχήμα 5-25.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	115
Σχήμα 5-26.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	116
Σχήμα 5-27.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	117
Σχήμα 5-28.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	118
Σχήμα 5-29.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	119

Σχήμα 5-30.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	120
Σχήμα 5-31.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	121
Σχήμα 5-32.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	122
Σχήμα 5-33.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	123
Σχήμα 5-34.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	124
Σχήμα 5-35.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	125
Σχήμα 5-36.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%}/H$, τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	126
Σχήμα 6-1.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($S/H=2.0\%$) με κλίση α) $\alpha=45^\circ$ ($\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}=2\%$) και β) $\alpha=70^\circ$ ($\beta_{cr}=2\%$ και $\epsilon_{xx,cr}=5\%$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)	129
Σχήμα 6-2.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=2.0\%$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)	130
Σχήμα 6-3.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2%), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($S/H=2.0\%$, $\alpha=50^\circ$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$	130

Σχήμα 6-4.	Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ε_{xx} , κατακορύφων ε_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ε_{xx} , ε_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($S/H=2.0\%$, $\alpha=50^\circ$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$	131
Σχήμα 6-5.	Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_r/H ως συνάρτηση του S/H για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος.....	132
Σχήμα 6-6.	Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίση του ρήγματος υποβάθρου για κανονικό ρήγμα σε μη-συνεκτικό έδαφος.....	133
Σχήμα 6-7.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	135
Σχήμα 6-8.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	136
Σχήμα 6-9.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση (β_{max})-(S/H) για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	137
Σχήμα 6-10.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	138
Σχήμα 6-11.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	139
Σχήμα 6-12.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	140
Σχήμα 6-13.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	141
Σχήμα 6-14.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	142
Σχήμα 6-15.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	143
Σχήμα 6-16.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	144
Σχήμα 6-17.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα).....	145

Σχήμα 6-18.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{2\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	146
Σχήμα 6-19.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{5\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	147
Σχήμα 6-20.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{10\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	148
Σχήμα 6-21.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{20\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	149
Σχήμα 6-22.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	150
Σχήμα 6-23.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	151
Σχήμα 6-24.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	152
Σχήμα 6-25.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	153
Σχήμα 6-26.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{2\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	154
Σχήμα 6-27.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{5\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	155
Σχήμα 6-28.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{10\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	156
Σχήμα 6-29.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{20\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)	157
Σχήμα 6-30.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2‰), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) για α) S/H=1.0% ($\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}=2\%$) και β) S/H=3.0% ($\beta_{cr}=2\%$, $\epsilon_{xx,cr}=5\%$)	159

Σχήμα 6-31.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ε_{xx} , κατακορύφων ε_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ε_{xx} , ε_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)	159
Σχήμα 6-32.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} , (μεγαλύτερων του 2‰), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($S/H=2.0\%$, $\alpha=30^\circ$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$	160
Σχήμα 6-33.	Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ε_{xx} , κατακορύφων ε_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ε_{xx} , ε_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($S/H=1.0\%$, $\alpha=30^\circ$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$	160
Σχήμα 6-34.	Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, hf/H ως συνάρτηση του S_v/H για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος	162
Σχήμα 6-35.	Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίση του ρήγματος υποβάθρου για ανάστροφο ρήγμα σε μη-συνεκτικό έδαφος	162
Σχήμα 6-36.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	164
Σχήμα 6-37.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	165
Σχήμα 6-38.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση (β_{max})-(S_v/H), για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	166
Σχήμα 6-39.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	167
Σχήμα 6-40.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	168
Σχήμα 6-41.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	169

Σχήμα 6-42.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	170
Σχήμα 6-43.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	171
Σχήμα 6-44.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	172
Σχήμα 6-45.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	173
Σχήμα 6-46.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	174
Σχήμα 6-47.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{2\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	175
Σχήμα 6-48.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{5\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	176
Σχήμα 6-49.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{10\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	177
Σχήμα 6-50.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{20\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	178
Σχήμα 6-51.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	179
Σχήμα 6-52.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	180
Σχήμα 6-53.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	181
Σχήμα 6-54.	Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)	182

Σχήμα 6-55.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{2\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	183
Σχήμα 6-56.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{5\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	184
Σχήμα 6-57.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{10\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	185
Σχήμα 6-58.	Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{20\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα).....	186
Σχήμα 7-1.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)	189
Σχήμα 7-2.	(α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)	189
Σχήμα 7-3.	Νομογραφήματα υπολογισμού του σχετικού ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης (h_f/H) ως συνάρτηση της σχετικής σεισμικής ολίσθησης (α) κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος (β) κανονικό ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος (γ) ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος (δ) ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος.....	191
Σχήμα 7-4.	Εξάρτηση της γωνίας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης από την κλίση του ρήγματος υποβάθρου για όλες τις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν	192
Σχήμα 7-5.	Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $\beta_{\max}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και συνεκτικό έδαφος.....	194
Σχήμα 7-6.	Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $\beta_{\max}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και μη-συνεκτικό έδαφος.....	195
Σχήμα 7-7.	Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $B_{2\%}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και συνεκτικό έδαφος.....	196
Σχήμα 7-8.	Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $B_{2\%}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και μη-συνεκτικό έδαφος	197
Σχήμα 7-9.	Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $C_{2\%}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και συνεκτικό έδαφος.....	198
Σχήμα 7-10.	Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $C_{2\%}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α , και μη-συνεκτικό έδαφος	199

Σχήμα 7-11.	Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $\beta_{\max}-(S/H)$ για κανονικό ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α	201
Σχήμα 7-12.	Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $\beta_{\max}-(S_v/H)$ για ανάστροφο ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α	202
Σχήμα 7-13.	Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $B_{2\%}-(S/H)$ για κανονικό ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α	203
Σχήμα 7-14.	Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $B_{2\%}-(S_v/H)$ για ανάστροφο ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α	204
Σχήμα 7-15.	Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $C_{2\%}-(S/H)$ για κανονικό ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α	205
Σχήμα 7-16.	Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $C_{2\%}-(S_v/H)$ για ανάστροφο ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α	206
Σχήμα 7-17.	Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος).....	209
Σχήμα 7-18.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)	210
Σχήμα 7-19.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)	211
Σχήμα 7-20.	Νομογράφημα προσδιορισμού της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος.....	212
Σχήμα 7-21.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	213
Σχήμα 7-22.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	214
Σχήμα 7-23.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$	215
Σχήμα 7-24.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	216
Σχήμα 7-25.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	217
Σχήμα 7-26.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$	218
Σχήμα 7-27.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	219

Σχήμα 7-28.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	220
Σχήμα 7-29.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$	221
Σχήμα 7-30.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	222
Σχήμα 7-31.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	223
Σχήμα 7-32.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$	224
Σχήμα 7-33.	Εξάρτηση της μέγιστη τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και την γωνία κλίσης α για τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$ (κανονικό ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)	225
Σχήμα 7-34.	Εξάρτηση της μέγιστη τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και την γωνία κλίσης α για τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$ (κανονικό ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)	226
Σχήμα 7-35.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	227
Σχήμα 7-36.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	228
Σχήμα 7-37.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	229
Σχήμα 7-38.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	230
Σχήμα 7-39.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	231
Σχήμα 7-40.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	232
Σχήμα 7-41.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	233

Σχήμα 7-42.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=2.0\%$ και β) $\epsilon_f=5.0\%$	234
Σχήμα 7-43.	Εξάρτηση της μέγιστη τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ϵ_f (ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)	235
Σχήμα 7-44.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ϵ_f (ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος).....	236
Σχήμα 7-45.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ϵ_f (ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος).....	237
Σχήμα 7-46.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=0.5\%$ και β) $\epsilon_f=1.0\%$	238
Σχήμα 7-47.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=2.0\%$ και β) $\epsilon_f=5.0\%$	239
Σχήμα 7-48.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$	240
Σχήμα 7-49.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=0.5\%$ και β) $\epsilon_f=1.0\%$	241
Σχήμα 7-50.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=2.0\%$ και β) $\epsilon_f=5.0\%$	242
Σχήμα 7-51.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$	243
Σχήμα 7-52.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=0.5\%$ και β) $\epsilon_f=1.0\%$	244
Σχήμα 7-53.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=2.0\%$ και β) $\epsilon_f=5.0\%$	245
Σχήμα 7-54.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$	246
Σχήμα 7-55.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=0.5\%$ και β) $\epsilon_f=1.0\%$	247
Σχήμα 7-56.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=2.0\%$ και β) $\epsilon_f=5.0\%$	248

Σχήμα 7-57.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$	249
Σχήμα 7-58.	Εξάρτηση της μέγιστη τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος).....	250
Σχήμα 7-59.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)	251
Σχήμα 7-60.	Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)	252
Σχήμα 7-61.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	253
Σχήμα 7-62.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	254
Σχήμα 7-63.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	255
Σχήμα 7-64.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	256
Σχήμα 7-65.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	257
Σχήμα 7-66.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	258
Σχήμα 7-67.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$	259
Σχήμα 7-68.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$	260
Σχήμα 7-69.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} , (μεγαλύτερων του 2%), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=30^\circ$, $S/H=5.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=5.0\%$)	261
Σχήμα 7-70.	Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} , (μεγαλύτερων του 2%), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=2.0\%$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)	261

Σχήμα 7-71.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $\alpha=30^\circ$) σε α) συνεκτικό και β) μη-συνεκτικό έδαφος.....	262
Σχήμα 7-72.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων α) $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ και β) $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος κλίσης $\alpha=45^\circ$ σε μη-συνεκτικό έδαφος.....	263
Σχήμα 7-73.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό του λόγου $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος κλίσης $\alpha=45^\circ$ σε μη-συνεκτικό έδαφος.....	264
Σχήμα 7-74.	Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων α) $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ και β) $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος κλίσης $\alpha=50^\circ$ σε μη-συνεκτικό έδαφος.....	265
Σχήμα 7-75.	Οριζοντιογραφία του ίχνους του ρήγματος της Αγίας Τριάδας στην Πάτρα και η θέση των πολυκατοικιών που υπέστησαν βλάβες (Αθανασόπουλος κ.α., 1998)	267
Σχήμα 7-76.	Παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους και βλάβες των οικοδομών στην περιοχή της επιφανειακής διάρρηξης του ρήγματος της Αγ. Τριάδας.....	268
Σχήμα 7-77.	Νομογραφήματα προσδιορισμού (α) κλίσης ρήγματος, α (β) σχετικής σεισμικής ολίσθησης S/H για $h_f/H=1.0$ γ) λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ και δ) τιμής μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max}	270
Σχήμα 7-78.	Θέση του ίχνους της επιφανειακής διάρρηξης του ρήγματος της Αγ. Τριάδας και των δύο πολυκατοικιών καθώς και η κατανομή των τιμών των γωνιακών παραμορφώσεων στην επικίνδυνη ζώνη εύρους $B_{5\%}$	271
Σχήμα 7-79.	Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικής ανάλυσης των Cole and Lade (1994) με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος κλίσης, $\alpha=60^\circ$	273
Σχήμα 7-80.	Καμπύλες διάδοσης των μεγίστων τιμών των ορθών και διατμητικών παραμορφώσεων καθώς και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης όπως υπολογίζονται από τον κώδικα PLAXIS για την περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος του φυσικού ομοιώματος των Cole and Lade (1984).....	273
Σχήμα 7-81.	Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικής ανάλυσης των Cole and Lade (1994) με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας για την περίπτωση κανονικού ρήγματος κλίσης, $\alpha=60^\circ$	274
Σχήμα 7-82.	Καμπύλες διάδοσης των μεγίστων τιμών των ορθών και διατμητικών παραμορφώσεων καθώς και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης όπως υπολογίζονται από τον κώδικα PLAXIS για την περίπτωση του κανονικού ρήγματος του φυσικού ομοιώματος των Cole and Lade (1984).....	274
Σχήμα 7-83.	Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων (παραμορφωμένο) που χρησιμοποιήθηκε από το Bray (2001) για την ανάλυση της διάδοσης της διάρρηξης κανονικού ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενο στρώμα εδάφους.....	276
Σχήμα 7-84.	Χρήση νομογραφημάτων για τον προσδιορισμό του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , για την περίπτωση κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό (α, β) και σε μη-συνεκτικό έδαφος (γ, δ).....	278

- Σχήμα 7-85. Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων (παραμορφωμένο) που χρησιμοποιήθηκε από το Bray (2001) για την ανάλυση της διάδοσης της διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενο στρώμα εδάφους..... 279
- Σχήμα 7-86. Χρήση νομογραφημάτων για τον προσδιορισμό α) του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , β) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , και γ) του εύρους, B, και της θέσης, C, της επικίνδυνης ζώνης για $\beta_{cr}=2\%$ για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος 280
- Σχήμα 7-87. Χρήση νομογραφημάτων για τον προσδιορισμό α) του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , β) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , και γ) του εύρους, B, και της θέσης, C, της επικίνδυνης ζώνης για $\beta_{cr}=2\%$ για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος..... 281

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1. Τιμές των μηχανικών εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος Αγίας Τριάδας, στην Πάτρα (Αθανασόπουλος, 1994).....	27
---	----

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

α	: κλίση ρήγματος (γωνία μεταξύ του επιπέδου του ρήγματος και του οριζόντιου επιπέδου)
β	: γωνιακή παραμόρφωση (angular distortion)
β_{cr}	: κρίσιμη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης
β_{max}	: μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης
γ	: ολικό ειδικό βάρος εδαφικού υλικού
γ_{xy}	: διατμητική παραμόρφωση
$\gamma_{xy,max}$: μέγιστη τιμή της διατμητικής παραμόρφωσης
δ_{AB}	: διαφορική καθίζηση μεταξύ των σημείων A και B
ϵ_f	: ορθή παραμόρφωση αστοχίας (από δοκιμή τριαξονικής φόρτισης)
ϵ_{xx}	: οριζόντια ορθή παραμόρφωση
$\epsilon_{xx,cr}$: κρίσιμη τιμή οριζόντιας ορθής παραμόρφωσης
$\epsilon_{xx,max}$: μέγιστη τιμή οριζόντιας ορθής παραμόρφωσης
ϵ_{yy}	: κατακόρυφη ορθή παραμόρφωση
$\epsilon_{yy,max}$: μέγιστη τιμή κατακόρυφης ορθής παραμόρφωσης
κ	: συντελεστής αναλογίας $=c/p'$
ν	: λόγος Poisson
σ_1	: μέγιστη κύρια τάση
σ_3	: ελάχιστη κύρια τάση
σ_h	: ορθή οριζόντια τάση
σ_v	: ορθή κατακόρυφη τάση
ϕ	: γωνία εσωτερικής τριβής εδαφικού υλικού
ϕ_δ	: γωνία διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης
ψ	: γωνία διασταλτικότητας μη-συνεκτικού υλικού
$\Delta\sigma$: εκτροπική τάση
Δx	: οριζόντια μετακίνηση κόμβου
Δy	: κατακόρυφη μετακίνηση κόμβου

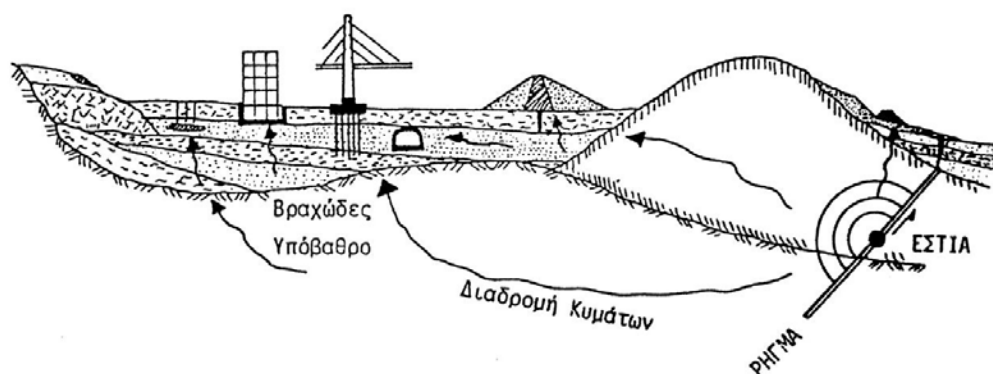
E	: μέτρο ελαστικότητας εδαφικού υλικού
E_{incr}	: ρυθμός αύξησης του μέτρου ελαστικότητας με το βάθος
E_H	: μέτρο ελαστικότητας στη βάση του εδαφικού στρώματος
E_o	: μέτρο ελαστικότητας στην επιφάνεια του εδαφικού στρώματος
K_o	: συντελεστής πλευρικών τάσεων σε ηρεμία
O	: σημείο της κατακόρυφης προβολής της κορυφής του ρήγματος υποβάθρου στην επιφάνεια του εδάφους
A	: κλίση ρήγματος κατά Cole and Lade (1984)
a_o	: συντελεστής επιφανειακής συνοχής
B	: πλάτος πλάκας θεμελίωσης
c	: συνοχή εδαφικού υλικού
c_{incr}	: ρυθμός αύξησης της συνοχής με το βάθος
c_H	: συνοχή στη βάση του εδαφικού στρώματος
c_o	: συνοχή στην επιφάνεια του εδαφικού στρώματος
d	: απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος
d_b	: πάχος πλάκας θεμελίωσης
h_f	: ύψος ανάπτυξης επιφανειακής διάρρηξης
l	: απόσταση του ίχνους του ρήγματος στην επιφάνεια του εδάφους από το σημείο τομής της ευθύγραμμης επέκτασης του ρήγματος του υποβάθρου με την επιφάνεια του εδάφους (κατά Loukidis and Bouckovalas, 2001)
l_{AB}	: οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων A και B
l_e	: μέγεθος πεπερασμένου στοιχείου
n_c	: σταθερά για τον ορισμό της πυκνότητας δικτύου πεπερασμένων στοιχείων
p'	: μέση τιμή τάσης σε βάθος $z = (\sigma_v + \sigma_h) / 2$
q	: κατανεμημένο φορτίο
x_{max}	: μέγιστη τιμή οριζοντίων συντεταγμένων του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων
x_{min}	: ελάχιστη τιμή οριζοντίων συντεταγμένων του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων
y_{max}	: μέγιστη τιμή κατακορύφων συντεταγμένων του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων
y_{min}	: ελάχιστη τιμή κατακορύφων συντεταγμένων του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων
u_x	: οριζόντια μετακίνηση
u_y	: κατακόρυφη μετακίνηση
B	: εύρος επικίνδυνης ζώνης στην επιφάνεια του εδάφους
$B_{\beta cr}$: εύρος επικίνδυνης ζώνης για την επιλεγείσα τιμή της κρίσιμης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{cr}
$B_{\epsilon_{xx}, cr}$: εύρος επικίνδυνης ζώνης για την επιλεγείσα τιμή της κρίσιμης ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, $\epsilon_{xx, cr}$

$B_{2\%}$: εύρος επικίνδυνης ζώνης οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=2\%$
$B_{5\%}$: εύρος επικίνδυνης ζώνης οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=5\%$
$B_{10\%}$: εύρος επικίνδυνης ζώνης οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=10\%$
$B_{20\%}$: εύρος επικίνδυνης ζώνης οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=20\%$
C	: απόσταση του μέσου του εύρους της επικίνδυνης ζώνης από το σημείο αναφοράς O
$C_{\beta_{cr}}$: απόσταση του μέσου του εύρους της επικίνδυνης ζώνης για την επιλεγείσα τιμή της κρίσιμης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{cr}
$C_{2\%}$: απόσταση του μέσου του εύρους της επικίνδυνης ζώνης από το σημείο αναφοράς O οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=2\%$
$C_{5\%}$: απόσταση του μέσου του εύρους της επικίνδυνης ζώνης από το σημείο αναφοράς O οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=5\%$
$C_{10\%}$: απόσταση του μέσου του εύρους της επικίνδυνης ζώνης από το σημείο αναφοράς O οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=10\%$
$C_{20\%}$: απόσταση του μέσου του εύρους της επικίνδυνης ζώνης από το σημείο αναφοράς O οριζόμενο με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=20\%$
H	: πάχος εδαφικού στρώματος υπερκείμενου του βραχώδους υποβάθρου
H'	: $= c / \tan \varphi$
M	: μέγεθος σεισμού
M_s	: μέγεθος σεισμού (με βάση τα επιφανειακά κύματα)
M_w	: μέγεθος σεισμού (με βάση τη σεισμική ροπή)
MD	: μέγιστη μετατόπιση ρήγματος (κατά Pavlides et al., 2000)
PI	: δείκτης πλαστικότητας
S	: μέγεθος σεισμικής ολίσθησης ρήγματος
S_v	: κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής ολίσθησης ρήγματος
SRL	: μήκος επιφανειακής διάρρηξης ρήγματος (κατά Pavlides et al., 2000)
W	: απόσταση του σημείου εμφάνισης της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης από το σημείο αναφοράς O

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες στα πλαίσια των ερευνητικών προσπαθειών στο αντικείμενο της Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής έχει διεξαχθεί σημαντική έρευνα στο θέμα της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην εδαφική σεισμική απόκριση (Finn, 2000). Τα αποτελέσματα των ανωτέρω ερευνών έχουν συμβάλει στην απάντηση πολλών ερωτημάτων σχετικά με το ρόλο που διαδραματίζει η εδαφική στρωματογραφία και τοπογραφία στην ενίσχυση ή αποδυνάμωση του σεισμικού κραδασμού υποβάθρου (βλ. Σχ. 1-1) από την οποία εξαρτάται το μέγεθος των σεισμικών βλαβών των κατασκευών (Kramer, 1996, Shanchez-Sesma, 1997, Bard and Riepl-Thomas, 2000, Faccioli, 2002). Η πρόοδος στη διερεύνηση του ανωτέρω αντικειμένου υπήρξε πράγματι εντυπωσιακή και τα σχετικά αποτελέσματα έχουν ήδη ενσωματωθεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό σε Αντισεισμικούς Κανονισμούς (ΕΑΚ 2000, EC8/Draft No4-2001, UBC/97).

Ενα εξίσου ενδιαφέρον αντικείμενο έρευνας της Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται η διάρρηξη ενός σεισμικού ρήγματος του υποβάθρου προς την επιφάνεια του εδάφους (Bray, 2001). Η σπουδαιότητα του θέματος αυτού είναι μεγάλη και γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτή στην περίπτωση της διερεύνησης των αναμενόμενων βλαβών σε κατασκευές που ευρίσκονται στην περιοχή σεισμικών ρηγμάτων και υφίστανται διαφορικές καθιζήσεις, λόγω της παραμόρφωσης του εδάφους θεμελίωσης κάτω από “στατικές” συνθήκες φόρτισης (Σχ. 1-1 και Σχ. 1-2). Η έρευνα της τεχνικής βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ότι οι διαθέσιμες πληροφορίες στο θέμα αυτό είναι πολύ περιορισμένες και δεν επαρκούν για την απάντηση ερωτημάτων που αφορούν την οριοθέτηση της ζώνης στην οποία οι εδαφικές παραμορφώσεις υπερβαίνουν τις επιτρεπόμενες τιμές και απειλούν την ασφάλεια και ακεραιότητα των κατασκευών. Οι διάφοροι Αντισεισμικοί Κανονισμοί (π.χ. ΕΑΚ 2000) δεν παρέχουν συγκεκριμένες



Σχήμα 1-1. Επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην τροποποίηση του σεισμικού κραδασμού του υποβάθρου

οδηγίες για την αντιμετώπιση του θέματος και απλά προτείνουν αύξηση της σεισμικής δράσης σχεδιασμού και τη διεξαγωγή “ειδικών” ερευνών.

Συγκεκριμένα, στην παρ. 5.1.2 του ΕΑΚ 2000 (“Γειτνίαση Ενεργών Σεισμοτεκτονικών Ρηγμάτων”) αναφέρεται, ότι:

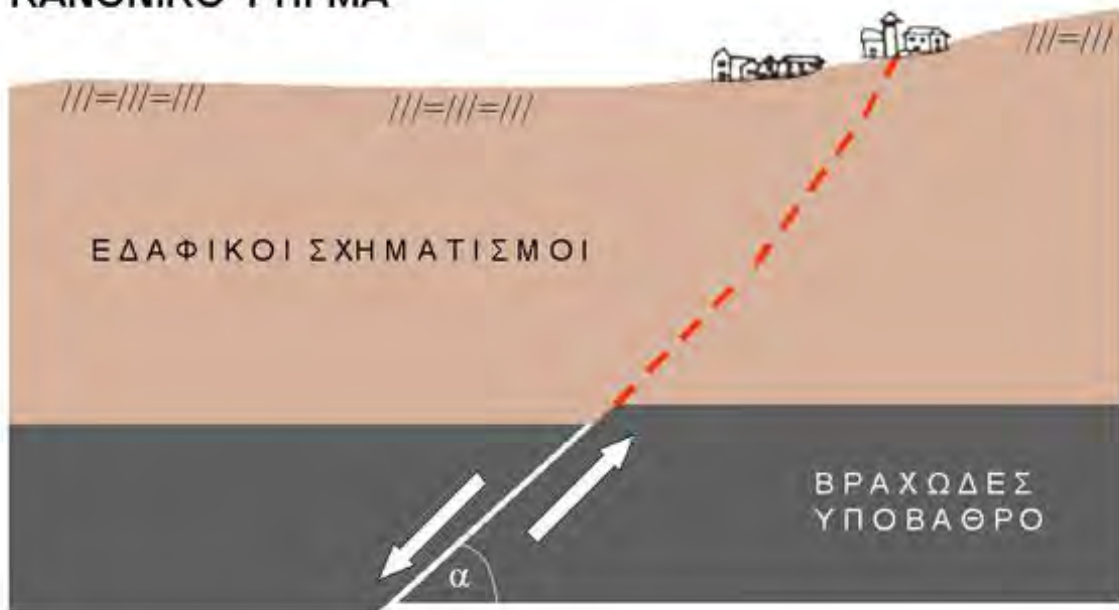
“εν γένει δεν επιτρέπεται η δόμηση κτισμάτων σπουδαιότητας Σ2, Σ3 και Σ4 στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται σεισμικώς ενεργά. Εξαιρούνται, οι περιπτώσεις εκείνες που συντρέχουν ειδικοί λόγοι δόμησης σε περιοχές που γειτνιάζουν με σεισμικώς ενεργά ρήγματα μόνον ύστερα από εκπόνηση ειδικής σεισμικής – γεωλογικής – γεωτεχνικής - στατικής μελέτης στην οποία θα διερευνώνται οι επιπτώσεις της γειτνίασης του ρήγματος και θα λαμβάνονται μέτρα για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους”.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ), στα πλαίσια των Συστάσεων Σύνταξης Μικροζωνικών Μελετών για τον Αντισεισμικό Σχεδιασμό Πόλεων (1998), επισημαίνει την ανάγκη καθορισμού του πλάτους της ζώνης ενεργού ρήγματος μέσα στην οποία πρέπει να αποφεύγεται η δόμηση, με βάση το είδος και το μέγεθος του ρήγματος καθώς και τη σπουδαιότητα των κατασκευών.

Στην περίπτωση της ύπαρξης σχετικών κανονιστικών διατάξεων και οδηγιών (π.χ. στις Η.Π.Α.) είναι χαρακτηριστική η ποικιλία κανόνων καθορισμού του εύρους της επικίνδυνης ζώνης στην οποία δεν επιτρέπεται η κατασκευή τεχνικών έργων. Ετσι, για την περίπτωση κατασκευής πυρηνικών αντιδραστήρων (Lade et al., 1984) αναφέρεται ότι:

“απαιτείται λεπτομερής γεωτεχνική έρευνα της περιοχής και η βεβαιότητα ότι η διάρρηξη ενεργού ρήγματος δε θα προκαλέσει λειτουργικά προβλήματα. Για την περίπτωση των δεξαμενών υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) απαγορεύεται να εδράζονται σε απόσταση μικρότερη των 30m από ενεργό ρήγμα, ενώ στην περίπτωση που το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης ρήγματος εκτιμάται ότι υπερβαίνει το 1.5m, δεν επιτρέπεται η κατασκευή τους σε απόσταση μικρότερη των 1600m”.

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ



ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ



Σχήμα 1-2. Κατά τη διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων υποβάθρου στους υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς προκαλούνται παραμορφώσεις ή και ρηγμάτωση της επιφάνειας του εδάφους με αποτέλεσμα την πρόκληση βλαβών σε οικοδομικά ή άλλα τεχνικά έργα

Επίσης, η ειδική κανονιστική διάταξη των Alquist-Priolo (A-P) στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ (Lade et al., 1984) επισημαίνει ότι:

“δεν επιτρέπεται η δόμηση οικοδομικών έργων κατά μήκος του ίχνους ενός ενεργού ρήγματος και μέχρι απόσταση 15m από αυτό. Η κρίσιμη αυτή απόσταση γίνεται μεγαλύτερη για νοσοκομεία, σχολεία και κτίρια μεγάλου ύψους”.

Η Γαλλική κανονιστική διάταξη PS.86, η οποία θεωρείται γενικά ως αυστηρή, ορίζει ότι:

“Δεν επιτρέπεται η κατασκευή οικοδομικών έργων σε ζώνη πλάτους 50m εκατέρωθεν του ίχνους του ρήγματος. Ειδικά για κτίρια μεγάλης σπουδαιότητας το πλάτος της ζώνης αυξάνεται σε 100m”.

Με βάση τα όσα εκτέθηκαν ανωτέρω γίνεται αντιληπτή η ανάγκη της βελτίωσης της κατανόησης του φαινομένου της διάδοσης της διάρρηξης των σεισμικών ρηγμάτων διαμέσου εδαφικών σχηματισμών. Γίνεται επίσης αντιληπτή και η ανάγκη ανάπτυξης οδηγιών ή κανονιστικών διατάξεων που να οριοθετούν κρίσιμες ζώνες απαγόρευσης δόμησης σε περιοχές στις οποίες οι εδαφικοί σχηματισμοί υπέρκεινται ενεργών σεισμικών ρηγμάτων. Η έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή θα μπορούσε να βοηθήσει σημαντικά τους Πολιτικούς Μηχανικούς και Αρχιτέκτονες κατά τη χωροθέτηση και το σχεδιασμό οικοδομικών και άλλων τεχνικών έργων.

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της διάδοσης της διάρρηξης ρηγμάτων κλίσης (κανονικά ή ανάστροφα) διαμέσου εδαφικών σχηματισμών υπερκείμενων του βραχώδους υποβάθρου. Η διερεύνηση πραγματοποιείται με εξιδανίκευση και αριθμητική προσομοίωση του φαινομένου (μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων) και αποσκοπεί στην αναγνώριση εκείνων των παραμέτρων του εδάφους (είδος εδάφους και χαρακτηριστικά παραμορφωσιμότητας και αντοχής, πάχος εδαφικού στρώματος) και του ρήγματος (είδος ρήγματος, μέγεθος και κλίση της διάρρηξης του υποβάθρου) που παρουσιάζουν αξιόλογη επιρροή στο φαινόμενο. Αντικείμενο της έρευνας αποτελεί επίσης η ανάπτυξη διαγραμμάτων (νομογραφημάτων) για τον προσδιορισμό της θέσης και του εύρους της ζώνης στην οποία ενδέχεται να απειλείται η ασφάλεια και ακεραιότητα των κατασκευών λόγω επικίνδυνης παραμόρφωσης του εδάφους έδρασης της θεμελίωσης.

Για τη διερεύνηση των επιπτώσεων της “στατικής” εδαφικής παραμόρφωσης στην ακεραιότητα των οικοδομικών κυρίως έργων χρησιμοποιείται ως δείκτης η γωνιακή παραμόρφωση των στοιχείων της θεμελίωσης της κατασκευής, β. Το μέγεθος της γωνιακής παραμόρφωσης, β, εξακολουθεί να θεωρείται στη Μηχανική των Θεμελιώσεων ως το κύριο κριτήριο για την εκτίμηση των αναμενόμενων βλαβών (Wahls, 1994) αν και πρόσφατες δημοσιεύσεις προτείνουν την εισαγωγή πρόσθετων

κριτηρίων (π.χ. και την ορθή οριζόντια παραμόρφωση, ϵ_{xx} , της θεμελίωσης της κατασκευής, (Boone, 1996)).

Το περιεχόμενο της παρούσας Εκθεσης διαρθρώνεται σε 8 συνολικά κεφάλαια. Μετά την Εισαγωγή ακολουθεί το ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, στο οποίο παρουσιάζεται η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη διάδοση διάρρηξης ρηγμάτων υποβάθρου διαμέσου υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών. Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται γενικά στοιχεία για τα είδη των ρηγμάτων, των κυρίων χαρακτηριστικών τους και τη συσχέτιση των διαστάσεων τους με το μέγεθος του σεισμού που συνδέεται με τη διάρρηξή τους. Παρέχονται επίσης στοιχεία για τις τρεις κατευθύνσεις που ακολουθεί η σχετική έρευνα, δηλαδή τη μελέτη περιπτώσεων πεδίου, τη διεξαγωγή πειραμάτων σε φυσικά ομοιώματα και την ανάλυση και μελέτη του φαινομένου με υπολογιστικές μεθόδους.

Ακολουθούν δύο κεφάλαια στα οποία παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος υποβάθρου και ο έλεγχος της αξιοπιστίας αυτής της μεθοδολογίας. Συγκεκριμένα, στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, παρουσιάζεται ο τρόπος εξιδανίκευσης του φαινομένου και ανάλυσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στη συνέχεια ορίζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ρήγματος και του υπερκείμενου εδάφους καθώς και οι παράμετροι που επιλέγησαν για την οριοθέτηση της επικίνδυνης ζώνης της επιφάνειας του εδάφους. Τέλος, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των παραμετρικών αναλύσεων. Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διεξήχθησαν για τη διερεύνηση της επιρροής ορισμένων παραμέτρων της υπολογιστικής μεθοδολογίας, όπως του μεγέθους του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων, των διαστάσεων των πεπερασμένων στοιχείων και της πυκνότητας των δικτύων. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα διερευνήσεων για την επιρροή ορισμένων παραμέτρων για τις οποίες αποδείχθηκε ότι η επιρροή μπορούσε να θεωρηθεί αμελητέα. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και ορισμένα προκαταρκτικά αποτελέσματα για τη συσχέτιση των παραμορφώσεων του εδάφους υπό συνθήκες “ελευθέρου πεδίου” με τις παραμορφώσεις που μεταφέρονται στο σύστημα θεμελίωσης της κατασκευής που εδράζεται στο συγκεκριμένο έδαφος.

Τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων παρουσιάζονται στα επόμενα δύο κεφάλαια. Το ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα που αφορούν τα συνεκτικά εδάφη. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για κανονικά και ανάστροφα ρήγματα υποβάθρου που αφορούν την επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, της αντίστοιχης γωνίας κλίσης και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας του εδάφους στις αναπτυσσόμενες τιμές της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης και στο

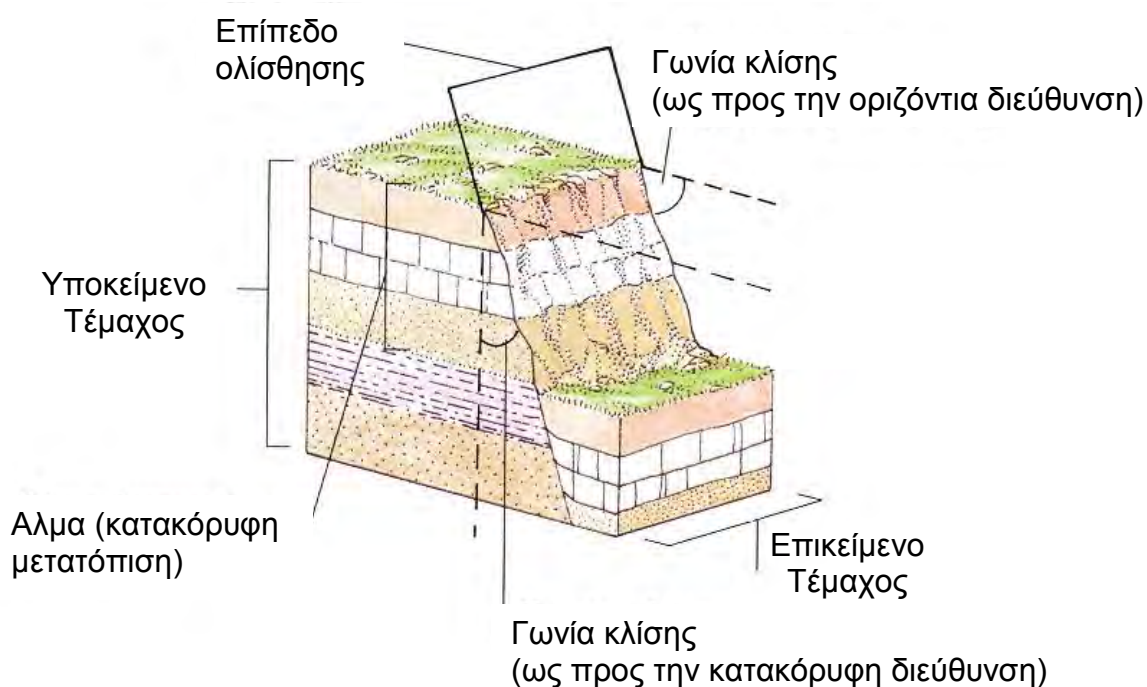
εύρος και θέση της επικίνδυνης ζώνης. Παρουσιάζονται επίσης αποτελέσματα που αφορούν το ύψος ανάπτυξης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα και τη γωνία διάδοσης της διάρρηξης προς την επιφάνεια του εδάφους. Αντίστοιχα αποτελέσματα για την περίπτωση μη-συνεκτικού εδάφους παρουσιάζονται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει επιπλέον και τα αποτελέσματα των αναλύσεων που αφορούν την επιρροή της γωνίας διασταλτικότητας του εδαφικού υλικού.

Ο γενικός σχολιασμός όλων των αποτελεσμάτων των αναλύσεων γίνεται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται έμφαση στη σύγκριση της συμπεριφοράς κανονικών και ανάστροφων ρηγμάτων για τις περιπτώσεις συνεκτικού και μη-συνεκτικού εδάφους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται νομογραφήματα τα οποία βασίζονται στα αποτελέσματα των αναλύσεων και συγκρίσεων και τα οποία επιτρέπουν τον προσδιορισμό του ύψους ανάπτυξης και της γωνίας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης καθώς και των αναμενόμενων τιμών της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης και του εύρους και θέσης της επικίνδυνης ζώνης, για δεδομένα χαρακτηριστικά του ρήγματος και του εδάφους. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται συγκρίσεις των περιορισμένων αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας (παρατηρήσεις πεδίου, πειραματικά αποτελέσματα, αναλυτικά αποτελέσματα) με τις τιμές που προκύπτουν από τα προτεινόμενα νομογραφήματα της παρούσας Εκθεσης. Τέλος, στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διεξαγωγή του ερευνητικού προγράμματος.

Σ' έναν αριθμό παραρτημάτων, στο τέλος της Τεχνικής Εκθεσης, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και με γραφική μορφή τα πρωτογενή αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που διεξήχθησαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος. Συγκεκριμένα το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α περιλαμβάνει τα διαγράμματα της διάδοσης της διάρρηξης από τη βάση προς την κορυφή του εδαφικού στρώματος και την επικίνδυνη επιφανειακή ζώνη. Το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β περιλαμβάνει τις κατανομές των εδαφικών παραμορφώσεων για όλες τις αναλυθείσες περιπτώσεις, ενώ το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ συγκεντρώνει τα αποτελέσματα όλων των συγκρίσεων που παρουσιάζονται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της φύσης και των χαρακτηριστικών της σεισμικής κίνησης διαδραματίζει η μελέτη των σεισμικών ρηγμάτων (Κουκουβέλας, 1998). Ο σεισμός είναι ένα γεωτεκτονικό φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται κατά κύριο λόγο στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών (Δούτσος, 2000). Αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης των τελευταίων –η οποία μπορεί να έχει τη μορφή της απομάκρυνσης, της σύγκλισης ή της εφαπτομενικής κίνησης- είναι η βραδεία παραμόρφωση των πετρωμάτων, η ανάπτυξη μεγάλων τάσεων που υπερβαίνουν τη διατμητική αντοχή των πετρωμάτων, η θραύση του πετρώματος και η δημιουργία **σεισμικού ρήγματος**, δηλαδή ενός επιπέδου ή ζώνης θραύσης η οποία χωρίζει το πέτρωμα σε δύο τεμάχια: το επικείμενο τέμαχος (hanging wall) και το υποκείμενο τεμάχος (footwall) τα οποία ευρίσκονται επάνω και κάτω από το επίπεδο του ρήγματος, αντίστοιχα, και τα οποία μετακινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο (Σχήμα 2-1).

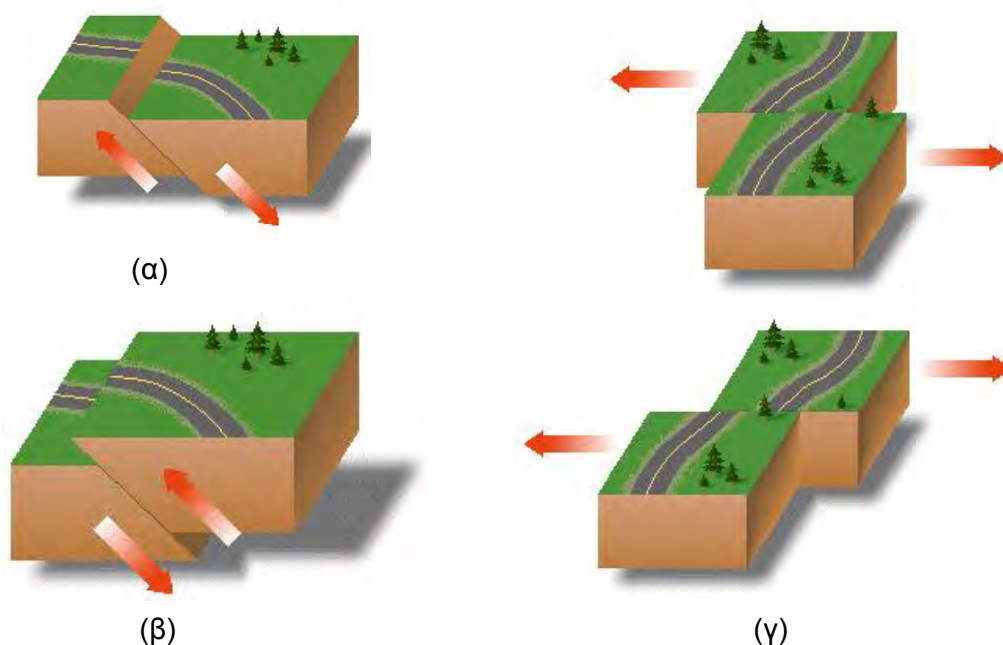


Σχήμα 2-1 Δομή και χαρακτηριστικά σεισμικού ρήγματος

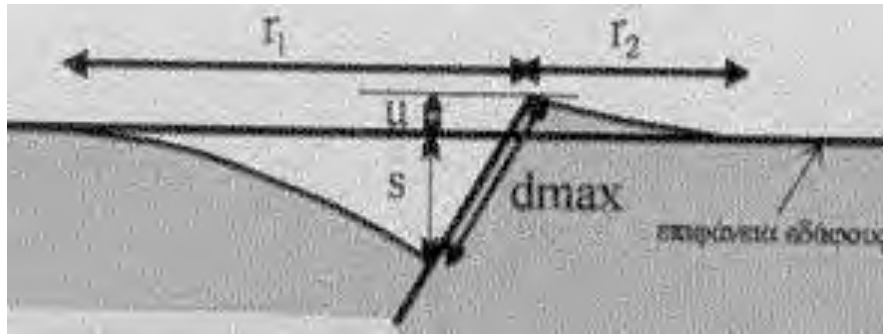
Ανάλογα με τη διεύθυνση της σχετικής ολίσθησης των δύο πλευρών του ρήγματος διακρίνουμε **κανονικά ρήγματα κλίσης**, **ανάστροφα ρήγματα κλίσης** και **ρήγματα διεύθυνσης (ή μετασχηματισμού)** (Σχήμα 2-2) (Yeats et al., 1997).

Τα **κανονικά ρήγματα** χαρακτηρίζονται από σχετική μετακίνηση των εκατέρωθεν τεμαχίων κατά διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση του ρήγματος έτσι ώστε το υποκείμενο τέμαχος να ανυψώνεται και το επικείμενο να βυθίζεται ενώ η κίνηση των **ανάστροφων ρηγμάτων** έχει σαν αποτέλεσμα την ανύψωση του επικείμενου τεμάχους και την βύθιση του υποκειμένου. Τα **ρήγματα διεύθυνσης** είναι αυτά που πραγματοποιούν (κύρια) κίνηση παράλληλη με τη διεύθυνση του ρήγματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται συνδυασμός των κινήσεων που οφείλονται σε ρήγμα διεύθυνσης και σε κανονικό και ανάστροφο ρήγμα. Τέτοιο πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η διάρρηξη του ρήγματος διεύθυνσης της Ανατολίας στην Τουρκία, κατά το σεισμό του 1999 (Tutkum et al., 2001).

Οι Doutsos and Koukouvelas (1998) από μετρήσεις μετακινήσεων σε έναν αριθμό 90 κανονικών ρηγμάτων της περιοχής του βορειοδυτικού Αιγαίου, διαπίστωσαν ότι ο λόγος ανύψωσης του υποκειμένου τεμάχους προς τη βύθιση του επικείμενου προκύπτει περίπου ίσος με 1:2 (Σχ. 2-3). Με βάση πρόσφατα δημοσιευμένα στοιχεία (Παπαζάχος κ.α., 2001) οι 567 γνωστοί ισχυροί ($M \geq 6.0$) κύριοι επιφανειακοί σεισμοί (βάθος $< 40\text{km}$) που έγιναν στον Ελληνικό χώρο από το 480 π.Χ. μέχρι σήμερα γεννήθηκαν σε 159 ρήγματα. Από τα ρήγματα αυτά το 66% (105 ρήγματα) είναι κανονικά, το 14% (23 ρήγματα) είναι ανάστροφα και το 20% (31 ρήγματα) είναι ρήγματα διεύθυνσης.



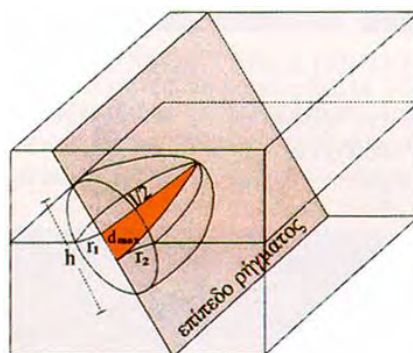
Σχήμα 2-2. Είδη σεισμικών ρηγμάτων: (α) κανονικά (β) ανάστροφα και (γ) διεύθυνσης



Σχήμα 2-3. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός κανονικού ρήγματος και η κατά κλίση μεταβολή της μετατόπισης ενός ρήγματος (Doutsos and Koukouvelas, 1998)

Για την περιγραφή του μεγέθους ενός επιπέδου ρήγματος χρησιμοποιούνται συνήθως οι τιμές των δύο διαστάσεων του, δηλαδή το μήκος του (μήκος του επιφανειακού ίχνους) και το πλάτος του (Koukouvelas et al., 1999). Αποτελεί πλέον επιβεβαιωμένο γεγονός ότι η μέγιστη συσσωρευμένη (παρούσα) μετατόπιση μεταξύ των τεμαχών ενός ρήγματος αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος του ρήγματος (Walsh and Watterson, 1998; Cowie and Scholz, 1992).

Είναι, επίσης, γνωστό ότι η συνολική παρούσα μετακίνηση ενός ρήγματος αποτελεί το άθροισμα των συνεχών ψευδοστατικών μετακινήσεων που αναπτύσσονται με βραδύ ρυθμό σε όλη τη διάρκεια της ύπαρξης του ρήγματος και των δυναμικών (σεισμικών) μετακινήσεων που αναπτύσσονται με ταχύτατο ρυθμό κατά την εκδήλωση σεισμικών γεγονότων (Scholz, 1990, DePolo and Anderson, 2000). Οι Nicol et al. (1997) με βάση τη μελέτη ενός σημαντικού αριθμού ρηγματίων έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο μέσος ρυθμός της συνολικής μετακίνησης, για χρονικό διάστημα της τάξεως των δεκάδων εκατομμυρίων ετών, κυμαίνεται από 0.004 έως 1.0mm/έτος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μετακίνηση ενός ρήγματος δεν έχει σταθερή τιμή σε όλη την έκτασή του αλλά παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της στο μέσο ενώ μηδενίζεται στα άκρα του (Κουκουβέλας, 1998), Σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-4. Τρισδιάστατη απεικόνιση ενός ρήγματος στην οποία φαίνεται μισό από το ελλειψοειδές παραμόρφωσης του ρήγματος (Κουκουβέλας, 1998)

Αρχικά η έρευνα που αφορούσε τα ρήγματα είχε γεωλογική κατεύθυνση. Με βάση γνωστά πεδία τάσεων ή παραμορφώσεων οι ερευνητές επεδίωξαν κατά τα τελευταία 50 χρόνια να προβλέψουν τα χαρακτηριστικά ενός ρήγματος (και αντίστροφα). Στα πλαίσια των ερευνητικών αυτών προσπαθειών ο Okada (1985) παρουσίασε συγκεντρωτικά έναν αριθμό δημοσιευμένων λύσεων για την περίπτωση του ελαστικού ημιχώρου. Οι λύσεις αυτές επιτρέπουν τον υπολογισμό των μετακινήσεων της επιφάνειας του εδάφους που οφείλονται σε δεδομένη σεισμική ολίσθηση ρήγματος συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Παρουσίασε επίσης μια νέα λύση για την περίπτωση εφελκυστικής παραμόρφωσης (απομάκρυνση των δύο πλευρών του ρήγματος). Λογισμικό για την πραγματοποίηση των σχετικών υπολογισμών στην περίπτωση του ελαστικού ημιχώρου παρουσιάστηκε από τους Feigl and Dupré (1999) ενώ πρόσφατα οι Wang et al. (2003) παρουσίασαν εξελιγμένο λογισμικό που επιτρέπει τον υπολογισμό του πεδίου των παραμορφώσεων τόσο στην επιφάνεια όσο και στο εσωτερικό του στρωματωμένου ελαστικού ημιχώρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό των Feigl and Dupré (1999) χρησιμοποιήθηκε από τον Δράκο (2001) για την αντιστροφή των επιφανειακών γεωδαιτικών μετρήσεων στην επικεντρική περιοχή του σεισμού του Αλμυρού (1980) με σκοπό την προσομοίωση του σεισμικού ρήγματος.

Κατά την τελευταία τριακονταετία, το αντικείμενο της έρευνας επικεντρώνεται πλέον στη μελέτη της διάδοσης της διάρρηξης των σεισμικών ρηγμάτων υποβάθρου σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς, οι οποίοι παρουσιάζουν μη-γραμμική συμπεριφορά τάσεων-παραμορφώσεων και στις επιπτώσεις σε έργα Πολιτικού Μηχανικού. Η έρευνα (με δεδομένη τη θέση του ρήγματος στο υπόβαθρο) αποσκοπεί στην πρόβλεψη: α) του σημείου της επιφάνειας του εδάφους στο οποίο εμφανίζεται η διάρρηξη β) του ύψους ανάπτυξης της αστοχίας στο υπερκείμενο εδαφικό στρώμα γ) της έκτασης της επηρεαζόμενης επιφανειακής ζώνης και στην καθιέρωση ορθολογιστικών κριτηρίων – κανονισμών για την απόσταση ασφαλείας έδρασης των τεχνικών έργων σε περιοχές άμεσης γειτνίασης με σεισμικώς ενεργά ρήγματα (Bray, 2001). Από την εμπειρία αρκετών σεισμών του παρελθόντος είναι γνωστό ότι η διάδοση των σεισμικών ρηγμάτων μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες σε κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού (κτίρια, γέφυρες, φράγματα, κανάλια, ζωτικά δίκτυα, όπως γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αγωγοί νερού ή φυσικού αερίου), εδραζόμενες σε μικρή απόσταση ή και επάνω στις ζώνες σεισμικής διάρρηξης (Bonilla, 1970, Vallejo and Shettima, 1991, Desmond et al., 1995, Liang, 1995, Wang and Wang, 1995, Gheng and Nuguid, 1996, Lau et al., 1996, Olden, 1996). Στις φωτογραφίες του Σχ. 2-5 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις βλαβών σε κατασκευές εδραζόμενες στην περιοχή της επιφανειακής διάρρηξης κανονικών ρηγμάτων και ρηγμάτων διεύθυνσης κατά τους σεισμούς της Τουρκίας (1999) και Taiwan (1999).



(α)



(β)



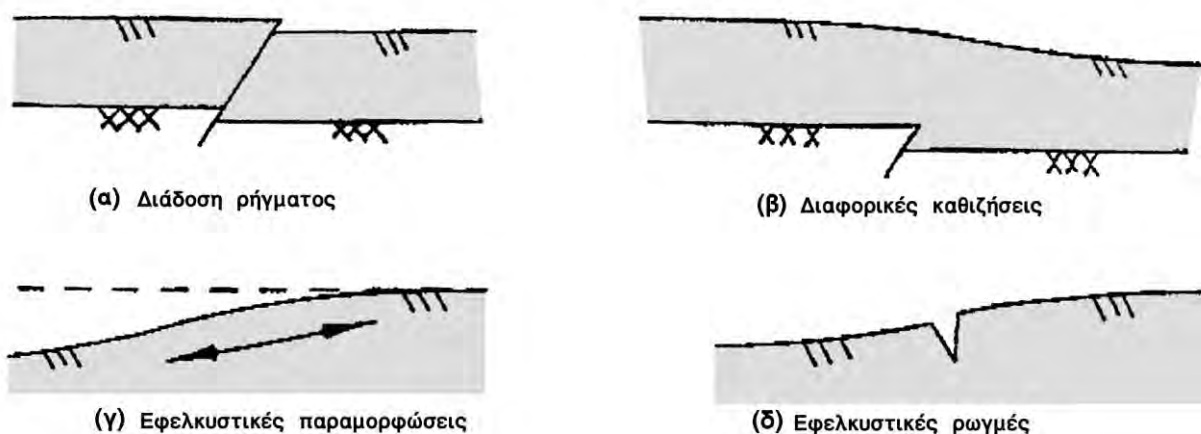
(γ)



(δ)

Σχήμα 2-5. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις βλαβών σε κατασκευές εδραζόμενες στην περιοχή της επιφανειακής διάρρηξης κανονικών ρηγμάτων και ρηγμάτων διεύθυνσης κατά τους σεισμούς της Τουρκίας (1999) [(α), (β) και (γ)] και Taiwan (1999) (δ) (<http://nisee.berkeley.edu>)

Ο Bray (2001) διακρίνει γενικά τέσσερις μηχανισμούς με τους οποίους η διάδοση της διάρρηξης υποβάθρου σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις κατασκευές που βρίσκονται στην περιοχή του ρήγματος, Σχ. 2-6: (α) πλήρης διάδοση της διάρρηξης και εμφάνισή της στην επιφάνεια του εδάφους, (β) μερική μόνο διάδοση της διάρρηξης (μη-εμφάνιση στην επιφάνεια του εδάφους) και εμφάνιση επιφανειακών διαφορικών καθιζήσεων και γωνιακών παραμορφώσεων, (γ) ανάπτυξη οριζόντιων ορθών παραμορφώσεων (εφελκυστικών ή θλιπτικών) στην επιφάνεια του εδάφους και (δ) εμφάνιση επιφανειακών ρωγμών εφελκυσμού. Πρέπει να σημειωθεί ότι από τους τέσσερις ανωτέρω μηχανισμούς ο πλέον επικίνδυνος είναι ο μηχανισμός-α εφόσον συμβεί το σημείο εκδήλωσης της επιφανειακής διάρρηξης να ευρίσκεται στο εσωτερικό της κάτοψης της θεμελίωσης της κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή -εφόσον είναι δυνατόν- θα πρέπει να αποφεύγεται να διασχίζεται η κάτοψη της κατασκευής από το ίχνος της ρηγμάτωσης. Από την άλλη πλευρά ο μηχανισμός-δ συνδέεται και αποτελεί αναμενόμενη συνέπεια της εκδήλωσης των υπολοίπων τριών μηχανισμών. Συμπεραίνεται επομένως ότι ο σχεδιασμός των κατασκευών σε περιοχές σεισμικών ρηγμάτων θα πρέπει να βασίζεται κυρίως στην εξέταση των μηχανισμών-β και -γ, δηλαδή στο αναμενόμενο μέγεθος τιμών των επιφανειακών γωνιακών παραμορφώσεων, β και των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} . Η κατανόηση των αποτελεσμάτων της ανάπτυξης των ανωτέρω δύο μηχανισμών είναι φανερό ότι βοηθά στην εφαρμογή μέτρων για την αντιμετώπιση του κινδύνου βλαβών των επηρεαζόμενων κατασκευών, όπως για παράδειγμα τον προσδιορισμό επικίνδυνων ζωνών απαγόρευσης δόμησης ή την τροποποίηση του τρόπου θεμελίωσης της κατασκευής.



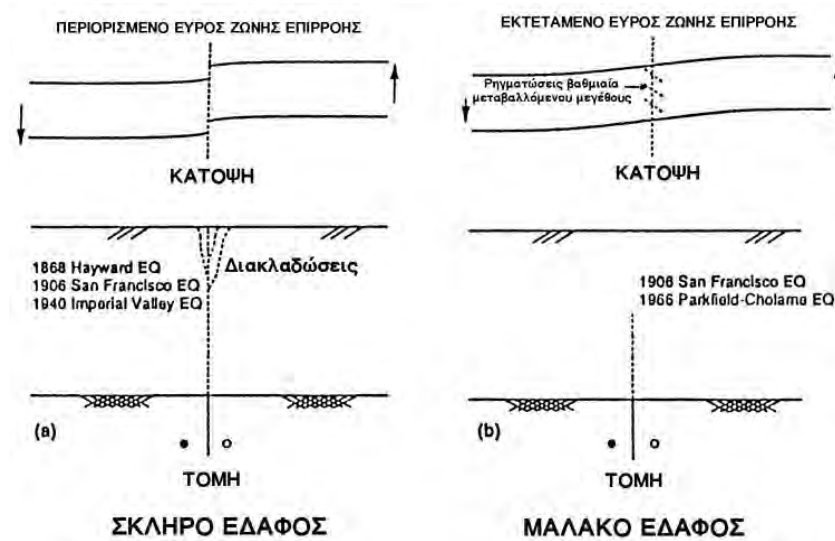
Σχήμα 2-6. Μηχανισμοί πρόκλησης βλαβών σε κατασκευές κατά τη διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς (Bray, 2001)

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η περιοχή του ρήγματος επικαλύπτεται με εδαφικούς σχηματισμούς, η διάδοση της διάρρηξης επηρεάζεται με πολύπλοκο τρόπο από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες (Bray, 1990, Bray et al., 1994a, 1994b, Lazarte and Bray, 1995, Ghaly, 1996, Tani et al., 1996). Το φαινόμενο εξαρτάται από σημαντικό αριθμό παραμέτρων όπως: α) το είδος του ρήγματος (κανονικό, ανάστροφο, διεύθυνσης) β) την κλίση του ρήγματος υποβάθρου γ) το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης δ) το πάχος των υπερκείμενων εδαφών και ε) το είδος των εδαφικών υλικών (μη-συνεκτικά εδάφη, συνεκτικά εδάφη) (Bray, 2001). Θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι η ανωτέρω εξεταζόμενη επικινδυνότητα βλαβών των κατασκευών οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στις “στατικές” παραμορφώσεις του εδάφους θεμελίωσης λόγω της διάδοσης της διάρρηξης. Επειδή το σεισμικό γεγονός που συνδέεται με τη διάρρηξη του ρήγματος προκαλεί, προφανώς, ισχυρό εδαφικό κραδασμό, ιδιαίτερα σε μικρές αποστάσεις από το ρήγμα, θα πρέπει να λαμβάνεται ανεξάρτητα υπόψη και η επικινδυνότητα ανάπτυξης βλαβών λόγω δυναμικής φόρτισης της κατασκευής.

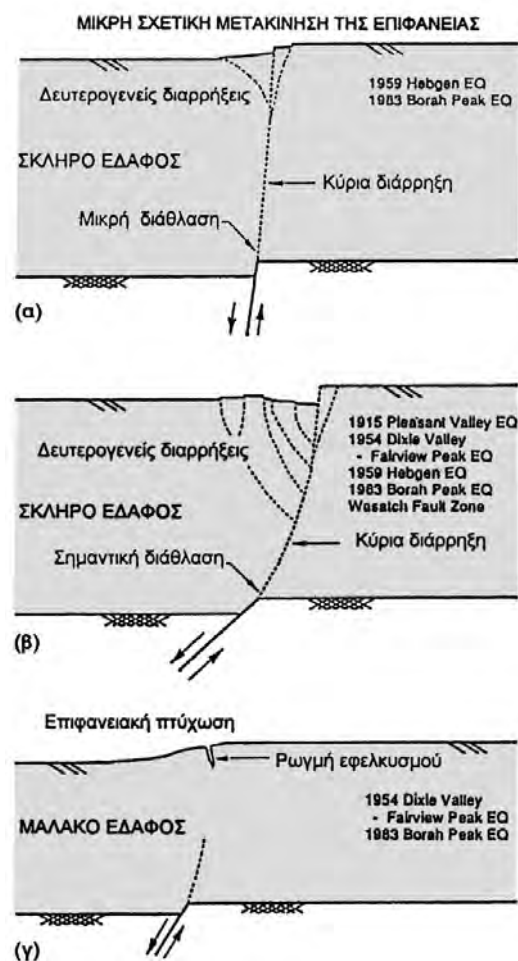
Οι μέχρι τώρα ερευνητικές προσπάθειες για τη διερεύνηση της επιρροής των ανωτέρω παραμέτρων βασίζονται στη διεξαγωγή α) επι-τόπου παρατηρήσεων και μετρήσεων σεισμικών διαρρήξεων (Bonilla, 1970, Bray, 2001) β) δοκιμών σε φυσικά ομοιώματα μικρής κλίμακας (1g ή σε φυγοκεντρική) (Roth et al., 1981, Cole and Lade, 1984, Tani et al., 1996) και γ) αναλυτικών και αριθμητικών επιλύσεων (Lade et al., 1984, Bray et al., 1994a).

2.1. Μελέτη περιπτώσεων πεδίου

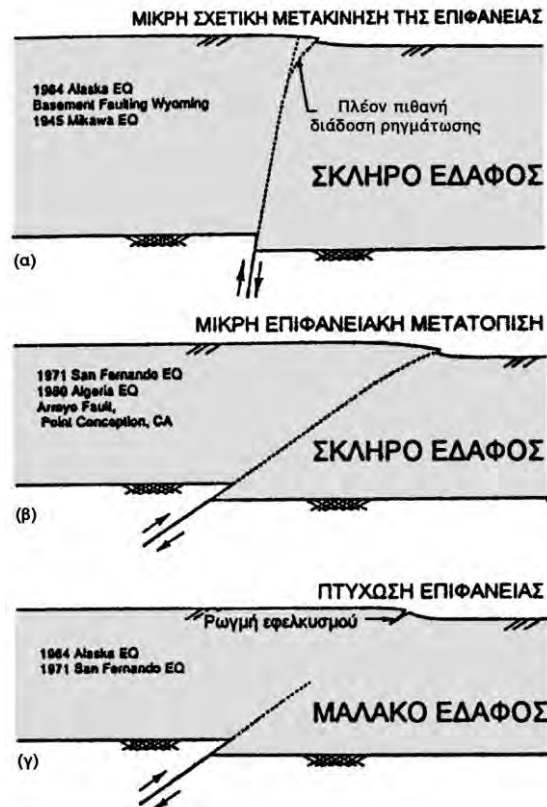
Η μελέτη των περιπτώσεων πεδίου συνήθως παρέχει την πιο αξιόπιστη μορφή πληροφόρησης όσον αφορά τον τρόπο εκδήλωσης της διάδοσης της διάρρηξης ενός ρήγματος σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς. Αν και το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο, με τη διεξαγωγή επι-τόπου παρατηρήσεων και τη συστηματική μελέτη σεισμικών διαρρήξεων κατασκευάσθηκαν διαγράμματα (Σχ. 2-7 έως Σχ. 2-9) (Bray et al., 1994b) στα οποία παρουσιάζονται τυπικά χαρακτηριστικά εδαφικών παραμορφώσεων που αναπτύσσονται κατά τη διάδοση της διάρρηξης ρήγματος από το βραχώδες υπόβαθρο προς την επιφάνεια του εδάφους, λαμβάνοντας υπόψη τρεις σημαντικές παραμέτρους: το είδος του ρήγματος (διεύθυνσης, κανονικό, ανάστροφο), την κλίση του ρήγματος και το είδος των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών (μαλακό ή σκληρό υλικό). Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι η κλίση των ανάστροφων ρηγμάτων βαθμιαία μειώνεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ενώ για τα κανονικά ρήγματα παρατηρείται μικρή διάθλαση στη διεπιφάνεια υποβάθρου-υπερκείμενου εδαφικού υλικού και αύξηση της κλίσης όσο πλησιάζει η διάρρηξη στην επιφάνεια, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία τεκτονικής τάφρου (gravity graben). Αντίθετα, η διάδοση της διάρρηξης των ρηγμάτων διεύθυνσης είναι σχεδόν



Σχήμα 2-7. Διάδοση διάρρηξης ρήγματος διεύθυνσης σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς (Bray et al., 1994b)



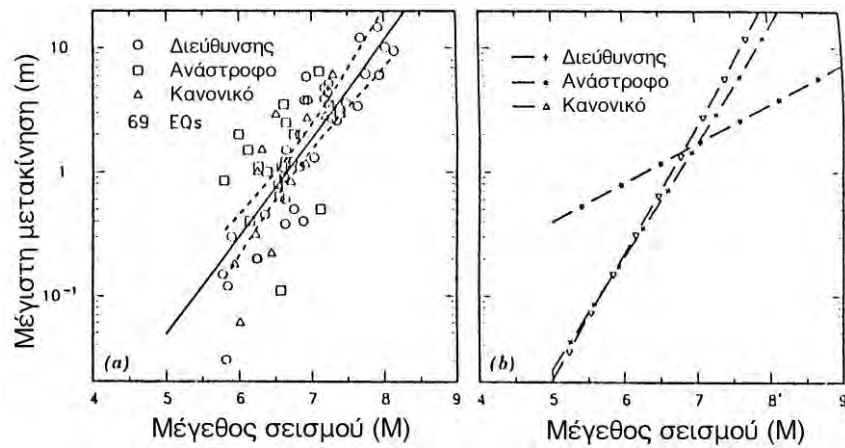
Σχήμα 2-8. Διάδοση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς: (α) σκληρό έδαφος, απότομη κλίση (γ) σκληρό έδαφος, ήπια κλίση (β) μαλακό έδαφος (Bray et al., 1994b)



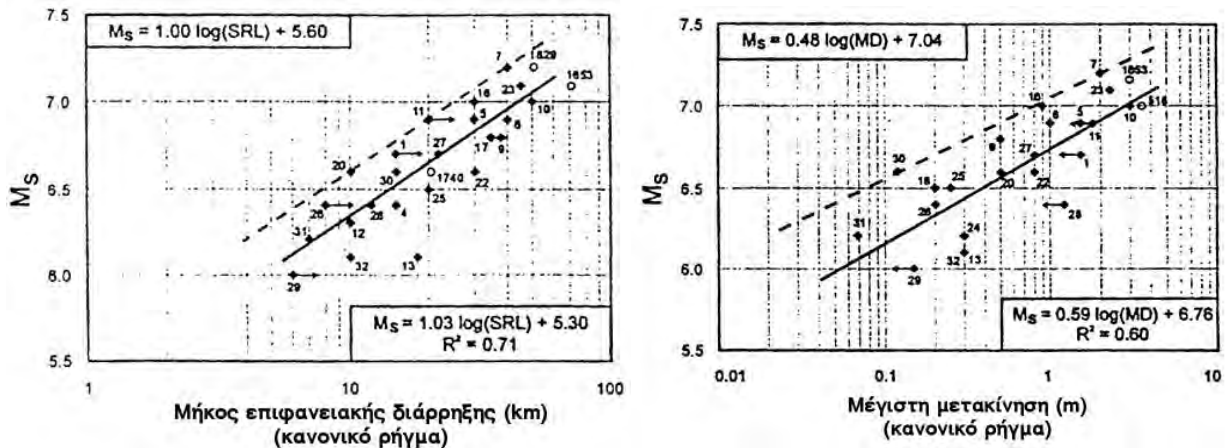
Σχήμα 2-9. Διάδοση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς: (α) σκληρό έδαφος, απότομη κλίση (β) σκληρό έδαφος, ήπια κλίση (γ) μαλακό έδαφος (Bray et al., 1994b)

κατακόρυφη ενώ το εύρος της ζώνης επιρροής τους μπορεί να μεγαλώσει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Bray, 2001). Ας σημειωθεί ότι τα κανονικά ρήγματα θεωρούνται ως τα πλέον επικίνδυνα για την πρόκληση βλαβών σε κατασκευές που βρίσκονται στην άμεση γειτονία τους.

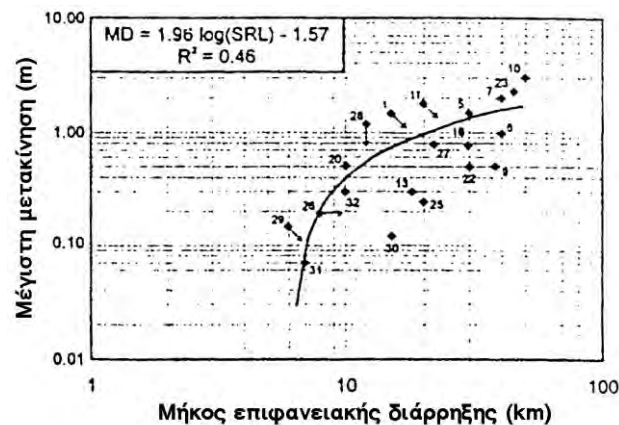
Το μέγεθος της σεισμικής μετακίνησης (ή ολίσθησης) ενός ρήγματος έχει διαπιστωθεί ότι αυξάνεται με το μέγεθος του σεισμού με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχ. 2-10 και κυμαίνεται από 1cm έως 10m (Wells and Coppersmith, 1994). Πρόσφατα, οι Pavlides et al. (2000) βασιζόμενοι σε ιστορικά, γεωμορφολογικά και γεωλογικά δεδομένα από την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου, ανέπτυξαν εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν το μέγεθος του σεισμού, M_s , το μήκος κανονικού ρήγματος στην επιφάνεια του εδάφους, SRL, και τη μέγιστη μετατόπιση αυτού, MD, μεταξύ τους (Σχ. 2-11, Σχ. 2-12).



Σχήμα 2-10. Σχέση μεγίστων επιφανειακών μετακινήσεων που αναπτύσσονται λόγω σεισμικής διάρρηξης και του μεγέθους του αντίστοιχου σεισμού (α) ευθεία παλινδρόμησης για όλα τα είδη ρηγμάτων (β) ιδιαίτερες ευθείες παλινδρόμησης για διαφορετικά είδη ρηγμάτων (Wells and Coppersmith, 1994)



Σχήμα 2-11. Μήκος επιφανειακής διάρρηξης (SRL) και μέγιστη επιφανειακή μετακίνηση (MD) ρήγματος ως συνάρτηση του σεισμικού μεγέθους, M_s , (Pavlidis et al., 2000)



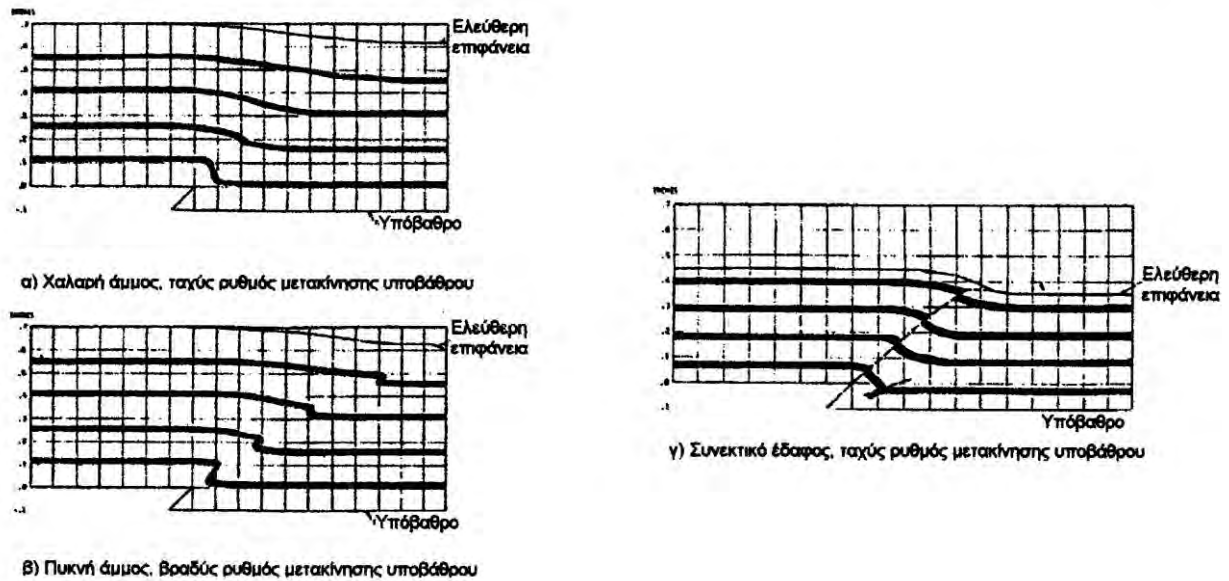
Σχήμα 2-12. Μέγιστη σεισμική μετακίνηση κανονικού ρήγματος (MD), ως συνάρτηση του μήκους της επιφανειακής διάρρηξης (SRL) (Pavlidis et al., 2000)

2.2. Πειραματικές μέθοδοι

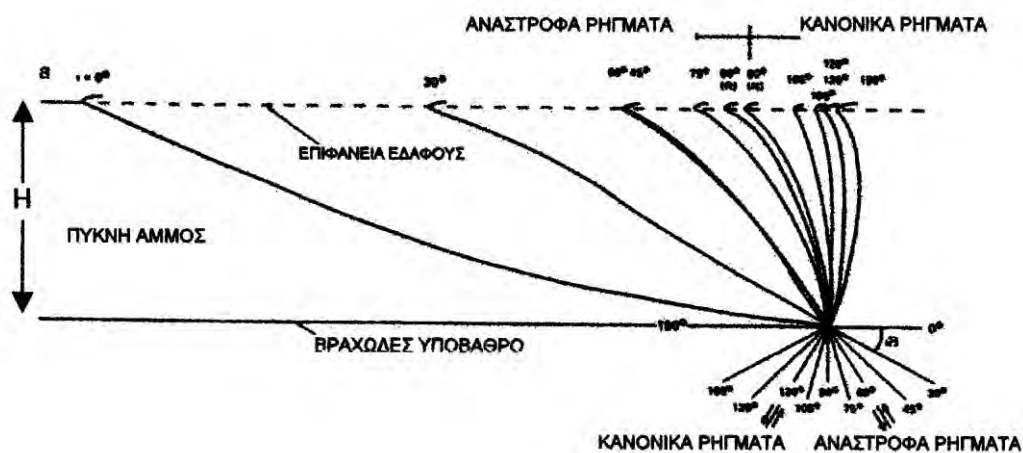
Για την πληρέστερη κατανόηση του φαινομένου της διάδοσης της διάρρηξης ρήγματος σε υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς έχει διεξαχθεί στο παρελθόν περιορισμένος αριθμός δοκιμών σε φυσικά ομοιώματα μικρής κλίμακας (Sandford, 1959, Emmons, 1969, Cole and Lade, 1984).

Για την πειραματική διερεύνηση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε από τους Roth et al. (1981) φυγοκεντριστής, μέγιστης επιτάχυνσης 50g, στο εσωτερικό του οποίου προσομοιώθηκε η διάδοση της διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος κλίσης 45° , σε υπερκείμενο στρώμα άμμου. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις δοκιμές αυτές διερευνήθηκε και η παράμετρος του ρυθμού μετακίνησης. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ταχέως (δεκάκις χιλιοστά του δευτερολέπτου) και βραδέως (δευτερόλεπτα) ρυθμού σε πυκνή ($\gamma=17 \text{ kN/m}^3$) και χαλαρή ($\gamma=14 \text{ kN/m}^3$) άμμο Ottawa και σε συνεκτικό έδαφος. Με βάση τα αποτελέσματα των ανωτέρω ερευνητών, τα οποία παρουσιάζονται γραφικά στα Σχ. 2-13(α), (β) και (γ), προκύπτει ότι το αναπτυσσόμενο εύρος της ζώνης διάρρηξης είναι μικρότερο στην περίπτωση του αργού ρυθμού μετακίνησης και για τις δύο καταστάσεις άμμου (πυκνή και χαλαρή). Στην περίπτωση του συνεκτικού εδάφους (αμμώδης ιλύς, $\phi=32$, $c=48\text{kPa}$) παρατηρήθηκε η ανάπτυξη ενός κυρίου επιπέδου αστοχίας, με κλίση περίπου 45° , το οποίο εκτεινόταν μέχρι την επιφάνεια και ενός δευτερογενούς επιπέδου αστοχίας με μικρότερη γωνία κλίσης που εξασθενούσε γρήγορα.

Οι Cole and Lade (1984) κατασκεύασαν συσκευή αποτελούμενη από κιβώτιο (μήκους=142cm, ύψους=56cm και πάχους=15cm) τοποθετημένο σε χαλύβδινο πλαίσιο του οποίου το μισό τμήμα είχε τη δυνατότητα να κινηθεί σε σχέση με το άλλο μισό είτε κατακόρυφα είτε υπό γωνία. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές, χρησιμοποιώντας ως εδαφικό υλικό πλήρωσης του κιβωτίου, πυκνή ($\phi=58^\circ$ και $\psi=30^\circ$) και χαλαρή άμμο ($\phi=30^\circ$ και $\psi=0^\circ$) για να προσδιορισθεί ο μηχανισμός παραμόρφωσης και διάδοσης της διάρρηξης ρηγμάτων κλίσης (κανονικό και ανάστροφο) για γωνίες κλίσης 30° , 45° , 60° , 75° και 90° . Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε ότι η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να προσομοιωθεί με λογαριθμική σπείρα ενώ διάρρηξη της εδαφικής επιφάνειας παρατηρήθηκε όταν η κατακόρυφη συνιστώσα της μετακίνησης, S_v , ήταν περίπου ίση με το 4% του πάχους της εδαφικής στρώσης, H . Επίσης, στην περίπτωση του κανονικού ρήγματος η διάδοση της διάρρηξης ήταν σχεδόν κατακόρυφη και ανεξάρτητη από την αρχική κλίση του ενώ για το ανάστροφο ρήγμα περίπου εφαπτομενική προς την αρχική κλίση (Σχ. 2-14).



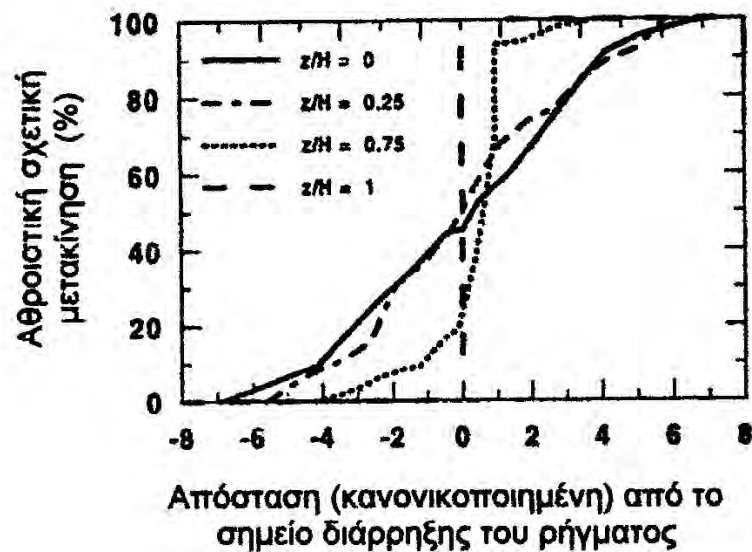
Σχήμα 2-13. Αποτελέσματα δοκιμών διάδοσης εδαφικής διάρρηξης σε άμμο Ottawa και αμμώδη ιλύ σε φυγοκεντριστή 50g (Roth et al., 1981)



Σχήμα 2-14. Διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων κλίσης σε εργαστηριακές δοκιμές πυκνής άμμου (Cole and Lade, 1984)

Φυσικό ομοίωμα μικρής κλίμακας (1g) χρησιμοποιήθηκε από τους Lazarte and Bray (1995) για τη μελέτη του φαινομένου της διάδοσης κατακόρυφου ρήγματος διεύθυνσης διαμέσου εδαφικού υλικού που αποτελούνταν από μίγμα καολινίτη και μπετονίτη. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε ότι υπάρχει μια εκτεταμένη ζώνη εδαφικών παραμορφώσεων των οποίων το μέγεθος μικραίνει όσο μεγαλώνει η απόσταση από το ίχνος του ρήγματος. Στο Σχ. 2-15 παρουσιάζεται η κατανομή των παραμορφώσεων που αναπτύσσονται στο φυσικό ομοίωμα ως συνάρτηση της απόστασης από το ίχνος του ρήγματος και του βάθους από την επιφάνεια του εδάφους.

Τέλος, φυσικά ομοιώματα μικρής κλίμακας, υπό συνθήκες φυσικής βαρύτητας, έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση των νεοτεκτονικών δομών του τεκτονικού



Σχήμα 2-15. Κατανομή παραμορφώσεων σε συνάρτηση με το βάθος (Lazarte and Bray, 1995)

βυθίσματος Κοζάνης-Σερβίων (Παυλίδης, 1998), τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων του επικειμένου τεμάχους ανάστροφων ρηγμάτων, με υποκείμενο τέμαχος βαθμιδωτής μορφής (Bonini et al., 2001) και την κατανόηση του μηχανισμού δημιουργίας ζωνών επώθησης (Vasalakis et. al., 2003).

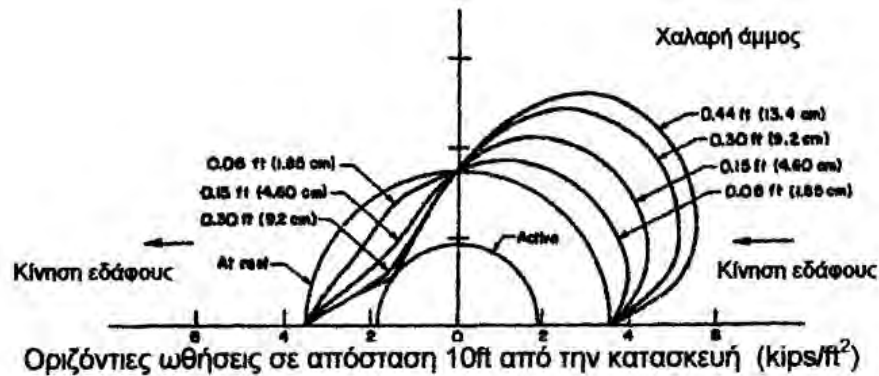
2.3. Υπολογιστικές μέθοδοι

Για τη μελέτη και ανάλυση της διάδοσης της επιφάνειας αστοχίας προς την επιφάνεια του εδάφους έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης καθώς και απλά θεωρητικά προσομοιώματα.

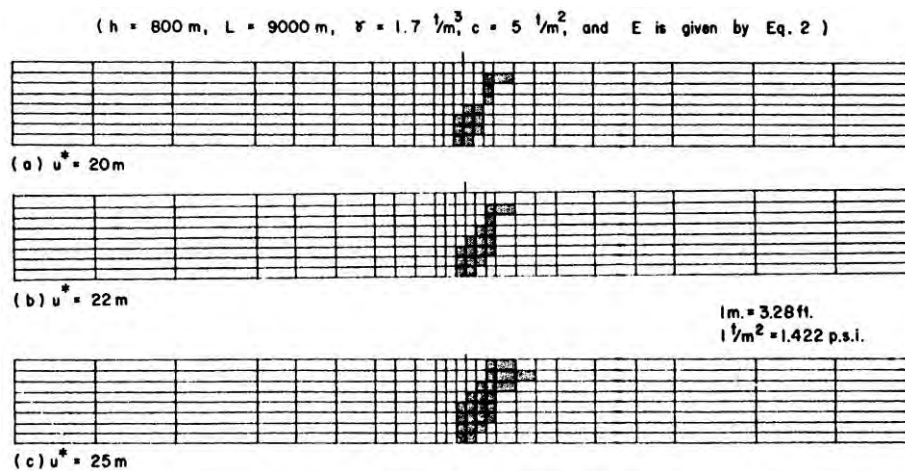
Οι Duncan και Lefebvre (1973) χρησιμοποιώντας τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων και το υπερβολικό προσομοίωμα εδάφους των Duncan-Chang (1980) προσπάθησαν να προβλέψουν το μέγεθος των ωθήσεων που αναπτύσσονται από αμμώδες έδαφος επάνω στη θεμελίωση μιας άκαμπτης κατασκευής η κάτοψη της οποίας διασχίζεται από ένα ρήγμα διεύθυνσης. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι κατά την κίνηση του εδάφους λόγω της σεισμικής διάρρηξης οι ωθήσεις που αναπτύσσονται έχουν διεύθυνση περίπου 45° σε σχέση με αυτή της μετακίνησης του ρήγματος (Σχ. 2-16).

Οι Scott and Shoustra (1974) πραγματοποίησαν διδιάστατη (2-D) ανάλυση με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων σε μη-συνεκτικό εδαφικό στρώμα βάθους 800m, προσομοιώνοντας το μηχανισμό διάρρηξης του ρήγματος με κατακόρυφη μετακίνηση

της βάσης του κανάβου των πεπερασμένων στοιχείων. Στις αναλύσεις ελήφθη υπόψη επίπεδη παραμόρφωση και χρησιμοποιήθηκε το τροποποιημένο κριτήριο αστοχίας Von-Mises. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι η ζώνη διάρρηξης, η οποία εκτείνεται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους προκαλεί παραμόρφωση στο επικείμενο τέμαχος καθώς το βραχώδες υπόβαθρο μετακινείται κατακόρυφα (Σχ. 2-17). Οι Roth et al. (1982) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Πεπερασμένων Διαφορών προσομοίωσαν τις δοκιμές φυσικών ομοιωμάτων, που πραγματοποιήσαν σε φυγοκεντρίστη 50g, για την περίπτωση διάδοσης ανάστροφου ρήγματος ($S=0.75m$, $\alpha=45^\circ$) σε υπερκείμενο εδαφικό στρώμα άμμου Ottawa. Η σύγκριση των πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων ήταν ικανοποιητική τόσο για βραδύ όσο για ταχύ ρυθμό φόρτισης. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κατάσταση παραμόρφωσης τόσο του πειραματικού όσο και του αναλυτικού προσομοιώματος (Σχ. 2-18).

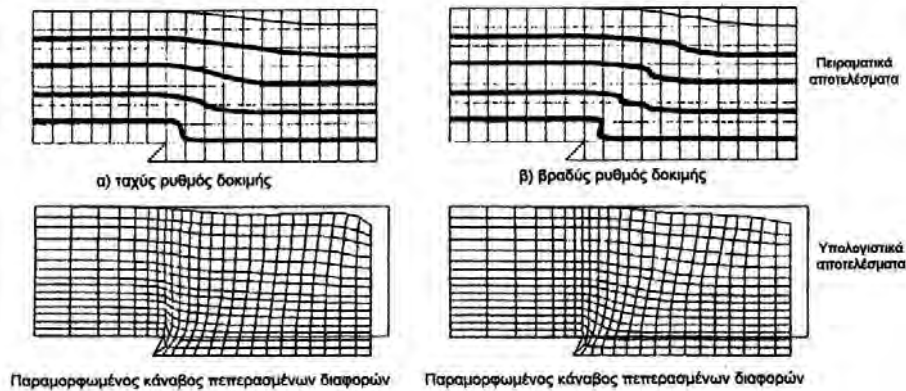


Σχήμα 2-16. Κατανομή των ωθήσεων σε βάθος 21.4m από την επιφάνεια του εδάφους (Duncan και Lefebvre, 1973)

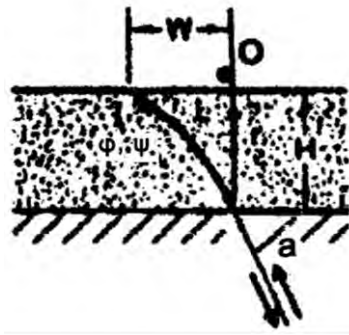


Σχήμα 2-17. Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων και μορφή της ζώνης διάρρηξης του ρήγματος κατά την ανάλυση ευστάθειας της εδαφικής τομής ($\phi=25^\circ$, $\nu=0.4$) (Scott and Shoustra, 1974)

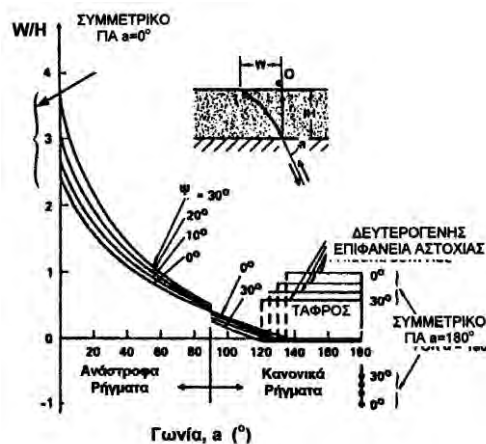
Οι Cole and Lade (1984) ανέπτυξαν ένα απλό θεωρητικό προσομοίωμα το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό της μορφής της επιφάνειας διάδοσης της αστοχίας και του σημείου της επιφάνειας του αμώδους εδάφους στο οποίο εμφανίζεται η διάρρηξη (Σχ. 2-19) τα αποτελέσματα του οποίου παρουσιάζονται στο διάγραμμα του Σχ. 2-20.



Σχήμα 2-18. Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικής και αναλυτικής μεθόδου διερεύνησης της διάδοσης της διάρρηξης σε εδαφικό σχηματισμό (Roth et al., 1982)



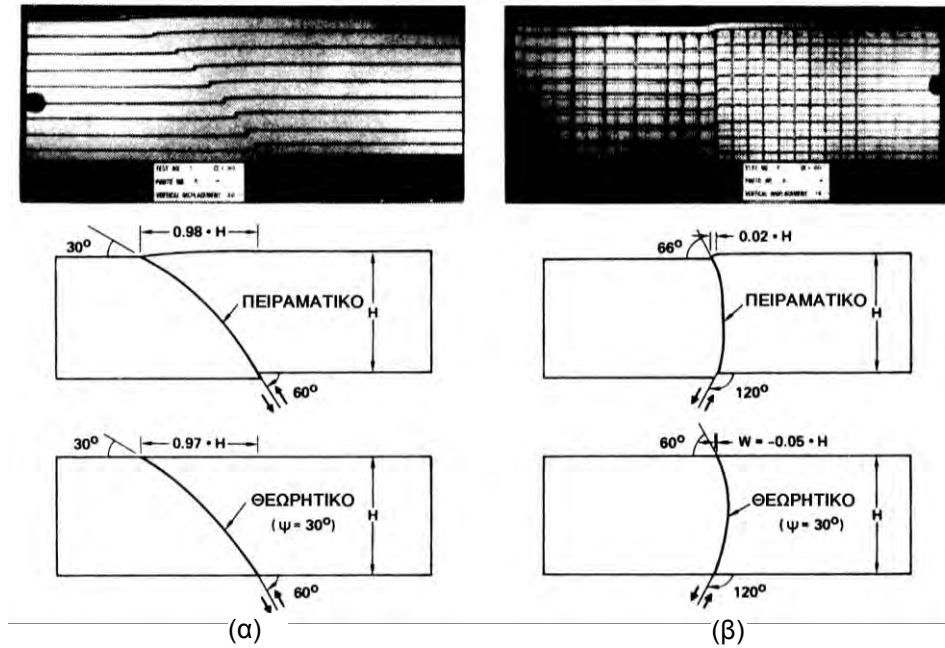
Σχήμα 2-19. Σχηματική παρουσίαση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διάδοση ενός ρήγματος του υποβάθρου στην επιφάνεια του εδάφους (Cole and Lade, 1984)



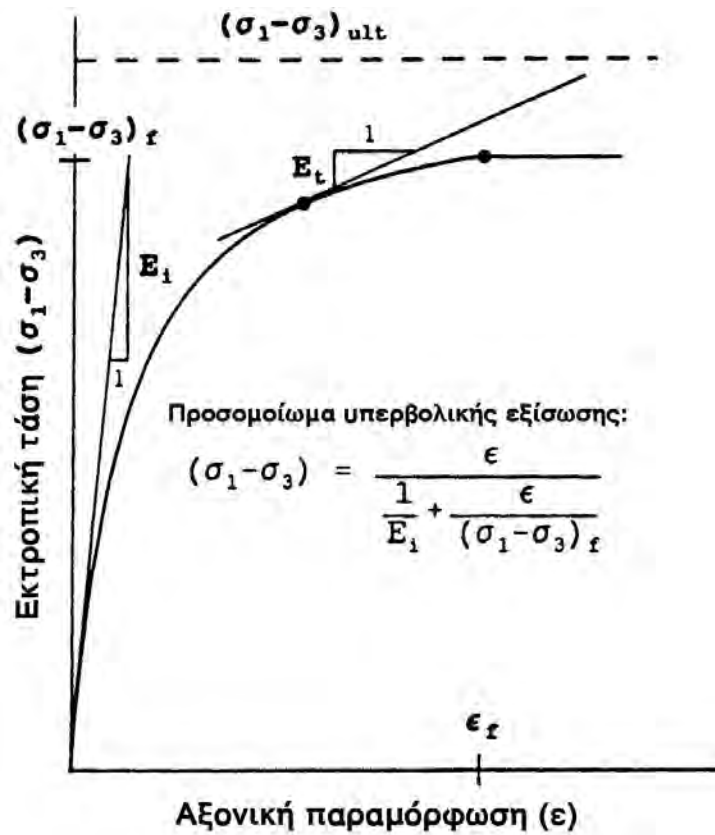
Σχήμα 2-20. Λόγος W/H ως συνάρτηση της κλίσης, α , του ρήγματος και της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , του αμώδους εδάφους (Cole and Lade, 1984)

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των πειραματικών αποτελεσμάτων των ερευνητών αυτών με τη πρόβλεψη του αναλυτικού προσομοιώματος όσον αφορά τη μορφή και το σημείο εμφάνισης της διάρρηξης στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάδοση ανάστροφου ($\alpha=60^\circ$) και κανονικού ρήγματος ($\alpha=120^\circ$), σε υπερκείμενο αμμώδες έδαφος (πυκνή άμμος) ήταν πολύ ικανοποιητικά, όπως φαίνεται και στο Σχ. 2-21. Πρέπει να σημειωθεί ότι η γωνία διασταλτικότητας, ψ , θεωρήθηκε από τους ανωτέρω ερευνητές ως σημαντική παράμετρος στην περίπτωση των μη-συνεκτικών σχηματισμών αφού επηρεάζει την έκταση της επιφανειακής ζώνης διάρρηξης κατά τη διάδοση του ρήγματος (Cole and Lade, 1984). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της γωνίας διασταλτικότητας του αμμώδους εδάφους τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της απόστασης εμφάνισης της διάρρηξης στην επιφάνεια του εδάφους, W από το σημείο O (Σχ. 2-20).

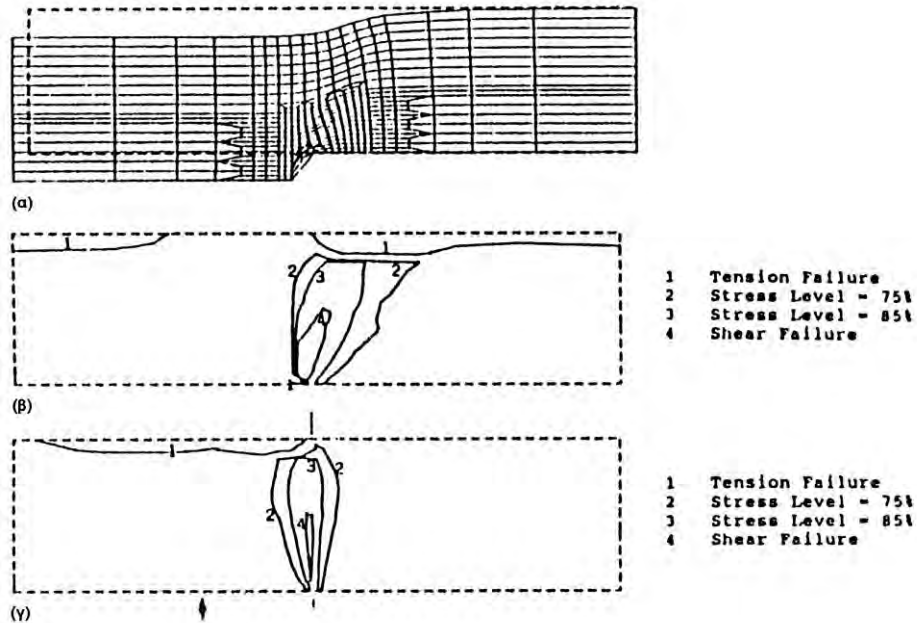
Οι Bray et al., (1994a) και Bray (2001) έχουν πραγματοποιήσει αναλύσεις με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων για την περίπτωση ρηγμάτων κλίσης χρησιμοποιώντας το υπερβολικό προσομοίωμα εδάφους των Duncan et al. (1980) του Σχ. 2-22 και κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα: 1) για να παρατηρηθεί διάρρηξη της εδαφικής επιφάνειας απαιτείται μετακίνηση ρήγματος ίση με το 4% του ύψους των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών και 2) το ύψος της ζώνης αστοχίας, h_f , είναι 18-26 φορές μεγαλύτερο από την κατακόρυφη συνιστώσα της ολίσθησης βάσης, S_v . Από τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο Σχ. 2-23, παρατηρείται ότι τα κανονικά ρήγματα προκαλούν κατά τη μετακίνησή τους μεγαλύτερη μείωση των τάσεων και μεγαλύτερο εύρος ζώνης διάρρηξης σε σχέση με τα ανάστροφα. Επίσης, από τη διεξαγωγή παραμετρικών αναλύσεων προέκυψε ότι η πλέον σημαντική παράμετρος για την προσομοίωση του φαινομένου είναι η τιμή της αξονικής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , του εδαφικού υλικού (σε δοκιμή τριαξονικής φόρτισης). Από το διάγραμμα του Σχ. 2-23, φαίνεται ότι το ύψος ανάπτυξης της επιφάνειας αστοχίας από τη στάθμη του βράχου (κανονικοποιημένο ως προς την κατακόρυφη συνιστώσα της ολίσθησης βάσης, S_v) είναι αντιστρόφως ανάλογο της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας του εδαφικού υλικού. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι Bray et al. (1993) και Bray (2001), χρησιμοποιώντας τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι για την αντιμετώπιση εμφάνισης βλαβών σε κατασκευές εδραζόμενες στην περιοχή γνωστών σεισμικών ρηγμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία του οπλισμένου εδάφους. Συγκεκριμένα, το προτεινόμενο μέτρο αντιμετώπισης είναι η κατασκευή επιχώματος οπλισμένου (με γεωσυνθετικά) εδάφους, κατάλληλου πάχους στην περιοχή της επιφανειακής εμφάνισης της διάρρηξης επάνω στο οποίο εδράζεται η κατασκευή. Το οπλισμένο έδαφος, έχει την ικανότητα να επιτυγχάνει μείωση των διαφορικών καθιζήσεων και των γωνιακών παραμορφώσεων της επιφάνειας του εδάφους (Σχ. 2-25 και 2-26) και επομένως μείωση της πιθανότητας εμφάνισης βλαβών στην κατασκευή.



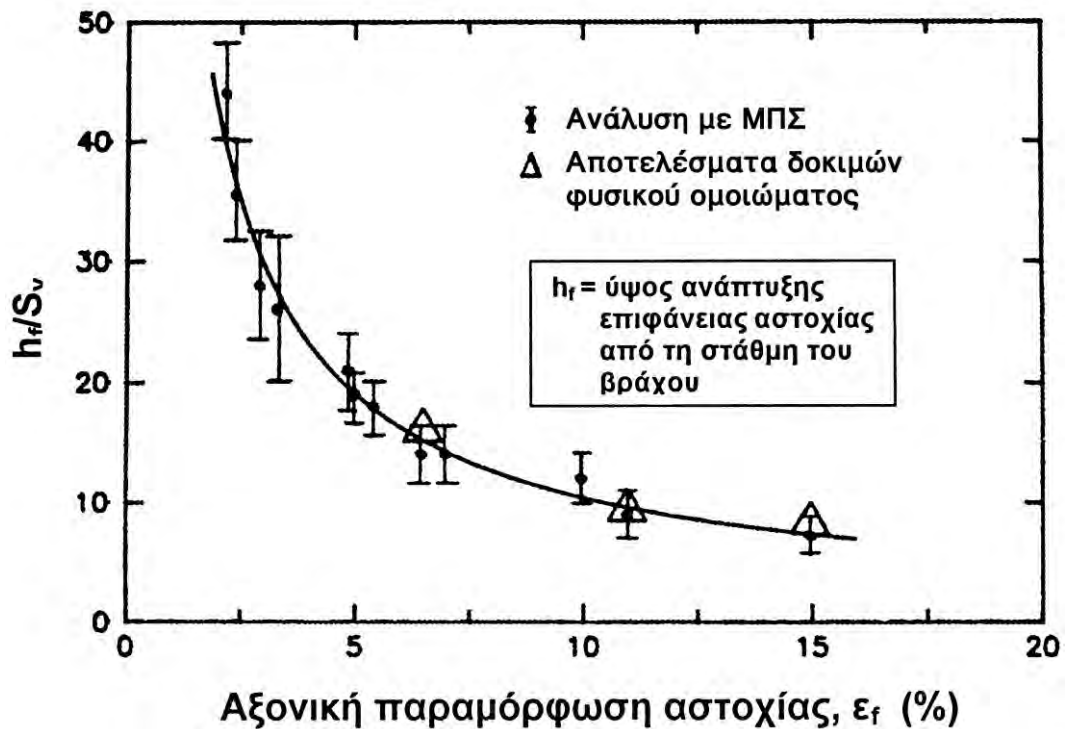
Σχήμα 2-21. Σύγκριση αποτελεσμάτων θεωρητικής και πειραματικής ανάλυσης διάρρηξης ρήγματος σε υπερκείμενο στρώμα πυκνής άμμου (α) ανάστροφο ρήγμα ($a=60^\circ$) και (β) κανονικό ρήγμα ($a=120^\circ$) (Cole and Lade, 1984)



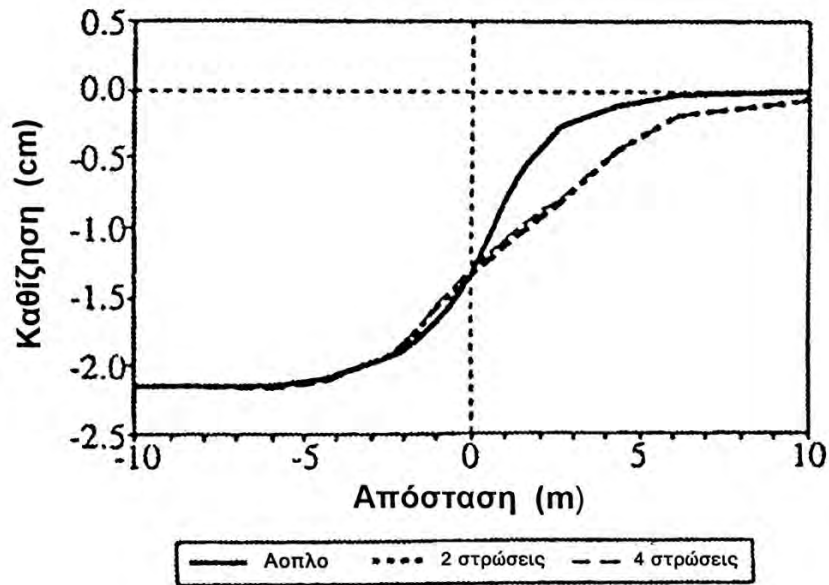
Σχήμα 2-22. Υπερβολικό προσομοίωμα τάσεων-παραμορφώσεων εδαφικού υλικού (Bray et al., 1994a)



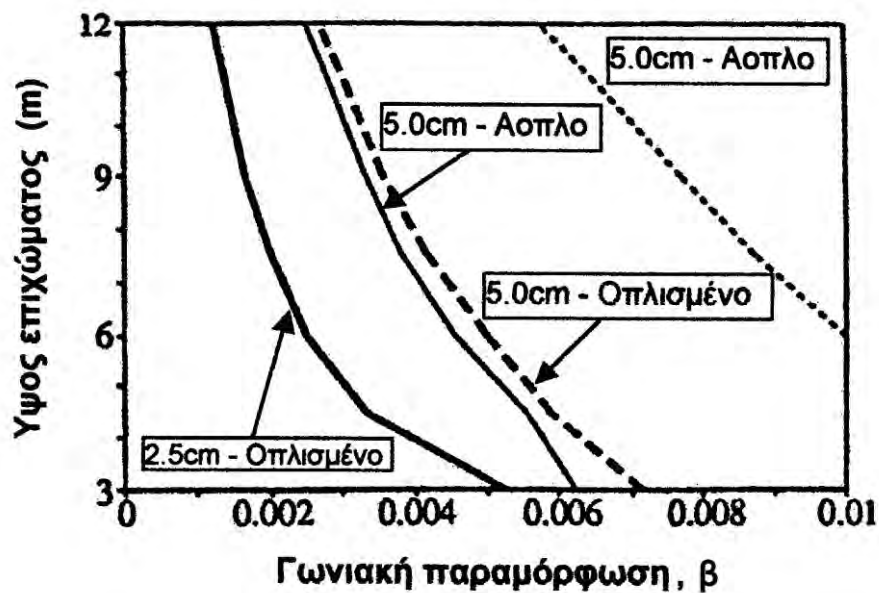
Σχήμα 2-23. Αποτελέσματα αναλύσεων με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων για την περίπτωση της διάδοσης της διάρρηξης κανονικού ρήγματος του υποβάθρου σε συνεκτικό έδαφος (α) Παραμορφωμένο δίκτυο κατά τη διάδοση κανονικού ρήγματος κλίσης 60° σε εδαφικό στρώμα πάχους 24m (β) Ισοτασικές καμπύλες για μετακίνηση, $S=0.6m$ κανονικού ρήγματος κλίσης 60° (γ) Ισοτασικές καμπύλες για μετακίνηση, $S=0.6m$ ανάστροφου ρήγματος κλίσης 90° (Bray et al., 1994a)



Σχήμα 2-24. Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της επιφάνειας διάρρηξης, h_f/S_v , ως συνάρτηση της αξονικής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , του εδαφικού υλικού (Bray et al., 1994a)



Σχήμα 2-25. Επίδραση της ποσότητας του οπλισμού επιχώματος (πάχους 6m) τοποθετημένου στην επιφάνεια υποβάθρου με γνωστό σεισμικό ρήγμα, στη μείωση των διαφορικών καθιζήσεων της επιφάνειας του εδάφους (Bray et al., 1993)

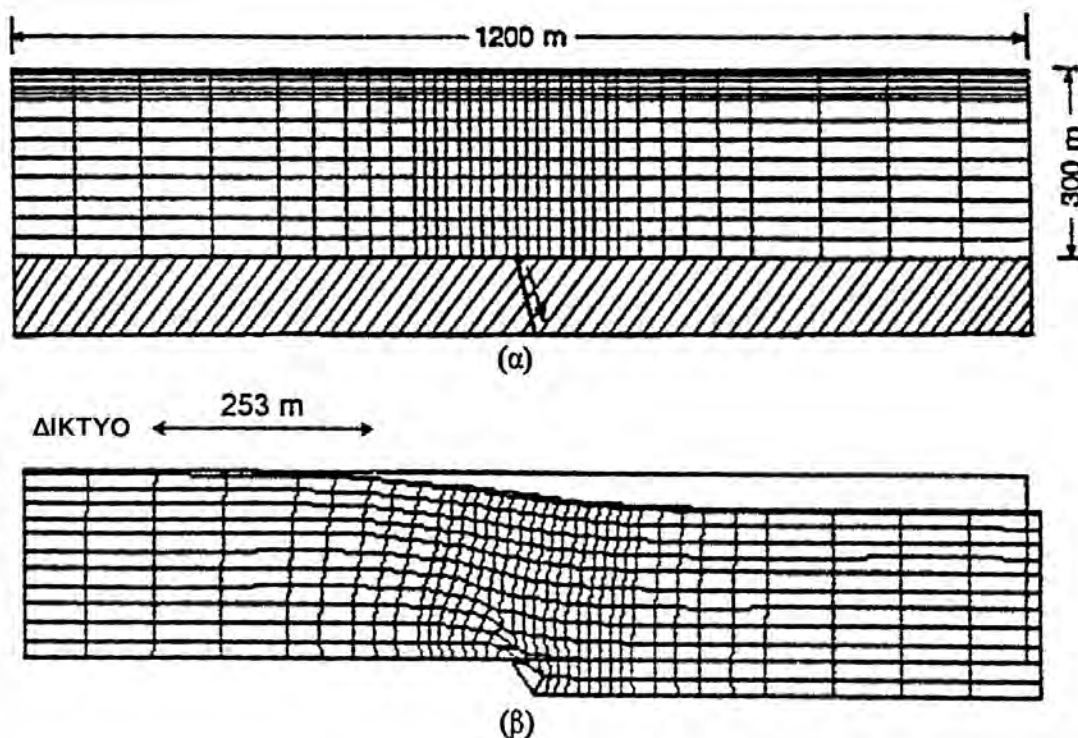


Σχήμα 2-26. Σύγκριση οπλισμένου και άοπλου συμπυκνωμένου επιχώματος για $S=2.5\text{cm}$ και $S=5.0\text{cm}$ (Bray et al., 1993)

Ο Αθανασόπουλος (1994) και οι Αθανασόπουλος και Λεωνίδου (1997) χρησιμοποίησαν τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων και πραγματοποίησαν αναλύσεις ευστάθειας των υποθαλάσσιων εδαφικών σχηματισμών (λαμβάνοντας υπόψη τη μη-γραμμική συμπεριφορά των εδαφικών υλικών) για την περίπτωση διάρρηξης του ρήγματος της Αγίας Τριάδας το οποίο διασχίζει την περιοχή των έργων του Νέου Λιμένα Πατρών

(κυματοθραύστης, κρηπιδοτόιχοι) στο νότιο τμήμα της πόλης. Στους υπολογισμούς ευστάθειας ελήφθη υπόψη εδαφική τομή βάθους 300m και πλάτους 1200m, μέγιστη μετατόπιση του ρήγματος στο στερεό υπόβαθρο, S , ίση με 0.50m και κλίση ρήγματος, $\alpha=75^\circ$ με την οριζόντια διεύθυνση (Σχ. 2-27α). Πρέπει να σημειωθεί ότι από γεωτεχνική έρευνα που διεξήχθη στην περιοχή προέκυψε ότι το στερεό υπόβαθρο (πιθανόν ασβεστόλιθος) συναντάται σε βάθος μεγαλύτερο των 300m από την επιφάνεια του πυθμένα ενώ οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων των 3 στρώσεων επελέγησαν με βάση τα διαθέσιμα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών σε συνδυασμό με εμπειρικές συσχετίσεις της βιβλιογραφίας (Πίν. 2-1). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι οι υπολογιζόμενες τιμές των γωνιακών παραμορφώσεων προκύπτουν γενικά μικρότερες του 1/600, δηλαδή μικρότερες της επιτρεπόμενης τιμής (1/500) η οποία εξασφαλίζει τα συνήθη οικοδομικά έργα από ρηγμάτωση.

Οι Athanasopoulos and Leonidou (1996), πραγματοποίησαν, επίσης, αναλύσεις με τη ΜΠΣ για τον προσδιορισμό των εδαφικών παραμορφώσεων της επιφάνειας του εδάφους στην περίπτωση διέγερσης του ρήγματος της Αγίας Τριάδας, στην Πάτρα και του εύρους της επικίνδυνης ζώνης στην οποία οι τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης, β , αναμένεται να απειλήσουν την ακεραιότητα ή λειτουργικότητα των οικοδομικών και άλλων τεχνικών έργων που ευρίσκονται στην εγγύς περιοχή.



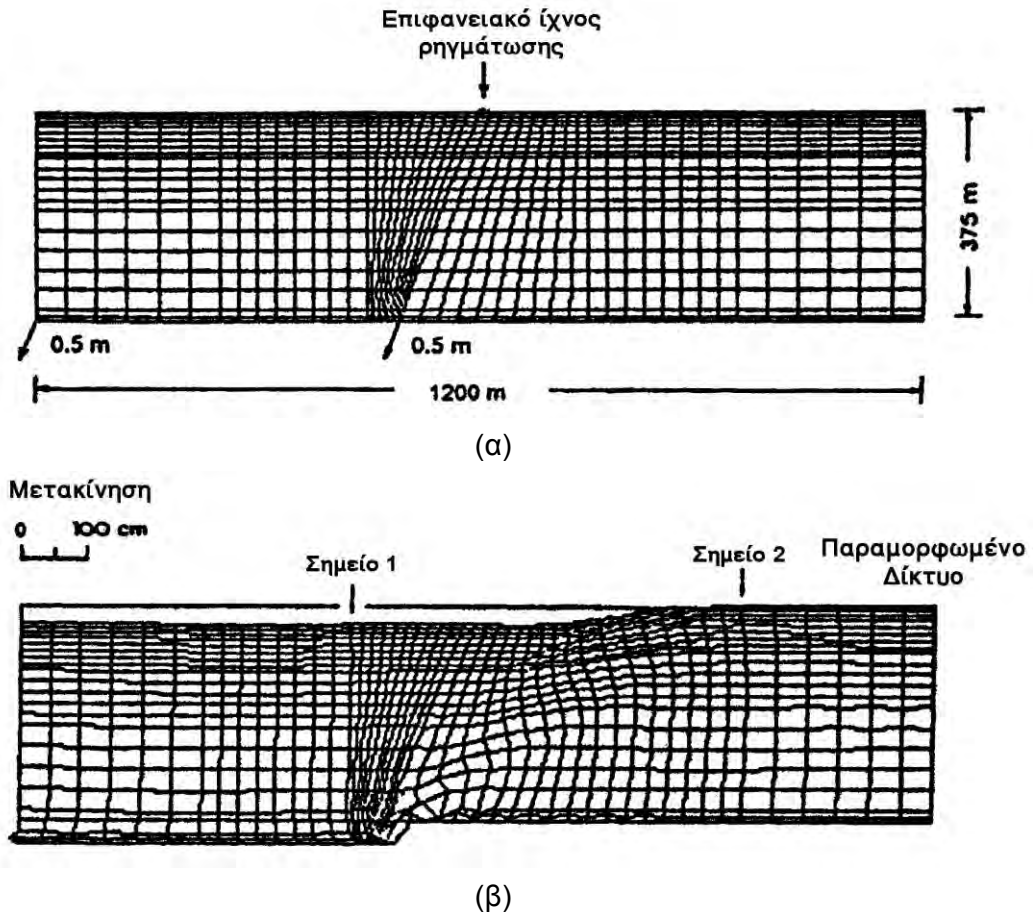
Σχήμα 2-27. (α) Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση ευστάθειας εδαφικής τομής, (β) Παραμορφώσεις του δικτύου μετά την μετατόπιση του υποβάθρου κατά 0.50m (Αθανασόπουλος και Λεωνίδου, 1997)

Για την προσομοίωση της εδαφικής τομής κατασκευάστηκε κάναβος 1000, περίπου, πεπερασμένων στοιχείων με διαστάσεις βάθους και πλάτους 375m και 1200m, αντίστοιχα, (Σχ. 2-28(α)) και οι αναλύσεις διεξήχθησαν με τα χαρακτηριστικά του ρήγματος που αναφέρθηκαν ανωτέρω ($S=0.5m$, $\alpha=75^\circ$) και τα οποία προέκυψαν από σεισμοτεκτονικά δεδομένα. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας (Σχ. 2-28(β)) προέκυψε ότι οι μέγιστες διαφορικές καθιζήσεις αναμένεται να αναπτυχθούν σε περιοχή του εδάφους που υπέρκειται του υποκείμενου τέμαχους του ρήγματος (footwall) σε μία ζώνη εύρους ίσου με 150m (θεωρώντας ως επιτρεπόμενη την τιμή $\beta_{cr}=2\%$).

Περισσότερο συστηματική διερεύνηση για την επίδραση των σημαντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη διάδοση κανονικών και αναστρέφων ρηγμάτων σε υπερκείμενους συνεκτικούς εδαφικούς σχηματισμούς, με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (Σχ. 2-29), έγινε από τη Λεωνίδου (2000) και Leonidou and Athanasopoulos (2000). Η μελέτη περιέλαβε ένα σημαντικό αριθμό παραμετρικών αναλύσεων για την εξακρίβωση της επίδρασης ενός αριθμού παραμέτρων στη διάδοση της διάρρηξης. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί κώδικες πεπερασμένων στοιχείων για τη διερεύνηση της συνέπειας των αποτελεσμάτων, Z_SOIL και PLAXIS. Οι διερευνηθείσες παράμετροι ήταν: η κλίση του ρήγματος υποβάθρου, α , το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S και το είδος του ρήγματος. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της διάδοσης της διάρρηξης επιλέχθηκε η χρήση του μεγέθους της γωνιακής παραμόρφωσης της εδαφικής επιφάνειας, β , η οποία συσχετίζεται με την έκταση (ή το βαθμό) των βλαβών που ενδέχεται να αναπτυχθούν σε ένα τεχνικό έργο. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων μελετήθηκε η επίδραση των παραμέτρων που αναφέρθηκαν ανωτέρω στη θέση και την έκταση των κρισίμων ζωνών κατά μήκος των

Πίνακας 2-1. Τιμές των μηχανικών εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος Αγίας Τριάδας, στην Πάτρα (Αθανασόπουλος, 1994)

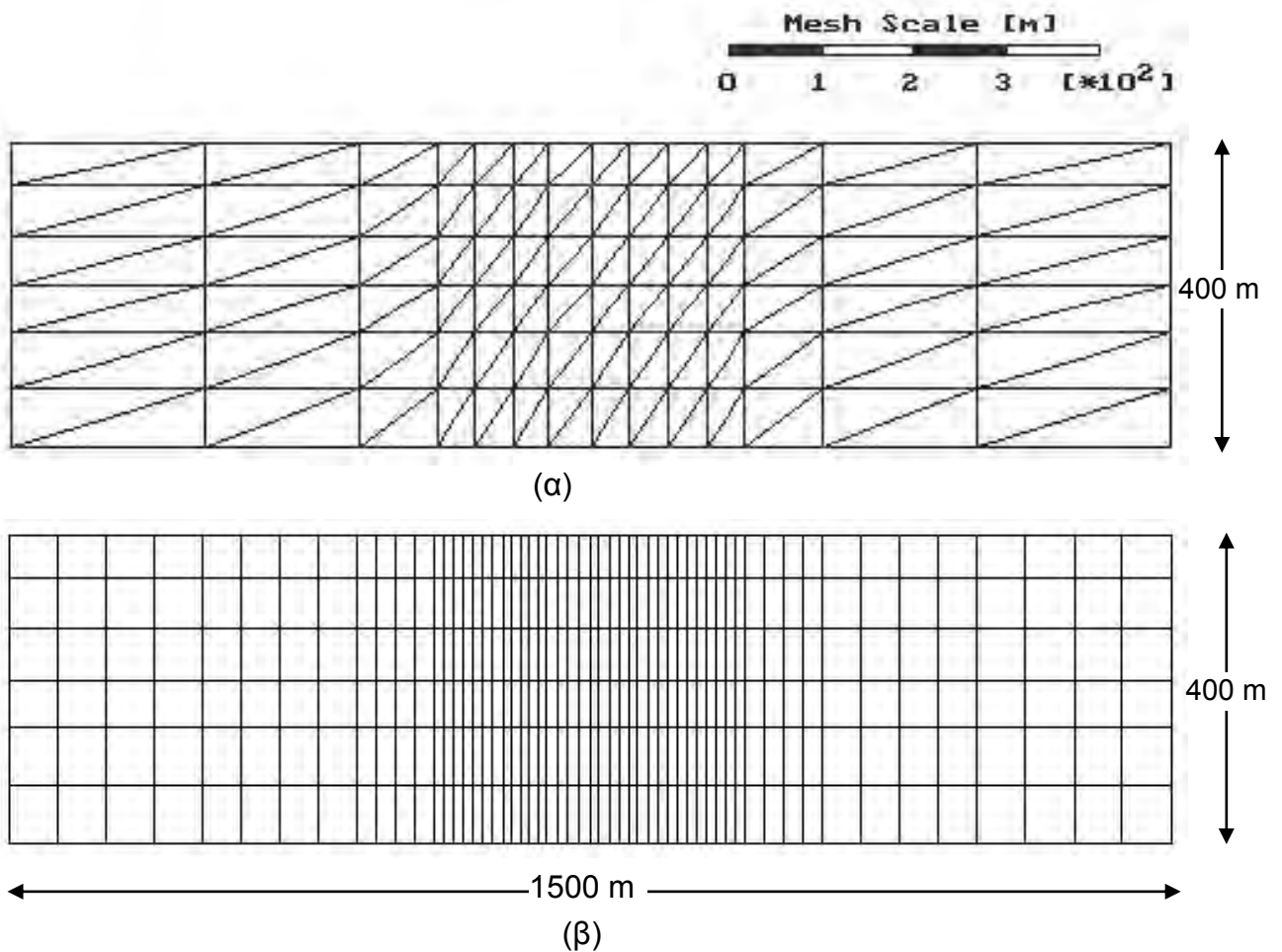
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΤΡΩΣΗ 1	ΣΤΡΩΣΗ 2	ΣΤΡΩΣΗ 3
	Βάθος = 0.0m έως 25.0m	Βάθος = 25.0m έως 75.0m	Βάθος = 75.0m έως 375.0m
	Μαλακή ιλυώδης- αμμώδης άργιλος	Αμμοχάλικα (με ενστρώσεις ιλύος)	Άργιλος χαμηλής πλαστικότητας (Μάργα)
ϕ_u ($^\circ$)	0	15	0
c_u (kPa)	10	100	150
E_u (MPa)	10	50	80
N	0.49	0.35	0.49
γ_k (kN/m ³)	18.5	20	20



Σχήμα 2-28. (α) Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση ευστάθειας εδαφικής τομής και (β) παραμορφώσεις του δικτύου μετά την μετατόπιση του υποβάθρου (Athanasopoulos and Leonidou, 1996)

οποίων αναπτύσσονται οι περισσότεροι έντονοι εδαφικές παραμορφώσεις οι οποίες συνδέονται με την εκδήλωση διαφόρων βαθμών βλαβών στα διάφορα είδη κατασκευών. Οι παραμετρικές αναλύσεις υπέδειξαν ότι οι πλέον σημαντικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η συμπεριφορά των συνεκτικών εδαφικών στρωμάτων κατά τη διάδοση ρηγμάτων κλίσης είναι το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S , και το είδος του ρήγματος (κανονικό ή ανάστροφο).

Στην ανωτέρω διερεύνηση για τον προσδιορισμό του εύρους της επικίνδυνης ζώνης (δηλαδή της ζώνης στην οποία οι γωνιακές παραμορφώσεις είναι μεγαλύτερες της κρίσιμης τιμής $\beta_c=2 \times 10^{-3}$), καθώς και του σημείου στο οποίο αναπτύσσεται η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , σχεδιάστηκαν διαγράμματα κατανομής της γωνιακής παραμόρφωσης κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας όπως αυτά του Σχ. 2-30. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι στα συνεκτικά εδάφη για την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων η τιμή της μέγιστης εδαφικής επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , αυξάνεται περίπου γραμμικά με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης (Σχ. 2-31) ενώ στην περίπτωση των αναστρέφων ρηγμάτων

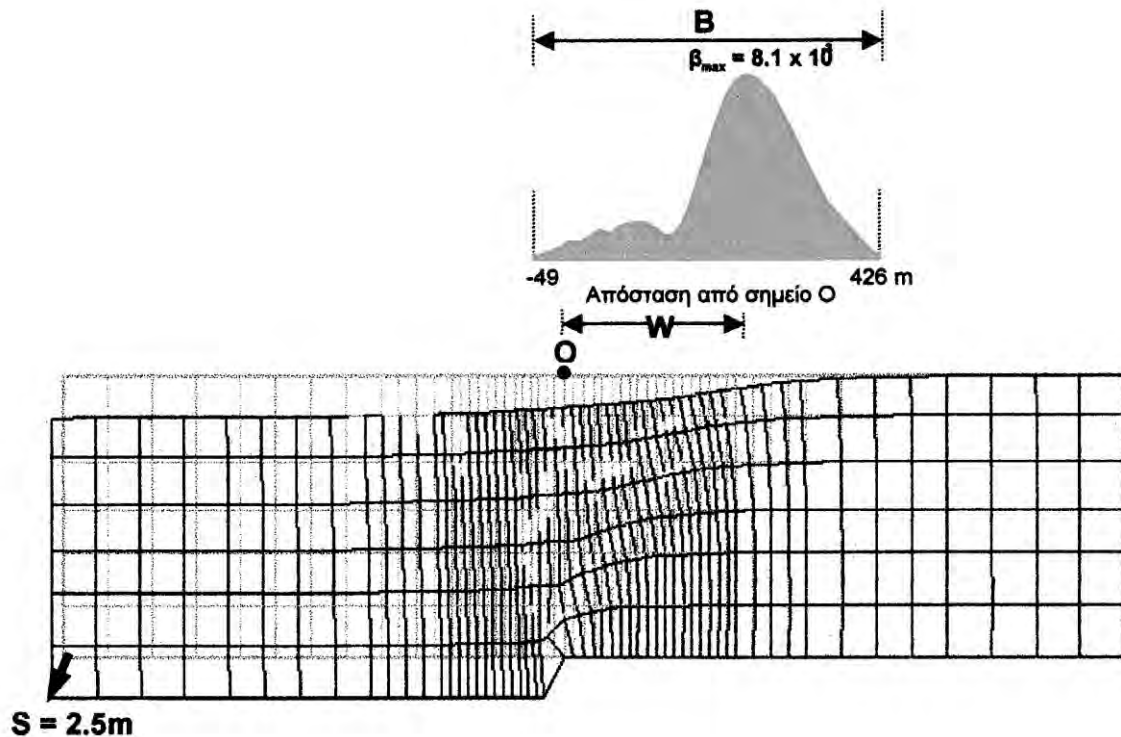


Σχήμα 2-29. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα δικτύων πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις με τα προγράμματα (α) PLAXIS 6.31 και (β) Z_SOIL 4.24 (Λεωνίδου, 2000)

αναπτύσσονται γενικά μικρότερες τιμές γωνιακών παραμορφώσεων. Διαπιστώθηκε, επίσης, ότι το εύρος της επικίνδυνης ζώνης, $B_{2\%}$, (τόσο για κανονικά όσο και για ανάστροφα ρήγματα) αυξάνεται περίπου γραμμικά με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, μέχρι την τιμή $S=2.5\text{m}$. Για $S>2.5\text{m}$ η εξάρτηση της τιμής του B από το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης δεν είναι πλέον σημαντική (Σχ. 2-32).

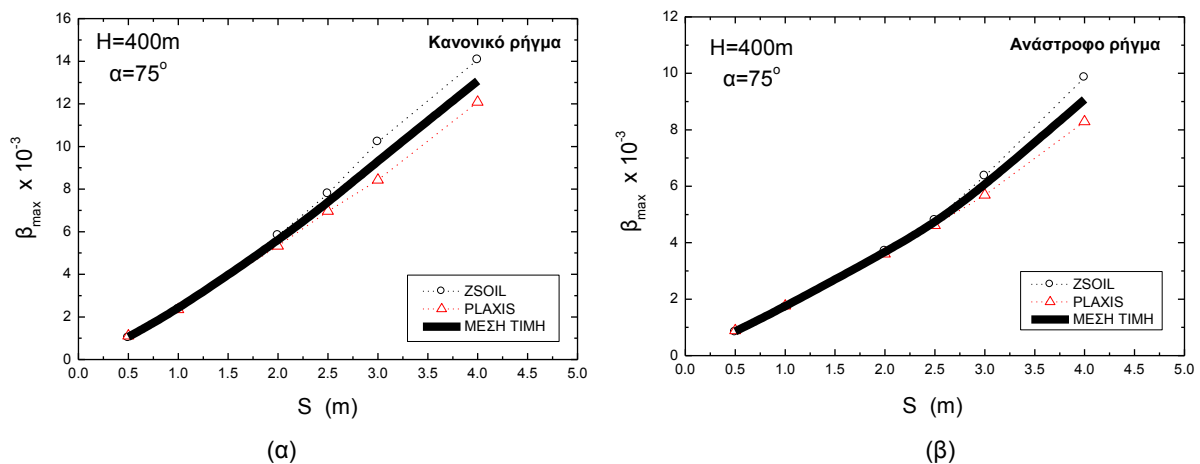
Πρόσφατα, οι Loukidis and Bouckovalas (2001) προσομοίωσαν τη διάδοση ρηγμάτων κλίσης (κανονικών και ανάστροφων) διαμέσου εδαφικού στρώματος άμμου και αμμώδους ιλύος, χρησιμοποιώντας τον κώδικα Πεπερασμένων Διαφορών, FLAC. Χρησιμοποιήθηκαν δίκτυα με διαστάσεις βάθους 20m και πλάτους 90m και 105m, για την περίπτωση τόσο ψευδοστατικών όσο και δυναμικών αναλύσεων (Σχ. 2-33(α)) και (Σχ. 2-33(β)), αντίστοιχα. Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους χρησιμοποιήθηκε ελαστοπλαστικό μοντέλο σε συνδυασμό με το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb (strain softening). Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι οι σημαντικότερες παράμετροι που επηρεάζουν το εύρος της ζώνης της επιφάνειας του

εδάφους όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές διατμητικών παραμορφώσεων, είναι το είδος του υπερκειμένου εδαφικού στρώματος και η γωνία διασταλτικότητας, ψ , του εδάφους ενώ αμελητέα είναι η επίδραση του πάχους του, H , (Σχ. 2-34).

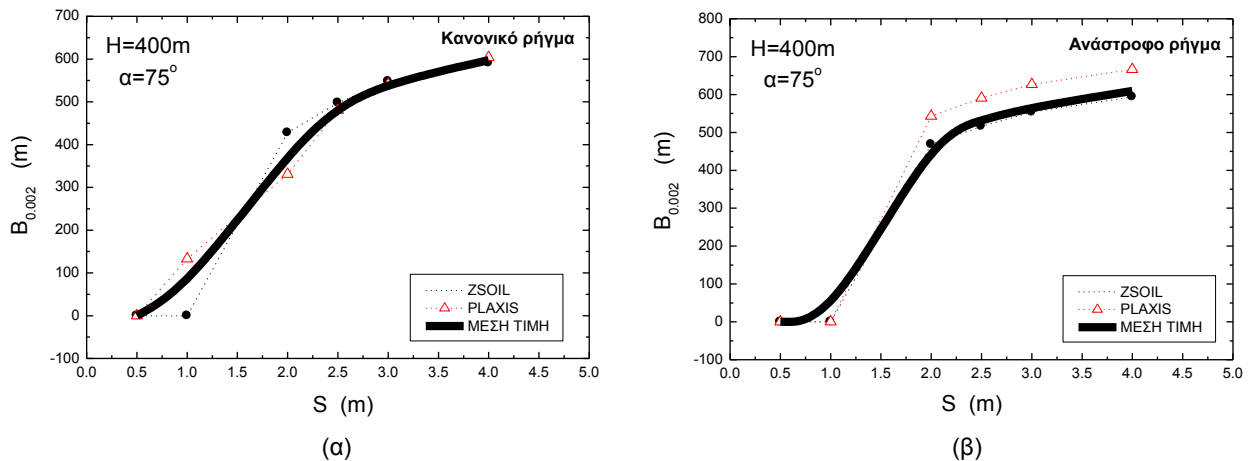


Σχήμα 2-30. Κατανομή γωνιακής παραμόρφωσης κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση κανονικού ρήγματος ($\alpha=75^\circ$, $S=2.5m$) και σκληρού συνεκτικού εδαφικού υλικού (Λεωνίδου, 2000)

zsbtest



Σχήμα 2-31. Επίδραση του μεγέθους σεισμικής ολίσθησης, S , επάνω στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης β_{max} , για (α) κανονικά και (β) ανάστροφα ρήγματα και σκληρό συνεκτικό έδαφος (Λεωνίδου, 2000)

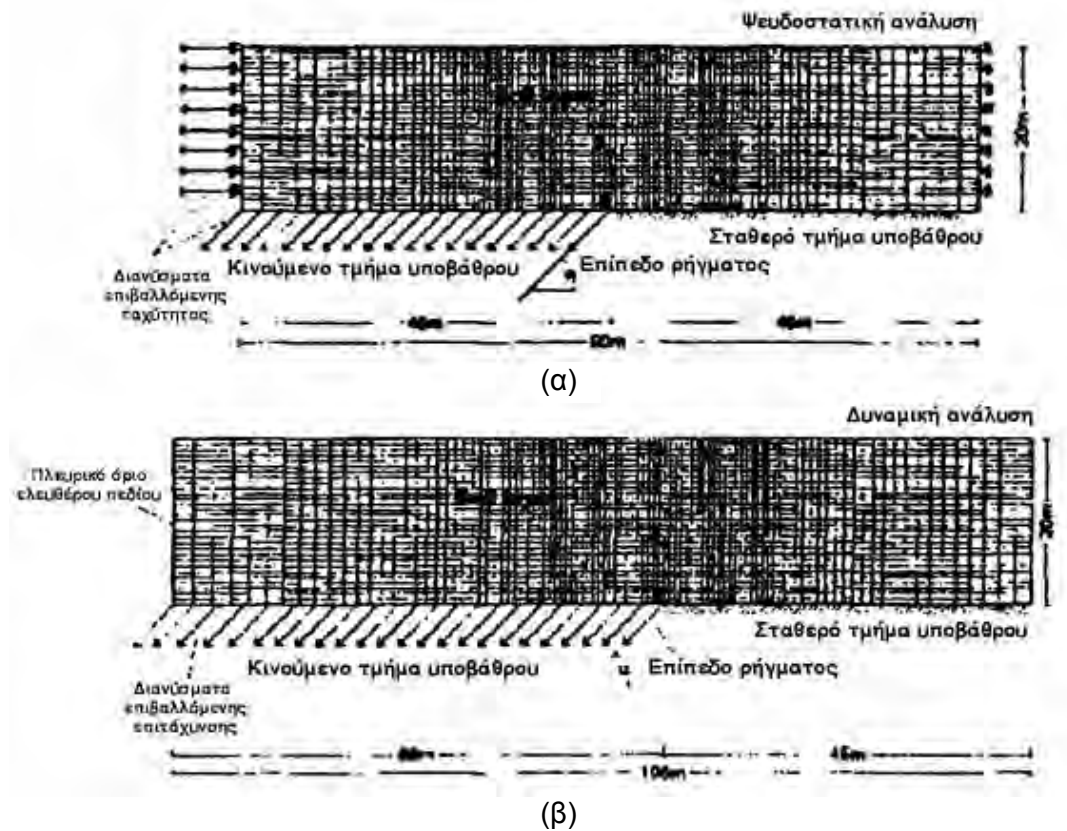


Σχήμα 2-32. Επίδραση του μεγέθους σεισμικής ολίσθησης, S , επάνω στο πλάτος της επικίνδυνης ζώνης $B_{0.002}$ (ή $B_{2\%}$) για (α) κανονικά και (β) ανάστροφα ρήγματα και σκληρό συνεκτικό έδαφος (Λεωνίδου, 2000)

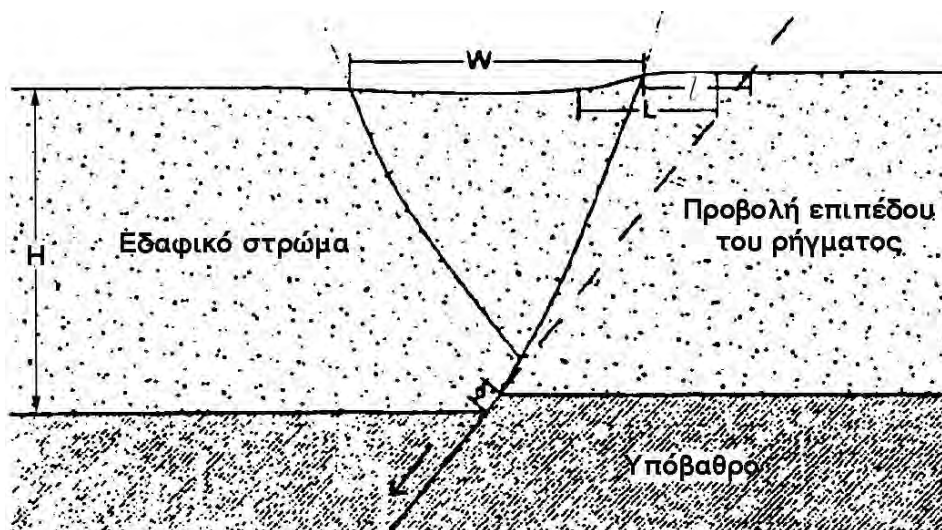
Πιο συγκεκριμένα, η απόσταση, l , του ίχνους του ρήγματος στην επιφάνεια του εδάφους από το σημείο τομής της ευθύγραμμης επέκτασης του ρήγματος του υποβάθρου με την επιφάνεια του εδάφους βρέθηκε ότι είναι μεγαλύτερη (κυμαίνεται από $0.4H$ έως $0.65H$ για κανονικά ρήγματα και $0.15H$ έως $0.35H$ για αντίστροφα ρήγματα) για εδάφη με υψηλότερη τιμή της γωνίας διασταλτικότητας και για την περίπτωση κανονικών ρηγμάτων με μικρή γωνία κλίσης (Σχ. 2-35). Παρατηρήθηκε, επίσης, σε αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε κανονικά ρήγματα με γωνία κλίσης μικρότερη ή ίση των 45° , η εμφάνιση δευτερεύουσας διάρρηξης η οποία διαδίδεται κατά αντίθετη διεύθυνση σε σχέση με αυτή του κυρίου ρήγματος καθώς και ο σχηματισμός τάφρου (graben) όταν η γωνία κλίσης του ρήγματος είναι μικρότερη από $45^\circ + \psi/2$ (Σχ. 2-36).

Τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων της ανωτέρω διερεύνησης έδειξαν ότι στην περίπτωση των ανάστροφων ρηγμάτων, παρατηρείται τοπική ενίσχυση (έως 1.6-1.7) της επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους και σε ζώνη εύρους $1.0H$ έως $1.3H$ στην περιοχή του ίχνους του ρήγματος. Μεγαλύτερη ενίσχυση της επιτάχυνσης εμφανίζεται όταν η διάδοση των ανάστροφων ρηγμάτων πραγματοποιείται διαμέσου πυκνών εδαφικών στρώσεων (Σχ. 2-37).

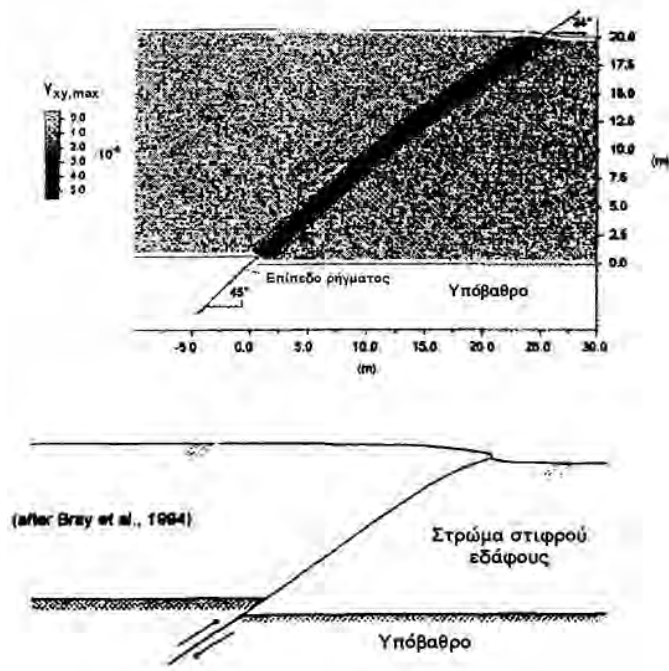
Από όσα εκτέθηκαν στο παρόν κεφάλαιο προκύπτει το συμπέρασμα ότι το πρόβλημα της διάδοσης των σεισμικών ρηγμάτων υποβάθρου στους υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς άρχισε να μελετάται πριν από 30, περίπου, χρόνια. Το κίνητρο και το αντικείμενο των ερευνητών αποτέλεσε η επινόηση μέτρων για την αποφυγή ή τον μετριασμό των επιπτώσεων της διάδοσης της διάρρηξης στις κατασκευές που εδράζονται στην περιοχή του ρήγματος. Οι πρώτες ερευνητικές προσπάθειες είχαν ως στόχο κυρίως την επιβεβαίωση των δυνατοτήτων της μεθοδολογίας ανάλυσης και τον



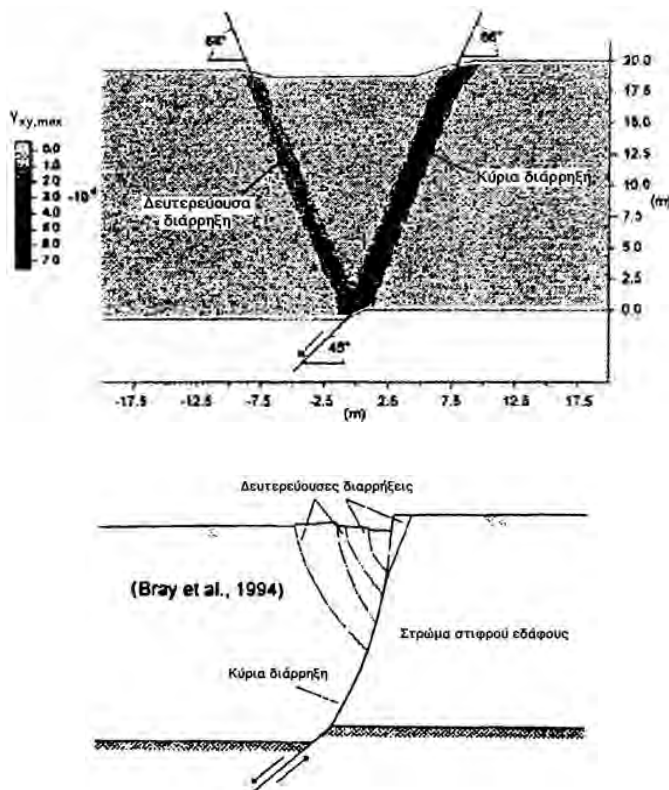
Σχήμα 2-33. Δίκτυα πεπερασμένων διαφορών για τη διεξαγωγή ψευδοστατικών και δυναμικών αναλύσεων για την περίπτωση κανονικού ρήγματος (Loukidis and Bouckovalas, 2001)



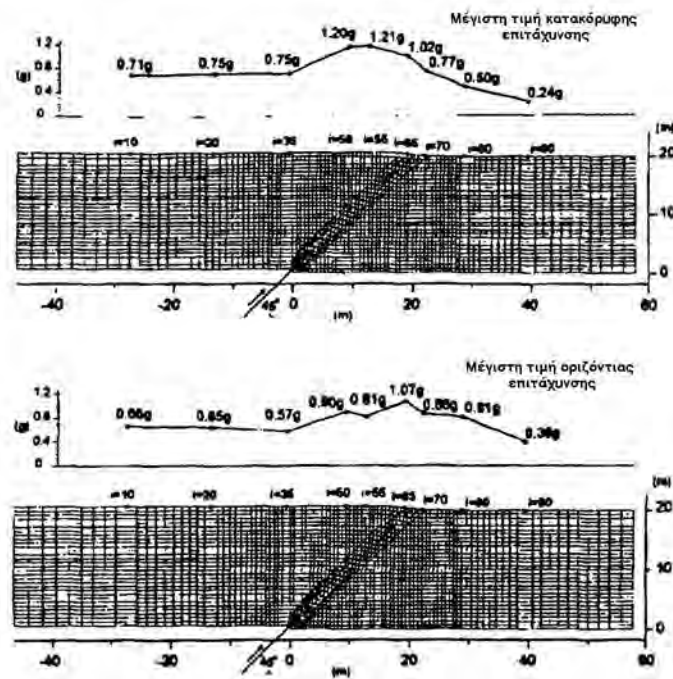
Σχήμα 2-34. Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της διάδοσης ρήγματος (Loukidis and Bouckovalas, 2001)



Σχήμα 2-35. Κατανομή μέγιστων τιμών διατμητικών παραμορφώσεων από αναλύσεις ανάστροφου ρήγματος κλίσης 45° και αμμώδους εδάφους ($\psi=20^\circ$) και σύγκριση με παρατηρήσεις πεδίου (Loukidis and Bouckovalas, 2001)



Σχήμα 2-36. Κατανομή μέγιστων τιμών διατμητικών παραμορφώσεων από αναλύσεις κανονικού ρήγματος κλίσης 45° και αμμώδους εδάφους ($\psi=20^\circ$) και σύγκριση με παρατηρήσεις πεδίου (Loukidis and Bouckovalas, 2001)



Σχήμα 2-37. Κατανομή επιταχύνσεων κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους από αναλύσεις ανάστροφου ρήγματος κλίσης 45° σε αμμώδες έδαφος ($\psi=10^\circ$) (Loukidis and Bouckovalas, 2001)

εντοπισμό της θέσης της εδαφικής επιφάνειας στην οποία εμφανίζεται η διάρρηξη (όταν αυτή εκτείνεται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους). Πρωταγωνιστικό ρόλο στις διερευνήσεις φαίνεται ότι διαδραμάτισε η εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, χρήσιμα όμως αποτελέσματα προέκυψαν και από την εφαρμογή αναλύσεων πλαστικής ισορροπίας ή οριακής κατάστασης.

Κατά την τελευταία δεκαετία, οι διερευνήσεις επεκτάθηκαν στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η εδαφική διάρρηξη δεν εκτείνεται μέχρι την επιφάνεια, δημιουργεί όμως επιφανειακές παραμορφώσεις μεγέθους τέτοιου ώστε να απειλείται η λειτουργικότητα ή και η ακεραιότητα των οικοδομικών έργων της επιφάνειας. Τα αποτελέσματα των ερευνητικών προσπαθειών δεν έχουν μέχρι τώρα ενσωματωθεί στους Αντισεισμικούς Κανονισμούς και ορισμένες κανονιστικές διατάξεις (κυρίως στις Η.Π.Α.) φαίνεται να στερούνται κατάλληλης τεκμηρίωσης. Το κυριότερο όμως συμπέρασμα που προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι ότι δεν έχει διεξαχθεί μέχρι σήμερα μια συστηματική και συνεπής παραμετρική διερεύνηση του φαινομένου η οποία να στοχεύει στον πρακτικό στόχο του καθορισμού του εύρους και της θέσης επικίνδυνης επιφανειακής ζώνης με βάση έναν ελάχιστο αριθμό δεδομένων για το ρήγμα του υποβάθρου και του είδους του εδάφους. Η ανωτέρω διαπιστωθείσα έλλειψη δεδομένων και στοιχείων αποτέλεσε το κίνητρο για την εκπόνηση του παρόντος ερευνητικού προγράμματος.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της διάδοσης της διάρρηξης ρήγματος κλίσης του βραχώδους υποβάθρου διαμέσου υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην εξιδανίκευση του φαινομένου και στην προσομοίωση και ανάλυσή του με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στην αρχή παρουσιάζεται το απλοποιημένο προσομοίωμα του φυσικού προβλήματος, το οποίο περιλαμβάνει οριζόντια στρώση εδάφους υπερκείμενη απαραμόρφωτης βάσης. Στη συνέχεια ορίζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ρήγματος υποβάθρου και των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών. Η διεξαγωγή διερευνήσεων για την επιρροή των ανωτέρω παραμέτρων αποτέλεσε το κυριότερο αντικείμενο της παρούσας έρευνας. Παρουσιάζονται επίσης οι παράμετροι εκείνες με τις οποίες περιγράφονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων και οι οποίες χρησιμοποιούνται για την οριοθέτηση των επικίνδυνων (κρίσιμων) ζωνών της επιφάνειας του εδάφους. Τέλος, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων του λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος και τη διεξαγωγή των παραμετρικών αναλύσεων.

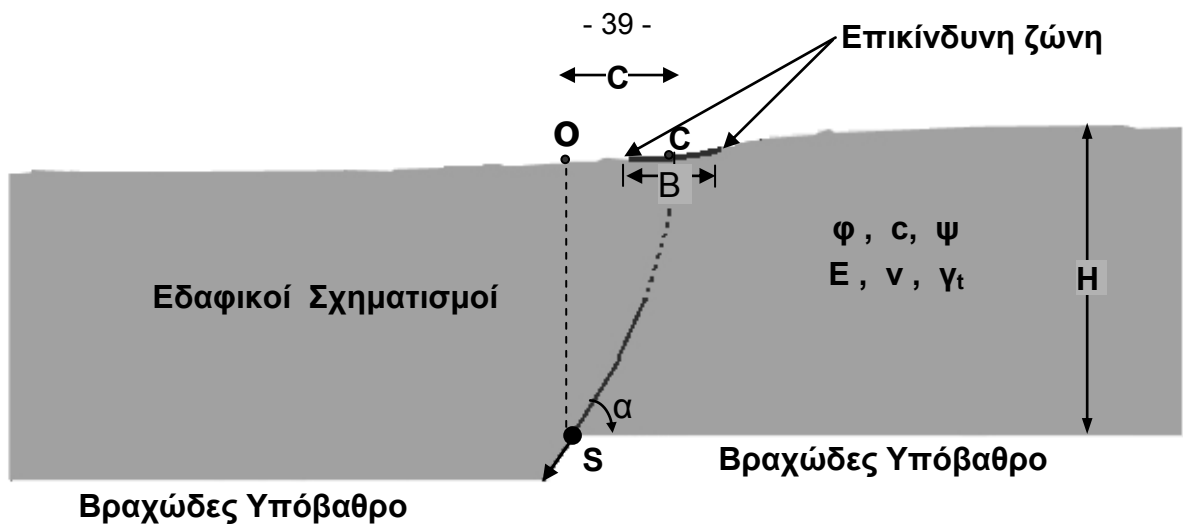
3.1. Εξιδανίκευση του Φυσικού Προβλήματος

Όπως φάνηκε από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, η διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων κλίσης του υποβάθρου αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο χαρακτηριζόμενο από ποικιλία οριακών συνθηκών και γεωμετριών. Για την επίτευξη του στόχου του ερευνητικού προγράμματος έγινε αναγκαία η εξιδανίκευση του φαινομένου και η μελέτη του με τη βοήθεια της προσομοίωσης του Σχ. 3-1. Γίνεται δηλαδή δεκτό ότι η επιφάνεια του βραχώδους υποβάθρου είναι οριζόντια και υπόκειται ενός ισοπαχούς εδαφικού στρώματος πάχους H και μήκους τέτοιου ώστε οι συνθήκες των άκρων να μην επηρεάζουν την εξέλιξη του φαινομένου της διάδοσης της διάρρηξης. Οι παράμετροι

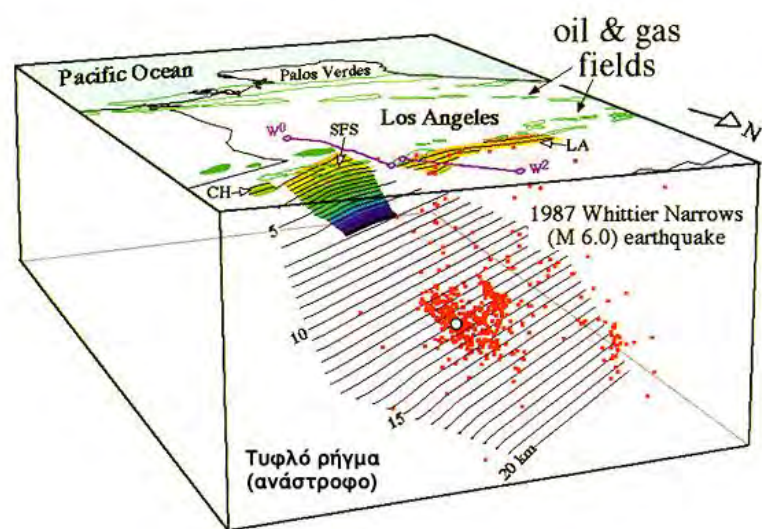
Το διάγραμμα του Σχ. 3-2 αποτελεί επέκταση του αντίστοιχου διαγράμματος του Σχ. 3-1 και υποδεικνύει ότι κατά μήκος μιας ζώνης της επιφάνειας του εδάφους με πλάτος Β ενδέχεται οι διαφορικές καθιζήσεις να γίνουν τόσο έντονες ώστε η προκύπτουσα γωνιακή παραμόρφωση, β , και οι οριζόντιες εφελκυστικές ή συμπιεστικές παραμορφώσεις του συστήματος θεμελίωσης να γίνουν επικίνδυνες για την ακεραιότητα των κατασκευών (μεγαλύτερες των επιτρεπομένων τιμών). Για την οριοθέτηση της επικίνδυνης αυτής ζώνης είναι αναγκαίος ο καθορισμός του πλάτους της καθώς και η θέση της σε σχέση με τη θέση του ρήγματος. Για τον καθορισμό της θέσης της επικίνδυνης ζώνης στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς το σημείο της κατακόρυφης προβολής της κορυφής του ρήγματος υποβάθρου στην επιφάνεια του εδάφους (σημείο Ο) (Cole and Lade, 1984, Αθανασόπουλος και Λεωνίδου, 1994, Athanasopoulos and Leonidou, 1996, Leonidou, 2000, Bray 2001). Συγκεκριμένα, καθορίζεται η απόσταση C, του μέσου της επικίνδυνης ζώνης από το σημείο Ο.

Με βάση τα ανωτέρω προκύπτει ότι η δυνατότητα της οριοθέτησης της ζώνης επικινδυνότητας βλαβών, εξαρτάται από τη δυνατότητα καθορισμού τη θέσης του σημείου Ο στην επιφάνεια του εδάφους. Στις περιπτώσεις γνωστών τυφλών ρηγμάτων (δηλαδή ρηγμάτων που έχουν διεγερθεί στο παρελθόν και έχουν δώσει σεισμούς) είναι δυνατός ο καθορισμός της θέσης της επιφάνειας του ρήγματος στο χώρο με την επεξεργασία της κατανομής στο χώρο των υποκέντρων των κυρίων σεισμών και μετασεισμών. Στο Σχ. 3-3 παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις ρηγμάτων κλίσης, το επίπεδο των οποίων στο χώρο, καθορίζεται από τη θέση των υποκέντρων καταγεγραμμένων σεισμών. Στο Σχ. 3-3(α) παρουσιάζεται το τυφλό ανάστροφο ρήγμα που προκάλεσε το σεισμό ($M=6.0$) του Whittier Narrows (1987) (Civil Engineering, 1999). Στην περίπτωση αυτή η επέκταση του επιπέδου ρήγματος προς την επιφάνεια του εδάφους επιβεβαιώθηκε και από τα αποτελέσματα γεωφυσικών δοκιμών. Στο Σχ. 3-3(β) παρουσιάζεται η περίπτωση του κανονικού ρήγματος του Αιγίου (<http://www.corinth-rift-lab.org>), επιφανειακή εμφάνιση του οποίου θεωρείται ότι αποτελεί ο γνωστός αναβαθμός ύψους 80m, περίπου, που ευρίσκεται σε μικρή απόσταση από το θαλάσσιο μέτωπο της παραλιακής ζώνης της πόλης. Σε περιπτώσεις όπως αυτές του Σχ. 3-3, εφόσον είναι γνωστή και η επιφανειακή εδαφική στρωματογραφία, με βάση γεωτεχνικές και γεωλογικές τομές, είναι δυνατός ο καθορισμός της θέσης του σημείου Ο. Εννοείται ότι η αβεβαιότητα η οποία συνοδεύει τον καθορισμό της θέσης του σημείου Ο μεταφέρεται και στον καθορισμό της θέσης της ζώνης επικινδυνότητας βλαβών.

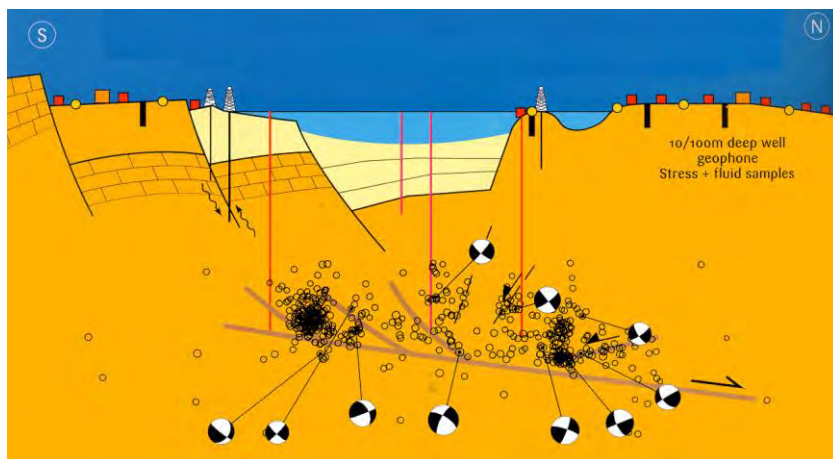
Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης το γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις της πράξης, ενδέχεται η κορυφή του ρήγματος υποβάθρου να μην αποτελεί συγκεκριμένο σημείο αλλά ολόκληρη περιοχή πολλαπλής διάρρηξης (βλ. Pavlides, 1993, για την περίπτωση



Σχήμα 3-2. Ορισμός των βασικών παραμέτρων της ανάλυσης και γεωμετρικών μεγεθών



(α)



(β)

Σχήμα 3-3. Καθορισμός της θέσης στο χώρο του επιπέδου ρήματος κλίσης με αξιοποίηση της θέσης των υποκέντρων καταγεγραμμένων σεισμικών γεγονότων (α) τυφλό ανάστροφο ρήγμα, Καλιφόρνια (ΗΠΑ) (β) κανονικό ρήγμα Αιγίου (<http://www.corinth-rift-lab.org>)

του Ελληνικού χώρου). Στις περιπτώσεις αυτές η θέση της ζώνης επικινδυνότητας βλαβών δεν είναι δυνατό να καθορισθεί με προσέγγιση καλύτερη από το εύρος της ζώνης διάρρηξης του υποβάθρου. Τέλος, στην περίπτωση ρηγμάτων με επιφανειακή εμφάνιση του ίχνους τους, η οριοθέτηση της επικίνδυνης ζώνης είναι δυνατή με βάση το σημείο (της οποίας το εύρος έχει ήδη υπολογισθεί) εμφάνισης της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης.

3.2. Διερευνώμενες και Χρησιμοποιούμενοι Παράμετροι

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, προκύπτει ότι το φαινόμενο της διάδοσης της διάρρηξης υποβάθρου διαμέσου των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών αναμένεται να επηρεάζεται από έναν ικανό αριθμό παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν το πάχος H του εδαφικού σχηματισμού, το είδος του ρήγματος κλίσης (κανονικό ή ανάστροφο), την κλίση α του ρήγματος στη διεπιφάνεια βραχώδους υποβάθρου-εδαφικού στρώματος, το μέγεθος της ολίσθησης του ρήγματος, S , και το είδος και τα χαρακτηριστικά του υπερκειμένου εδάφους (συνεκτικό έδαφος, μη-συνεκτικό έδαφος). Οι ανωτέρω παράμετροι αναμένεται να επηρεάζουν τον τρόπο της διάδοσης της διάρρηξης διαμέσου του εδάφους από την οποία εξαρτάται η θέση και το εύρος της επικίνδυνης ζώνης. Αντικείμενο της έρευνας αποτέλεσε η συστηματική διερεύνηση της επιρροής των ανωτέρω παραμέτρων και η αναγνώριση των πλέον σημαντικών από αυτές.

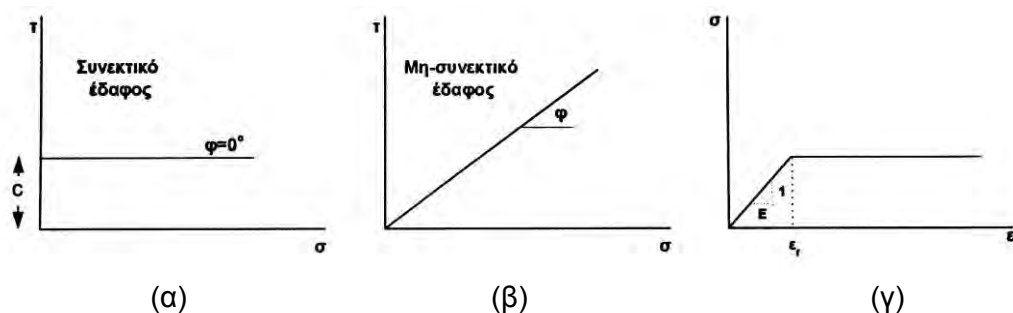
Για τη διερεύνηση της επιρροής του πάχους του εδαφικού στρώματος, H , στο φαινόμενο, χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις τρεις διαφορετικές τιμές: $H=20\text{m}$, 100m και $H=400\text{m}$. Οι αναλύσεις διεξήχθησαν τόσο για την περίπτωση των κανονικών όσο και των ανάστροφων ρηγμάτων και για τις δύο κατηγορίες εδαφών (συνεκτικών και μη-συνεκτικών). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών παρουσιάζονται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, που έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της αξιοπιστίας της χρησιμοποιηθείσας μεθόδου ανάλυσης.

Για τη διερεύνηση της επιρροής της κλίσης του ρήγματος διεξήχθησαν παραμετρικές διερευνήσεις τόσο για την περίπτωση των κανονικών όσο και των ανάστροφων ρηγμάτων. Για την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων η τιμή της γωνίας α κυμάνθηκε από 45° έως 80° ενώ για τα ανάστροφα ρήγματα η τιμή του α κυμάνθηκε από 20° έως 50° . Οι ανωτέρω τιμές της γωνίας α επελέγησαν με βάση όσα αναφέρθηκαν στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 σχετικά με τις μετρηθείσες τιμές κλίσης σε μεγάλο αριθμό ρηγμάτων.

Το μέγεθος της ολίσθησης του ρήγματος, S , αποτέλεσε, επίσης, αντικείμενο παραμετρικών διερευνήσεων. Όπως αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 το μέγεθος της

ολίσθησης του ρήγματος εξαρτάται από το μέγεθος M_w του αντίστοιχου σεισμικού γεγονότος. Στην παρούσα έρευνα οι αναλύσεις διεξήχθησαν για τιμές του S από 0.2m έως 5.0m οι οποίες αντιστοιχούν σε μεγέθη σεισμού $M_w=5.7$ έως 7.5.

Κατά την οργάνωση του προγράμματος των παραμετρικών διερευνήσεων η επιλογή των παραμέτρων εκείνων οι οποίες θα χαρακτήριζαν το εδαφικό υλικό αποτέλεσε αντικείμενο προβληματισμού. Πρόκειται για παραμέτρους τόσο αντοχής όσο και παραμορφωσιμότητας, οι τιμές των οποίων διαφοροποιούνται για τις δύο κύριες κατηγορίες των εδαφικών υλικών (συνεκτικά και μη-συνεκτικά εδάφη). Ο αριθμός των παραμετρικών αναλύσεων για τόσο μεγάλο αριθμό παραμέτρων θα ήταν ιδιαίτερα αυξημένος και θα επροστίθετο στον ήδη μεγάλο αριθμό των απαιτούμενων αναλύσεων για τις υπόλοιπες παραμέτρους που υπεισέρχονται στην ανάλυση του προβλήματος της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος. Θα ήταν επίσης δυσχερής η παραγωγή πρακτικά αξιοποιήσιμων διαγραμμάτων για την εφαρμογή των αποτελεσμάτων των αναλύσεων στις εφαρμογές της πράξης. Για την αντιμετώπιση του ανωτέρου προβλήματος αποφασιστικό ρόλο έπαιξε η παρατήρηση άλλων ερευνητών ότι η πλέον σημαντική εδαφική παράμετρος κατά την ανάλυση της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος είναι η αξονική παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , δοκιμίου υποβαλλόμενου σε τριαξονική φόρτιση (Bray et al., 1994a, Bray, 2001). Με βάση την ανωτέρω παρατήρηση, αποφασίσθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα έρευνα ελαστοπλαστική συμπεριφορά εδάφους τόσο για τα συνεκτικά όσο και τα μη-συνεκτικά υλικά σε συνδυασμό με κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb, Σχ. 3-4. Η αναφερθείσα αξονική παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , ορίζεται στο Σχ. 3-4(γ). Με σκοπό την περισσότερη ρεαλιστική προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδαφικού στρώματος που υπέρκειται του βραχώδους υποβάθρου γίνεται επίσης δεκτό ότι ισχύει ανομοιογένεια, δηλαδή ότι τόσο η διατμητική αντοχή όσο και το μέτρο ελαστικότητας αυξάνονται γραμμικά με το βάθος. Αποδεικνύεται στα επόμενα ότι η παράμετρος ϵ_f είναι συνάρτηση ενός αριθμού άλλων εδαφικών παραμέτρων και είναι δυνατόν επομένως να χρησιμοποιηθεί ως η μοναδική παράμετρος περιγραφής της συμπεριφοράς του υλικού του εδαφικού στρώματος τόσο για τα συνεκτικά όσο και τα μη-συνεκτικά εδάφη.



Σχήμα 3-4. Περιβάλλουσες αστοχίας (α) συνεκτικού εδάφους (β) μη-συνεκτικού εδάφους και (γ) ελαστοπλαστική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων

3.2.1. Περίπτωση Συνεκτικού Εδάφους ($c \neq 0$, $\varphi = 0$)

Γίνεται δεκτό ότι οι τιμές τόσο της συνοχής, c , όσο και του μέτρου ελαστικότητας, E , αυξάνονται γραμμικά με το βάθος. Στις ενότητες που ακολουθούν εισάγονται οι δευτερεύουσες παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή αυτής της συμπεριφοράς.

Αύξηση της συνοχής, c

Γίνεται δεκτό ότι η συνοχή του εδαφικού στρώματος αυξάνεται γραμμικά με το βάθος, με τον τρόπο που παρουσιάζεται στο Σχ. 3-5. Στην παρούσα έρευνα αποφασίσθηκε η τιμή του συντελεστή επιφανειακής συνοχής, a_0 , να ληφθεί ίση με 0.5 (γίνεται δηλαδή δεκτό ότι η τιμή της συνοχής στη βάση του εδαφικού στρώματος είναι διπλάσια αυτής που ισχύει για την επιφάνεια). Επίσης, ο ρυθμός αύξησης της τιμής της συνοχής με το βάθος περιγράφεται με την παράμετρο κ , η οποία ορίζεται στην Εξ. 3-1:

$$\kappa = \frac{c}{p'} \quad (3-1)$$

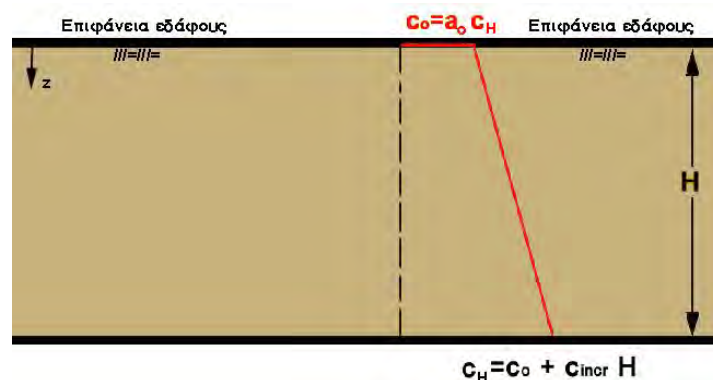
όπου: p' = μέση τιμή τάσης σε βάθος z

c = τιμή της συνοχής σε βάθος z

Η μέση τιμή της τάσης p' , δίνεται από την Εξ. 3-2 και Εξ. 3-3:

$$p' = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} \quad (3-2)$$

Στην παρούσα έρευνα η τιμή της παραμέτρου κ θεωρήθηκε σταθερή και ίση με $\kappa = 0.2$. Η τιμή αυτή προκύπτει για κανονικά στερεοποιημένα φυσικά συνεκτικά εδάφη με δείκτη πλαστικότητας $PI = 20$, με βάση δημοσιευμένα στοιχεία (Terzaghi and Peck, 1967).



Σχήμα 3-5. Γραμμική αύξηση με το βάθος της συνοχής του εδαφικού στρώματος

$$\sigma_h = K_o \cdot \sigma_v \quad (3-3)$$

όπου: K_o = συντελεστής πλευρικών τάσεων σε ηρεμία

Με αντικατάσταση στην Εξ. 3-1 προκύπτει ότι:

$$K = \frac{2c}{\sigma_v + K_o \cdot \sigma_v} \quad \text{οπότε} \quad c_z = \frac{K \cdot \sigma_{vz} \cdot (1 + K_o)}{2}, \text{ από την οποία προκύπτει:}$$

$$c_H = \frac{K \cdot \sigma_v \cdot (1 + K_o)}{2} \quad (3-4)$$

Η συνοχή στη βάση του εδαφικού στρώματος θα δίνεται από την Εξ. 3-5:

$$c_H = c_o + c_{incr} \cdot H \quad (3-5)$$

$$\text{όπου: } c_o = a_o \cdot c_h \quad (3-6)$$

Εξισώνοντας την τιμή του c_H από τις Εξ. 3-4 και Εξ. 3-5 προκύπτει:

$$\frac{K \cdot \sigma_v \cdot (1 + K_o)}{2} = c_o + c_{incr} \cdot H \quad \text{ή}$$

$$\frac{K \cdot \gamma \cdot H \cdot (1 + K_o)}{2} = c_o + c_{incr} \cdot H, \text{ οπότε:}$$

$$c_{incr} = \frac{K \cdot \gamma \cdot (1 + K_o)}{2} - \frac{c_o}{H} \quad (3-7)$$

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις αναλύσεις η τιμή $K=0.2$. Επίσης, η τιμή του συντελεστή πλευρικών τάσεων σε ηρεμία, για λόγους που εξηγούνται στα επόμενα, λαμβάνεται ίση με $K_o=0.7$. Τέλος, η τιμή του ειδικού βάρους θεωρείται σταθερή σε όλες τις αναλύσεις και ίση με $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ (χρησιμοποιείται επίσης η τιμή $\nu=0.3$). Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, αποφασίσθηκε να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις αναλύσεις η τιμή $a_o=0.5$. Με χρησιμοποίηση των ανωτέρω τιμών, προέκυψε σε κάθε ανάλυση η τιμή της c_H (από την Εξ. 3-4), της c_o (από την Εξ. 3-6) και του c_{incr} (από την Εξ. 3-7).

Είναι γνωστό ότι κατά τις αριθμητικές αναλύσεις της συμπεριφοράς του εδάφους κάτω από συνθήκες επιβαλλομένων τάσεων ή παραμορφώσεων είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της εντατικής κατάστασης κάθε εδαφικού στοιχείου υπό το καθεστώς των

προϋπαρχουσών αρχικών συνθηκών. Σε πολλές περιπτώσεις αναλύσεων με τη ΜΠΣ, ο υπολογισμός της αρχικής εντατικής κατάστασης οδηγεί στην εμφάνιση περιοχών με έντονη πλαστικοποίηση (plastic points). Η ανάπτυξη τέτοιων περιοχών αποτελεί ανυπέρβλητο εμπόδιο για την περαιτέρω εφαρμογή της εξαναγκασμένης μετακίνησης ή φόρτισης και για το λόγο αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται με κατάλληλη επιλογή της χρησιμοποιούμενης τιμής του K_o . Όπως αποδεικνύεται παρακάτω, η τιμή του συντελεστή K_o συναρτάται μονοσήμαντα με την τιμή του συντελεστή κ , οπότε είναι δυνατή η επιλογή της τιμής του K_o για την οποία διασφαλίζεται η μη-ανάπτυξη σημείων πλαστικοποίησης στην εξεταζόμενη περιοχή του εδάφους.

Μέχρι την αστοχία ισχύει η σχέση:

$$c = \frac{\Delta\sigma}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3-8)$$

όπου: $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 =$ εκτροπική τάση και
 $\sigma_1 = \gamma H$, $\sigma_3 = K_o \sigma_1$

Για να αποφευχθεί η εμφάνιση περιοχών έντονης πλαστικοποίησης θα πρέπει:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \leq c &= c_o + c_{incr} \cdot H \quad \text{ή} \quad \frac{\sigma_1 - K_o \cdot \sigma_1}{2} \leq c_o + c_{incr} \cdot H \quad \text{ή} \\ \frac{\gamma \cdot H - K_o \cdot \gamma \cdot H}{2} &\leq c_o + c_{incr} \cdot H \quad \text{ή} \quad \frac{\gamma \cdot H \cdot (1 - K_o)}{2} \leq c_o + c_{incr} \cdot H \quad \text{ή} \\ \frac{\gamma \cdot (1 - K_o)}{2} &\leq \frac{c_o}{H} + c_{incr} \quad \text{ή} \\ \frac{\gamma \cdot (1 - K_o)}{2} - \frac{c_o}{H} &\leq c_{incr} \end{aligned} \quad (3-9)$$

$$\frac{\gamma - \gamma \cdot K_o}{2} - \frac{c_o}{H} \leq c_{incr} \quad \text{ή} \quad 1 - K_o \leq \frac{2 \cdot c_{incr}}{\gamma} + \frac{2 \cdot c_o}{\gamma \cdot H} \quad \text{και τελικά}$$

$$K_o \geq 1 - \frac{2 \cdot c_{incr}}{\gamma} - \frac{2 \cdot c_o}{\gamma \cdot H} \quad (3-10)$$

Με αντικατάσταση της τιμής του συντελεστή c_{incr} στην Εξ. 3-10 προκύπτει:

$$\frac{\gamma \cdot (1-K_o)}{2} - \frac{c_o}{H} \leq \frac{\kappa \cdot \gamma \cdot (1+K_o)}{2} - \frac{c_o}{H} \quad \text{ή} \quad 1-K_o \leq \kappa \cdot (1+K_o) \quad \text{οπότε}$$

$$\kappa \geq \frac{1-K_o}{1+K_o} \quad (3-11)$$

Με βάση τις προηγηθείσες εξισώσεις διαπιστώνεται ότι οι τιμές $\kappa=0.2$ και $K_o=0.7$ ικανοποιούν την Εξ. 3-11.

Αύξηση του μέτρου ελαστικότητας, E

Γίνεται δεκτό ότι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας, E, αυξάνεται γραμμικά με το βάθος, με τρόπο ανάλογο αυτού της συνοχής:

$$E_H = E_o + E_{incr} H \quad (3-12)$$

όπου: E_H = μέτρο ελαστικότητας στη βάση του στρώματος

E_o = μέτρο ελαστικότητας στην επιφάνεια του στρώματος

E_{incr} = ρυθμός αύξησης του E με το βάθος

Μέχρι την αστοχία θα ισχύει ότι:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\epsilon_f} \quad (3-13)$$

είναι όμως $c = \frac{\Delta \sigma}{2}$, οπότε: (3-14)

$$E = \frac{2 \cdot c}{\epsilon_f} \quad (3-15)$$

Εάν δεχθούμε ότι στην επιφάνεια του εδάφους η τιμή της συνοχής είναι $c=c_o=a_o c_H$, ενώ στη βάση του στρώματος $c=c_H$, τότε η Εξ. 3-15 δίνει ότι:

Στην επιφάνεια του στρώματος, η τιμή του E_o θα είναι:

$$E_o = \frac{2 \cdot c_o}{\epsilon_f} = \frac{2 \cdot a_o \cdot c_H}{\epsilon_f} \quad (3-16)$$

ενώ στη βάση του στρώματος θα είναι:

$$E_H = \frac{2 \cdot c_H}{\epsilon_f} \quad (3-17)$$

όπου: a_o = συντελεστής συνοχής

c_H = τιμή της συνοχής στη βάση του στρώματος

Αντικαθιστώντας στην Εξ. 3-12 τις Εξ. 3-4, 3-16 και 3-17, προκύπτει ότι:

$$\varepsilon_f = \frac{2 \cdot c_H \cdot (1 - a_o)}{E_{incr} \cdot H} \quad \text{ή} \quad \varepsilon_f = \frac{2 \cdot c_H \cdot (1 - a_o)}{E_{incr} \cdot H}$$
$$\varepsilon_f = \frac{\kappa \cdot \gamma \cdot (1 + K_o) \cdot (1 - a_o)}{E_{incr}} \quad (3-18)$$

Παρατηρείται ότι η τιμή του ε_f που προκύπτει από την Εξ. 3-18, συναρτάται με τη συνδυασμένη επιρροή ενός αριθμού σημαντικών παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται η συμπεριφορά του εδάφους: K_o , κ , E_{incr} και a_o . Στην παρούσα έρευνα, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, έγινε η παραδοχή ότι $\kappa=0.2$ και $a_o=0.5$. Από την τιμή του κ προκύπτει και η τιμή του K_o η οποία μετά από μικρή στρογγύλευση λαμβάνεται ως $K_o=0.7$. Επομένως, εφόσον για ένα συγκεκριμένο έδαφος είναι γνωστή (π.χ. από τη γεωτεχνική έρευνα) η τιμή του ρυθμού αύξησης του μέτρου ελαστικότητας με το βάθος, E_{incr} , είναι δυνατός ο υπολογισμός της τιμής του ε_f . Κατά τον αντίθετο τρόπο, εφόσον είναι επιθυμητό στις αναλύσεις να χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένες τιμές του ε_f (π.χ. για την παραγωγή νομογραφημάτων), από την Εξ. 3-18, υπολογίζεται η τιμή του E_{incr} , ενώ από τις Εξ. 3-16 και 3-17 προκύπτουν οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας E_o , στην επιφάνεια και E_H στη βάση του εδαφικού στρώματος. Επιτυγχάνεται κατ' αυτόν τον τρόπο η απλοποιημένη περιγραφή της συμπεριφοράς του συνεκτικού εδάφους με μόνη την τιμή του ε_f . Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τις ακόλουθες τιμές του ε_f : 0.5%, 1.0%, 2.0%, 5.0% και 15.0%. Οι τιμές αυτές θεωρείται ότι καλύπτουν ικανοποιητικά από ψαθυρές έως πλάστιμες περιπτώσεις αστοχίας.

3.2.2. Περίπτωση Μη-Συνεκτικού Εδάφους ($\varphi \neq 0$, $c=0$)

Στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών γίνεται δεκτό ότι η τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής, φ , παραμένει σταθερή κατά την έννοια του βάθους ενώ η τιμή του μέτρου ελαστικότητας αυξάνεται γραμμικά με το βάθος, σύμφωνα με την Εξ. 3-12. Στην περίπτωση αυτή το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (3-19)$$

όπου: φ = γωνία εσωτερικής τριβής του εδαφικού υλικού

Επειδή κατά τις αριθμητικές αναλύσεις είναι αναγκαία η παραδοχή ότι το μη-συνεκτικό εδαφικό υλικό διαθέτει μία πολύ μικρή τιμή συνοχής, για την επίτευξη της αριθμητικής ευστάθειας της επίλυσης, η Εξ. 3-19 αντικαθίσταται με την Εξ. 3-20:

$$\frac{\sigma_3 + H'}{\sigma_1 + H'} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad \text{όπου:} \quad H' = \frac{c}{\tan\varphi} \quad \sigma_3 + H' = (\sigma_1 + H') \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad (3-20)$$

$$\sigma_3 = (\sigma_1 + H') \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} - H' \quad \text{ή} \quad \sigma_3 = \frac{(\sigma_1 + H')(1 - \sin\varphi) - H'(1 + \sin\varphi)}{1 + \sin\varphi}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\sigma_1(1 + \sin\varphi) - (\sigma_1 + H')(1 - \sin\varphi) + H'(1 + \sin\varphi)}{1 + \sin\varphi} = \frac{(\sigma_1 + H')(1 + \sin\varphi) - (\sigma_1 - H')(1 - \sin\varphi)}{1 + \sin\varphi}$$

$$\text{ή} \quad \Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{(\sigma_1 + H')(2\sin\varphi)}{1 + \sin\varphi} \quad \text{ή} \quad E_H = \frac{\Delta\sigma}{\varepsilon_f} = \frac{(\sigma_1 + H')}{\varepsilon_f} \cdot \frac{2\sin\varphi}{1 + \sin\varphi}$$

και τελικά:

$$\varepsilon_f = \frac{(\gamma \cdot H + H')}{E_H} \cdot \frac{2\sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \quad (3-21)$$

Παρατηρείται ότι και στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών η τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , που προκύπτει από την Εξ. 3-21, συναρτάται με τη συνδυασμένη επιρροή σημαντικών παραμέτρων, όπως η γωνία εσωτερικής τριβής, φ , η ορθή κατακόρυφη τάση, σ_v , σε συγκεκριμένο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους και η αντίστοιχη τιμή του μέτρου ελαστικότητας, E . Στην παρούσα έρευνα οι αναλύσεις διεξήχθησαν για $\varphi=35^\circ$, ($c=5\text{kN/m}^2$), $\gamma=20\text{kN/m}^3$ και $\nu=0.3$ και αποκτήθηκαν αποτελέσματα για τις ακόλουθες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: $\varepsilon_f=0.5\%$, 1.0% , 2.0% και 5.0% . Από την Εξ. 3-21 για δεδομένη τιμή της παραμέτρου ε_f , είναι δυνατός ο υπολογισμός τιμών τόσο για το E_H όσο και το E_o (θέτοντας $H=0$). Η τιμή του E_{incr} υπολογίζεται στη συνέχεια από την Εξ. 3-22:

$$E_{incr} = \frac{E_H - E_o}{H} \quad (3-22)$$

Σημειώνεται ότι για την περιγραφή της συμπεριφοράς των μη-συνεκτικών εδαφών, όπως είναι γνωστό, χρησιμοποιείται και η γωνία διασταλτικότητας, ψ , η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού και τη γωνία εσωτερικής τριβής, φ . Η τιμή της γωνίας ψ μπορεί να υπολογισθεί από την Εξ. 3-23 [Plaxis, 1995].

$$\psi \approx \varphi - 30^\circ \quad (3-23)$$

Στην παρούσα έρευνα διεξήχθησαν αναλύσεις για τις τιμές $\psi=0^\circ$, $\psi=5^\circ$ και $\psi=10^\circ$ ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της διασταλτικότητας στο μηχανισμό διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος κλίσης και στα αποτελέσματα σχετικά με το εύρος και τη θέση της επικίνδυνης ζώνης στην επιφάνεια του εδάφους. Διευκρινίζεται, επίσης, ότι όλες οι αναλύσεις διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας την τιμή $K_0=0.43$ για το συντελεστή πλευρικών τάσεων σε ηρεμία. Σημειώνεται ότι σε αυτή την κατηγορία εδαφών, η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται ώστε να αποκλείεται η δημιουργία έντονα πλαστικοποιημένων περιοχών στην εδαφική στρώση δίνεται στην Ανίσωση 3-24:

$$\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} < K_0 < \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} \quad (3-24)$$

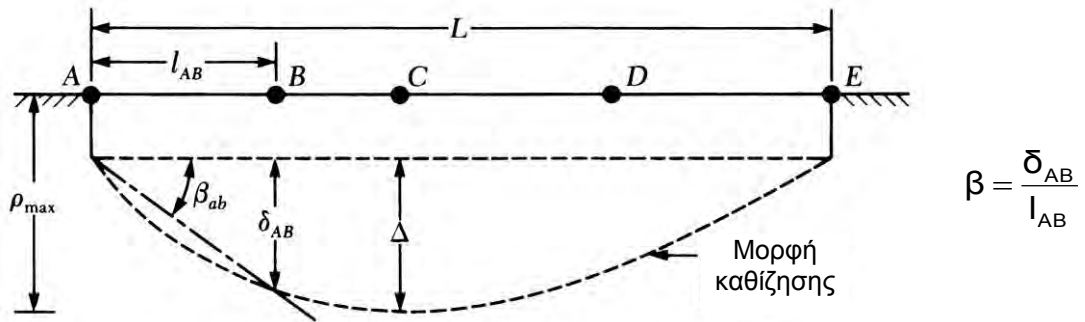
Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω, σχετικά με τον προβληματισμό της επιλογής των εδαφικών παραμέτρων για τις οποίες θα διεξήγοντο παραμετρικές αναλύσεις, είναι δυνατό να αναφερθούν τα εξής: η ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , αποδεικνύεται να είναι ιδιαίτερα κατάλληλη παράμετρος τόσο για τα συνεκτικά όσο και τα μη-συνεκτικά εδάφη γιατί εμπεριέχει τη συνδυασμένη επιρροή ενός αριθμού απλών παραμέτρων των οποίων οι τιμές μπορεί να αποκτηθούν σχετικά εύκολα για έναν εδαφικό σχηματισμό. Για το λόγο αυτό στην παρούσα έρευνα αποφασίσθηκε η χρήση της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , ως της μοναδικής παραμέτρου για την περιγραφή του είδους του εδάφους που συναντάται στο εξεταζόμενο πρόβλημα.

Στην παρούσα ενότητα, μέχρις αυτό το σημείο, έχει γίνει παρουσίαση των παραμέτρων εκείνων που αναμένεται να επηρεάζουν τη διάδοση της διάρρηξης ενός ρήγματος υποβάθρου προς την επιφάνεια του εδάφους, διαμέσου των υπερκειμένων εδαφικών σχηματισμών. Κύριο αντικείμενο του ερευνητικού προγράμματος αποτέλεσε η διεξαγωγή συστηματικών παραμετρικών αναλύσεων για την εξακρίβωση του βαθμού και του τρόπου επιρροής των ανωτέρω παραμέτρων στη διάδοση της διάρρηξης και την κατανομή των παραμορφώσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Για τη συμπλήρωση του περιεχομένου της ενότητας υπολείπεται πλέον η παρουσίαση των παραμέτρων εκείνων οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ποσοτική περιγραφή των εδαφικών μετακινήσεων και των επιπτώσεών τους στην ακεραιότητα και ασφάλεια των κατασκευών που ευρίσκονται στη ζώνη επιρροής της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος.

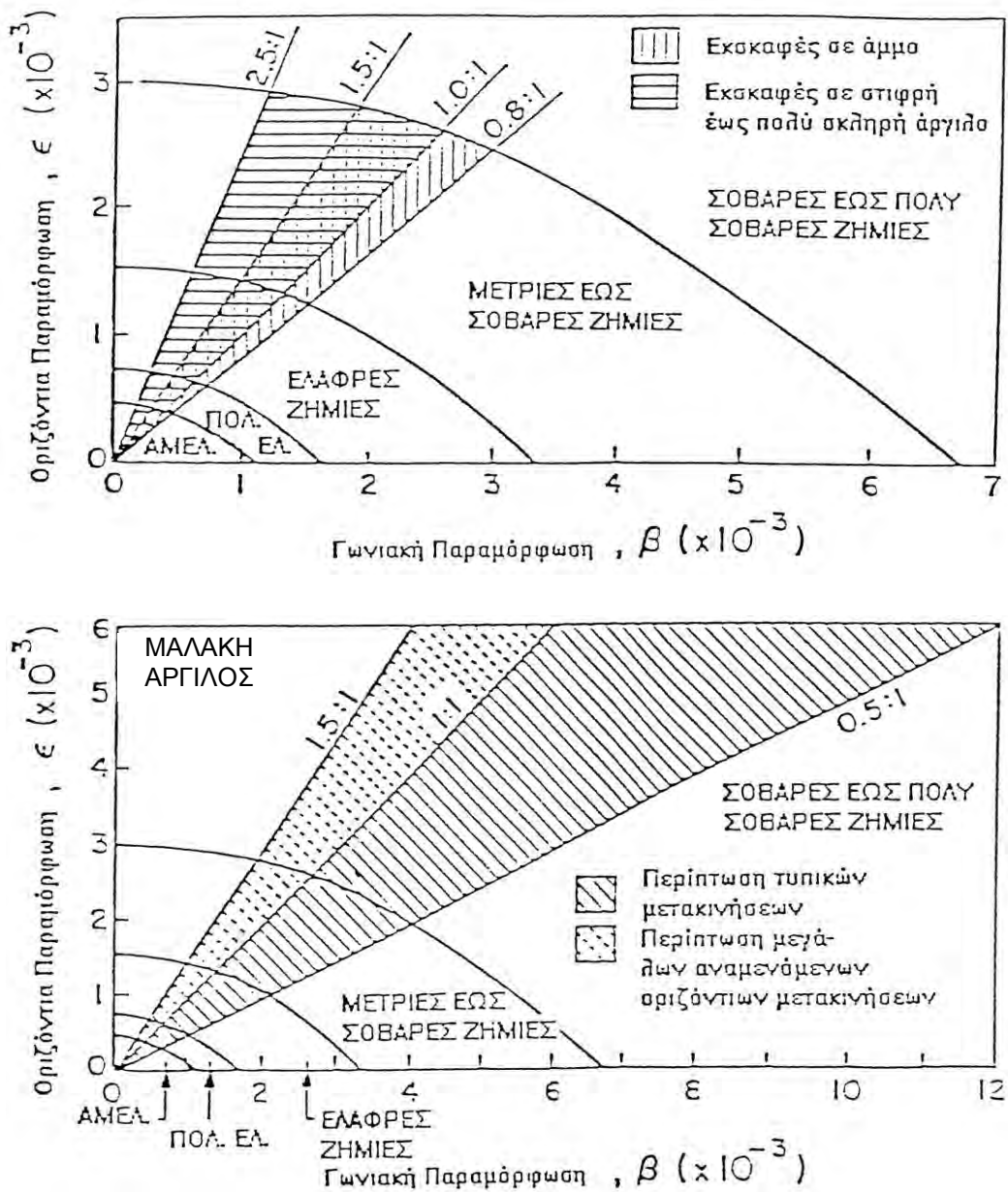
Είναι γνωστό ότι η λειτουργικότητα και η ακεραιότητα των κάθε είδους κατασκευών (οικοδομικά ή τεχνικά έργα) απειλείται όταν αναπτύσσονται μετακινήσεις του συστήματος θεμελίωσης οι οποίες οφείλονται σε αντίστοιχες μετακινήσεις του εδάφους θεμελίωσης του έργου [Skepton, 1956, Boone, 1996]. Η πλέον επικίνδυνη μορφή μετακινήσεων είναι αυτή που οδηγεί σε διαφορικές καθιζήσεις, δηλαδή διαφορετικές

μετακινήσεις γειτονικών σημείων. Για την περιγραφή των διαφορικών καθιζήσεων, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη απόσταση εμφάνισής τους χρησιμοποιείται η γωνιακή παραμόρφωση, β (angular distortion), βλ. Σχ. 3-6. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης χρησιμοποιείται τα τελευταία τριάντα χρόνια ως το κύριο κριτήριο για την εκτίμηση των αναμενόμενων βλαβών σε διάφορα είδη έργων [Bjerrum, 1963, Wahls, 1981, Wahls, 1994, Coduto, 2001, Bray 2001, Αθανασόπουλος, 1992]. Για την κατηγορία των οικοδομικών έργων ως επιτρεπόμενες τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης λαμβάνονται συνήθως οι τιμές $\beta_{cr}=1/500=2\text{‰}$ (η οποία παρέχει και έναν μη-καθοριζόμενο συντελεστή ασφάλειας έναντι ρηγμάτωσης των μη-φερόντων στοιχείων) και $\beta_{cr}=1/300=3.3\text{‰}$ (η οποία αποτελεί το μέγιστο όριο για την αποφυγή εμφάνισης ρηγματώσεων). Κατά την τελευταία δεκαετία άρχισε να αναγνωρίζεται η συμβολή και των οριζοντίων διαφορικών μετακινήσεων (οριζοντίων εφελκυστικών παραμορφώσεων, ϵ_{xx}) του συστήματος θεμελίωσης στην πρόκληση βλαβών στις κατασκευές [Boone, 1996, Bray, 2001]. Οι Boscardin and Cording (1989) και Clough and O' Rourke (1990) έχουν προτείνει διάγραμμα για την εκτίμηση της σοβαρότητας των αναμενόμενων βλαβών σε κατασκευές ως αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης των κατακορύφων και οριζοντίων διαφορικών μετακινήσεων που αναπτύσσονται σε διάφορα είδη εδαφών, Σχ. 3-7. Σύμφωνα με τον Bray (2001) η επιτρεπόμενη τιμή της οριζόντιας ορθής παραμόρφωσης για οικοδομικά έργα είναι $\epsilon_{xx,cr}=3.0\text{‰}$ ενώ αυτή της γωνιακής παραμόρφωσης $\beta_{cr}=2.0\text{‰}$.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι οριακές τιμές τόσο της γωνιακής παραμόρφωσης, β , όσο και της οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , που αναφέρθηκαν ανωτέρω, αναφέρονται στο σύστημα θεμελίωσης των κατασκευών. Στην παρούσα έρευνα για τον καθορισμό της έκτασης της επικίνδυνης ζώνης δόμησης στην επιφάνεια του εδάφους χρησιμοποιήθηκε ως κύριο κριτήριο η τιμή της αναπτυσσόμενης γωνιακής παραμόρφωσης, β , του ελεύθερου πεδίου, η οποία δημιουργείται κατά την ολίσθηση του σεισμικού ρήγματος. Διερευνήθηκε όμως και η κατανομή και το μέγεθος των οριζοντίων παραμορφώσεων με σκοπό να διαπιστωθεί αν οι διαστάσεις και οι θέσεις των αντιστοίχων επικίνδυνων ζωνών παρουσιάζουν ομοιότητα. Επειδή οι κάθε είδους κατασκευές παρουσιάζουν σχετική δυσκαμψία (της θεμελίωσης και της ανωδομής) σε σχέση με το έδαφος θεμελίωσης, οι παραμορφώσεις της θεμελίωσης αναμένονται μειωμένες συγκρινόμενες με αυτές που υπολογίζονται με συνθήκες “ελευθέρου πεδίου”. Το μέγεθος της ανωτέρω μείωσης εξαρτάται από τη σχετική δυσκαμψία της θεμελίωσης σε σχέση με το έδαφος δράσης της θεμελίωσης. Γενικοί κανόνες δεν είναι εύκολο να καθιερωθούν λόγω του μεγάλου αριθμού των ειδών θεμελίωσης και της ποικιλίας των εδαφικών συνθηκών.



Σχήμα 3-6. Ορισμός γωνιακής παραμόρφωσης θεμελίωσης, β

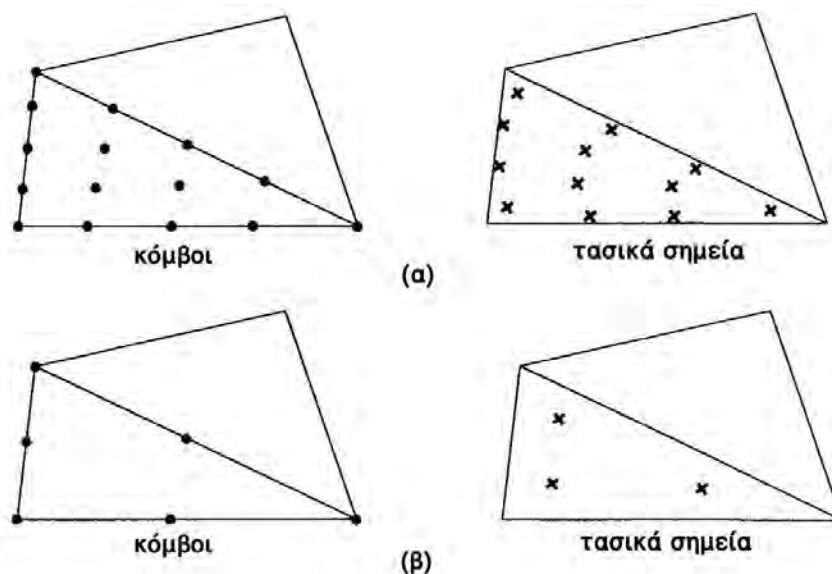


Σχήμα 3-7. Εκτίμηση της σοβαρότητας των αναμενόμενων βλαβών σε κατασκευές για διάφορες κατηγορίες εδαφών (Clough and O' Rourke, 1990)

Στην παρούσα έρευνα διεξήχθη ένας πολύ περιορισμένος αριθμός αναλύσεων στις οποίες προσομοιώθηκε, με πολύ απλοποιημένο τρόπο, η ύπαρξη επιφανειακής θεμελίωσης, υπολογίστηκε η κατανομή των γωνιακών παραμορφώσεων και συγκρίθηκε με τις γωνιακές παραμορφώσεις του “ελευθέρου πεδίου”. Οι σχετικές αναλύσεις περιλαμβάνονται στο επόμενο κεφάλαιο και αποδεικνύουν ότι για τα συνήθη σύγχρονα συστήματα επιφανειακής θεμελίωσης, η εκτιμώμενη γωνιακή παραμόρφωση της θεμελίωσης (δηλαδή της βάσης της κατασκευής) είναι μειωμένη, κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, σε σχέση με την υπολογιζόμενη υπό συνθήκες ελευθέρου πεδίου.

3.3. Χρησιμοποιούμενο Λογισμικό

Η διεξαγωγή των αριθμητικών αναλύσεων της παρούσας έρευνας βασίστηκε στην εξιδανίκευση του φυσικού προβλήματος η οποία παρουσιάστηκε στο Σχ. 3-1. Χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS ver. 7.2 στον οποίο είναι δυνατή η προσομοίωση της μη-γραμμικής συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών υπό συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης ή αξονικής συμμετρίας, σε συνδυασμό με ποικίλα κριτήρια αστοχίας [Plaxis, 1995]. Τα χρησιμοποιούμενα πεπερασμένα στοιχεία είναι τριγωνικού σχήματος και διακρίνονται σε δεκαπεντάκομβα και εξάκομβα, Σχ. 3-8 ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων (nodes) στους οποίους πρέπει να ισχύουν οι εξισώσεις ισορροπίας (Παπαντωνόπουλος, 2000). Στο Σχ. 3-8 εικονίζονται και τα σημεία υπολογισμού τάσεων (stress points) τόσο για τα δεκαπεντάκομβα όσο και για τα εξάκομβα πεπερασμένα στοιχεία. Η διαδικασία δημιουργίας του δικτύου περιλαμβάνει τον ορισμό των συντεταγμένων των κόμβων (τρεις για κάθε πεπερασμένο στοιχείο),



Σχήμα 3-8. Θέσεις κόμβων (nodes) και σημείων υπολογισμού τάσεων (stress points) για την περίπτωση α) δεκαπεντάκομβων και β) εξάκομβων πεπερασμένων στοιχείων στο πρόγραμμα PLAXIS ver. 7.2

των οριακών συνθηκών καθώς και των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων κάθε πεπερασμένου στοιχείου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει “χειροκίνητα”, δηλαδή με την εισαγωγή τιμών συντεταγμένων, το αρχικό δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων, χρησιμοποιώντας μέγιστο αριθμό 200 κόμβων. Στη συνέχεια είναι δυνατό να καθορισθεί αυτόματα η τελική πυκνότητα του δικτύου επιλέγοντας το επιθυμητό επίπεδο πυκνότητας δικτύου (τα διαθέσιμα επίπεδα πυκνότητας είναι: πολύ πυκνό, πυκνό, μέσης πυκνότητας, αραιό και πολύ αραιό).

Το μέγεθος κάθε πεπερασμένου στοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση:

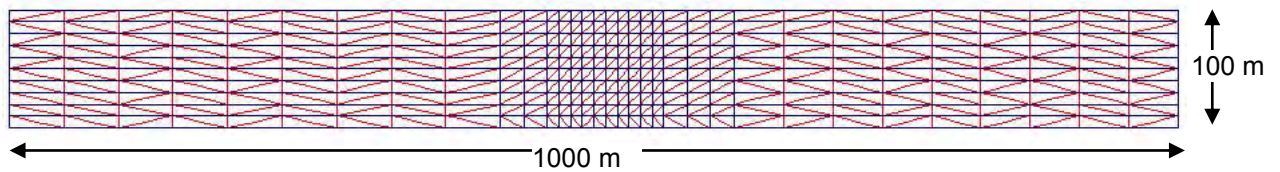
$$l_e = \sqrt{\frac{(\mathbf{x}_{\max} - \mathbf{x}_{\min}) \cdot (\mathbf{y}_{\max} - \mathbf{y}_{\min})}{n_c}} \quad (3-25)$$

όπου : x_{\max}, x_{\min} = μέγιστη, ελάχιστη τιμή οριζοντίων συντεταγμένων του δικτύου
 y_{\max}, y_{\min} = μέγιστη, ελάχιστη τιμή κατακορύφων συντεταγμένων του δικτύου
 n_c = σταθερά η οποία εξαρτάται από το επίπεδο πυκνότητας του δικτύου που έχει επιλεγεί από το χρήστη και λαμβάνει τιμές: 25, 50, 100, 200 και 400, αντίστοιχα, για καθένα από τα ανωτέρω επίπεδα

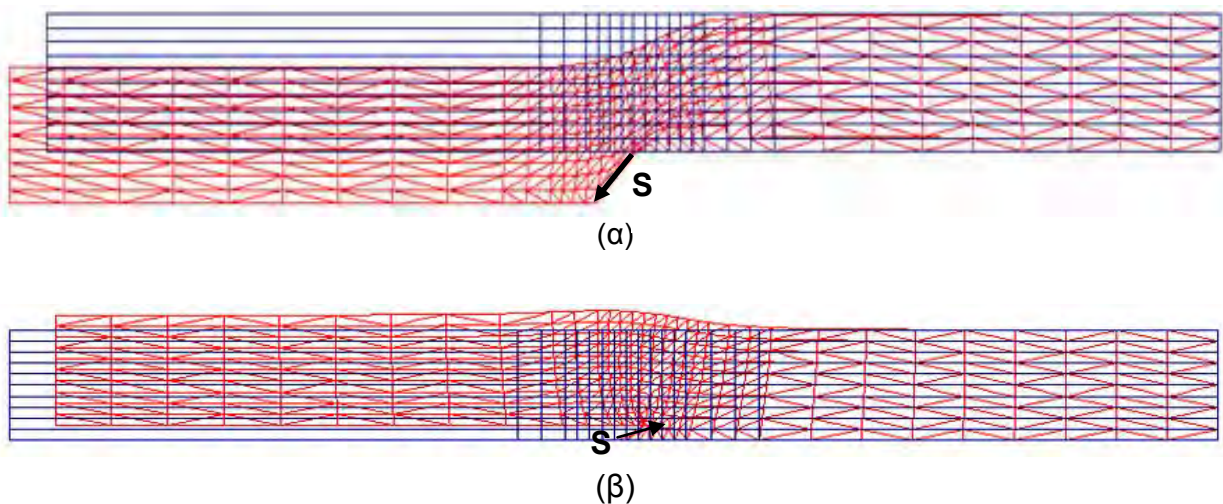
Για τις αναλύσεις της παρούσας έρευνας (υπό συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης) χρησιμοποιήθηκαν δίκτυα με ανομοιόμορφη κατανομή πυκνότητας στοιχείων, Σχ. 3-9. Μεγαλύτερη πυκνότητα δικτύου χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή στην οποία αναμένεται η εμφάνιση έντονων παραμορφώσεων, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η πυκνότητα του δικτύου είναι μειωμένη. Για την προσομοίωση της σεισμικής διάρρηξης του βραχώδους υποβάθρου χρησιμοποιήθηκε η δυνατότητα του προγράμματος της εισαγωγής εξαναγκασμένων μετακινήσεων σε επιλεγμένους κόμβους του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων. Στο Σχ. 3-10 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο προσομοιώθηκε η ολίσθηση του ρήγματος κλίσης για τις περιπτώσεις τόσο του κανονικού όσο και του ανάστροφου ρήγματος. Στο Σχ. 3-10(α) η ολίσθηση του ρήγματος προσομοιώνεται με την επιβολή εξαναγκασμένης μετακίνησης (με την επιθυμητή διεύθυνση και μέγεθος) στα όρια του αριστερού ημίσεως του δικτύου δηλαδή στο αριστερό ήμισυ της βάσης και στην αριστερή πλευρά του δικτύου με φορά προς τα κάτω αριστερά. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει το παραμορφωμένο δίκτυο, η κεντρική περιοχή του οποίου χρησιμοποιείται για τις περαιτέρω αναλύσεις του μηχανισμού διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό υλικό. Στην περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος η αντίστοιχη εξαναγκασμένη μετακίνηση επιβάλλεται στις ίδιες οριακές επιφάνειες αλλά με φορά προς τα επάνω δεξιά, Σχ. 3-10(β). Σημειώνεται επίσης, ότι σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες συνθήκες οριακών επιφανειών: στους κόμβους της βάσης του δικτύου που

δεν επιβλήθηκε εξαναγκασμένη μετακίνηση δεν ήταν δυνατή η οριζόντια και η κατακόρυφη μετακίνηση ($u_x=u_y=0$) ενώ στη δεξιά πλευρά του δικτύου υπήρχε ελευθερία κίνησης μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (Σχ. 3-11).

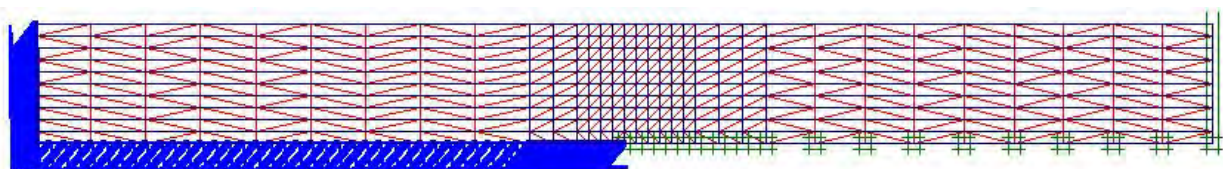
Στον κώδικα PLAXIS ver. 7.2, ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία και δεδομένα για το εδαφικό υλικό, είναι δυνατή η επιλογή ενός από τα ακόλουθα προσομοιώματα συμπεριφοράς εδάφους: γραμμικό ελαστικό (linear elastic), ελαστοπλαστικό (Mohr-Coulomb), κρατυνόμενο έδαφος (Soil Hardening), έδαφος μειούμενης αντοχής (Soil Softening, Cam Clay) και έδαφος μειούμενης αντοχής μετά ερπυσμού (Soft Soil Creep).



Σχήμα 3-9. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα δικτύου πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις με το πρόγραμμα PLAXIS 7.2



Σχήμα 3-10. Επιβολή εξαναγκασμένης μετακίνησης στην βάση και την αριστερή πλευρά του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση της ολίσθησης (α) **κανονικού** και (β) **ανάστροφου** ρήγματος

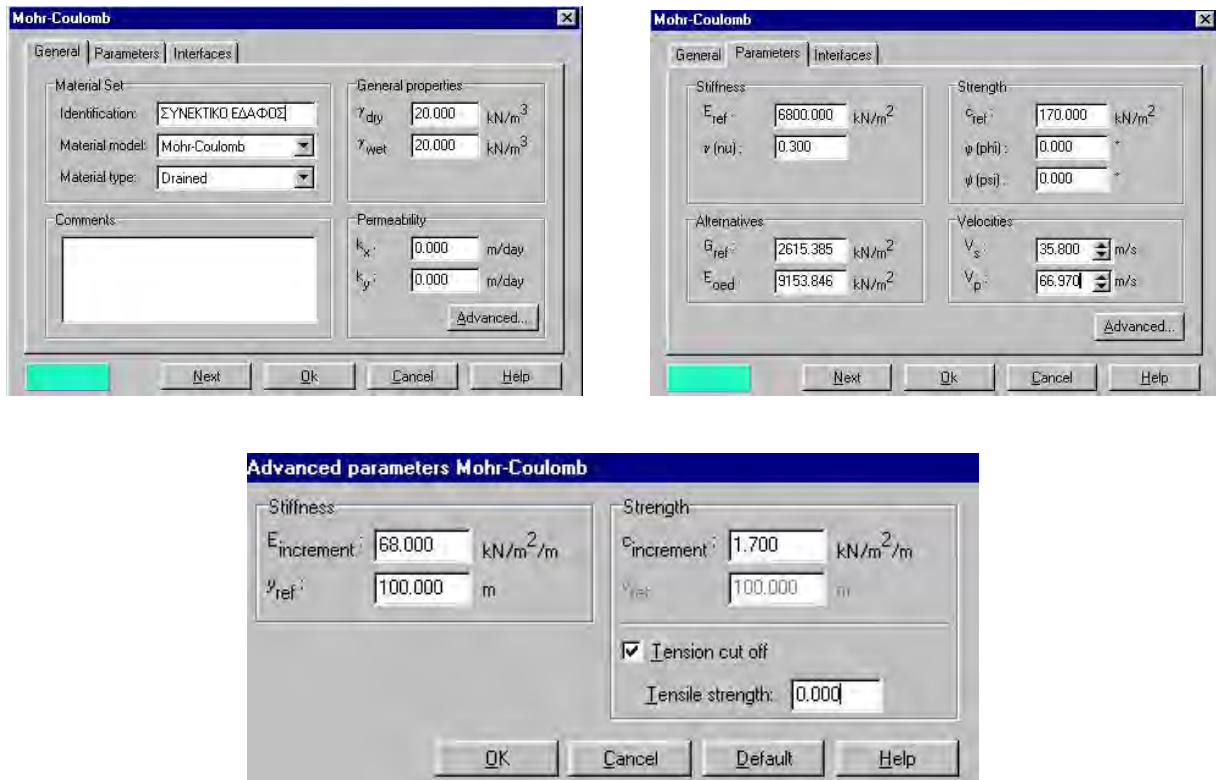


Σχήμα 3-11. Οι συνθήκες οριακών επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις διάδοσης της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου

Στην παρούσα έρευνα, με σκοπό τη μείωση του αριθμού των παραμέτρων που θα απαιτούνταν για την απλοποιημένη περιγραφή του είδους του εδαφικού υλικού, αποφασίσθηκε η επιλογή της ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς εδάφους σε συνδυασμό με το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb, Σχ. 3-4. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα οι τιμές των παραμέτρων που απαιτείται να εισαχθούν για την περίπτωση αυτή (ϕ , ψ , c , E , ν) προκύπτουν από την επιλεγείσα τιμή της ανηγμένης παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , η οποία χρησιμοποιείται στην παρούσα Έκθεση για την απλοποιημένη ποσοτική περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους. Υπενθυμίζεται ότι η εξιδανίκευση του φαινομένου, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, περιλαμβάνει τη γραμμική αύξηση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας του εδαφικού υλικού με το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Ο χρησιμοποιούμενος κώδικας PLAXIS ver. 7.2 έχει τη δυνατότητα της προσομοίωσης αυτής διαμέσου των “εξελιγμένων” παραμέτρων του προσομοιώματος Mohr-Coulomb (Advanced parameters Mohr-Coulomb). Στο ανωτέρω προσομοίωμα χρησιμοποιούνται οι παράμετροι E_{incr} και c_{incr} , οι οποίες περιγράφουν το ρυθμό αύξησης του μέτρου ελαστικότητας και της συνοχής με το βάθος και εισάγονται διαμέσου των παραθύρων που φαίνονται στο Σχ. 3-12.

Όλες οι παραμετρικές αναλύσεις της Έρευνας (850, περίπου) διεξήχθησαν με χρήση του λογισμικού που περιγράφηκε ανωτέρω μεταβάλλοντας κατάλληλα τις τιμές των διερευνώμενων παραμέτρων. Τα αποτελέσματα κάθε παραμετρικής ανάλυσης περιλαμβάνουν: 1) τις κατακόρυφες, Δy , και οριζόντιες, Δx , μετακινήσεις των κόμβων του παραμορφωμένου δικτύου, 2) τις τιμές των ανηγμένων ορθών παραμορφώσεων κατά την οριζόντια διεύθυνση, ϵ_{xx} , και την κατακόρυφη διεύθυνση, ϵ_{yy} , καθώς και των διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , στα σημεία υπολογισμού τάσεων (stress points) και 3) τα σημεία πλαστικοποίησης (plastic points) καθώς και τα σημεία ανάπτυξης ορθών εφελκυστικών τάσεων. Σημειώθηκε ότι σε όλες τις αναλύσεις ενεργοποιήθηκε η επιλογή “tension cut-off” του λογισμικού με την οποία δίνεται μηδενική τιμή στις ορθές τάσεις όταν αυτές προκύπτουν ότι είναι εφελκυστικές.

Όλα τα ανωτέρω αποτελέσματα με τη μορφή αρχείων, εισάγονται σε λογισμικό μετεπεξεργασίας (FAULT) το οποίο έχει συνταχθεί με δυνατότητα επικοινωνίας με τον κώδικα PLAXIS. Το αρχείο των μετακινήσεων περιέχει τις συντεταγμένες των κόμβων του δικτύου καθώς και τις κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις του παραμορφωμένου δικτύου. Το αρχείο των παραμορφώσεων περιέχει τις συντεταγμένες των σημείων υπολογισμού τάσεων, τις αντίστοιχες οριζόντιες ϵ_{xx} , κατακόρυφες, ϵ_{yy} , και διατμητικές παραμορφώσεις, γ_{xy} , καθώς και τις θέσεις των σημείων πλαστικοποίησης και ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων.



Σχήμα 3-12. Παράθυρα εισαγωγής παραμέτρων του εδαφικού προσομοιώματος Mohr-Coulomb (πρόγραμμα PLAXIS 7.2)

Η επεξεργασία του περιεχομένου των ανωτέρω αρχείων εισαγωγής στον κώδικα FAULT επιτρέπει τον προσδιορισμό τιμών γωνιακής παραμόρφωσης, β , στις θέσεις όλων των κόμβων του δικτύου. Οι τιμές του β υπολογίζονται ως ο λόγος της διαφορικής καθίζησης γειτονικών κόμβων προς τη μεταξύ τους απόσταση και ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται για όλους τους κόμβους του δικτύου. Οι γραφικές δυνατότητες του προγράμματος επιτρέπουν την παρουσίαση του περιγράμματος του παραμορφωμένου δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων και της κατανομής των τιμών β , ϵ_{xx} , ϵ_{yy} και γ_{xy} επάνω σε οριζόντιο επίπεδο η θέση του οποίου επιλέγεται από τον χρήστη και μπορεί να κυμαίνεται από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τη βάση του εδαφικού στρώματος. Το λογισμικό εντοπίζει επίσης το σημείο με τη μέγιστη τιμή και τη θέση της σχεδιαζόμενης παραμέτρου (π.χ. β_{max}) καθώς και το εύρος B, της οριζόντιας ζώνης, στην οποία η τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου παραμένει υψηλότερη μιας καθορισμένης τιμής (π.χ. $\beta_{cr}=5\%$).

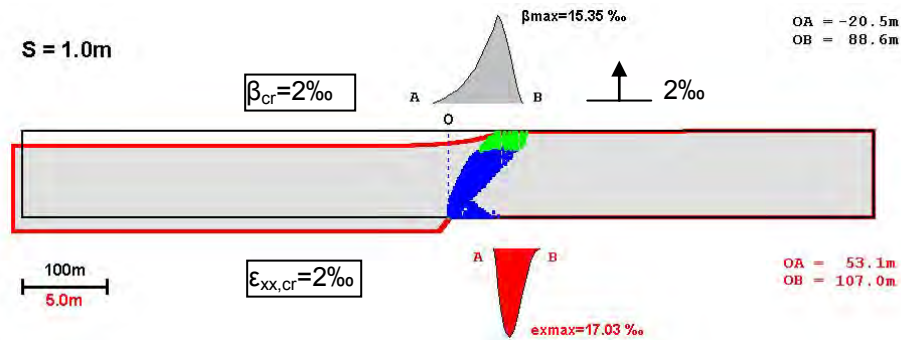
Τα αποτελέσματα της ανωτέρω επεξεργασίας παρουσιάζονται γραφικά με τη μορφή του διαγράμματος του Σχ. 3-13 στο οποίο εικονίζεται η παραμορφωμένη εδαφική επιφάνεια και οι κατανομές των τιμών γωνιακής παραμόρφωσης, $\beta \geq \beta_{cr}=2\%$ (στην επιφάνεια του εδάφους) στην επάνω πλευρά του διαγράμματος και των τιμών οριζόντιας επιφανειακής παραμόρφωσης, $\epsilon_{xx} \geq \epsilon_{xx,cr}=2\%$ (κάτω πλευρά του διαγράμματος). Ως αφετηρία μέτρησης των οριζοντίων αποστάσεων λαμβάνεται το σημείο O η θέση του οποίου σημειώνεται

στο διάγραμμα του σχήματος. Το συγκεκριμένο παράδειγμα του Σχ. 3-13 αναφέρεται στην περίπτωση κανονικού ρήγματος με μέγεθος ολίσθησης $S=1.0m$, γωνία κλίσης $\alpha=60^\circ$, σε συνεκτικό έδαφος με $\varepsilon_f=0.5\%$. Στο διάγραμμα του Σχ. 3-13 παρουσιάζονται επιπρόσθετα και οι θέσεις των σημείων πλαστικοποίησης (μπλε χρώμα) καθώς και των σημείων ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων (πράσινο χρώμα). Η οπτική παρατήρηση του διαγράμματος του Σχ. 3-13 επιτρέπει τη διαμόρφωση εικόνας για τη διάδοση της αστοχίας του εδάφους από τη βάση προς την επιφάνεια του εδάφους καθώς και της ζώνης στην οποία αναμένεται η εμφάνιση επιφανειακών εφελκυστικών ρηγματώσεων. Διαγράμματα αντίστοιχα με αυτό του Σχ. 3-13, για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις αναλύσεων περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

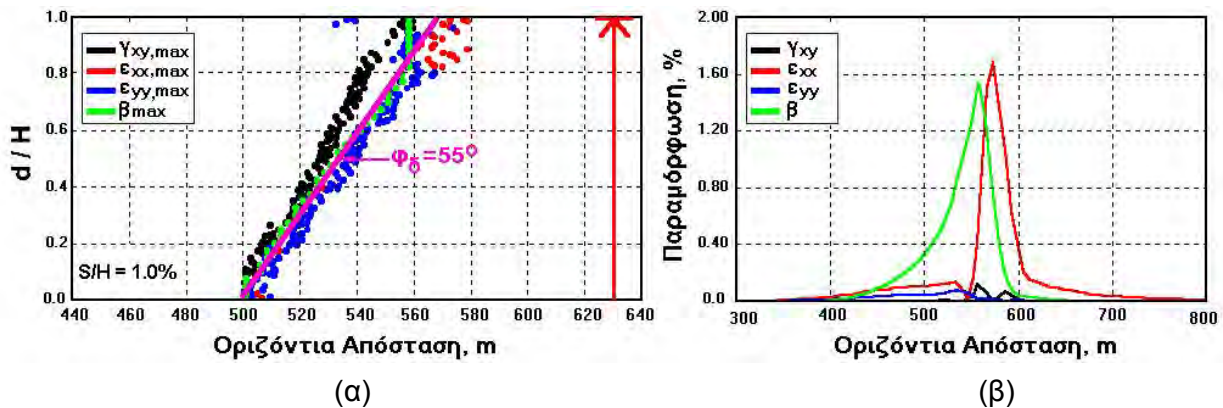
Το πρόγραμμα FAULT παράγει επίσης και σχεδιάζει διαγράμματα τα οποία επιτρέπουν τον εντοπισμό της θέσης (κατά την οριζόντια έννοια) των μεγίστων τιμών της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , της οριζόντιας παραμόρφωσης, $\varepsilon_{xx,max}$ της κατακόρυφης παραμόρφωσης, $\varepsilon_{yy,max}$ και της διατμητικής παραμόρφωσης, $\gamma_{xy,max}$ ως συνάρτηση της κανονικοποιημένης απόστασης από τη βάση του εδαφικού στρώματος. Παράδειγμα τέτοιου διαγράμματος για την περίπτωση του ρήγματος του Σχ. 3-13 παρουσιάζεται στο Σχ. 3-14(α) από το οποίο συμπεραίνεται ότι υπάρχει σχεδόν πλήρης ταύτιση της καμπύλης διάδοσης της β_{max} με την καμπύλη $\gamma_{xy,max}$. Η ταύτιση αυτή συνεχίζει να ισχύει και στη ζώνη ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων στο εσωτερικό της οποίας δεν μεταβάλλεται πλέον η θέση των μεγίστων τιμών ενώ η θέση των μεγίστων ε_{xx} και ε_{yy} συνεχίζει να μετακινείται απομακρυνόμενη του σημείου Ο. Το λογισμικό FAULT επιτρέπει επίσης τον προσδιορισμό της γωνίας κλίσης, φ_δ , επίπεδης επιφάνειας που επιλέγεται από τον χρήστη ως η βέλτιστη προσαρμογή στην επιφάνεια διάδοσης της διάρρηξης στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος, Σχ. 3-14(α). Η παρατήρηση των καμπυλών του Σχ. 3-14(α) επιτρέπει και την εκτίμηση του ύψους διάδοσης της επιφάνειας αστοχίας στο εδαφικό στρώμα η οποία και σημειώνεται με το ύψος του κατακόρυφου δείκτη στο εσωτερικό του διαγράμματος. Στην περίπτωση του ανωτέρω σχήματος ο δείκτης υποδεικνύει ότι η επιφάνεια αστοχίας επεκτείνεται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους αφού η ζώνη πλαστικοποίησης (διατμητική αστοχία) βρίσκεται σε επαφή με τη ζώνη ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων.

Η κατανομή των τιμών όλων των παραμέτρων παραμόρφωσης στην επιφάνεια του εδάφους παρουσιάζεται γραφικά από το πρόγραμμα FAULT σε διαγράμματα όπως αυτό του Σχ. 3-14(β). Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές γωνιακής παραμόρφωσης, β , και της ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , οι οποίες δεν διαφέρουν ουσιωδώς ως προς το μέγεθος και τη θέση εκδήλωσης, είναι περισσότερο από μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη των διατμητικών, γ_{xy} και των

κατακορύφων παραμορφώσεων, ε_{yy} . Διαγράμματα αντίστοιχα με αυτά του Σχ. 3-14, για όλες τις διερευνηθείσες περιπτώσεις αναλύσεων περιέχονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.



Σχήμα 3-13. Κατανομή γωνιακής παραμόρφωσης, β και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ε_{xx} , κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=60^\circ$, $S=1.0\text{m}$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)



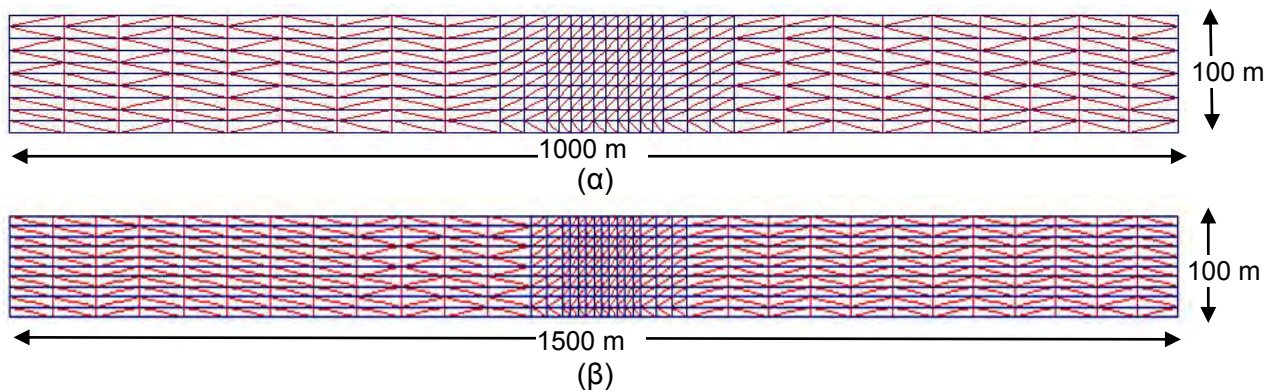
Σχήμα 3-14. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ε_{xx} , κατακορύφων ε_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ε_{xx} , ε_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=60^\circ$, $S=1.0\text{m}$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$).

ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

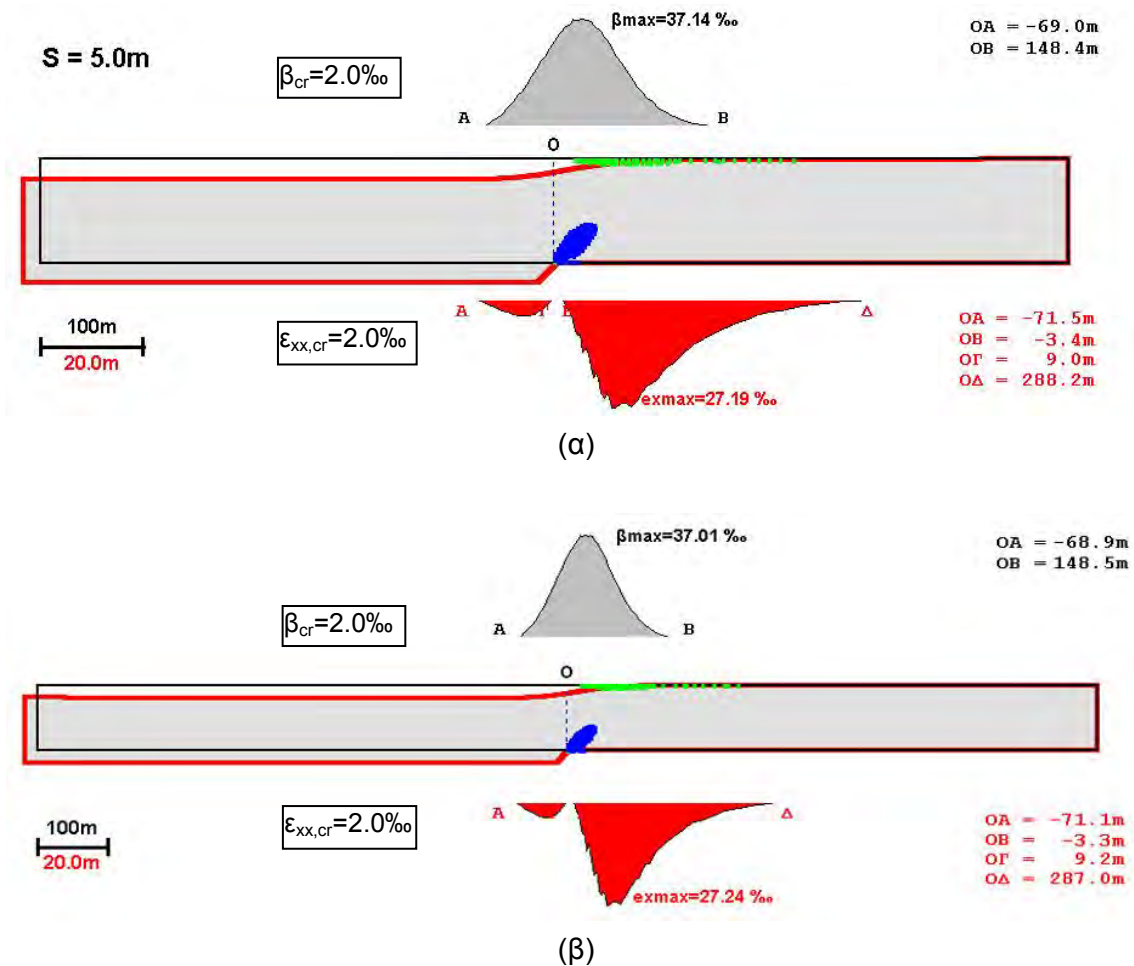
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διερευνήσεων αξιοπιστίας της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος κλίσης του υποβάθρου στους υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς. Η μεθοδολογία παρουσιάσθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 και η εφαρμογή της εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους η τιμή των οποίων θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα ώστε να μην επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Έτσι, στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η επίδραση: του μεγέθους του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις, του μεγέθους και του είδους των πεπερασμένων στοιχείων και της πυκνότητας του δικτύου. Κρίθηκε, επίσης, ότι θα ήταν χρήσιμο να παρουσιασθούν στο ίδιο κεφάλαιο και τα αποτελέσματα ορισμένων παραμετρικών διερευνήσεων που αφορούν παραμέτρους η επίδραση των οποίων αποδείχθηκε αμελητέα στο φαινόμενο της διάδοσης της διάρρηξης στα πρώτα στάδια της διεξαγωγής των αναλύσεων. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν την τιμή του πάχους του εδαφικού στρώματος που υπέρκειται του υποβάθρου και το ποσοστό συμμετοχής της ανύψωσης του υποκειμένου τεμάχους του ρήγματος κλίσης στην τιμή της συνολικής ολίσθησης του ρήγματος. Τέλος, στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται και ορισμένα προκαταρκτικά αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση της δυσκαμψίας της θεμελίωσης μιας κατασκευής στην μεταβίβαση της γωνιακής παραμόρφωσης του εδάφους (υπολογισμένης υπό συνθήκες “ελευθέρου πεδίου”) στη θεμελίωση.

4.1. Επίδραση του Μεγέθους του Δικτύου των Πεπερασμένων Στοιχείων

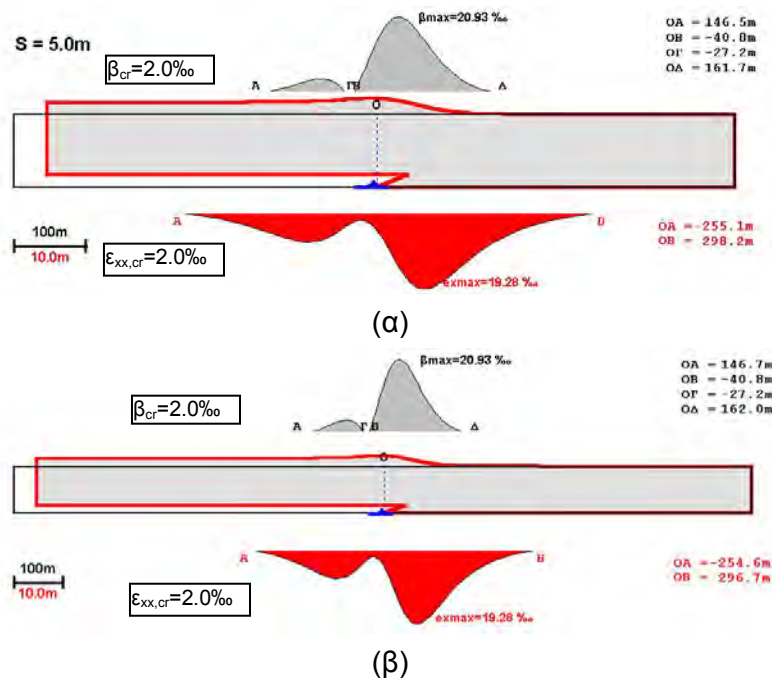
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για την εξιδανίκευση του εξεταζόμενου φαινομένου είναι απαραίτητη η ελαχιστοποίηση της επίδρασης των πλευρικών ορίων του προσομοιώματος. Στο Σχ. 4-1 παρουσιάζονται δύο δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων με κοινή τιμή ύψους 100m και μήκη (α) 1000m και (β) 1500m. Στα διαγράμματα των Σχ. 4-2 έως Σχ. 4-5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την περίπτωση σεισμικής ολίσθησης (κανονικής και ανάστροφης) υποβάθρου πολύ μεγάλου μεγέθους



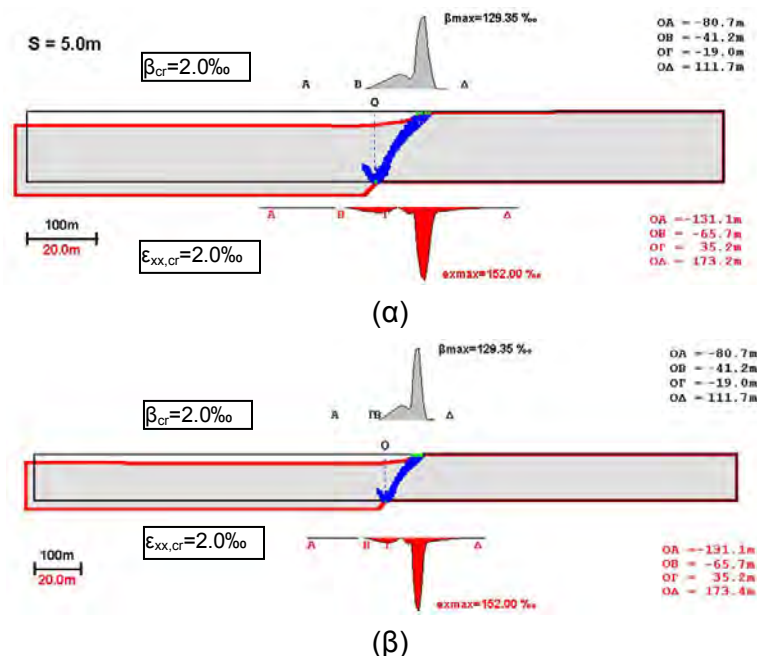
Σχήμα 4-1. Δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων μήκους 1000m και 1500m που χρησιμοποιήθηκαν στις παραμετρικές αναλύσεις επιλογής διαστάσεων δικτύου



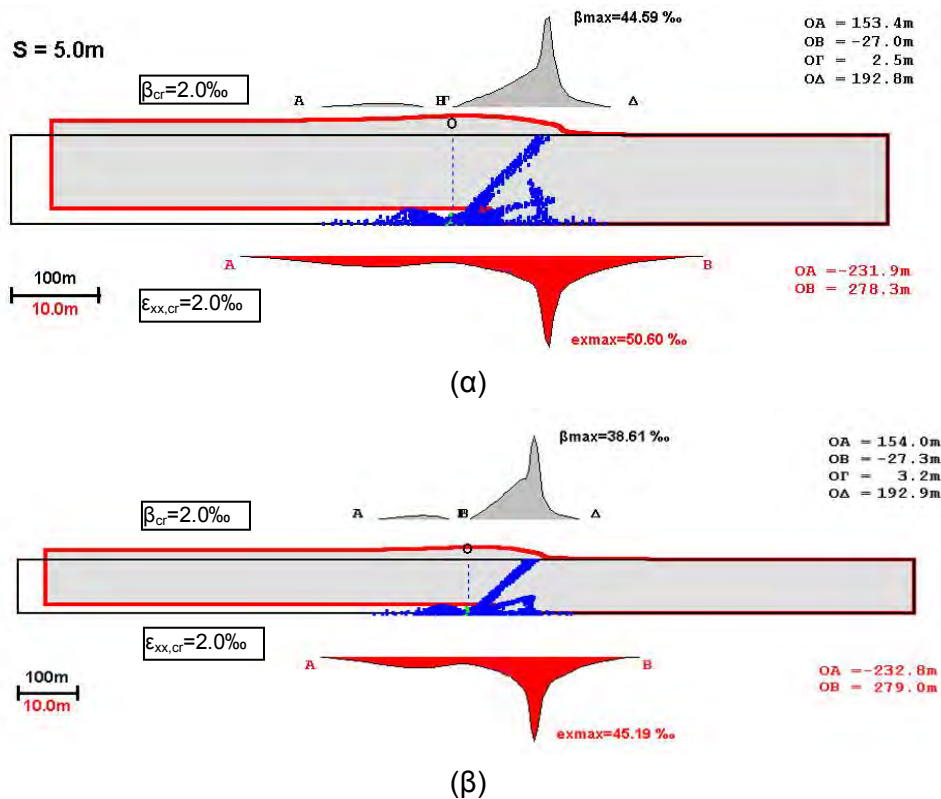
Σχήμα 4-2. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=15.0\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m



Σχήμα 4-3. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=15.0\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m



Σχήμα 4-4. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=5.0\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m

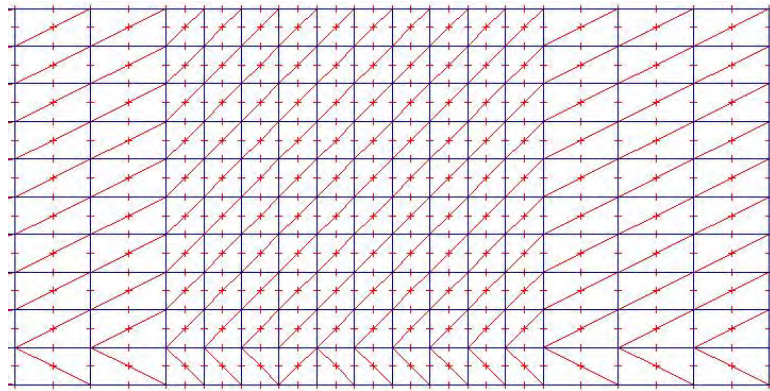


Σχήμα 4-5. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\text{‰}}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0\text{m}$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση δικτύου μήκους α)1000m και β)1500m

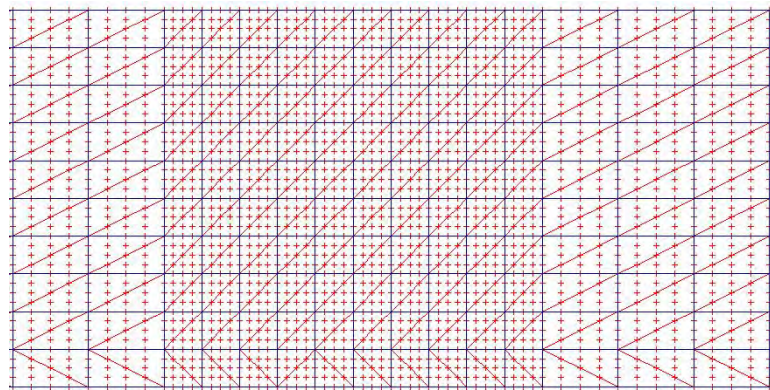
($S=5.0\text{m}$) για την περίπτωση τόσο του συνεκτικού όσο και του μη-συνεκτικού εδάφους. Η σύγκριση των διαγραμμάτων υποδεικνύει ότι η αύξηση του μήκους του δικτύου από 1000m σε 1500m δεν επηρέασε τα αποτελέσματα. Επειδή τα αποτελέσματα αναλύσεων με μήκος δικτύου μικρότερο των 1000m εμφάνιζαν μη-αμελητέες διαφοροποιήσεις, αποφασίσθηκε η υιοθέτηση των διαστάσεων: ύψος=100m και μήκος=1000m σε όλες τις αναλύσεις της παρούσας έρευνας.

4.2. Επίδραση του Είδους των Πεπερασμένων Στοιχείων

Όπως αναφέρθηκε στην Υποενότητα 3-3 του προηγούμενου κεφαλαίου, ο κώδικας PLAXIS ver. 7.2 παρέχει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης είτε εξάκομβων είτε δεκαπεντάκομβων πεπερασμένων στοιχείων τριγωνικού σχήματος. Στο Σχ. 3-8 παρουσιάσθηκαν οι θέσεις των κόμβων και των σημείων υπολογισμού τάσεων για τις δύο περιπτώσεις στοιχείων. Είναι αναμενόμενο ότι η χρήση 15-κομβων στοιχείων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αποτελεσμάτων σε πολύ μεγαλύτερο αριθμό σημείων (σε σχέση με τη χρήση 6-κομβων στοιχείων) αυξάνοντας έτσι την ευαισθησία αλλά και



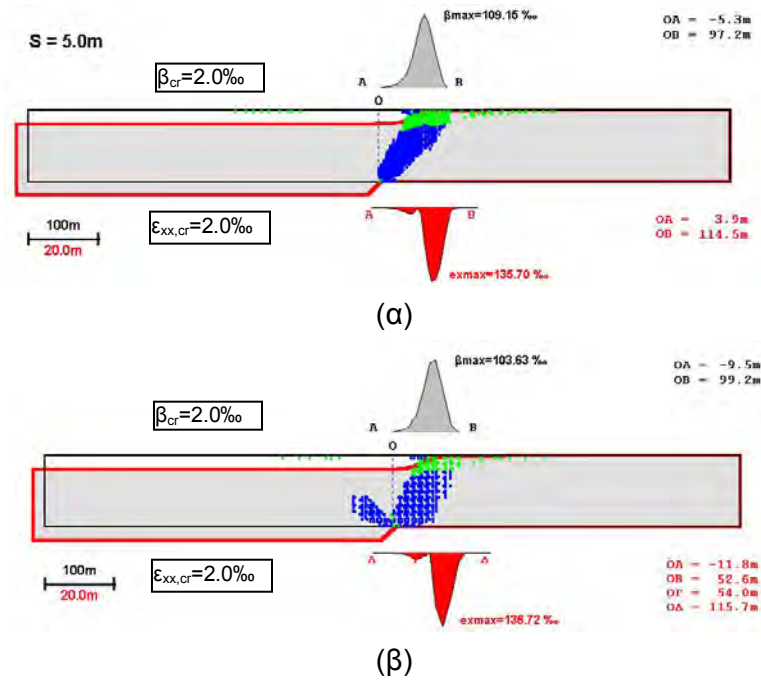
(α)



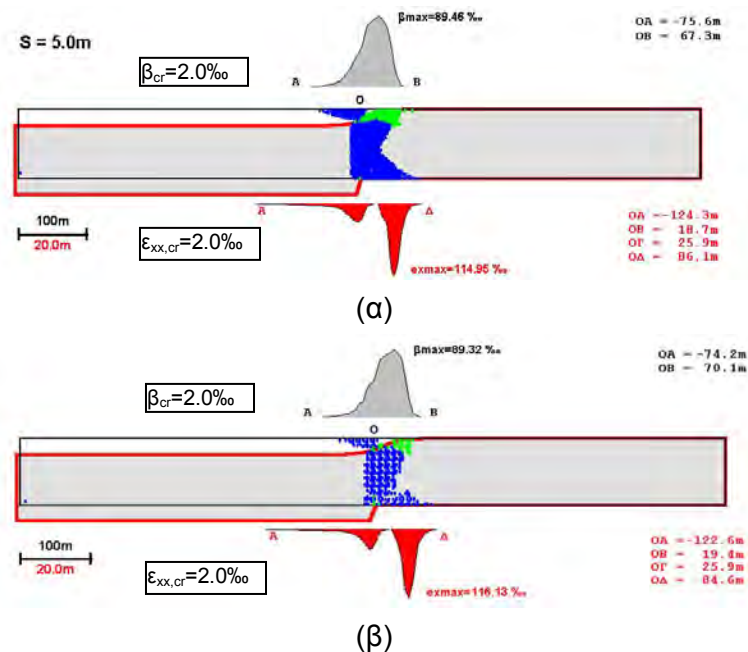
(β)

Σχήμα 4-6. Κεντρικό τμήμα δικτύου πεπερασμένων στοιχείων με τις θέσεις κόμβων για τις περιπτώσεις χρήσης α) εξακόμβων και β) δεκαπεντάκομβων στοιχείων

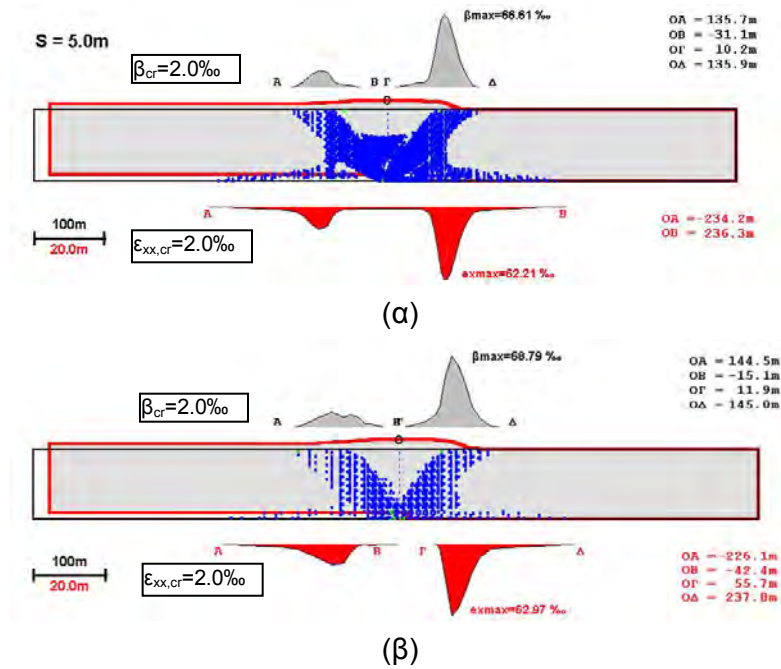
την ακρίβεια των αποτελεσμάτων κατά τις παραμετρικές αναλύσεις. Στο Σχ. 4-6 παρουσιάζονται οι θέσεις των διαθέσιμων κόμβων στο κεντρικό τμήμα ενός δικτύου πεπερασμένων στοιχείων ύψους 100m και πλάτους 200m για τις περιπτώσεις (α) 6-κομβων στοιχείων και (β) 15-κόμβων στοιχείων. Ο αριθμός των κόμβων στην πρώτη περίπτωση είναι 1407 ενώ στη δεύτερη περίπτωση αυξάνεται σε 5453 (περίπου τετραπλάσιος). Στα διαγράμματα των Σχ. 4-7 έως Σχ. 4-14 παρουσιάζονται αποτελέσματα αναλύσεων της διάδοσης της διάρρηξης κανονικών και αναστροφών ρηγμάτων, με διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης των ρηγμάτων, για συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος και ιδιαίτερα υψηλή τιμή του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης ($S=5.0m$). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι η χρήση 6-κομβων στοιχείων επηρεάζει κυρίως την κατανομή των επιφανειακών εδαφικών παραμορφώσεων και μάλιστα ιδιαίτερα έντονα στην περίπτωση των αναστροφών ρηγμάτων και των μη-συνεκτικών εδαφών. Στην παρούσα έρευνα αποφασίσθηκε η χρήση των 15-κομβων στοιχείων με στόχο την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας κατά τον υπολογισμό των γωνιακών παραμορφώσεων στην επιφάνεια του εδάφους.



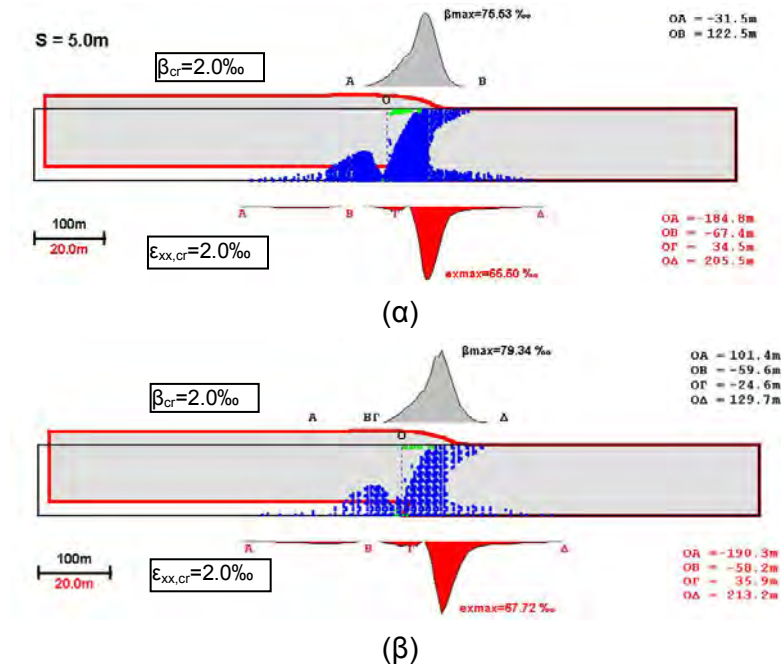
Σχήμα 4-7. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πετερασμένων στοιχείων



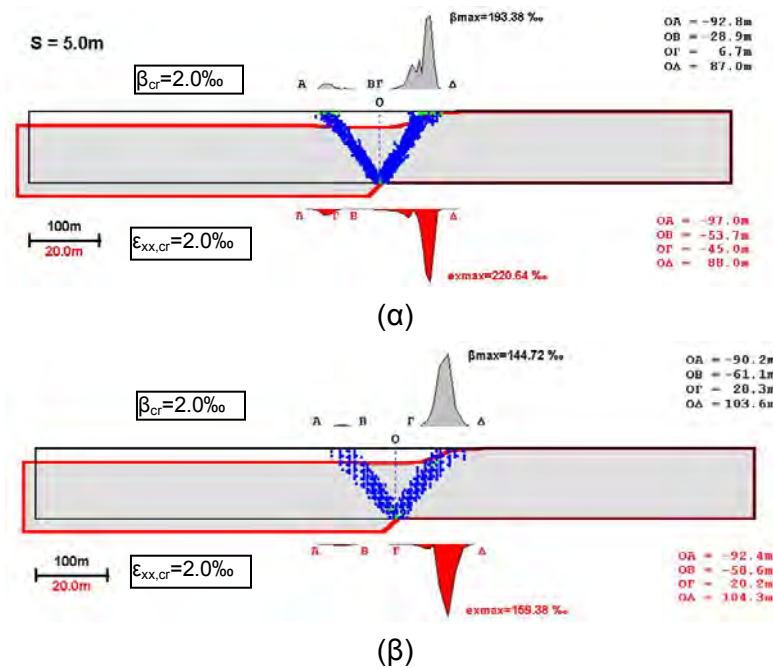
Σχήμα 4-8. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=80^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πετερασμένων στοιχείων



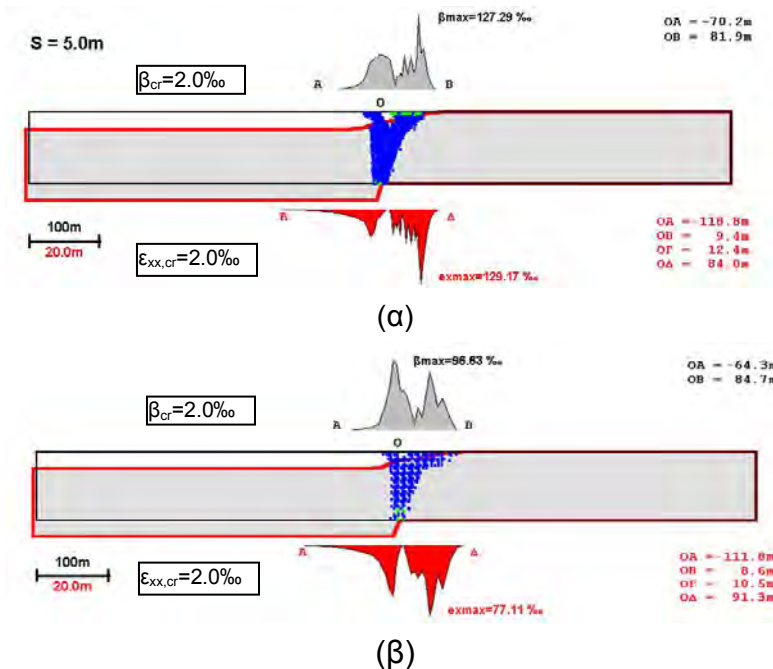
Σχήμα 4-9. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων



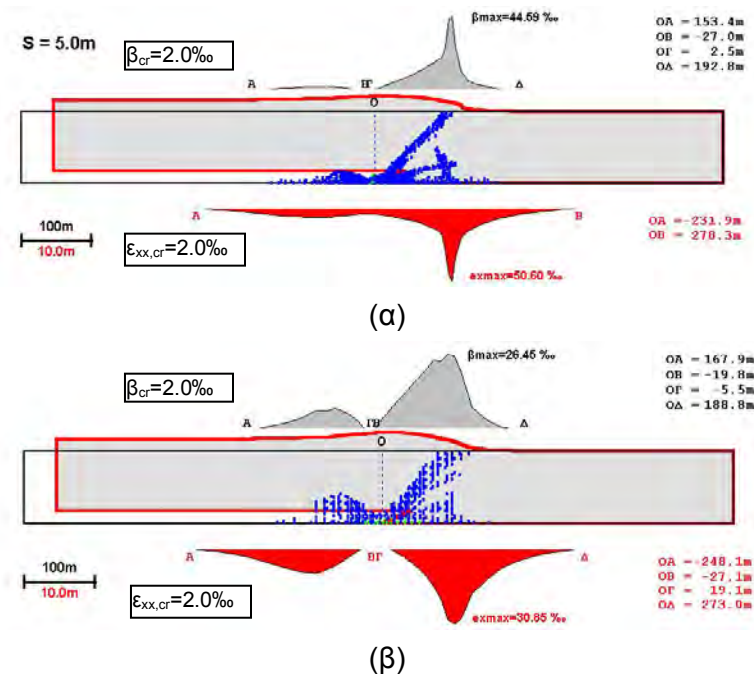
Σχήμα 4-10. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων



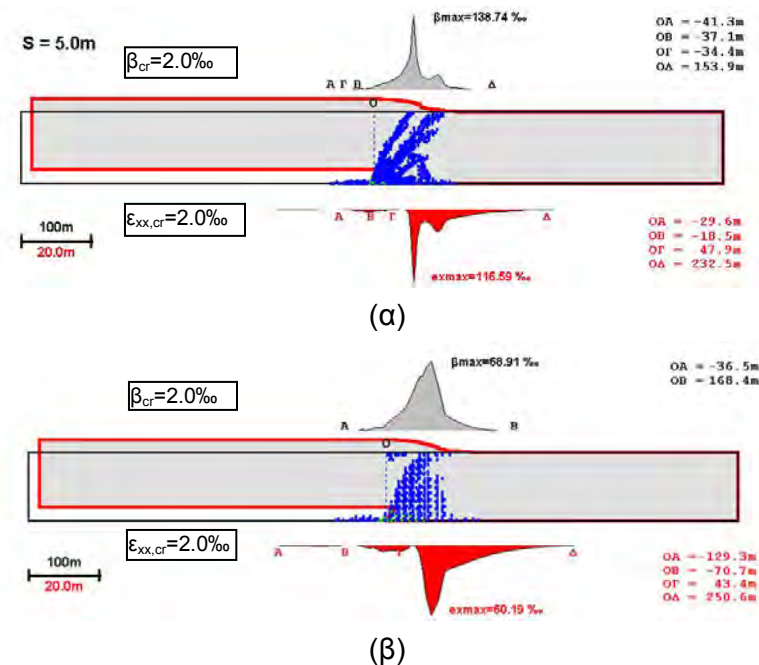
Σχήμα 4-11. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων



Σχήμα 4-12. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=80^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων



Σχήμα 4-13. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\text{‰}}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων



Σχήμα 4-14. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\text{‰}}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό έδαφος** ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) 15-κομβων και (β) 6-κομβων πεπερασμένων στοιχείων

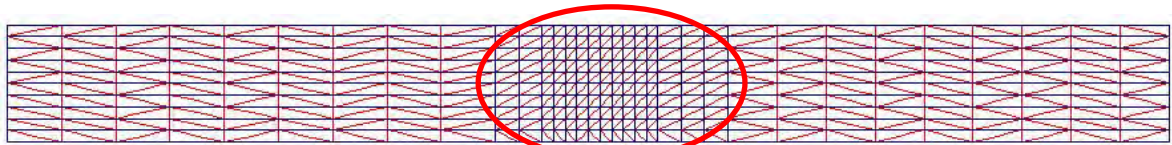
4.3. Επίδραση της Πυκνότητας των Πεπερασμένων Στοιχείων

Είναι γνωστό ότι στις αναλύσεις με τη ΜΠΣ απαιτείται γενικά πύκνωση του δικτύου στις περιοχές στις οποίες αναμένονται έντονες διαφοροποιήσεις των παραμορφώσεων [Παπαντωνόπουλος, 2001]. Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, οι περισσότερες έντονες παραμορφώσεις εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα του δικτύου, όπως έχει διαφανεί από τα μέχρις αυτό το σημείο παρουσιασθέντα αποτελέσματα. Στο Σχ. 4-15 παρουσιάζονται δύο δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων στα οποία το κεντρικό τμήμα παρουσιάζει την ίδια πυκνότητα, ενώ τα δύο εκατέρωθεν τμήματα παρουσιάζουν διαφοροποίηση της πυκνότητας των πεπερασμένων στοιχείων. Συγκεκριμένα, στο Σχ. 4-15(α) τα εκατέρωθεν τμήματα περιλαμβάνουν σχετικά αραιό δίκτυο ενώ στο Σχ. 4-15(β), πολύ πυκνό δίκτυο. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στα διαγράμματα των Σχ. 4-16 έως Σχ. 4-19 για τις περιπτώσεις κανονικού και ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος. Παρατηρείται ότι η πύκνωση του δικτύου στις εκατέρωθεν της κεντρικής περιοχές, δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα των αναλύσεων και γι' αυτό το λόγο οι αναλύσεις της παρούσας έρευνας διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας δίκτυα της μορφής του Σχ. 4-15(α), που περιλαμβάνουν συνολικά 660 πεπερασμένα στοιχεία και 5453 κόμβους.

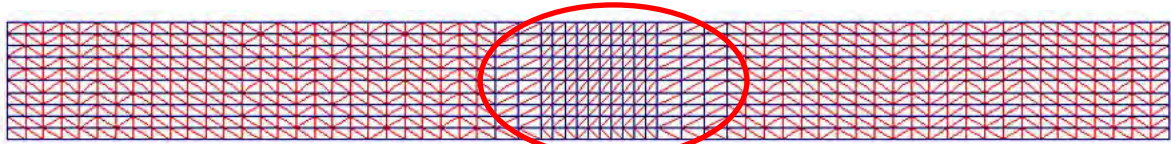
4.4. Επίδραση του Τρόπου Διάρρηξης του Ρήγματος

Όπως αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, είναι διαπιστωμένο ότι κατά τη διάρρηξη των σεισμικών ρηγμάτων κλίσης παρατηρείται μετακίνηση κατά αντίθετη φορά και των δύο τεμαχών (επικειμένου και υποκειμένου) του ρήγματος. Στην περίπτωση π.χ. ενός κανονικού ρήγματος η τιμή της συνολικής μετακίνησης αποτελεί το άθροισμα της προς τα κάτω μετακίνησης (βύθισης) του επικειμένου τεμάχους και της προς τα άνω μετακίνησης (ανύψωσης) του υποκειμένου τεμάχους. Οι Doutsos and Koukouvelas (1998) έχουν διαπιστώσει ότι ο λόγος ανύψωσης του υποκειμένου προς τη βύθιση του επικειμένου τεμάχους ενός κανονικού ρήγματος προκύπτει ίσος με 1:2. Με βάση την ανωτέρω διαπίστωση αποφασίσθηκε η διερεύνηση της επίδρασης του μηχανισμού διάρρηξης στα αποτελέσματα των αναλύσεων στην περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων.

Στο Σχ. 4-20 παρουσιάζεται η αρχική και παραμορφωμένη κατάσταση δύο δικτύων πεπερασμένων στοιχείων με διαφορετικό μηχανισμό διάρρηξης του ρήγματος υποβάθρου. Και τα δύο δίκτυα προσομοιώνουν τη διάρρηξη ενός κανονικού ρήγματος γωνίας $\alpha=50^\circ$ και μεγέθους ολίσθησης, S , και τη διάδοση της διάρρηξης σε υπερκείμενο συνεκτικό έδαφος χαρακτηριζόμενο από τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας $\varepsilon_f=0.5\%$. Το μέγεθος της ολικής σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου λαμβάνεται ίσο προς

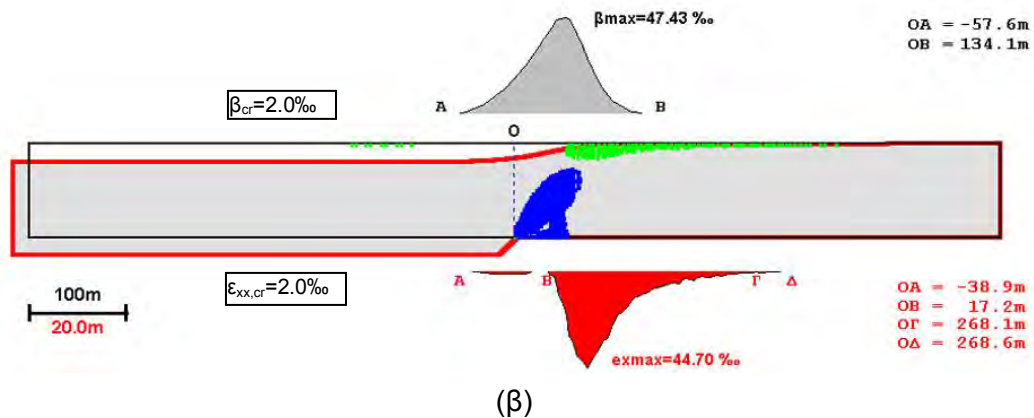
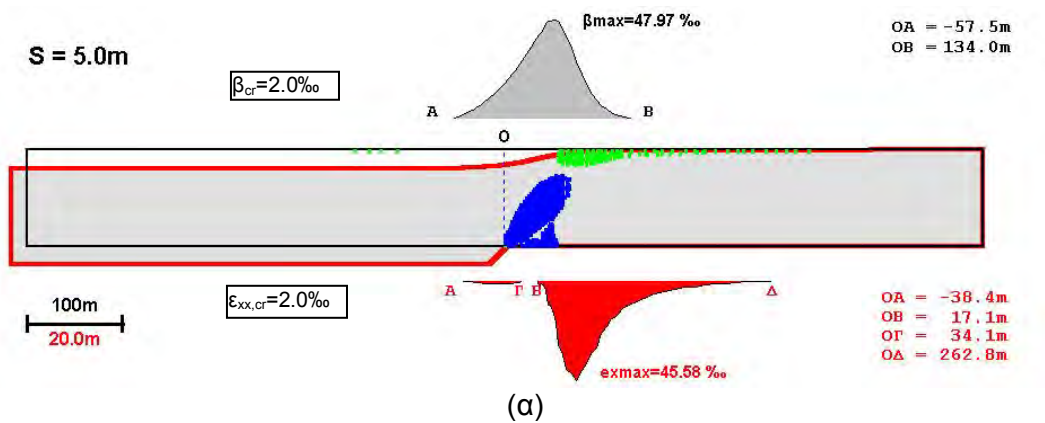


(α)

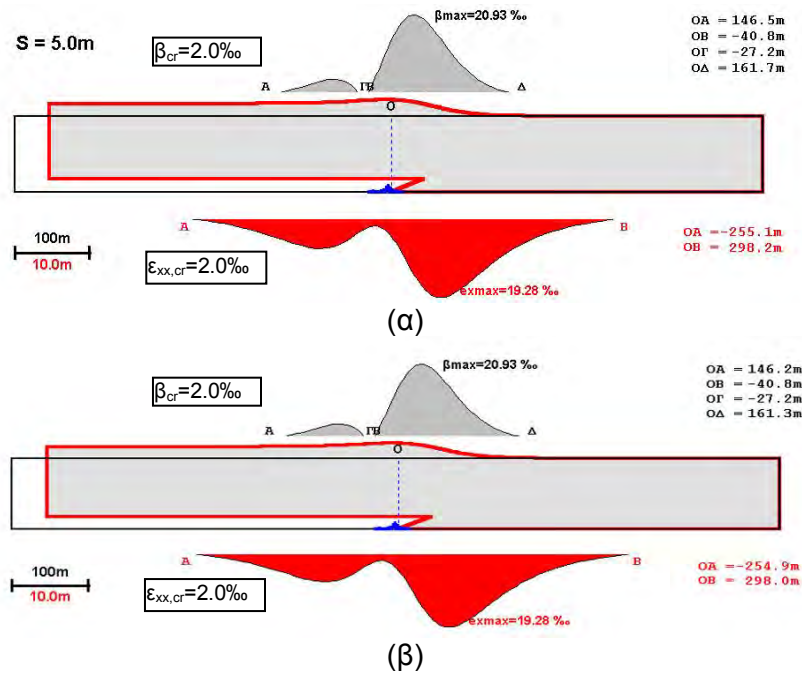


(β)

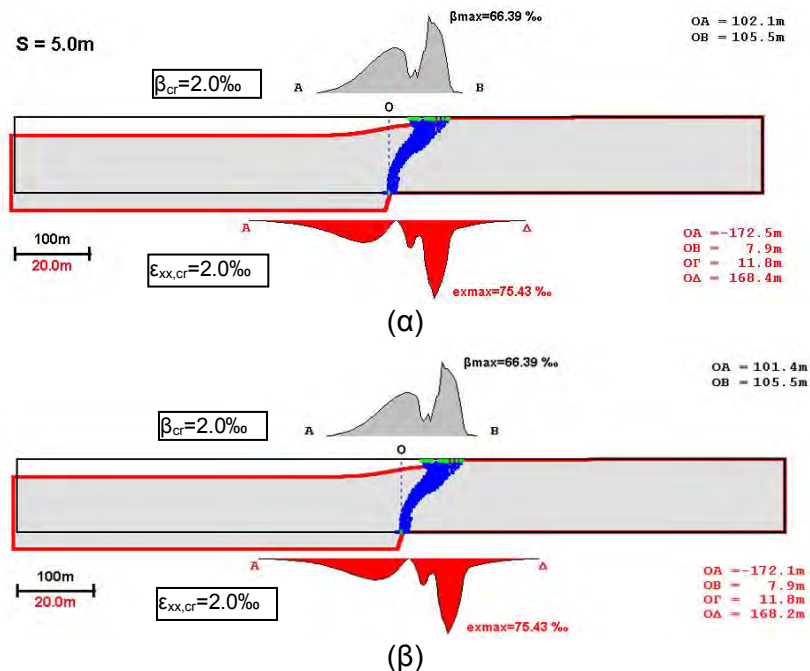
Σχήμα 4-15. Δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις (α) αραιό και (β) πολύ πυκνό



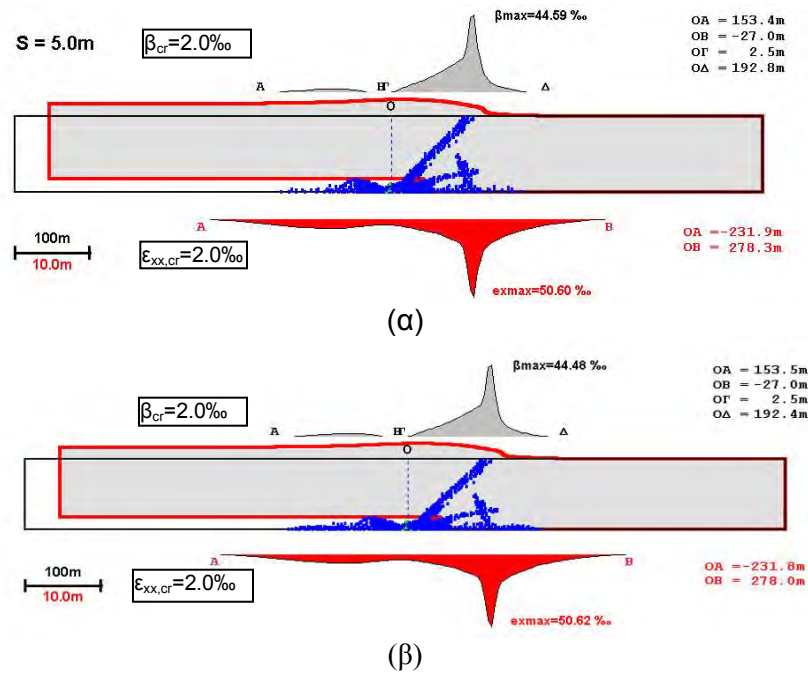
Σχήμα 4-16. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S=5.0m$)** σε υπερκείμενο **συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=5.0\%$)** με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων



Σχήμα 4-17. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\text{‰}}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0\text{m}$) σε υπερκείμενο **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=15.0\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων



Σχήμα 4-18. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\text{‰}}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=80^\circ$, $S=5.0\text{m}$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=5.0\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων

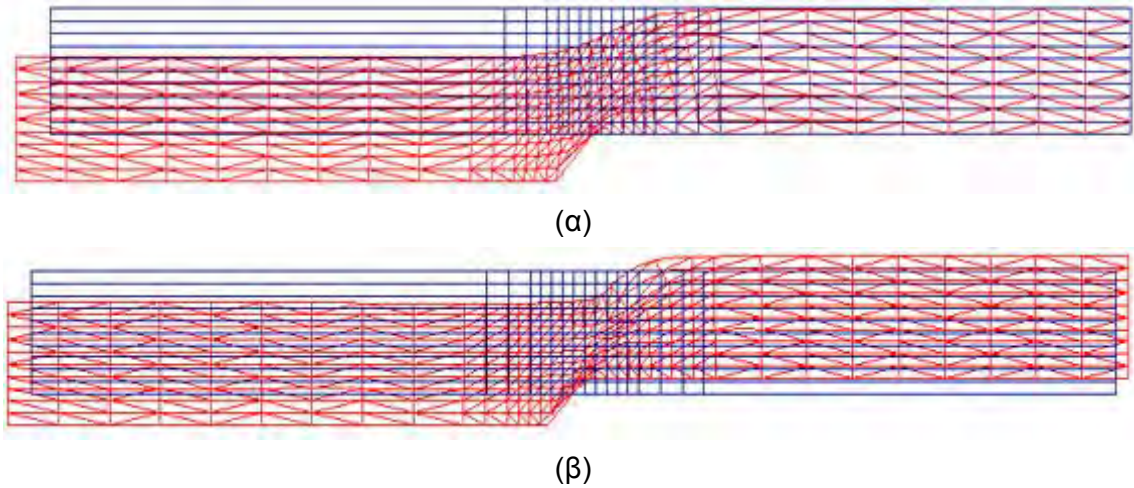


Σχήμα 4-19. Σύγκριση αποτελεσμάτων κατανομής γωνιακής παραμόρφωσης, β , και ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και του εύρους της κρίσιμης ζώνης, $B_{2\%}$, για την περίπτωση αναλύσεων διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S=5.0\text{m}$) σε υπερκείμενο **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με χρήση (α) “αραιού” και (β) “πολύ πυκνού” δικτύου πεπερασμένων στοιχείων

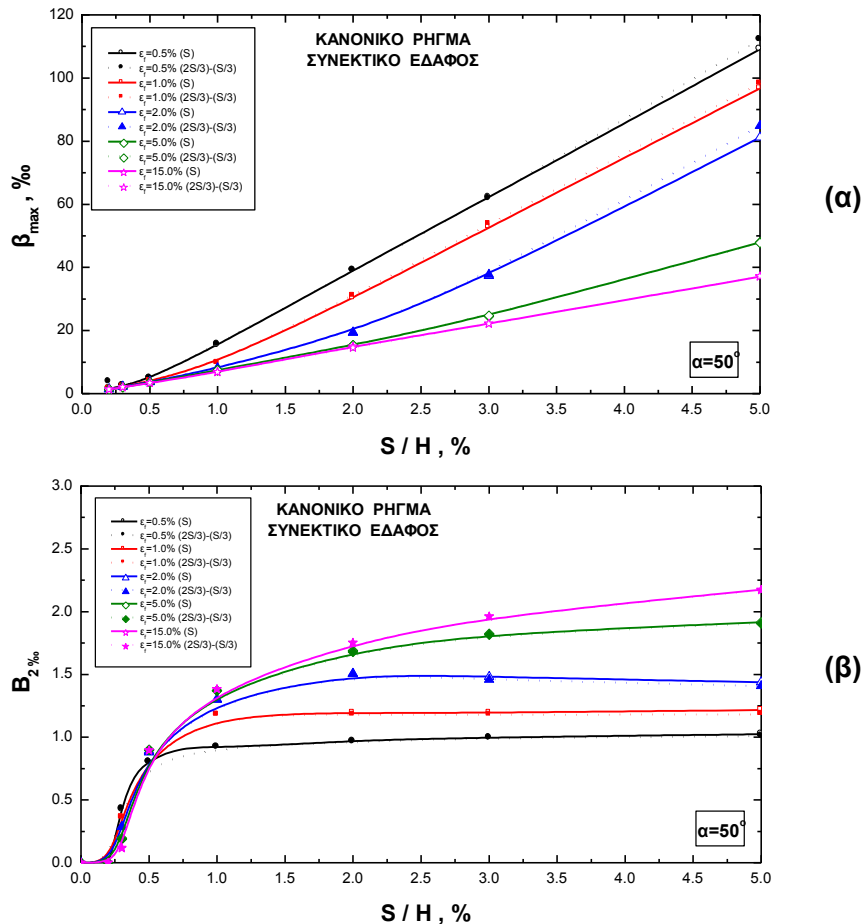
S και στις δύο περιπτώσεις. Η διαφοροποίηση των αναλύσεων έγκειται στο ότι στην περίπτωση του δικτύου του Σχ. 4-20(α) επιβάλλεται συνολική βύθιση του επικειμένου τεμάχους ίση με S ενώ στην περίπτωση του Σχ. 4-20(β) επιβάλλεται βύθιση ίση προς $2S/3$ στο αριστερό τμήμα του δικτύου και ανύψωση ίση με $S/3$ στο δεξιό τμήμα του δικτύου. Στα διαγράμματα των Σχ. 4-21 και 4-22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη μορφή διαγραμμάτων $\beta_{\max} - S/H$ και $B_{2\%} - S/H$ για την περίπτωση συνεκτικού και μη-συνεκτικού εδάφους και διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f . Παρατηρείται ότι η διαφοροποίηση του μηχανισμού διάρρηξης δεν έχει καμία επίδραση στα εξεταζόμενα μεγέθη β_{\max} και $B_{2\%}$. Για το λόγο αυτό όλες οι παραμετρικές αναλύσεις της παρούσας έρευνας διεξήχθησαν με την επιβολή της ολικής τιμής της σεισμικής ολίσθησης στο επικείμενο τέμαχος του ρήγματος.

4.5. Επίδραση του Πάχους του Εδαφικού Στρώματος

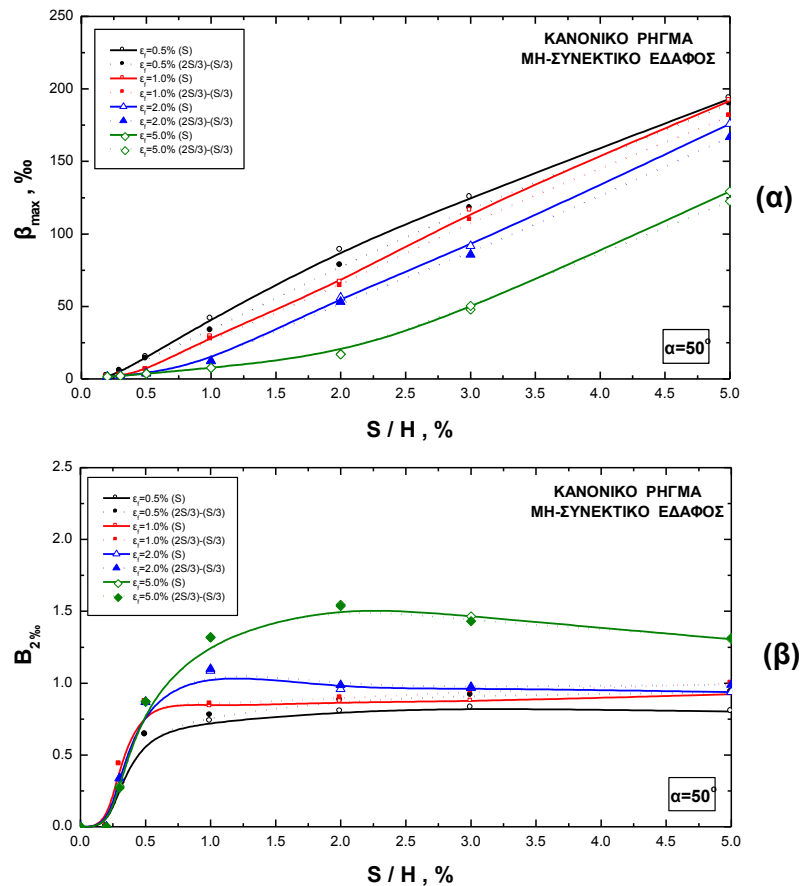
Το πάχος, H, του οριζόντιου εδαφικού στρώματος που υπέρκειται του βραχώδους υποβάθρου, αποτελεί μία σημαντική γεωμετρική παράμετρο της εξιδανίκευσης του εξεταζόμενου φυσικού προβλήματος, που παρουσιάσθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επειδή η εξιδανίκευση περιλαμβάνει και άλλες παραμέτρους μηκών όπως το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου, S, το πλάτος της επικίνδυνης ζώνης, B, και την



Σχήμα 4-20. Παραμορφωμένα δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων που προέκυψαν από διαφορετικούς τρόπους προσομοίωσης του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, $S=5.0m$, στο βραχώδες υπόβαθρο για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)



Σχήμα 4-21. Επίδραση του μηχανισμού διάρρηξης κανονικού ρήγματος με κλίση $\alpha=50^\circ$ στην υπολογιζόμενη τιμή (α) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} και (β) του εύρους της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}/H$ (συνεκτικό έδαφος). Παρουσιάζονται αποτελέσματα για διάφορες τιμές του ε_f και δύο περιπτώσεις τρόπου διάρρηξης: βύθιση= S και βύθιση= $(2S/3)$ -ανύψωση ($S/3$).



Σχήμα 4-22. Επίδραση του μηχανισμού διάρρηξης κανονικού ρήγματος με κλίση $\alpha=50^\circ$ στην υπολογιζόμενη τιμή (α) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} και (β) του εύρους της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%o}/H$ (μη-συνεκτικό έδαφος). Παρουσιάζονται αποτελέσματα για διάφορες τιμές του ϵ_f και δύο περιπτώσεις τρόπου διάρρηξης: βύθιση=S και βύθιση=(2S/3)-ανύψωση (S/3).

απόσταση C, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη η διερεύνηση της εξάρτησης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων από την τιμή της παραμέτρου, H. Εφόσον αποδειχθεί ότι δεν υφίσταται τέτοια εξάρτηση, τότε σε όλες τις συσχετίσεις θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν κανονικοποιημένες τιμές, π.χ. S/H , B/H και C/H οι οποίες διευκολύνουν σημαντικά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

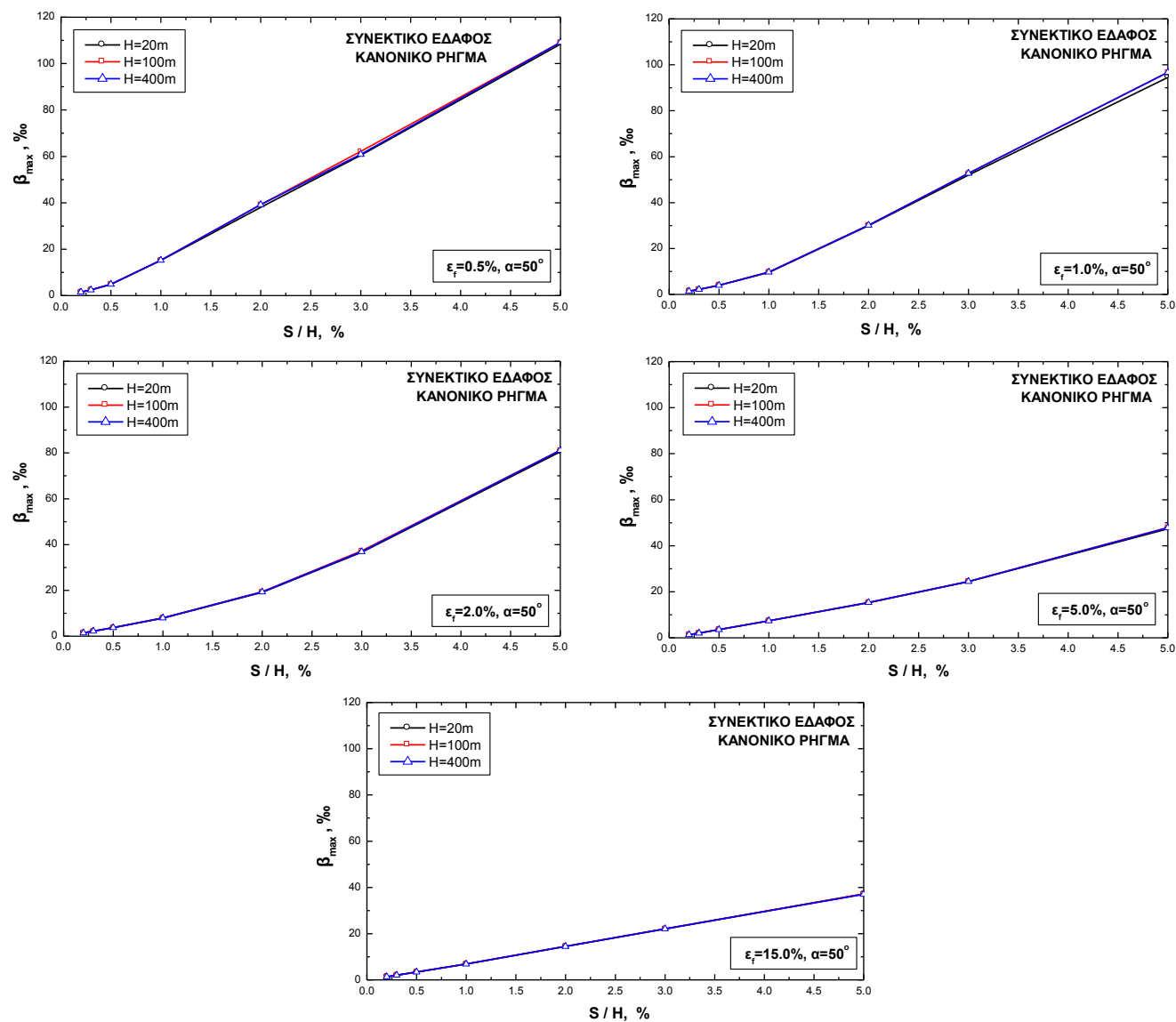
Οι σχετικές διερευνήσεις περιέλαβαν αναλύσεις της διάδοσης διάρρηξης κανονικών και ανάστροφων για τις τιμές του πάχους, H, ίσες με 20m, 100m και 400m, για την περίπτωση τόσο του συνεκτικού όσο και του μη-συνεκτικού εδάφους και τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας $\epsilon_f=0.5\%$, 1.0% , 2.0% , 5.0% και 15.0% . Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στα διαγράμματα των Σχ. 4-23 έως Σχ. 4-30. Παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις η κανονικοποίηση των μεγεθών β_{max} και $B_{2\%o}$ σε σχέση με το πάχος, H, οδηγεί σε συσχετίσεις που δεν εξαρτώνται περαιτέρω από την τιμή του H. Για το λόγο αυτό όλες οι αναλύσεις της παρούσας έρευνας διεξήχθησαν για την τιμή $H=100m$ και όλα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με κανονικοποιημένη μορφή.

4.6. Επίδραση της Δυσκαμψίας της Θεμελίωσης-Ανωδομής

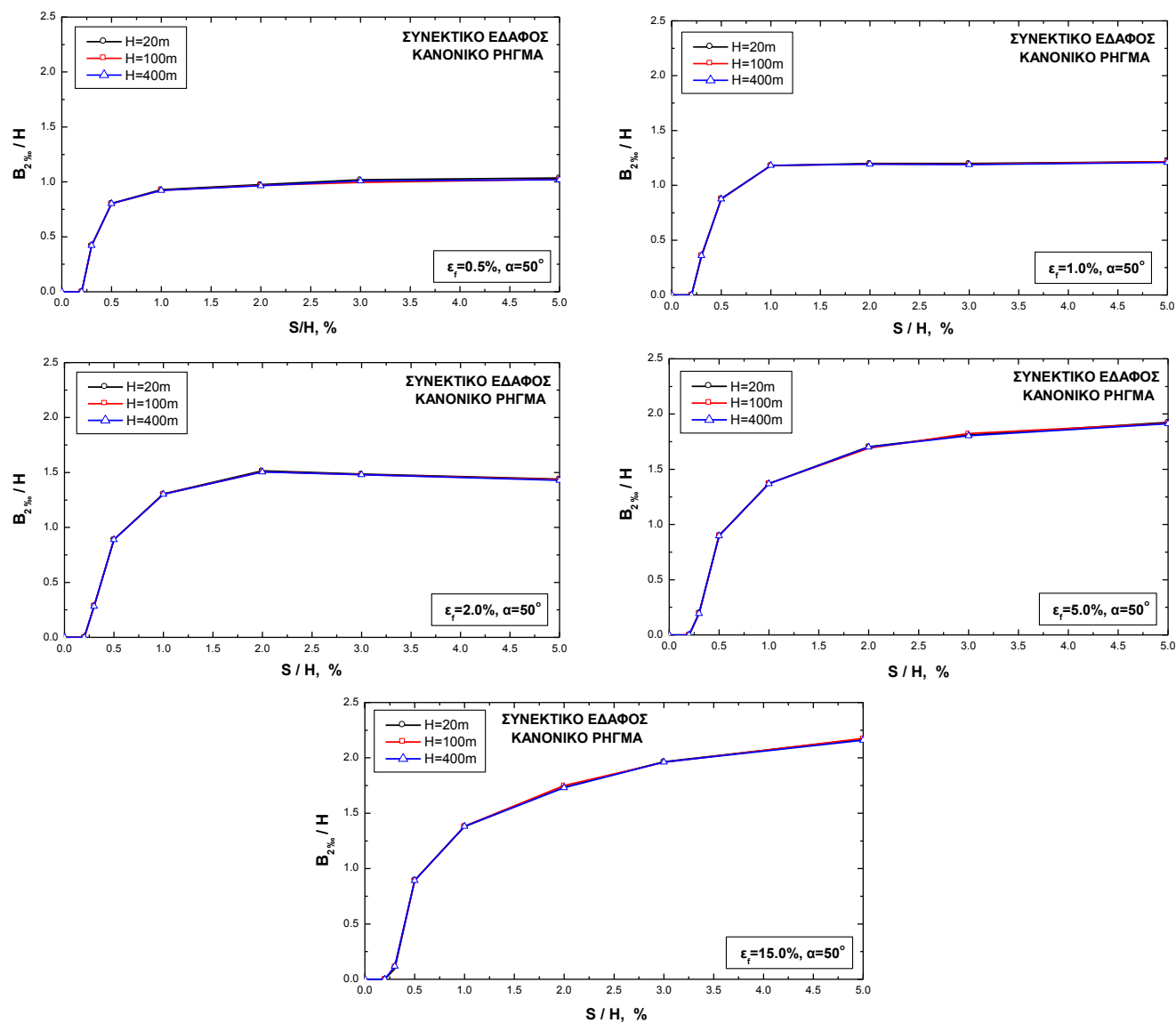
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι τιμές της γωνιακής παραμορφώσεως, β , και της ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης, ϵ_{xx} , που υπολογίζονται με την περιγραφείσα μεθοδολογία της παρούσας έρευνας αναφέρονται σε συνθήκες ελευθέρου πεδίου. Τα υφιστάμενα όμως κριτήρια για τις επιτρεπόμενες τιμές παραμορφώσεων αναφέρονται στις παραμορφώσεις του συστήματος θεμελίωσης. Η διερεύνηση της συσχέτισης των παραμορφώσεων του ελευθέρου πεδίου με αυτές ενός συγκεκριμένου συστήματος θεμελίωσης αποτελεί πρόβλημα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής και βρίσκεται έξω από το αντικείμενο του ερευνητικού προγράμματος. Στην παρούσα Υποενότητα γίνεται μια προσπάθεια απλοποιημένης αντιμετώπισης του προβλήματος ώστε να αποκτηθεί μια προκαταρκτική εικόνα των επιπτώσεων της προαναφερθείσας αλληλεπίδρασης.

Για την επίτευξη του ανωτέρω στόχου διεξήχθησαν αναλύσεις διάδοσης της διάρρηξης κανονικού ρήγματος, κλίσης 50° και μεγέθους ολίσθησης $S=1.0m$ σε εδαφικό στρώμα, στην επιφάνεια του οποίου προσομοιώθηκε η ύπαρξη “πλάκας θεμελίωσης”, με μέτρο ελαστικότητας 10^3 τουλάχιστον φορές μεγαλύτερο του αντίστοιχου του εδάφους. Η πλάκα θεμελίωσης τοποθετήθηκε στη θέση ανάπτυξης των μεγίστων τιμών παραμορφώσεων και το πάχος και πλάτος της επελέγησαν έτσι ώστε η δυσκαμψία της να παρουσιάζει ομοιότητα με αυτήν μιας συνήθους κατασκευής. Στα Σχ. 4-31, Σχ. 4-32 και Σχ. 4-33 παρουσιάζονται διαγράμματα του παραμορφωμένου δικτύου πεπερασμένων στοιχείων και κατανομής της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελευθέρου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πλάτους $100m$ με κατανεμημένη φόρτιση $q=20kN/m^2$, $40kN/m^2$ και $60kN/m^2$ και πάχους $0.50m$, $1.0m$ και $2.0m$, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η υπολογιζόμενη παραμορφώσεις, β , μειώνονται σημαντικά (περισσότερο από 50%) στην περίπτωση ύπαρξης πλάκας θεμελίωσης ενώ δεν παρατηρείται εξάρτηση του ποσοστού μείωσης από το πάχος της πλάκας. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και για την περίπτωση των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} .

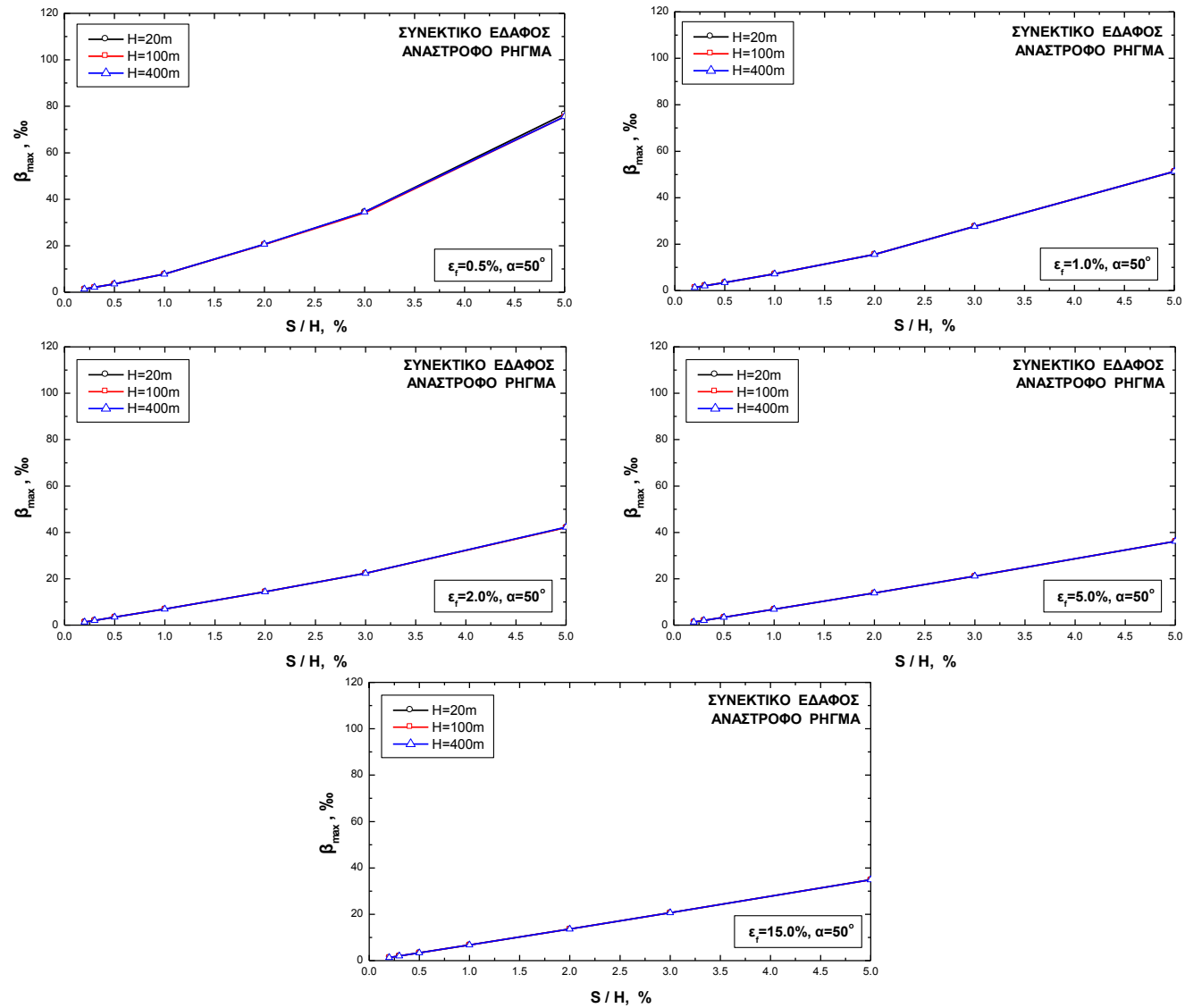
Με βάση τα προκαταρκτικά αυτά αποτελέσματα είναι δυνατό να διατυπωθεί το ακόλουθο συμπέρασμα: για τον καθορισμό του πλάτους της επικίνδυνης ζώνης, B , στην επιφάνεια του εδάφους είναι δυνατή η χρήση επιτρεπόμενων τιμών παραμορφώσεων ελευθέρου πεδίου οι οποίες θα μπορούν να λαμβάνονται τουλάχιστον διπλάσιες των επιτρεπόμενων τιμών των παραμορφώσεων της θεμελίωσης. Έτσι για συνήθης οικοδομικά έργα σκυροδέματος η επιτρεπόμενη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{cr} ελευθέρου πεδίου μπορεί να λαμβάνεται ίση με $\beta_{cr}=5\%$.



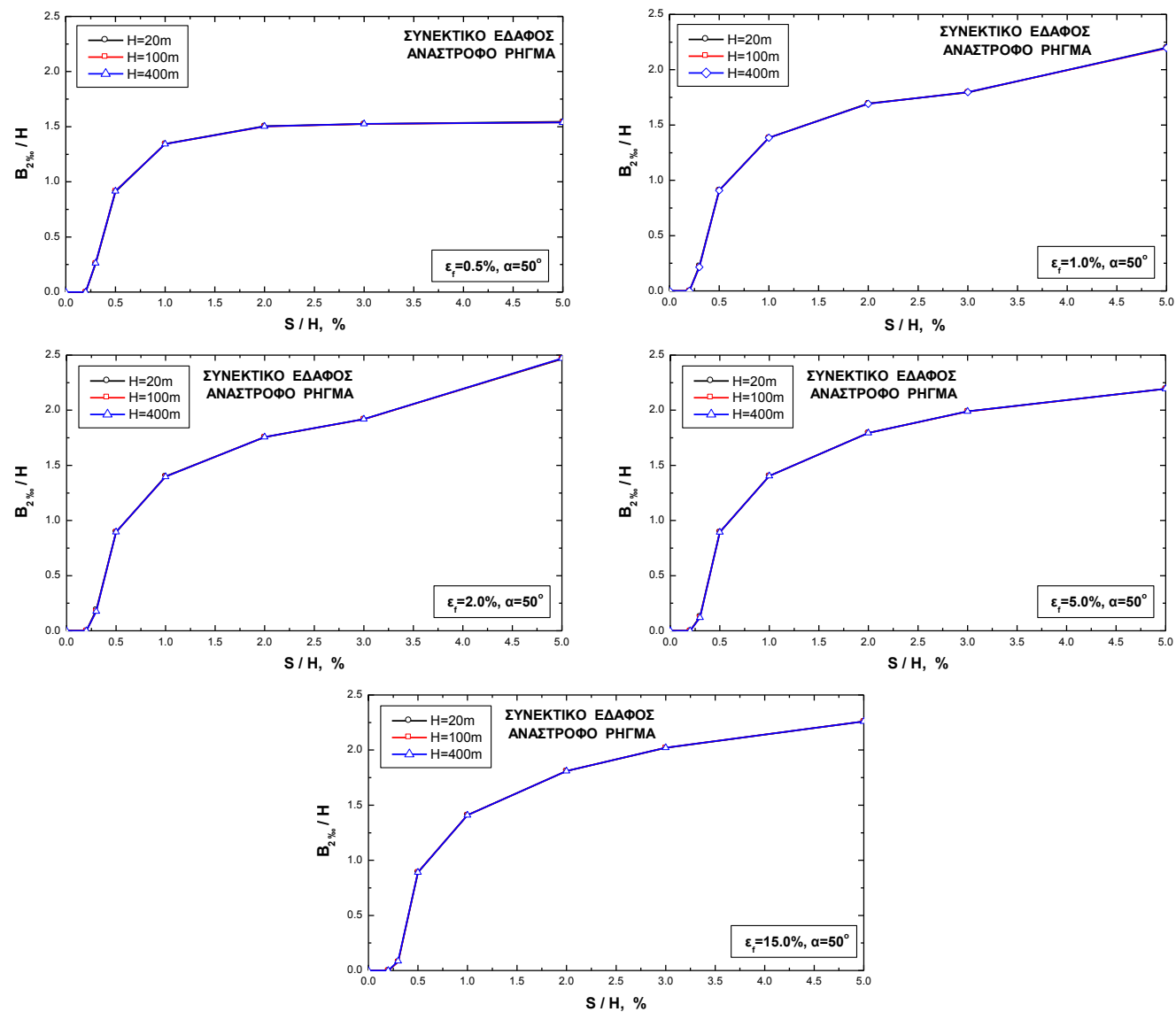
Σχήμα 4-23. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$) και συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f=0.5\% - 15.0\%$)



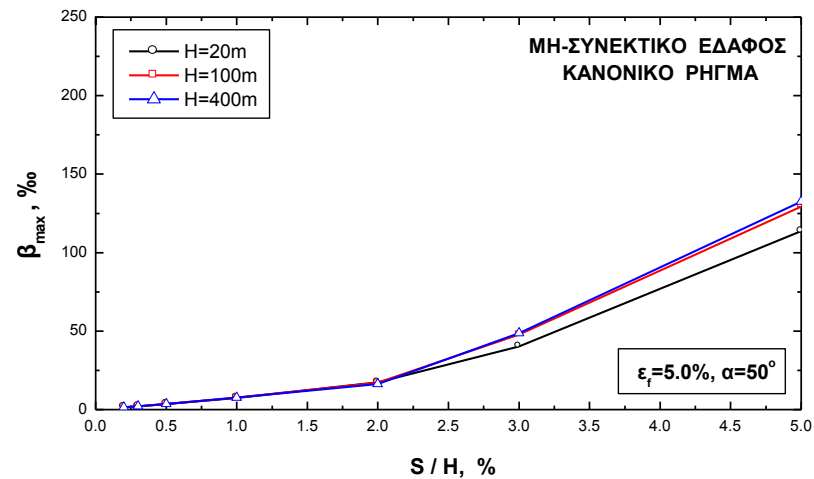
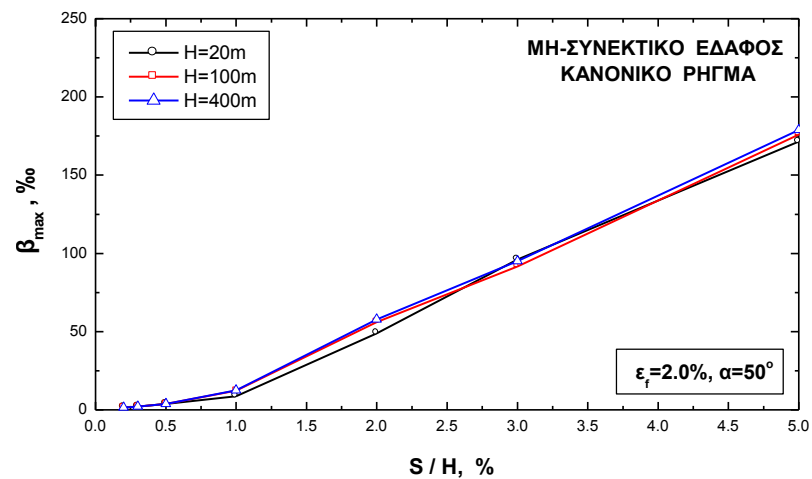
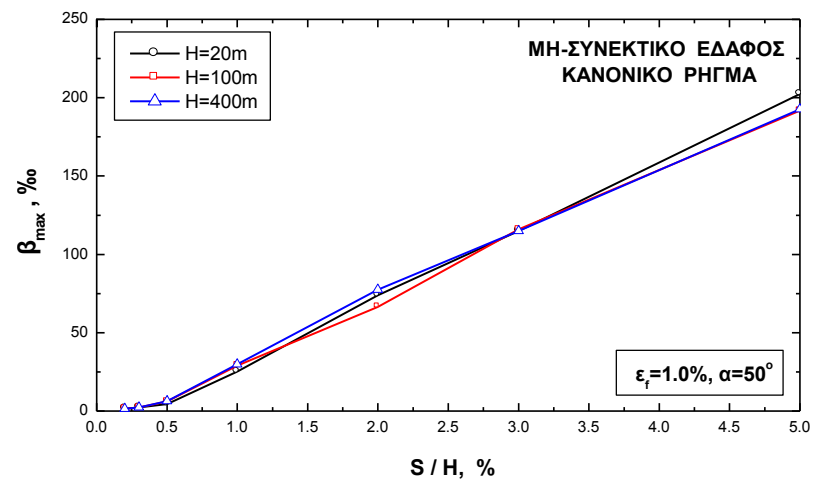
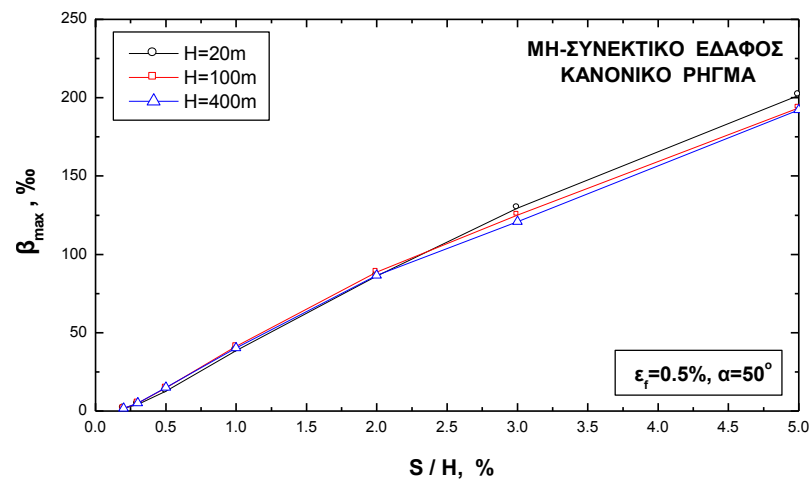
Σχήμα 4-24. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση **κανονικού** ρήγματος και **συνεκτικού** εδάφους ($\epsilon_f=0.5\% - 15.0\%$)



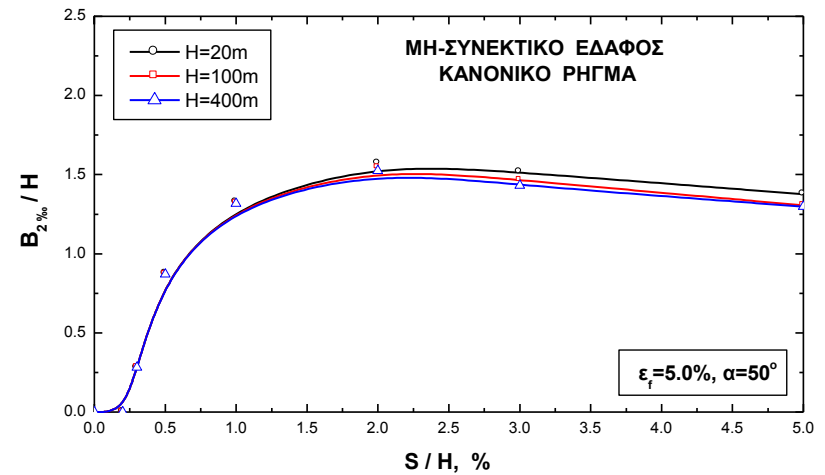
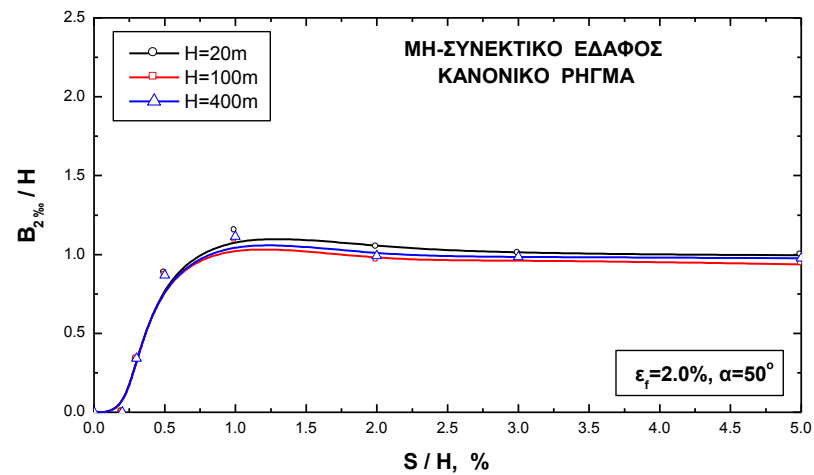
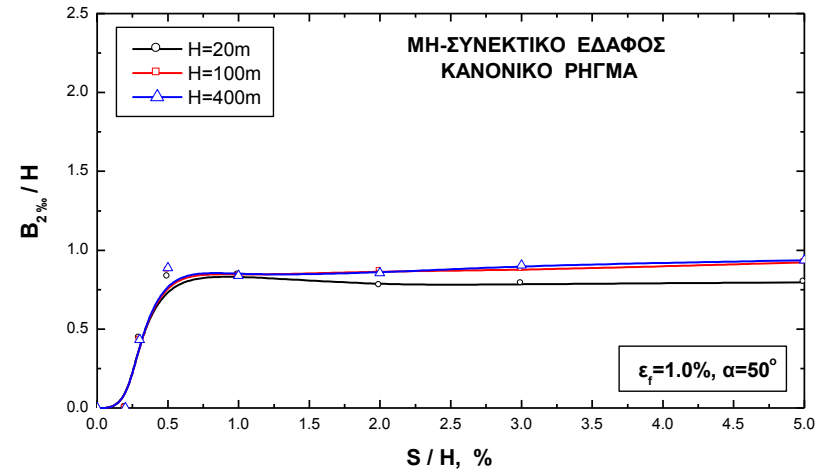
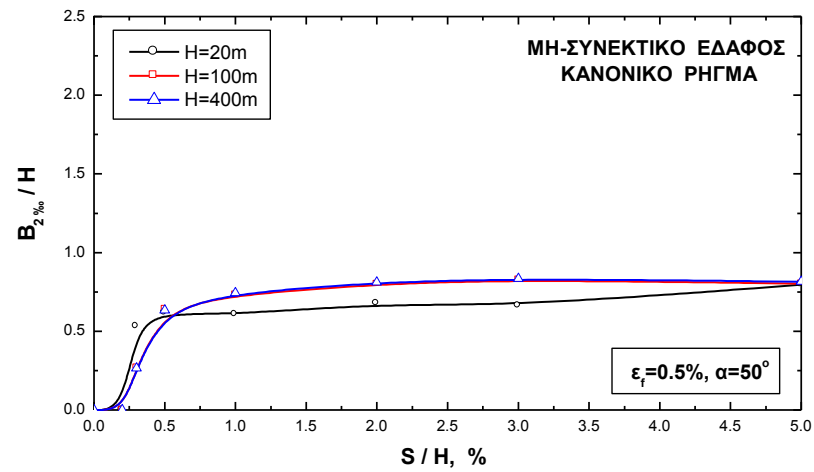
Σχήμα 4-25. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος και **συνεκτικού** εδάφους ($\varepsilon_f = 0.5\% - 15.0\%$)



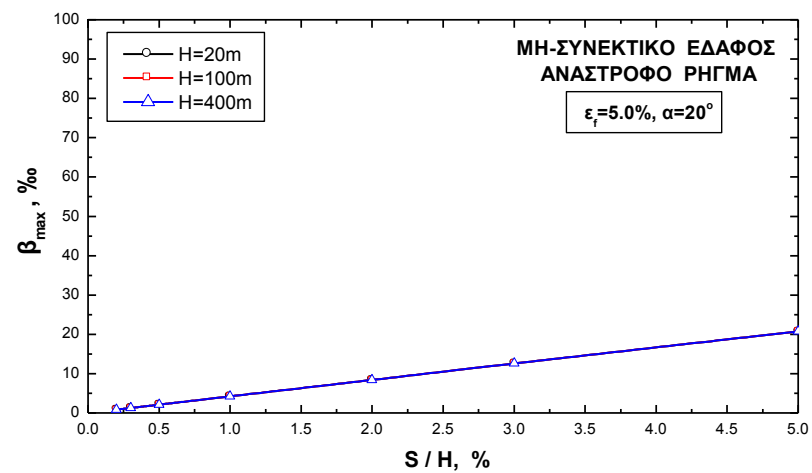
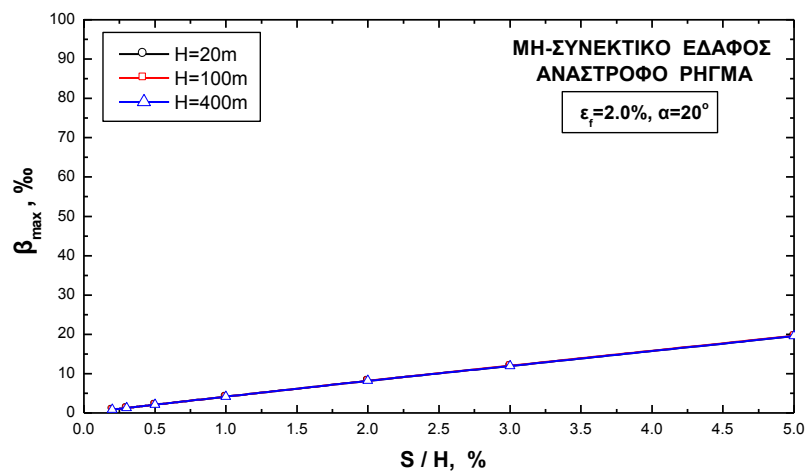
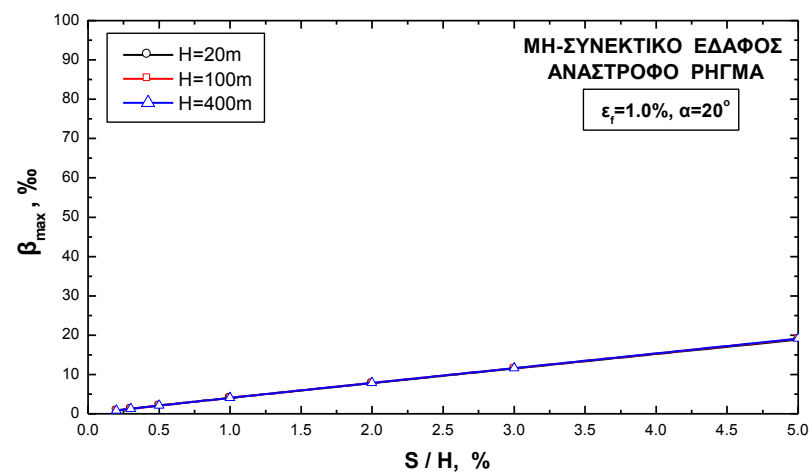
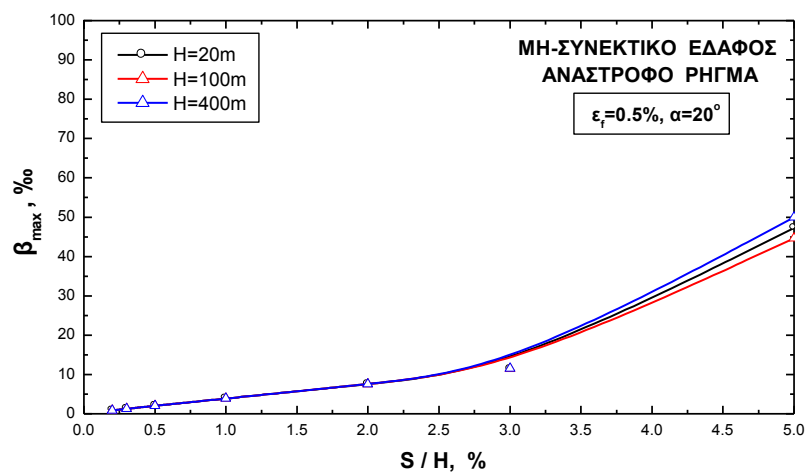
Σχήμα 4-26. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος και **συνεκτικού** εδάφους ($\epsilon_r=0.5\% - 5.0\%$)



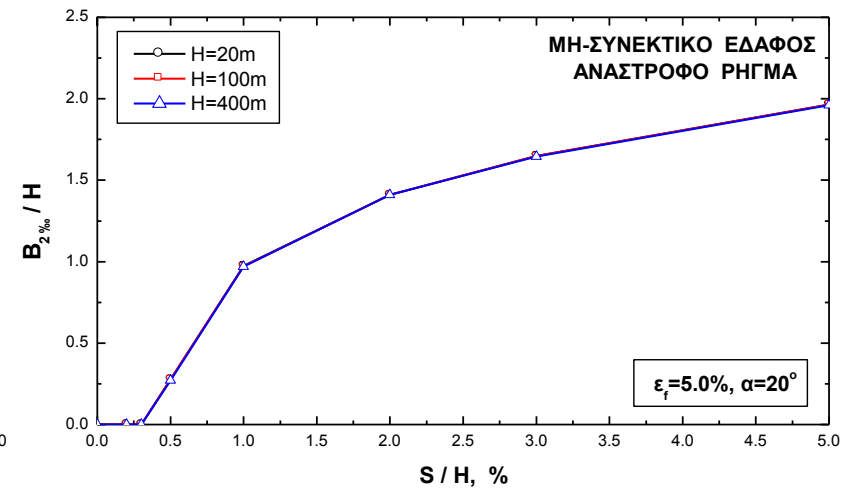
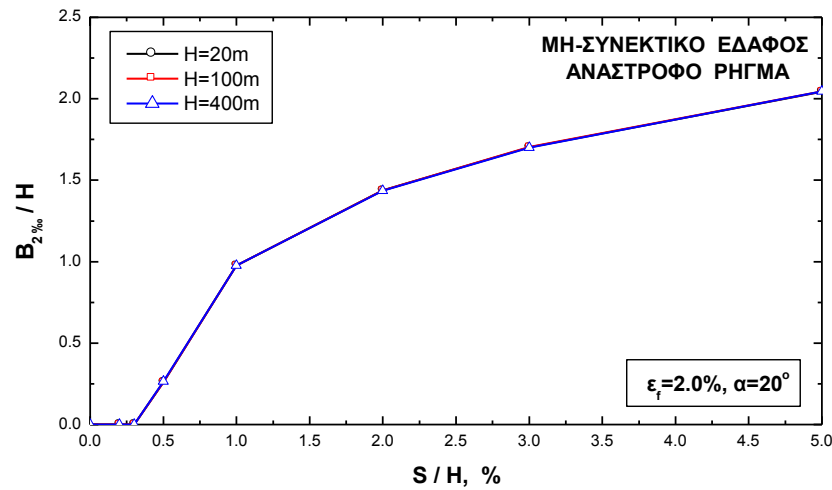
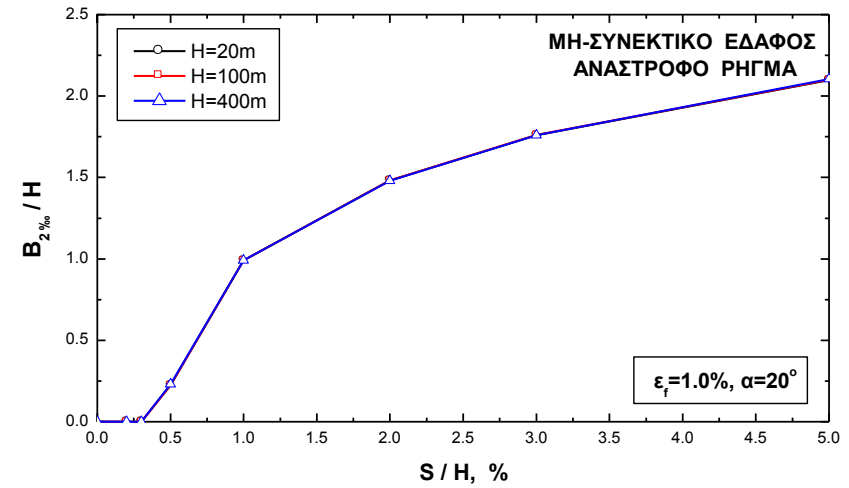
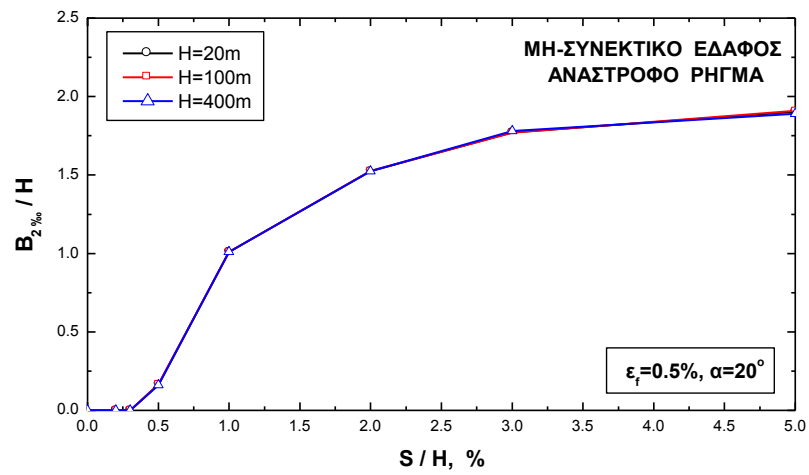
Σχήμα 4-27. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση κανονικού ρήγματος και μη-συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f = 0.5\% - 15.0\%$)



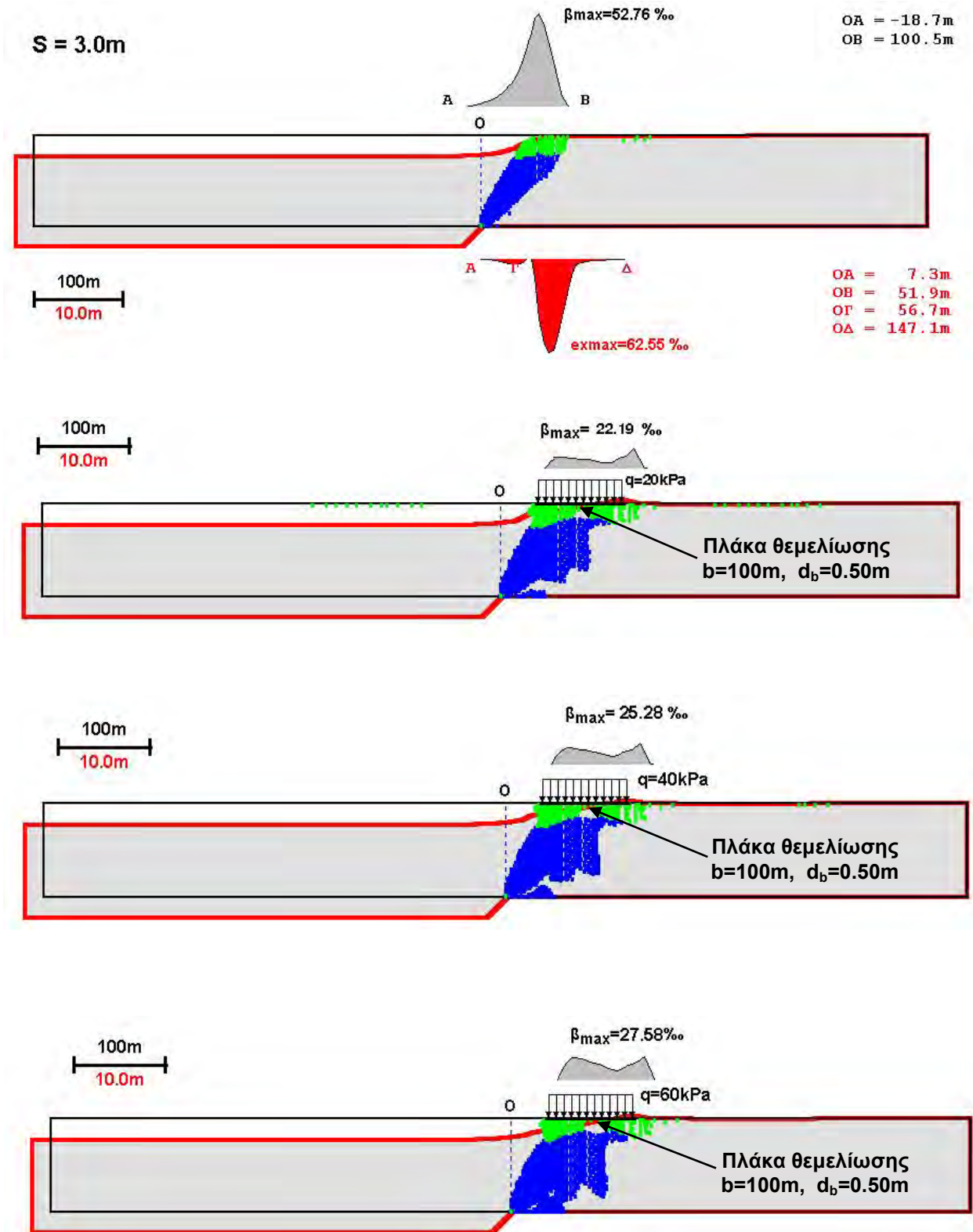
Σχήμα 4-28. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση κανονικού ρήγματος και μη-συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f=0.5\% - 5.0\%$)



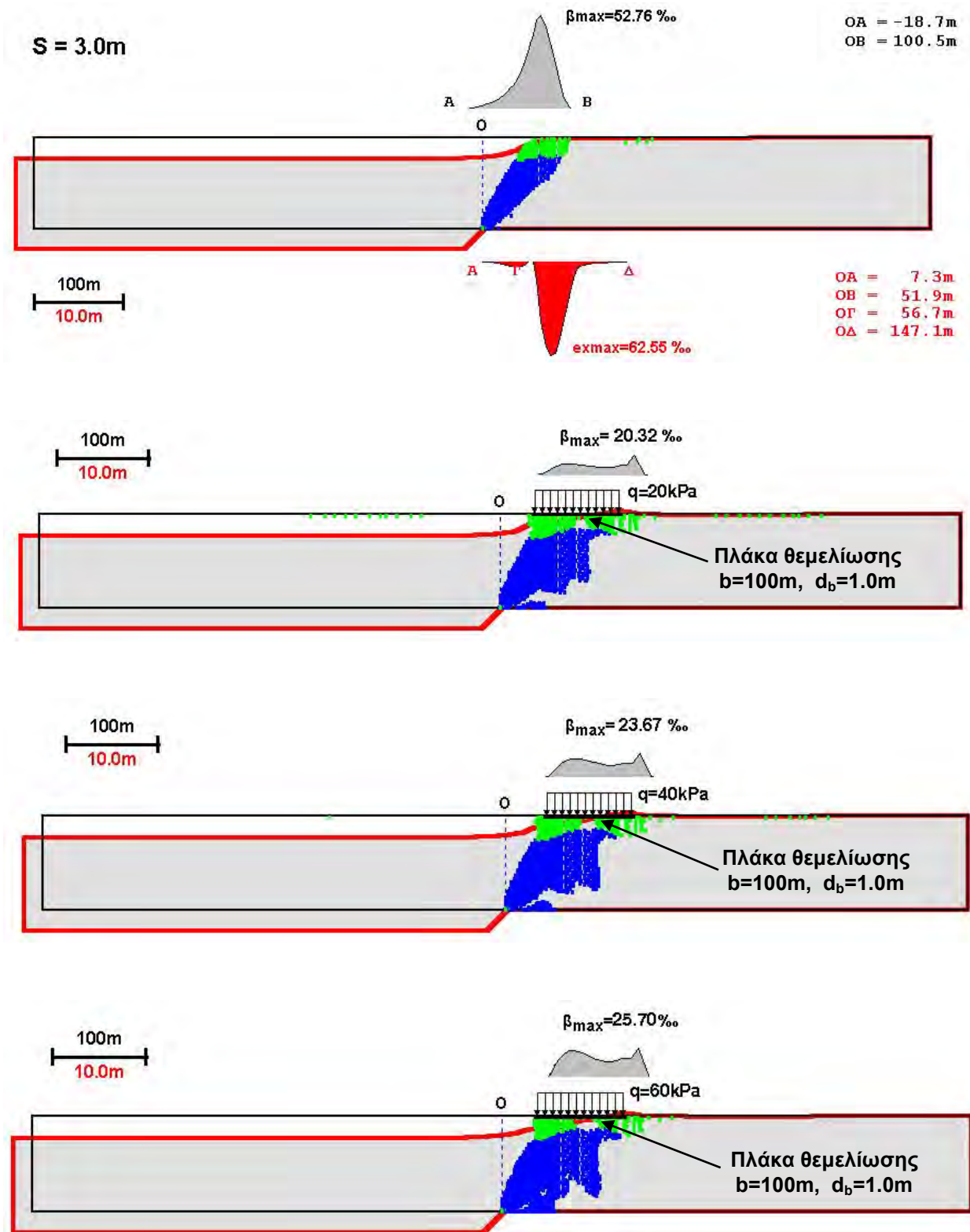
Σχήμα 4-29. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στη μέγιστη τιμή γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος και **μη-συνεκτικού** εδάφους ($\epsilon_f = 0.5\% - 5.0\%$)



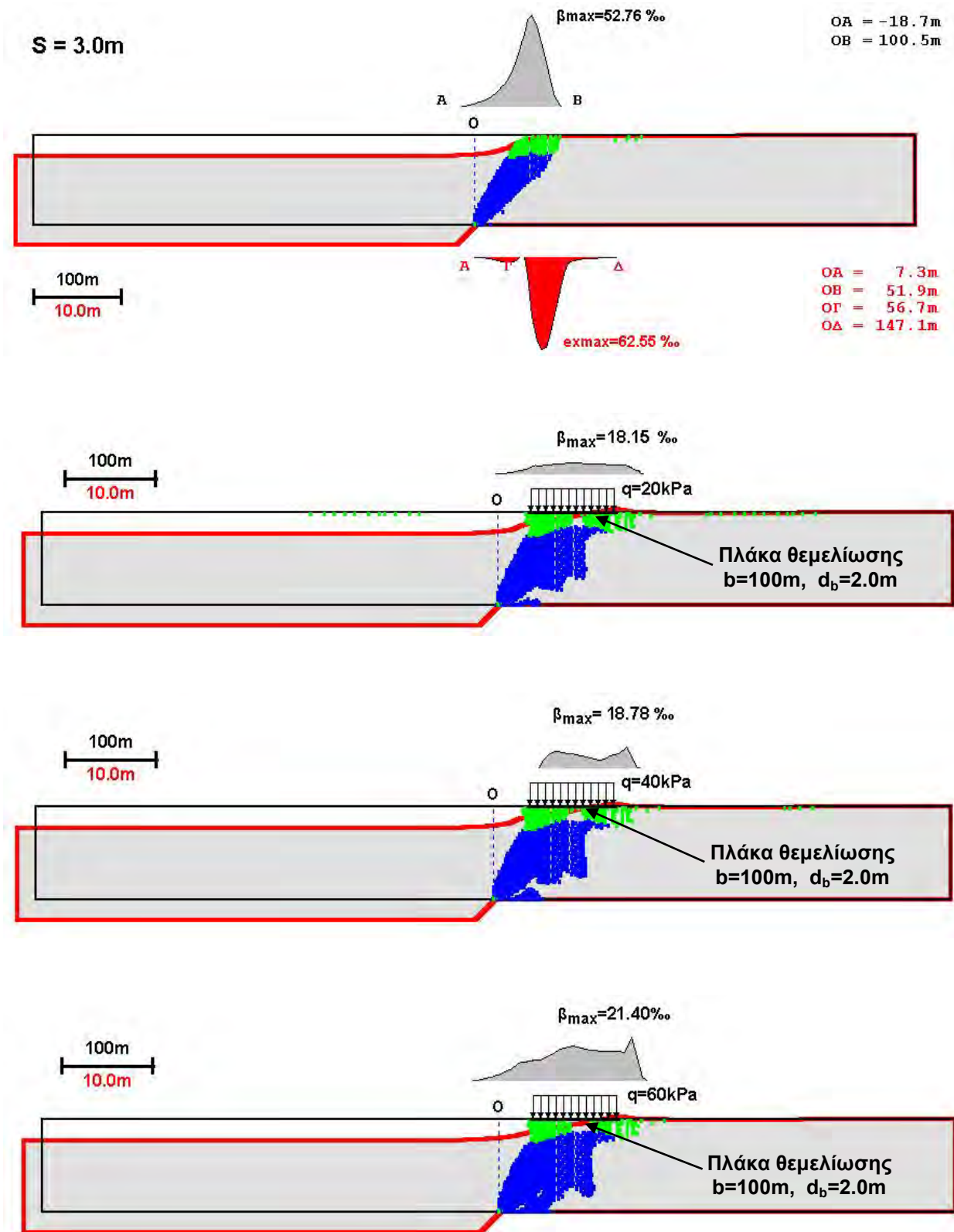
Σχήμα 4-30. Επίδραση της τιμής του πάχους H του εδαφικού στρώματος στο λόγο $B_{2\%}/H$ για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος και **μη-συνεκτικού** εδάφους ($\epsilon_f = 0.5\% - 5.0\%$)



Σχήμα 4-31. Κατανομή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελευθέρου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πάχους 0.50m κατά τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\varepsilon_f=1.0\%$)



Σχήμα 4-32. Κατανομή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελεύθερου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πάχους 1.0m κατά τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=1.0\%$)



Σχήμα 4-33. Κατανομή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β , για την περίπτωση ελεύθερου πεδίου και πλάκας θεμελίωσης πάχους 2.0m κατά τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος ($\alpha=50^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=1.0\%$)

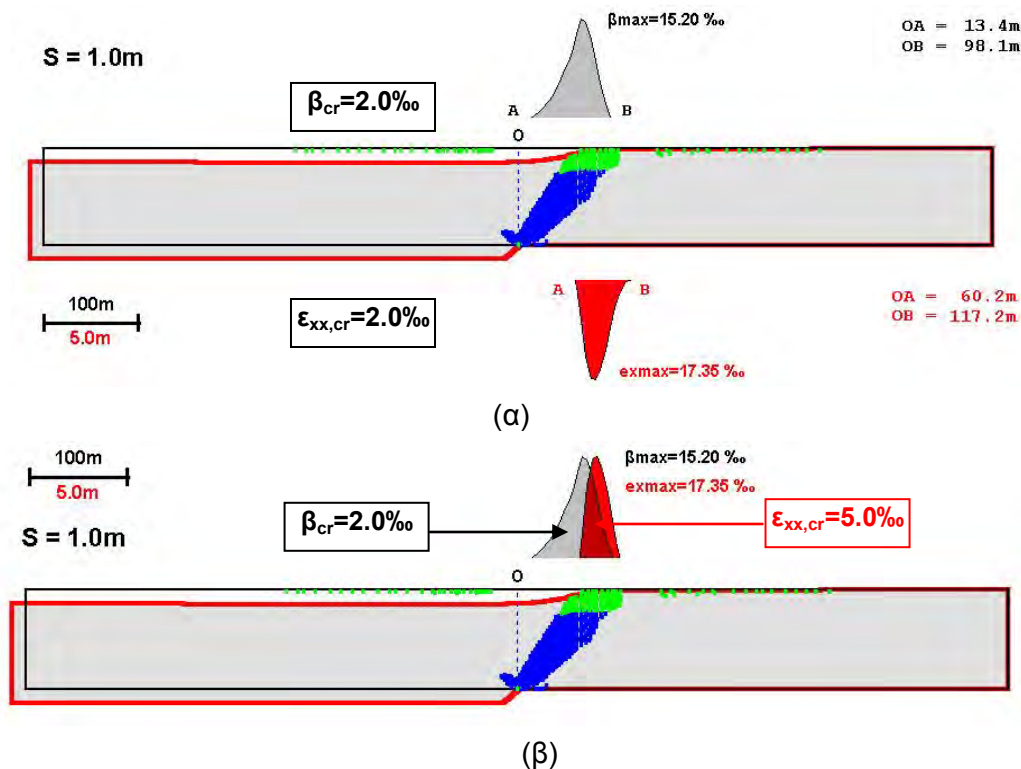
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την περίπτωση των συνεκτικών εδαφών. Οι αναλύσεις αφορούν τη διάρρηξη τόσο κανονικών όσο και ανάστροφων ρηγμάτων υποβάθρου και για κάθε είδος ρήγματος εξετάζεται η επιρροή του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου, S , και της αντίστοιχης γωνίας κλίσης, α , καθώς και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , του εδαφικού υλικού επάνω στις προκύπτουσες τιμές της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , και του πλάτους και της θέσης του κέντρου της επικίνδυνης ζώνης, B_{bcr} . Παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα που αφορούν το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος καθώς και την τιμή της γωνίας, ϕ_δ , με την οποία η επιφάνεια αστοχίας, θεωρούμενη ως επίπεδη, διασχίζει το εδαφικό στρώμα. Η παρουσίαση των ανωτέρω αποτελεσμάτων συνοδεύεται από σύντομες μόνο παρατηρήσεις ενώ ο σχολιασμός και η σύνθεση όλων των στοιχείων αποτελεί αντικείμενο του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7.

5.1. Περίπτωση Κανονικού Ρήγματος

Όπως αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 στην περίπτωση της διάρρηξης κανονικού ρήγματος με πάχος υπερκειμένου εδαφικού στρώματος ίσο με H , οι παραμετρικές αναλύσεις διεξήχθησαν για τιμές του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, S , κυμαινόμενες από $0.002H$ έως $0.05H$ και της γωνίας κλίσης, α , από 45° - 80° . Για την περιγραφή της συμπεριφοράς του συνεκτικού εδάφους χρησιμοποιήθηκε η ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , με τιμές κυμαινόμενες από 0.5% έως 15.0% . Οι αναλύσεις βασίσθηκαν στα αποτελέσματα του λογισμικού μετεπεξεργασίας FAULT, τα οποία παρουσιάζονται με τη γραφική μορφή που φαίνεται στα Σχ. 5-1 και Σχ. 5-2. Στο διάγραμμα του Σχ. 5-1(α) παρουσιάζεται η κατανομή των γωνιακών παραμορφώσεων, β , (επάνω) και των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} (κάτω) (για τιμές που υπερβαίνουν την κρίσιμη τιμή $\beta_{cr}=\varepsilon_{xx,cr}=2\%$) κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέγιστες τιμές, β_{max} και $\varepsilon_{xx,max}$ εμφανίζονται στο εσωτερικό των αντίστοιχων κρίσιμων ζωνών σε θέση που συνήθως δεν ταυτίζεται με το μέσο του εύρους της επικίνδυνης ζώνης. Στοιχεία που επιτρέπουν τον υπολογισμό του

εύρους της επικίνδυνης ζώνης: $B_{2\%}=(OB)-(OA)$ καθώς και τη θέση του μέσου του εύρους της: $C=(OA+OB)/2$, δηλαδή την απόστασή του από το σημείο αναφοράς O, δίνονται στο διάγραμμα του Σχ. 5-1(α). Αντίστοιχα δεδομένα δίνονται και για την επικίνδυνη ζώνη λόγω ανάπτυξης των ορθών εφελκυστικών παραμορφώσεων, ϵ_{xx} . Η κατανομή των τιμών των γωνιακών παραμορφώσεων β στην επιφάνεια του εδάφους υποδεικνύει ότι οι τιμές αυτές εμφανίζονται αυξημένες σε συγκεκριμένη περιοχή (που

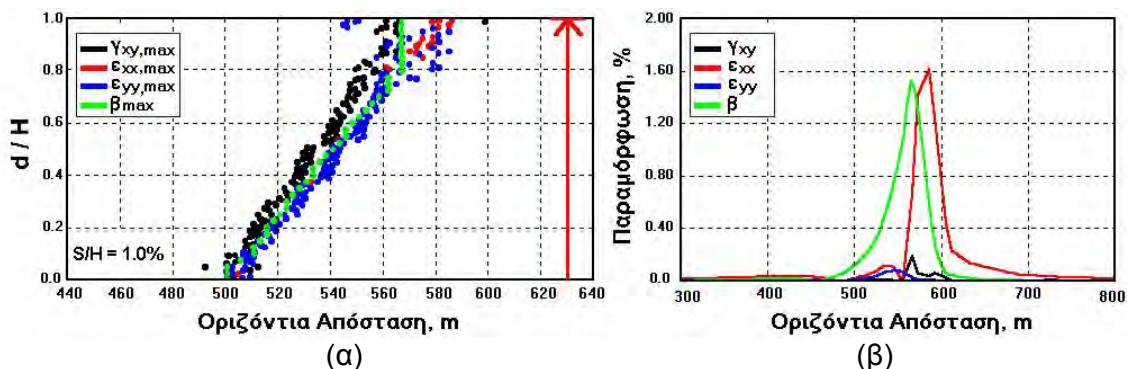


Σχήμα 5-1. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) (α) $\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}=2.0\text{‰}$ (β) $\beta_{cr}=2.0\text{‰}$, $\epsilon_{xx,cr}=5.0\text{‰}$

στις περισσότερες περιπτώσεις βρίσκεται υπεράνω του υποκειμένου τεμάχους του ρήγματος υποβάθρου). Είναι επομένως δυνατός ο καθορισμός του εύρους της επικίνδυνης ζώνης $B_{\beta_{cr}}$ για οιαδήποτε επιλεγείσα τιμή της επιτρεπόμενης (ή κρίσιμης) γωνιακής παραμόρφωσης, β_{cr} . Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και για την κατανομή των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων (εφελκυστικών ή θλιπτικών), ϵ_{xx} . Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρατήρηση ότι αν θεωρηθεί ότι $\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}$, τα όρια των δύο επικίνδυνων ζωνών $B_{\beta_{cr}}$ και $B_{\epsilon_{xx,cr}}$ δε συμπίπτουν, η τιμή όμως $\epsilon_{xx,max}$ εντοπίζεται πάντοτε στο εσωτερικό της επικίνδυνης ζώνης $B_{\beta_{cr}}$. Περαιτέρω, επειδή σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Bray, 2001), είναι $\epsilon_{xx,cr} \approx 1.5 \beta_{cr}$, το εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{\epsilon_{xx,cr}}$ γίνεται σημαντικά μικρότερο του $B_{\beta_{cr}}$, και στις περισσότερες περιπτώσεις σχεδόν περιλαμβάνεται στο εσωτερικό του εύρους $B_{\beta_{cr}}$ (βλ. υπέρθεση διαγραμμάτων στο Σχ. 5-1(β)). Επομένως, αρκεί ο καθορισμός του εύρους επικίνδυνης ζώνης $B_{\beta_{cr}}$ γιατί

έτσι καλύπτεται το κριτήριο τόσο της επιτρεπόμενης γωνιακής παραμόρφωσης $\beta_{cr,max}$ όσο και της ορθής οριζόντιας παραμόρφωσης $\epsilon_{xx,cr}$.

Το διάγραμμα του Σχ. 5-1 παρέχει επίσης στοιχεία που είναι χρήσιμα για τη μελέτη της καθ' ύψος διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης η οποία θεωρείται ότι βρίσκεται στο εσωτερικό της ζώνης που ορίζουν οι θέσεις των σημείων πλαστικοποίησης και των σημείων ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων. Πληρέστερη και ακριβέστερη, εν τούτοις, εικόνα για τη διάδοση της εδαφικής διάρρηξης προς την επιφάνεια του εδάφους αποκτάται από την παρατήρηση του Σχ. 5-2(α) στο οποίο παρουσιάζονται οι θέσεις των σημείων με τις μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων κατά την οριζόντια διεύθυνση και καθ' ύψος. Παρατηρείται καταρχήν ότι υπάρχει σχετική σύμπτωση των καμπυλών διάδοσης της β_{max} και $\gamma_{xy,max}$ και μπορεί να γίνει δεκτό ότι ο συνδυασμός των δύο καμπυλών αντιπροσωπεύει την καθ' ύψος ανάπτυξη της επιφανειακής διάρρηξης. Παρατηρείται επίσης ότι και οι δύο καμπύλες όταν εισέρχονται στη ζώνη ανάπτυξης των τάσεων εφελκυσμού αποκτούν κατακόρυφη διεύθυνση ενώ οι καμπύλες των οριζοντίων και κατακορύφων ορθών παραμορφώσεων ακολουθούν τη γενική διεύθυνση του αρχικού τμήματος. Ετσι από το Σχ. 5-2(α) είναι δυνατή η εκτίμηση και του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης. Όταν η ζώνη πλαστικοποίησης βρίσκεται σε επαφή με τη ζώνη ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων (όπως στην περίπτωση του Σχ.5-2(α)) γίνεται δεκτό ότι η επιφάνεια αστοχίας φθάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, στο διάγραμμα του Σχ. 5-2(β) παρουσιάζεται σύγκριση των κατανομών όλων των παραμορφώσεων (γ_{xy} , ϵ_{xx} , ϵ_{yy} και β) στην επιφάνεια του εδάφους. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι οι τιμές β και ϵ_{xx} είναι της ίδιας τάξης μεγέθους ενώ οι τιμές των άλλων παραμορφώσεων (γ_{xy} , ϵ_{yy}) είναι μικρότερες από τις προηγούμενες τουλάχιστον κατά μία τάξη μεγέθους.



Σχήμα 5-2. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)

Από την παρατήρηση του συνόλου των αντίστοιχων διαγραμμάτων με αυτά των Σχ. 5-1 και Σχ. 5-2, τα οποία περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β, προκύπτουν τα εξής:

- α) Στην περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων (ιδιαίτερα για υψηλές τιμές της γωνίας α), η διάδοση της διάρρηξης ακολουθεί σχεδόν επίπεδη επιφάνεια η οποία σχηματίζει γωνία με την οριζόντια διεύθυνση, $\phi_{\delta} \approx 60^\circ$. Για μικρότερες τιμές της γωνίας α (45° έως 60°) η τιμή της γωνίας ϕ_{δ} γίνεται μικρότερη και κυμαίνεται από 51° έως 55° . Το σχήμα της επιφάνειας διάδοσης της διάρρηξης παρουσιάζει ομοιότητα με τις καμπύλες των διαγραμμάτων του Σχ. 2-8 του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2, ιδιαίτερα για την περίπτωση ρηγμάτων με απότομη κλίση (Σχ. 2-8(α)). Αξίζει επίσης να παρατηρηθεί το γεγονός ότι η κατανομή των μεγίστων τιμών της διατμητικής παραμόρφωσης, γ_{xy} , κοντά στην επιφάνεια του εδάφους φαίνεται να παρουσιάζει ομοιότητα με τις καμπύλες διάδοσης των δευτερογενών διαρρήξεων.
- β) Όταν η επιφάνεια διάρρηξης δεν φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους παρατηρείται ότι όλες οι καμπύλες διάδοσης των παραμορφώσεων (διατμητικών, ορθών και γωνιακών) σχεδόν ταυτίζονται, μέχρι το ύψος ανάπτυξης της επιφάνειας διάρρηξης, h_f , σχηματίζοντας γωνία περίπου ίση με τη γωνία ϕ_{δ} . Στη συνέχεια οι καμπύλες διάδοσης $\gamma_{xy,max}$ και β_{max} αποκτούν περίπου κατακόρυφη διεύθυνση και αποχωρίζονται από τις καμπύλες $\varepsilon_{xx,max}$ και $\varepsilon_{yy,max}$ οι οποίες δεν μεταβάλλουν την αρχική τους γωνία κλίσης.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων που αφορούν: 1) το ύψος ανάπτυξης και τη γωνία διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H , ϕ_{δ} , αντίστοιχα, 2) τη μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης στην επιφάνεια του εδάφους, β_{max} , 3) το κανονικοποιημένο εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}/H$, $B_{5\%}/H$, $B_{10\%}/H$, και $B_{20\%}/H$ και την αντίστοιχη κανονικοποιημένη απόσταση του κέντρου της ζώνης C/H από το σημείο αναφοράς O.

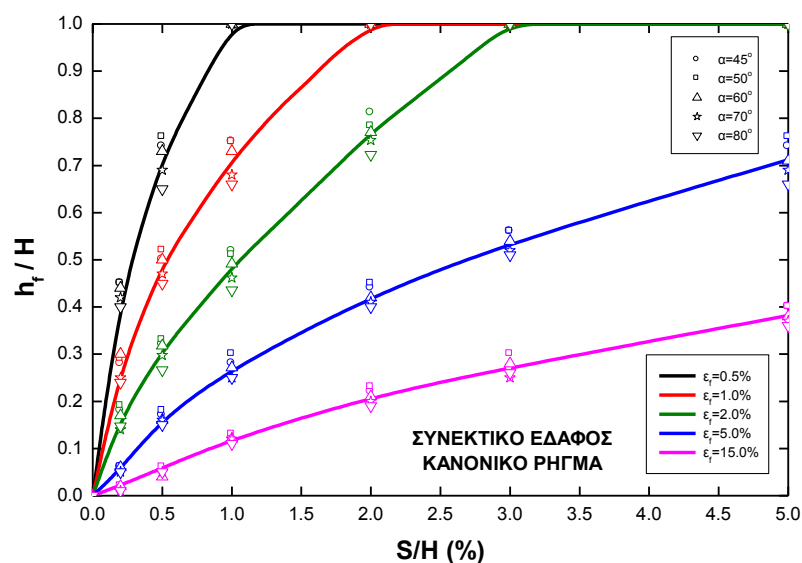
5.1.1. Ύψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης

Η μελέτη όλων των διαγραμμάτων της μορφής του Σχ. 5-2(α) επέτρεψε τη σχεδίαση του διαγράμματος του Σχ. 5-3 το οποίο παρουσιάζει την επίδραση της σχετικής σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου, S/H στη σχετική τιμή του ύψους ανάπτυξης h_f/H για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας ε_f , και της γωνίας κλίσης, α , του ρήγματος. Παρατηρείται ότι το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης επηρεάζει έντονα το ύψος ανάπτυξης (σχεδόν γραμμική επίδραση). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξάρτηση αυτής της συμπεριφοράς από την τιμή της παραμέτρου ε_f . Για μικρές τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, δηλαδή για ψαθυρή συμπεριφορά (0.5%, 1.0%, 5.0%), η

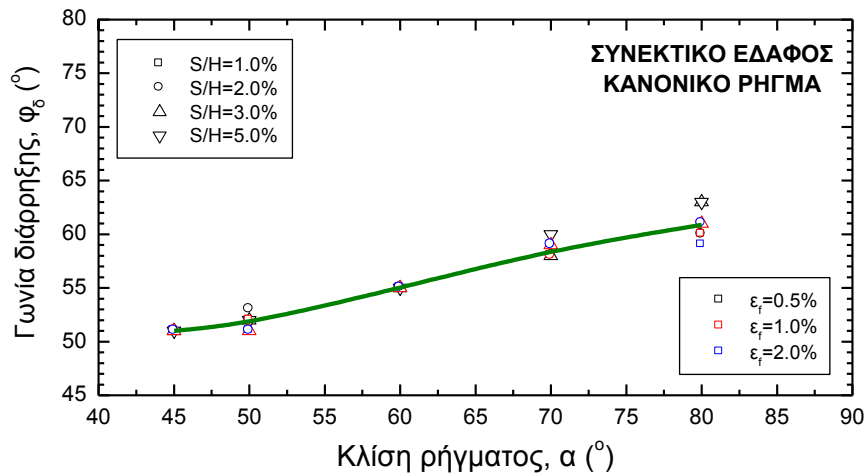
εξάρτηση της h_f από το S είναι εντονότατη και η επιφάνεια διάρρηξης φθάνει εύκολα στην επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, για την περίπτωση της πλάστιμης συμπεριφοράς ($\varepsilon_f=10\%$, 20%) ο βαθμός της ανωτέρω εξάρτησης γίνεται μικρότερος και η διάδοση της αστοχίας ουδέποτε φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Σε αντίθεση με την τιμή της παραμέτρου ε_f , η τιμή της γωνίας κλίσης, α , δεν επηρεάζει το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής αστοχίας. Σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχ. 5-3, απαραίτητη προϋπόθεση για την πλήρη ανάπτυξη της επιφανειακής αστοχίας είναι η τιμή της σχετικής σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου να κυμαίνεται από 3.0% έως 1.0% με αντίστοιχες τιμές του ε_f κυμαινόμενες από 2.0% έως 0.5% , αντίστοιχα.

5.1.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Διάρρηξης

Η γωνία διάδοσης της επιφανειακής αστοχίας, θεωρούμενης προσεγγιστικά ως επίπεδης, στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος, φ_δ , συγκαταλέγεται στις παραμέτρους που διερευνήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας έρευνας. Οι σχετικές διερευνήσεις οδήγησαν στο ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι η τιμή της φ_δ δεν εξαρτάται από την τιμή της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου S/H , ούτε από την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , αφήνοντας ως μοναδική παράμετρο εξάρτησης τη γωνία κλίσης της σεισμικής διάρρηξης υποβάθρου, α . Σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχ. 5-4, η τιμή της γωνίας φ_δ αυξάνεται γραμμικά με τη γωνία α και κυμαίνεται από $\varphi_\delta \approx 50^\circ$ για $\alpha=45^\circ$ έως $\varphi_\delta \approx 60^\circ$ για $\alpha=80^\circ$. Αν η εξάρτηση της γωνίας φ_δ από τη γωνία α θεωρηθεί και αυτή ως μη-σημαντική καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις κανονικών ρηγμάτων σε συνεκτικά εδάφη η μέση τιμή της γωνίας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης είναι $\varphi_\delta \approx 55^\circ$.



Σχήμα 5-3. Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H ως συνάρτηση του S/H για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού ρήγματος** σε **συνεκτικό** έδαφος



Σχήμα 5-4. Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης του ρήγματος υποβάθρου για **κανονικό** ρήγμα σε **συνεκτικό** έδαφος

5.1.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης

Για τη διερεύνηση της εξάρτησης της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα των Σχ. 5-5. Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται καθαρά ότι η τιμή β_{\max} αυξάνεται περίπου γραμμικά με το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης S/H για όλες τις εξετασθείσες τιμές της γωνίας κλίσης, α . Η ανωτέρω γραμμική συσχέτιση ισχύει για όλες τις τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, δηλαδή τόσο για ψαθυρή όσο και για πλάστιμη συμπεριφορά. Όπως ήταν αναμενόμενο οι μέγιστες τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης παρουσιάζονται ιδιαίτερα αυξημένες για μικρές τιμές του ϵ_f , δηλαδή για ψαθυρές καταστάσεις αστοχίας.

Για τη λεπτομερέστερη διερεύνηση της επιρροής της γωνίας κλίσης του ρήγματος, α , σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα του Σχ. 5-6. Από τα διαγράμματα αυτά είναι εμφανές ότι η επίδραση της γωνίας α στο φαινόμενο είναι αμελητέα υποδεικνύοντας ότι η τιμή της β_{\max} είναι συνάρτηση μόνον του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας.

5.1.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης

Το εύρος της επικίνδυνης ζώνης, B , στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί ίσως την πλέον ενδιαφέρουσα παράμετρο από αυτές που εξετάσθηκαν στα πλαίσια της παρούσας έρευνας. Στα διαγράμματα των Σχ. 5-7 έως Σχ. 5-10 παρουσιάζεται η εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους B/H από το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, S/H και την τιμή του ϵ_f για αυξανόμενες τιμές της γωνίας κλίσης ρήγματος, α . Στο Σχ. 5-7 εξετάζεται η τιμή του σχετικού εύρους $B_{2\%}$, που έχει προκύψει θεωρώντας ότι $\beta_{cr}=2\%$. Αντίστοιχα, στα Σχ. 5-8, Σχ. 5-9 και Σχ. 5-10 εξετάζονται οι τιμές του εύρους

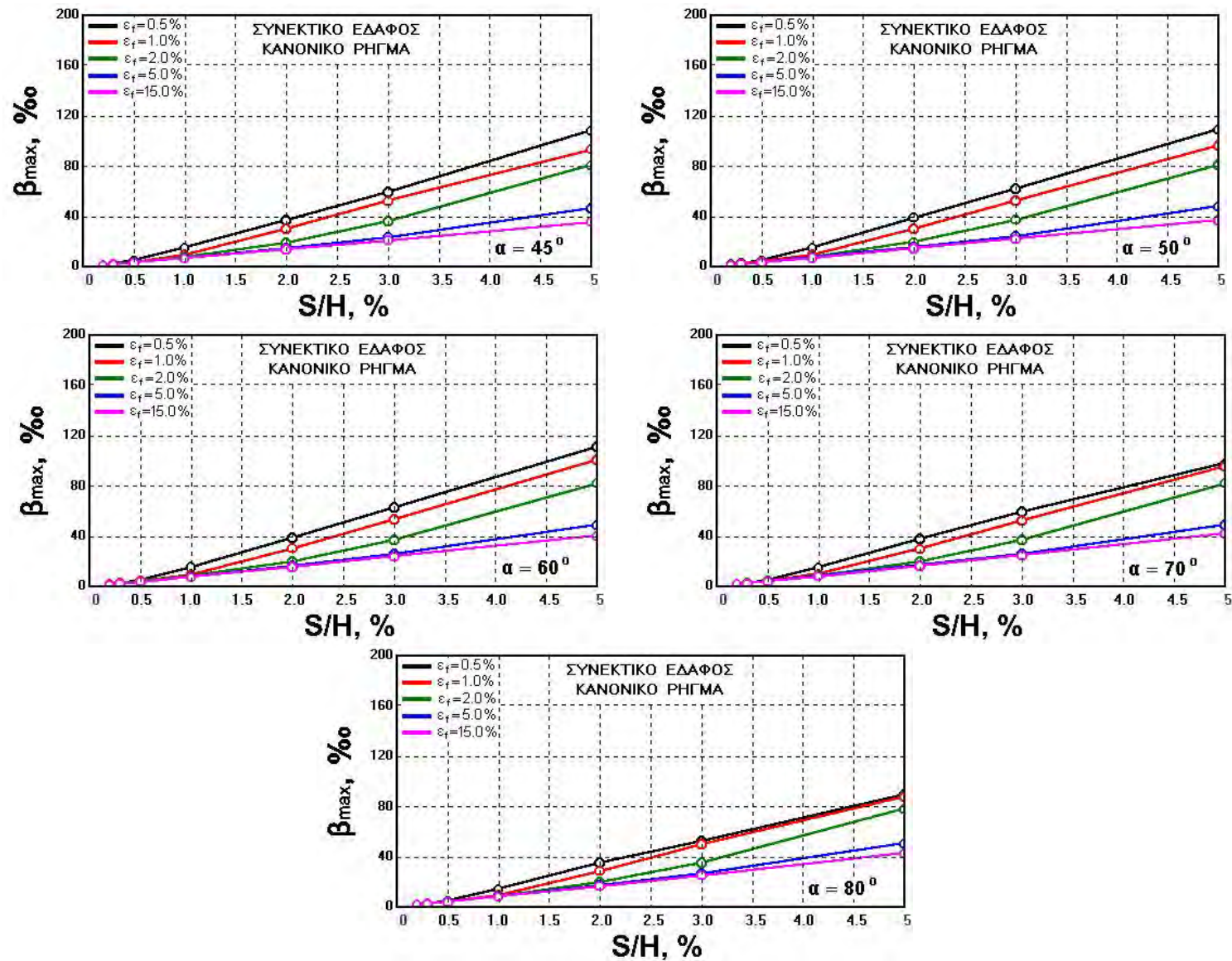
$B_{5\%}/H$, $B_{10\%}/H$ και $B_{20\%}/H$. Η παρατήρηση των ανωτέρω διαγραμμάτων οδηγεί στο ιδιαίτερα ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι η τιμή του σχετικού εύρους επικίνδυνης ζώνης, B , αυξάνεται περίπου γραμμικά με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου μέχρι την τιμή $S/H \approx 0.5\%$ και η γραμμική αυτή αύξηση είναι ανεξάρτητη της τιμής της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας ενώ σε μικρό βαθμό είναι εξαρτώμενη από τη γωνία κλίσης α . Για μεγέθη σχετικής σεισμικής ολίσθησης κυμαινόμενα από 0.5% έως 2.0%, η τιμή του σχετικού εύρους B συνεχίζει να αυξάνεται με την αύξηση της σεισμικής ολίσθησης, με συνεχώς όμως μειούμενο ρυθμό, μέχρι την τιμή της σχετικής σεισμικής ολίσθησης ίση με 2.0%. Σε αυτήν την περιοχή τιμών του S/H , αρχίζει πλέον να υπεισέρχεται και η επιρροή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας με την έννοια της αύξησης του εύρους B της ζώνης για υψηλότερες τιμές του ε_f . Τέλος, για τιμές S/H μεγαλύτερες του 2.0%, η τιμή του σχετικού εύρους B γίνεται ανεξάρτητη του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης S/H και εξαρτάται κυρίως από την τιμή της παραμέτρου ε_f και δευτερευόντως από την τιμή της γωνίας κλίσης, α .

Για τη διασάφηση της επιρροής της γωνίας, α , έχουν σχεδιασθεί τα διαγράμματα των Σχ. 5-11 έως Σχ. 5-14. Από τα διαγράμματα αυτά γίνεται φανερό ότι η επιρροή της γωνίας κλίσης του ρήγματος υποβάθρου γίνεται μεν περισσότερο αισθητή για αυξημένες τιμές του μεγέθους σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου, θα πρέπει όμως να λαμβάνεται υπόψη για ολόκληρη την περιοχή τιμών της παραμέτρου S/H .

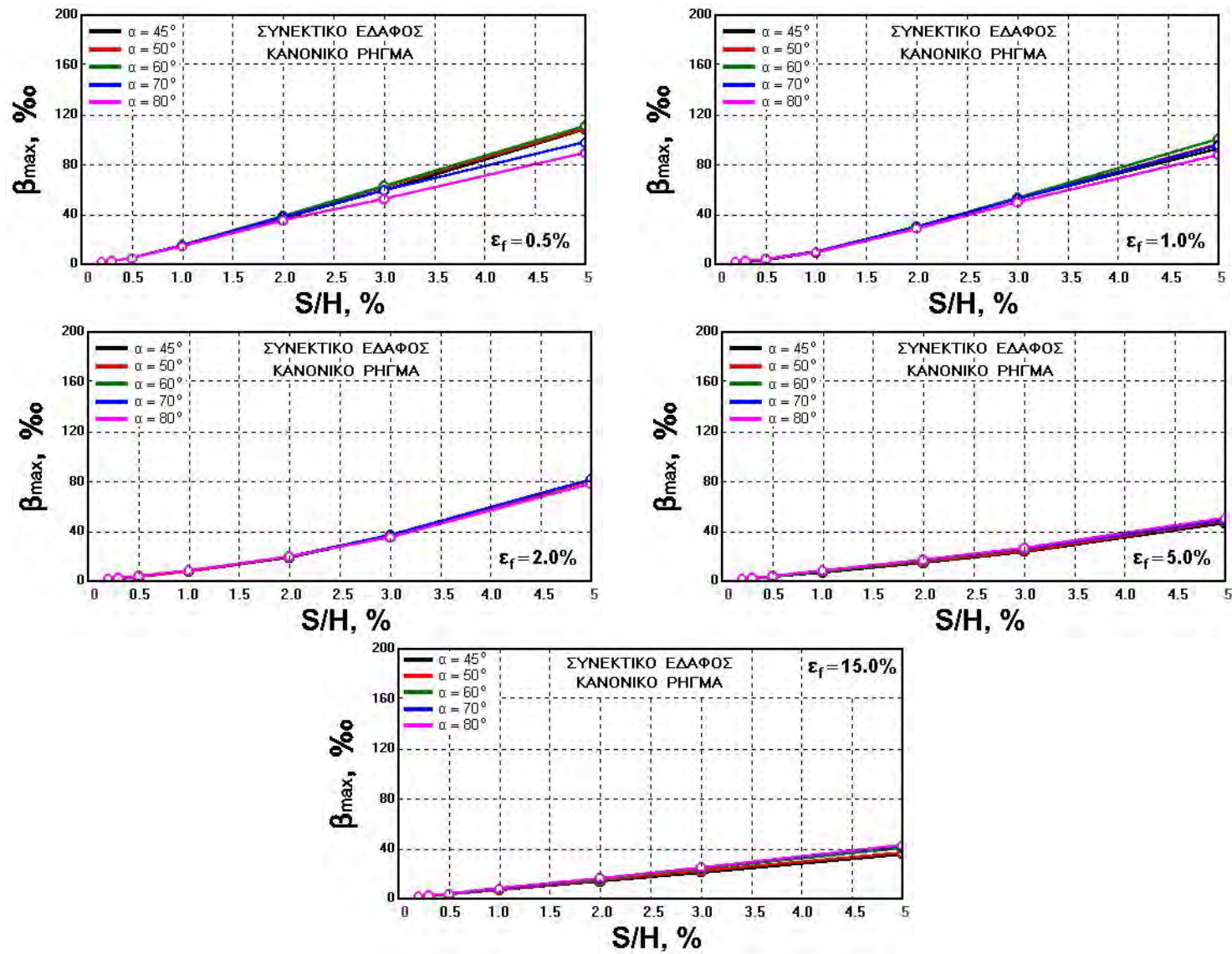
5.1.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης

Όπως αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 για τον καθορισμό της θέσης της επικίνδυνης ζώνης χρησιμοποιείται η κανονικοποιημένη απόσταση C/H του μέσου του εύρους της ζώνης από το σημείο αναφοράς O . Στα διαγράμματα των Σχ. 5-15 έως Σχ. 5-18 παρουσιάζεται η επιρροή του μεγέθους της σχετικής σεισμικής ολίσθησης S/H και των τιμών της γωνίας α και της παραμέτρου ε_f επάνω στην τιμή της σχετικής απόστασης C/H . Τα διαγράμματα του Σχ. 5-15 αναφέρονται στην περίπτωση της ζώνης που ορίστηκε με βάση την οριακή τιμή $\beta_{cr}=2\%$, ενώ τα υπόλοιπα διαγράμματα αναφέρονται σε αυξανόμενες τιμές του β_{cr} : 5%, 10% και 20%.

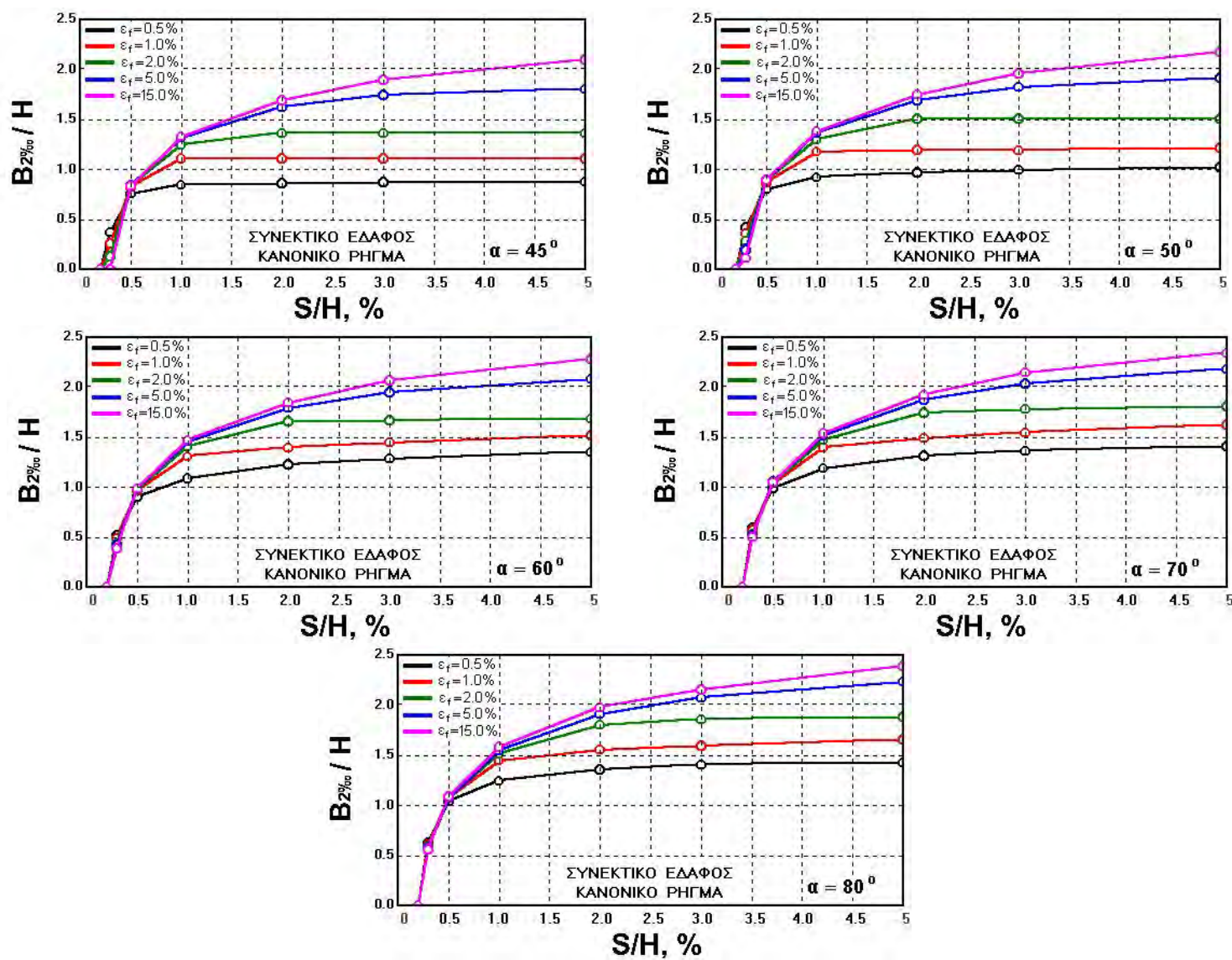
Από τα ανωτέρω διαγράμματα συμπεραίνεται ότι η σχετική απόσταση C/H δεν εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, ούτε από την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, αφήνοντας ως κύρια παράμετρο επιρροής τη γωνία κλίσης, α . Για μεγάλες τιμές της γωνίας α , η σχετική απόσταση C/H μειώνεται (δηλαδή η επικίνδυνη ζώνη πλησιάζει προς το σημείο O) ενώ για ιδιαίτερα υψηλές τιμές της σεισμικής ολίσθησης και την τιμή $\beta_{cr}=2\%$ η απόσταση αυτή είναι δυνατό να μηδενισθεί.



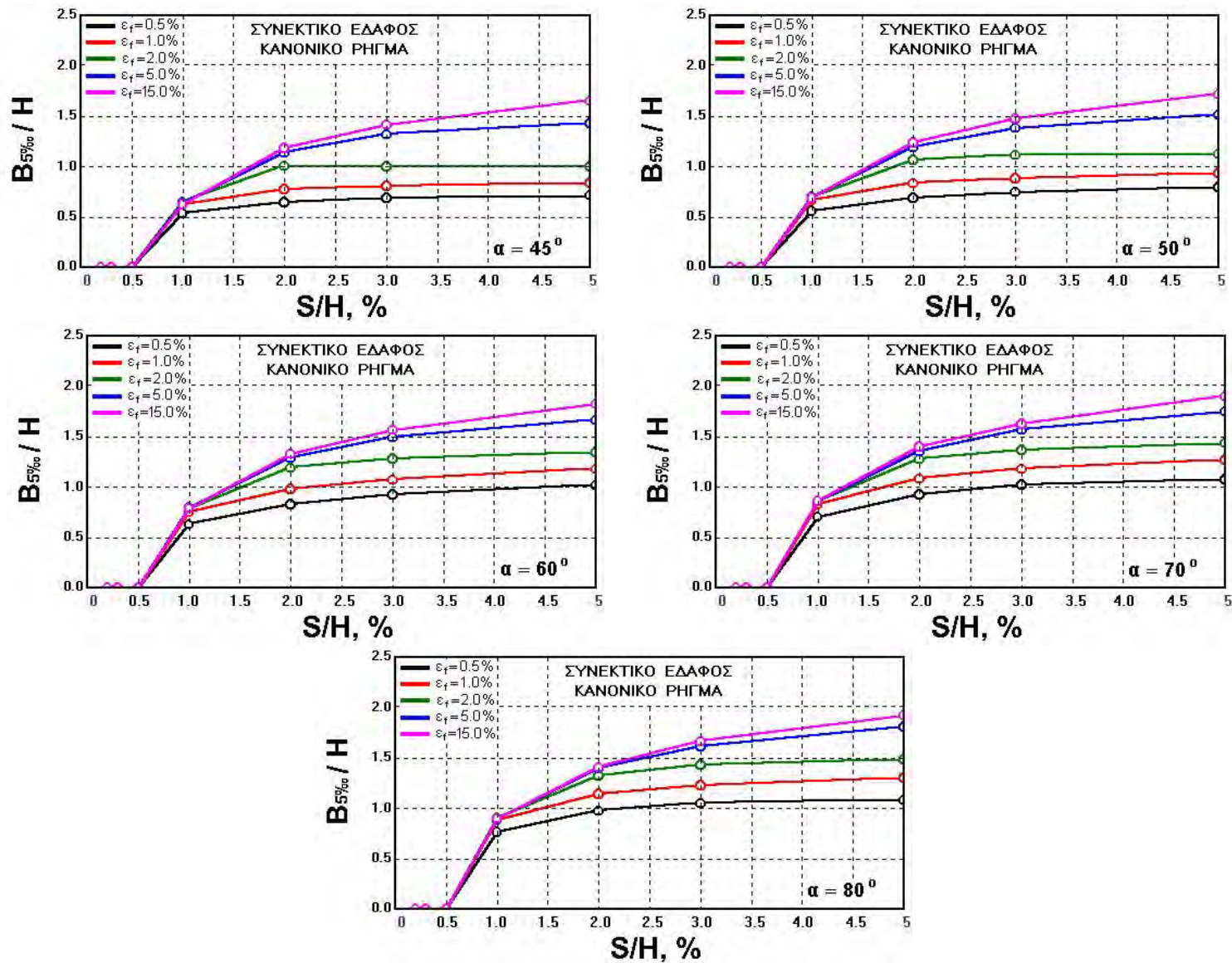
Σχήμα 5-5. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



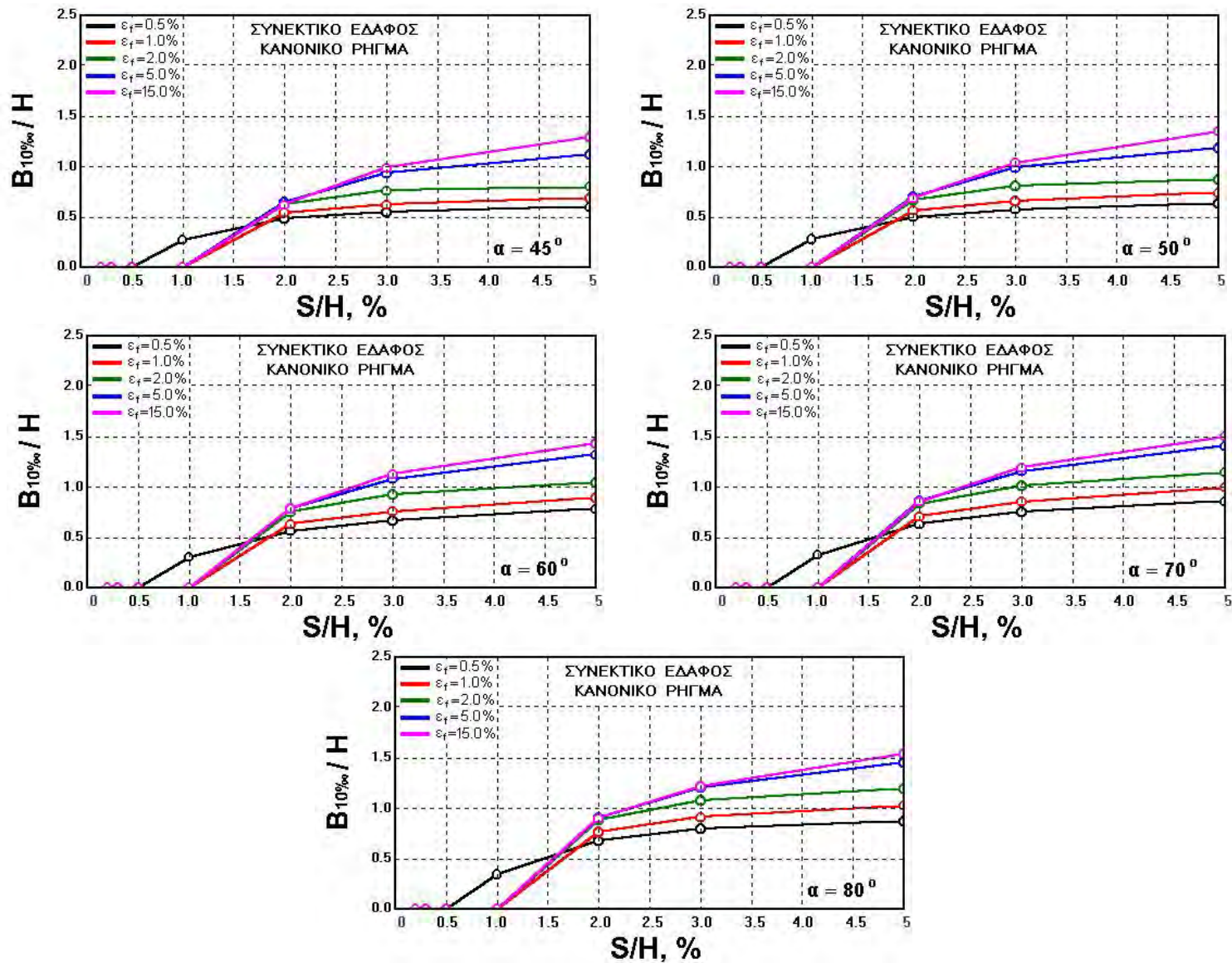
Σχήμα 5-6. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



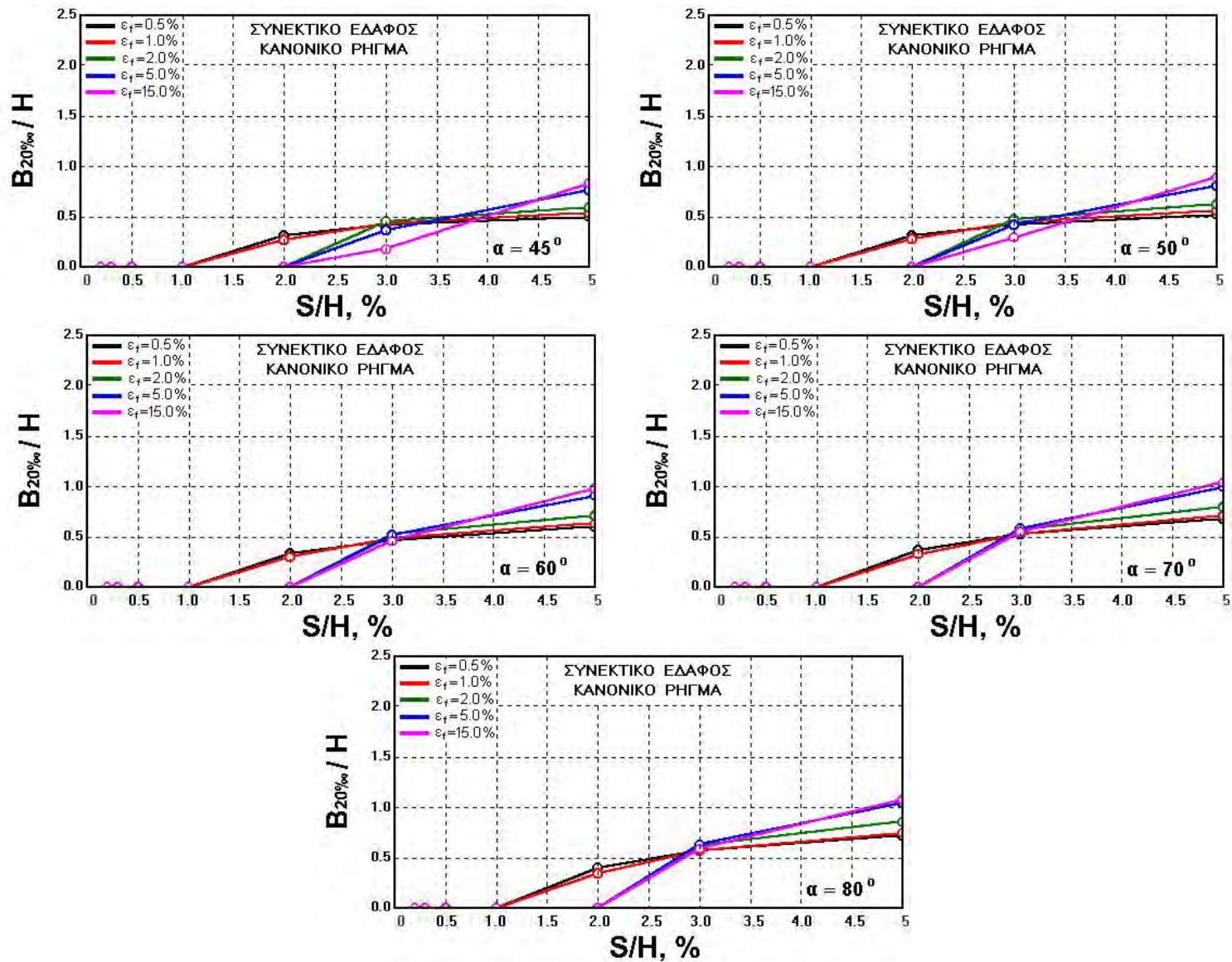
Σχήμα 5-7. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%0}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



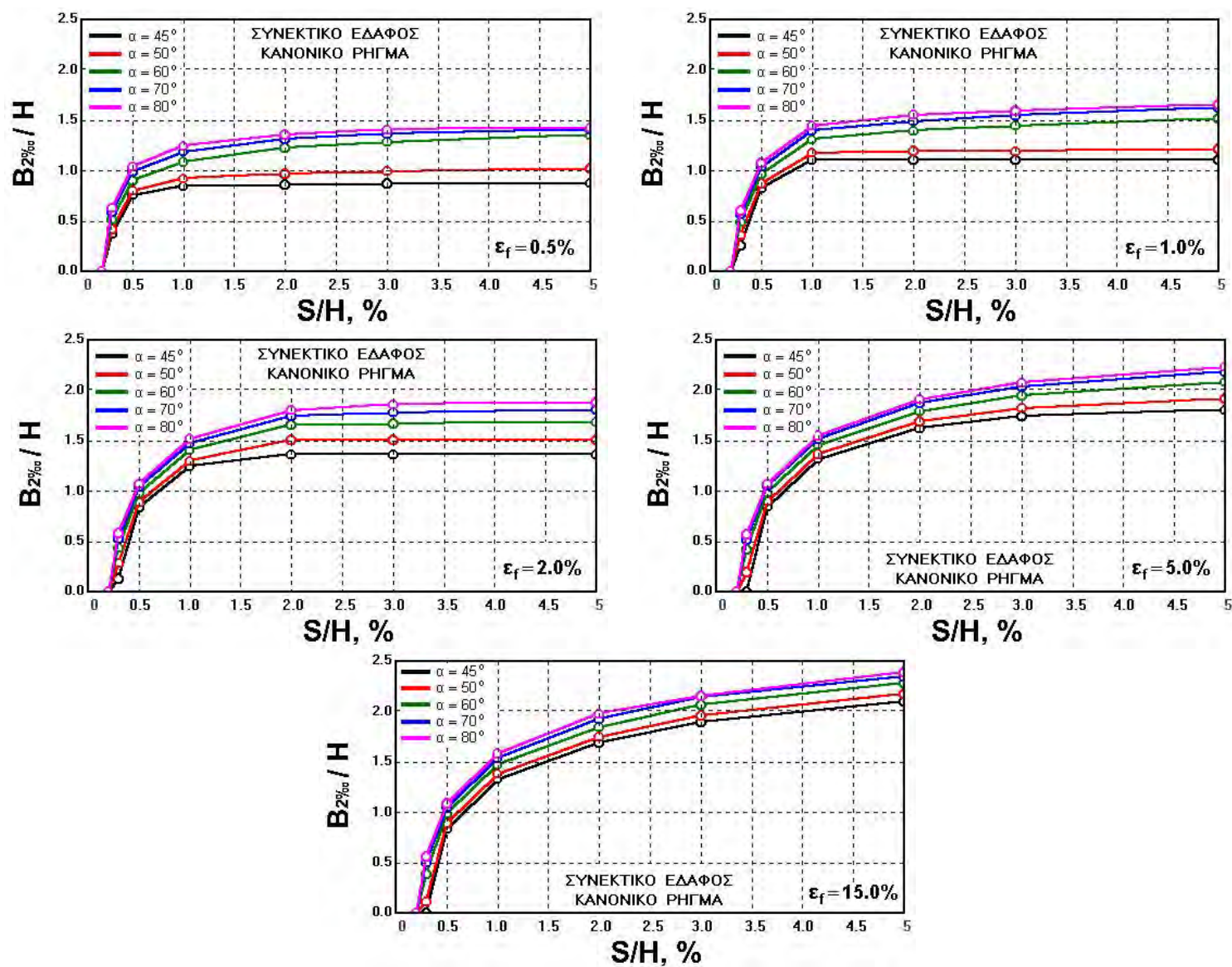
Σχήμα 5-8. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%_{so}}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



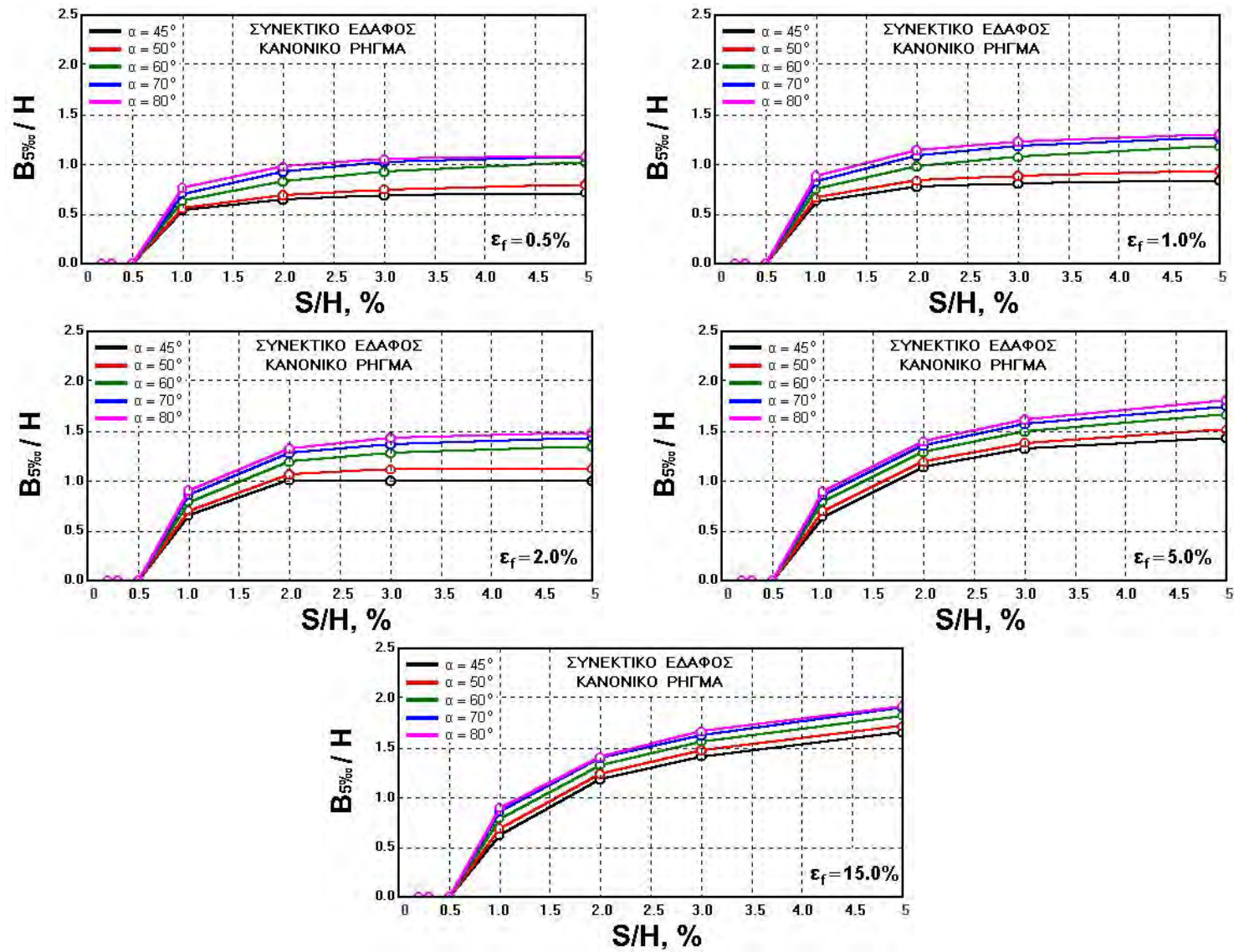
Σχήμα 5-9. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



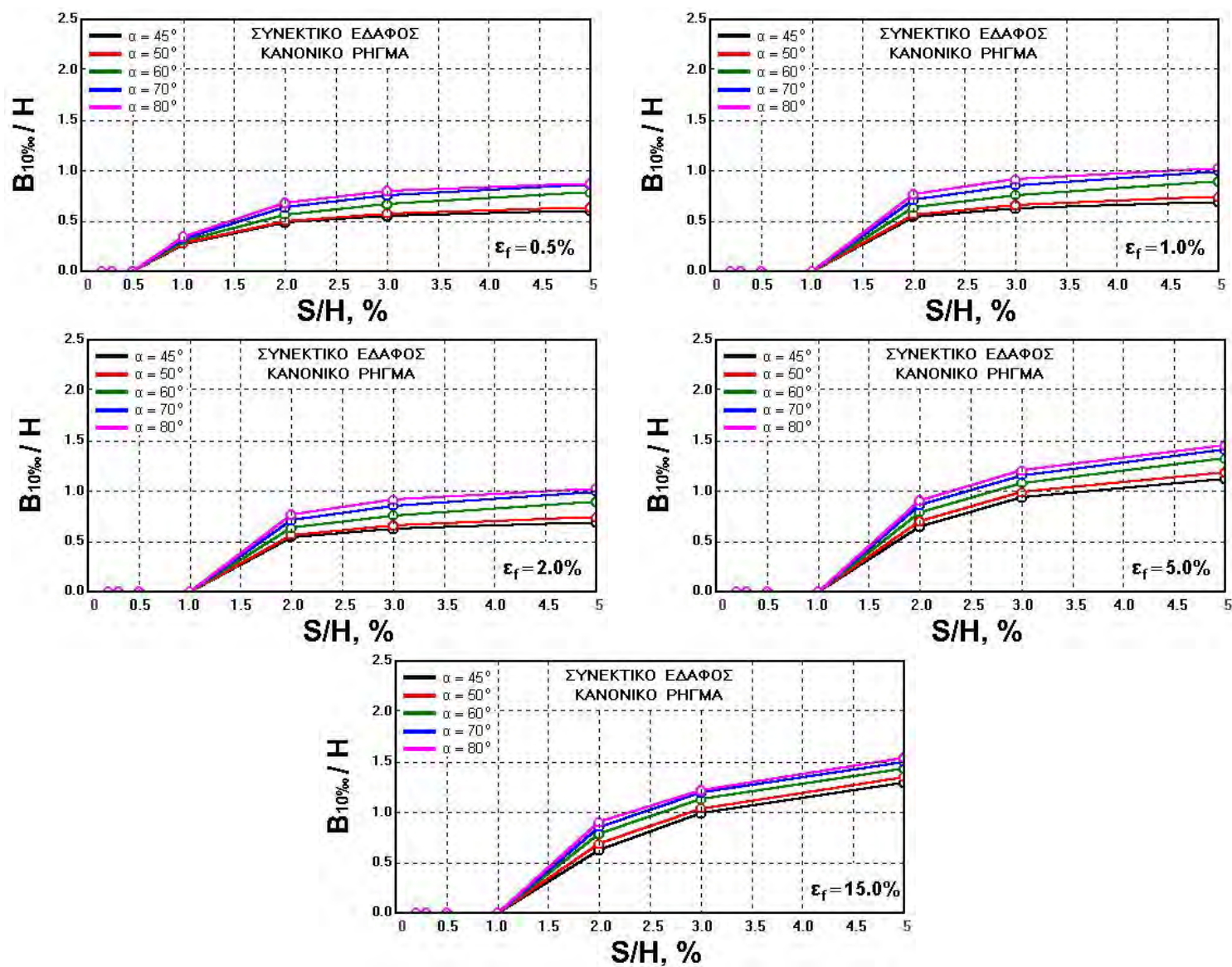
Σχήμα 5-10. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



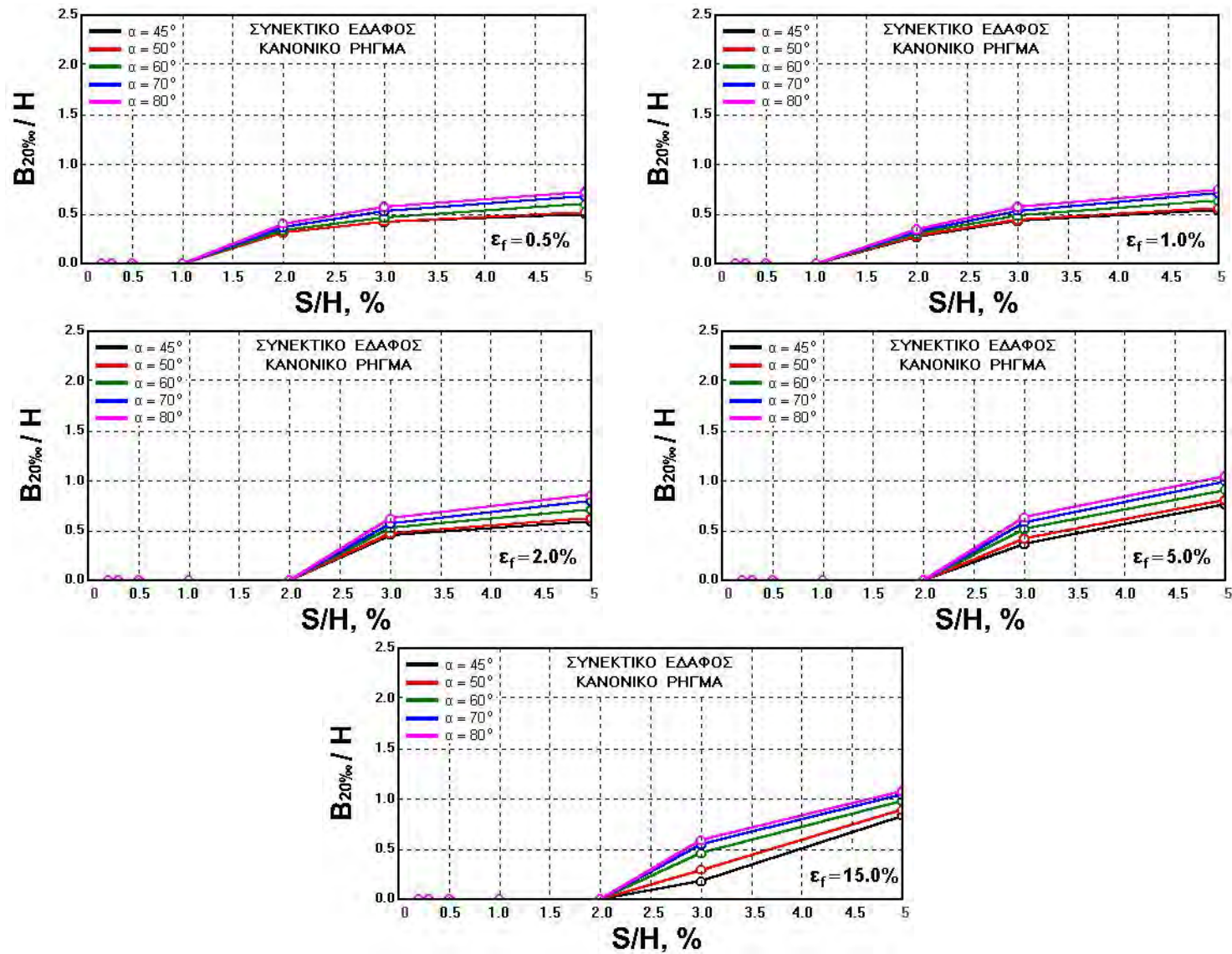
Σχήμα 5-11. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%ss}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



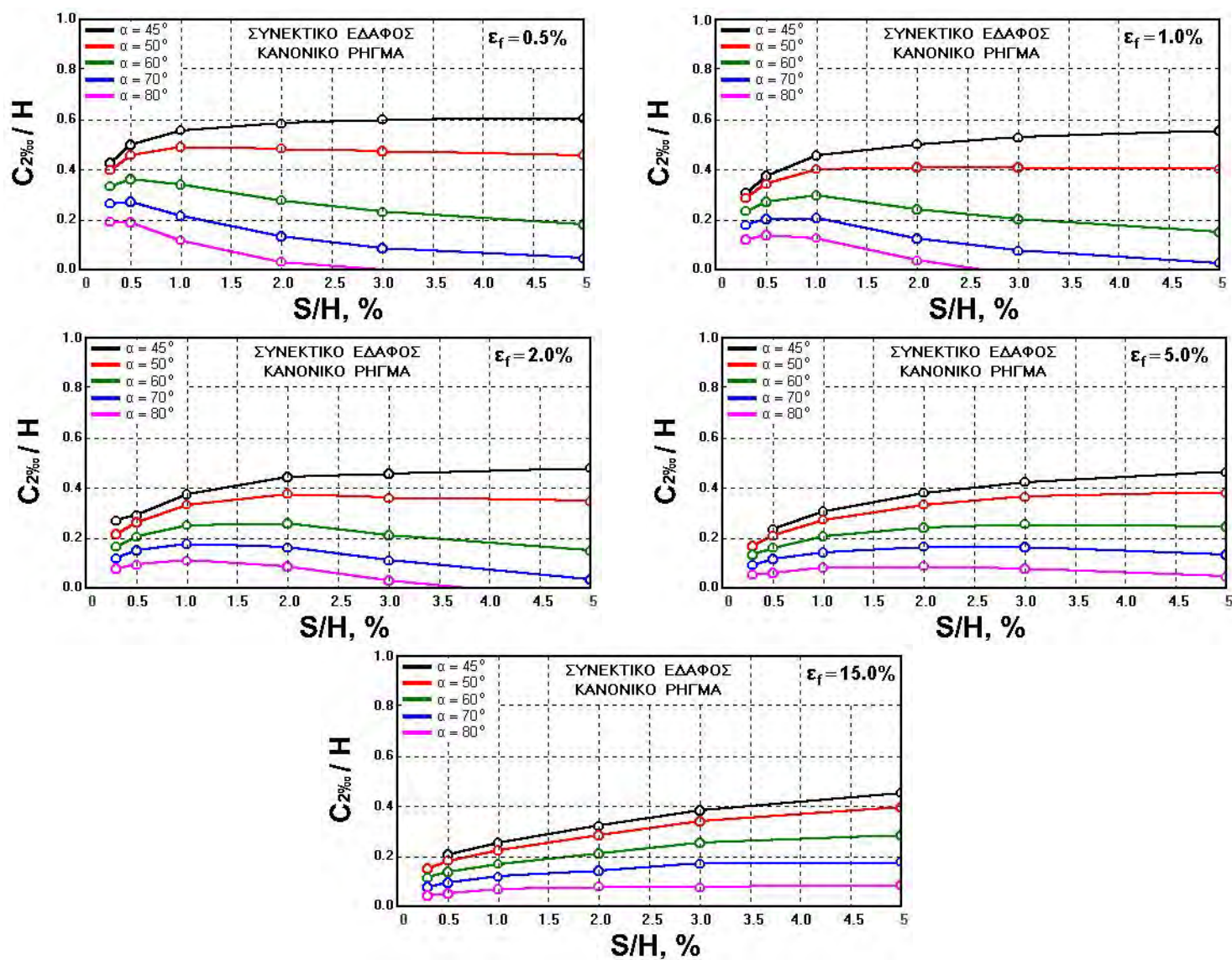
Σχήμα 5-12. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



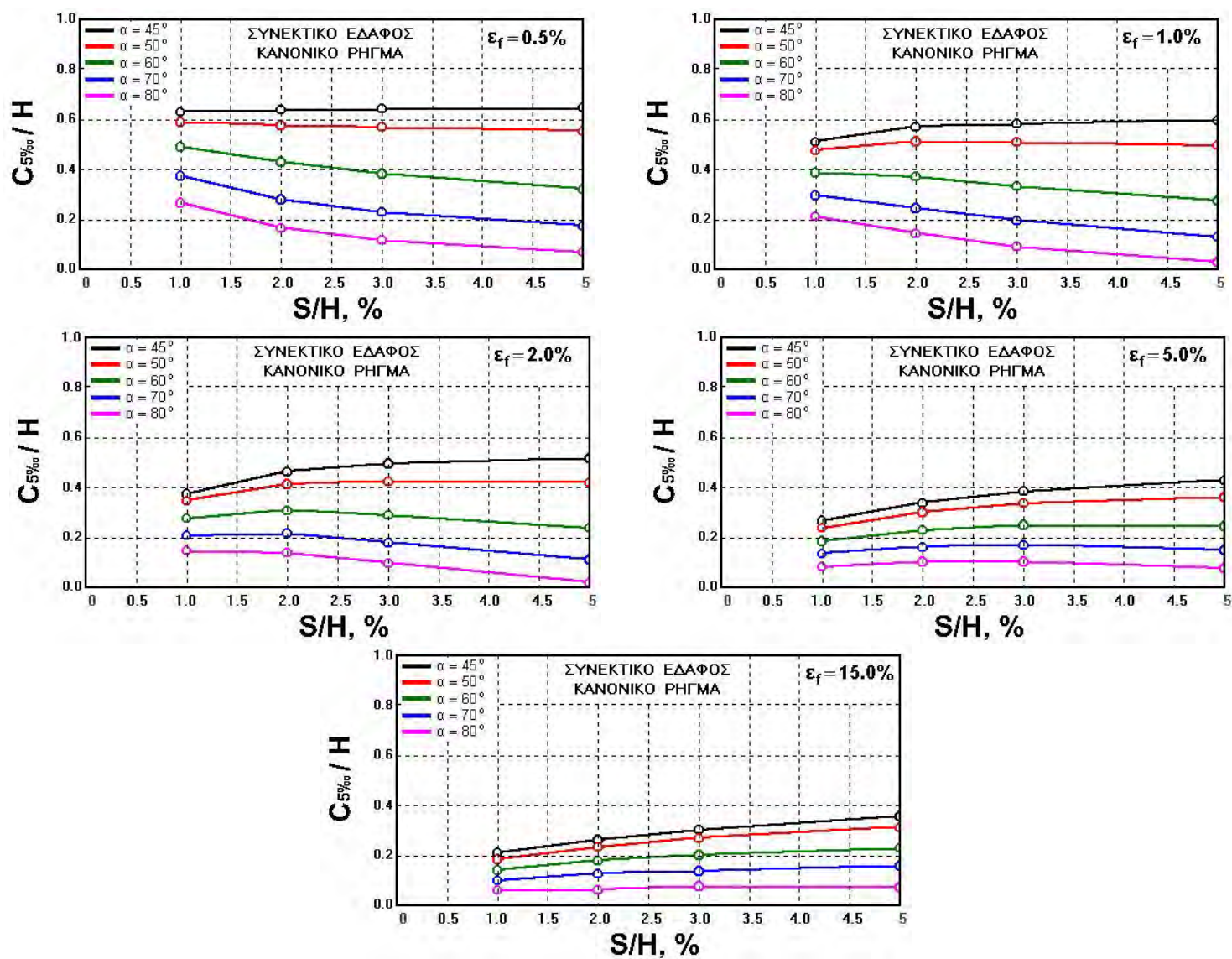
Σχήμα 5-13. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



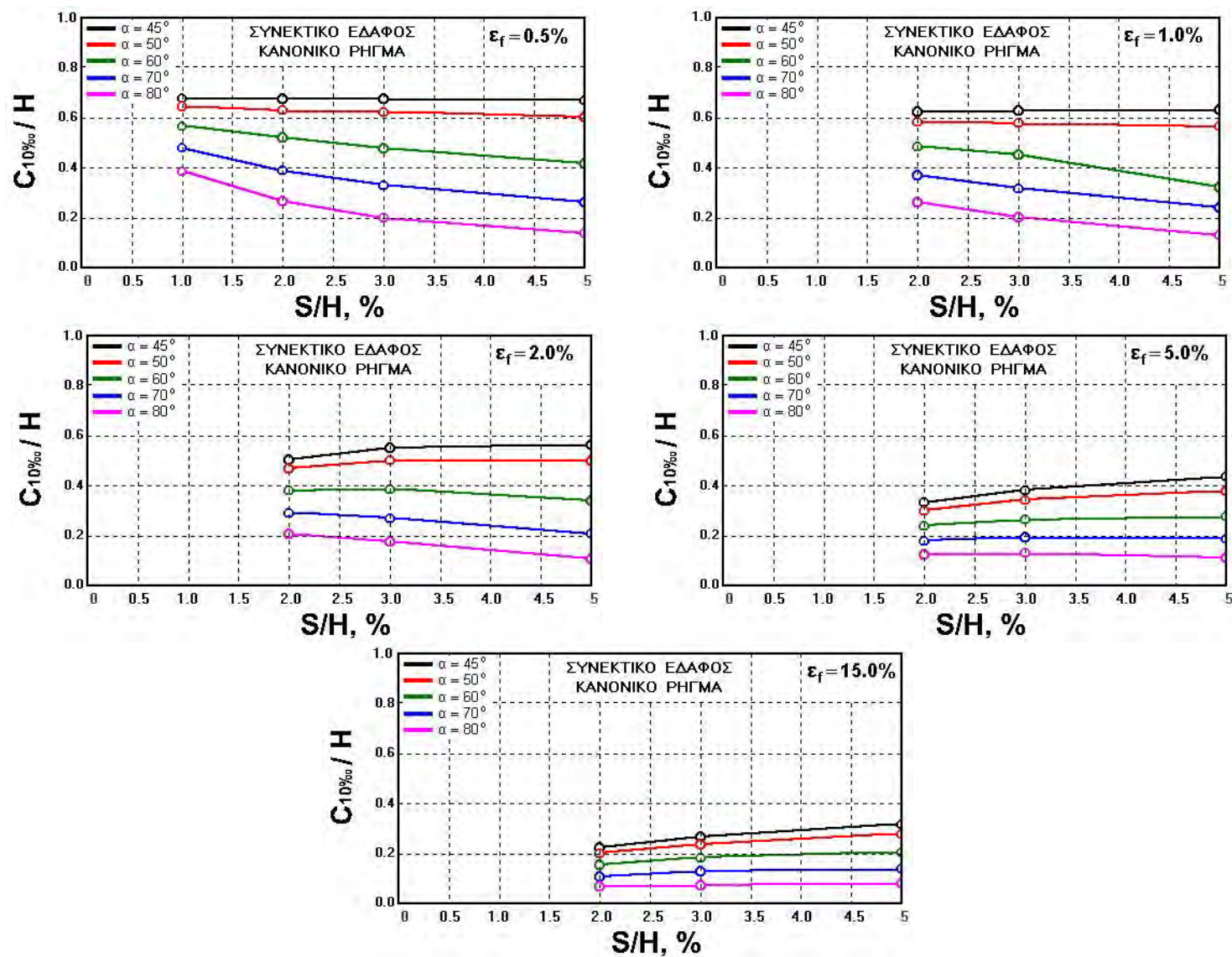
Σχήμα 5-14. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



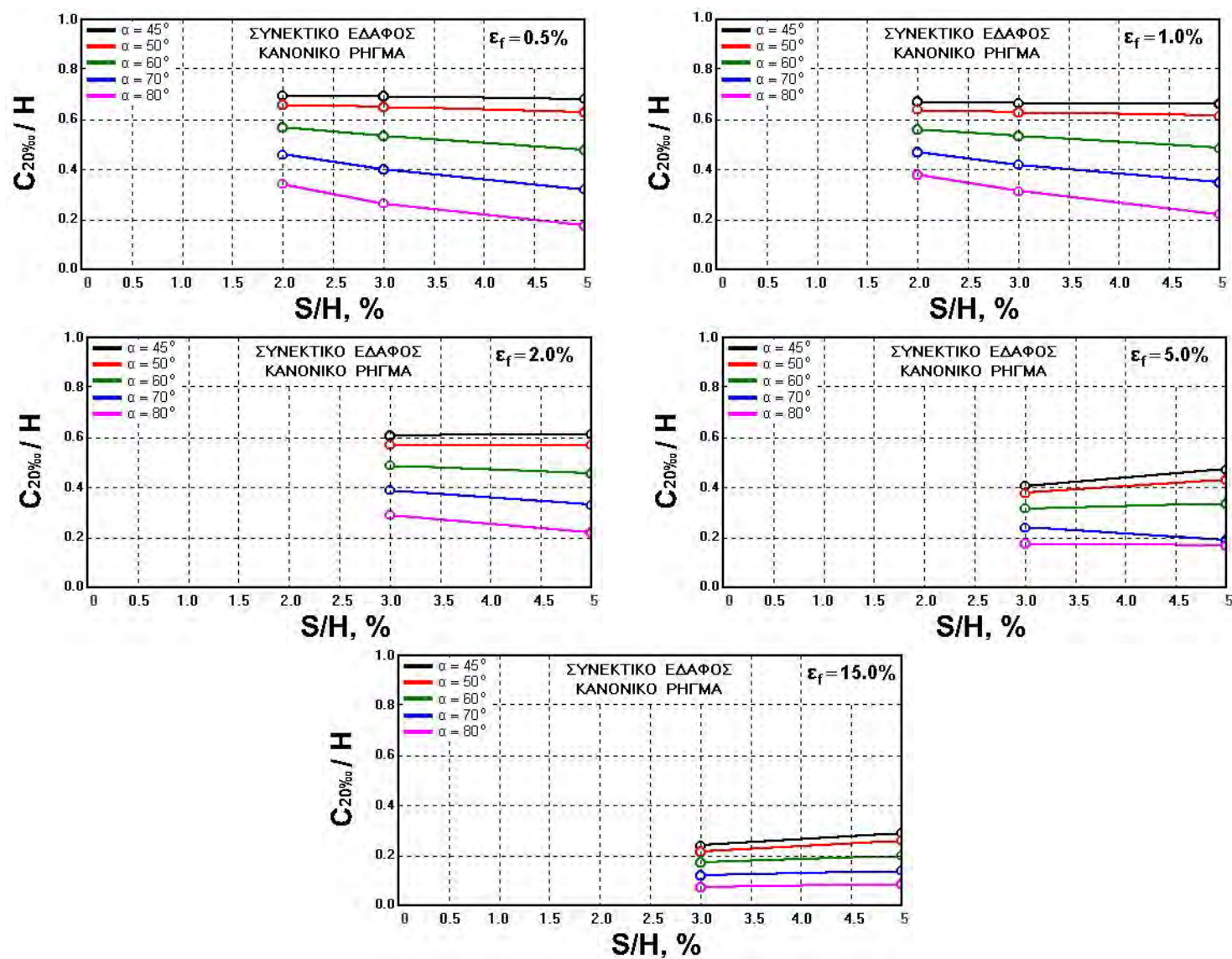
Σχήμα 5-15. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\%0}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (ΣΥΝΕΚΤΙΚό έδαφος, ΚΑΝΟΝΙΚό ρήγμα)



Σχήμα 5-16. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%ss}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



Σχήμα 5-17. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



Σχήμα 5-18. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%so}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)

5.2. Περίπτωση Ανάστροφου Ρήγματος

Οι αναλύσεις για την περίπτωση της διάρρηξης αναστροφου ρήγματος με πάχος υπερκειμένου εδαφικού στρώματος ίσο με H , διεξήχθησαν για τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου, S/H , κυμαινόμενες από 0.2% έως 5.0% και για γωνίες κλίσης από 20° - 50° . Οι τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , κυμάνθηκαν από 0.5% έως 15.0%.

Ενα τυπικό παράδειγμα των αποτελεσμάτων των αναλύσεων παρουσιάζονται στα Σχ. 5-19(α) και (β). Πρόκειται για τη διάρρηξη αναστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος με ορθή παραμόρφωση αστοχίας, $\varepsilon_f=0.5\%$ και μέγεθος σχετικής σεισμικής ολίσθησης $S/H=1.0\%$ και $S/H=3.0\%$, αντίστοιχα, με γωνία κλίσης $\alpha=20^\circ$. Παρατηρείται ότι το εύρος της επικίνδυνης ζώνης στην περιοχή αυτή προκύπτει σημαντικά μεγαλύτερο (ιδιαίτερα στο Σχ. 5-19(β)) σε σχέση με αυτό των κανονικών ρηγμάτων, γιατί αποτελείται από δύο τμήματα: το κύριο τμήμα στο εσωτερικό του οποίου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή, β_{max} , και ένα εκτεταμένο δευτερεύον τμήμα με τιμές γωνιακής παραμόρφωσης ή οριζόντιας παραμόρφωσης ελαφρά μεγαλύτερες της κρίσιμης τιμής, β_{cr} ή $\varepsilon_{xx,cr}$. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η υπέρθεση των διαγραμμάτων κατανομής των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων για $\varepsilon_{xx,cr}=5\%$ και γωνιακών παραμορφώσεων για $\beta_{cr}=2\%$ που παρουσιάζεται στο Σχ. 5-19(β) υποδεικνύει ότι το εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{\varepsilon_{xx,cr}}$ περιλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου στο εσωτερικό του εύρους $B_{\beta_{cr}}$. Από το ίδιο διάγραμμα προκύπτει επίσης ότι για την περίπτωση αυτή σχηματίζονται δύο συζυγείς επιφάνειες αστοχίας στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος, ενώ το διάγραμμα του Σχ. 5-20(β) παρουσιάζει με πιο λεπτομερή τρόπο την κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων που παρουσιάζεται στο Σχ. 5-19(β). Στο Σχ. 5-20(α) έχει επίσης σημειωθεί και το ύψος ανάπτυξης (σχετική τιμή) της επιφάνειας αστοχίας το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι $h_f/H=0.28$. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των αναλύσεων της διάδοσης της διάρρηξης αναστροφων ρηγμάτων παρουσιάσθηκε μεγαλύτερη επιρροή της γωνίας κλίσης, α , στο φαινόμενο σε σχέση με την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων. Για τη διευκόλυνση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων, στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής ολίσθησης, S_v .

Από την παρατήρηση του συνόλου των αντίστοιχων διαγραμμάτων με αυτά των Σχ. 5-19 και Σχ. 5-20, τα οποία περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β, συμπεραίνεται ότι:

- α) στην περίπτωση των αναστροφων ρηγμάτων η προκύπτουσα τιμή της γωνίας διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ϕ_δ κυμαίνεται από 53° έως 70° . Οι

τιμές αυτές είναι αρκετά μεγαλύτερες συγκρινόμενες με αυτές που παρουσιάσθηκαν στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (Σχ. 2-9(β) και (γ)). Αξίζει επίσης να παρατηρηθεί το γεγονός ότι συζυγής επιφάνεια διάδοσης της διάρρηξης αναπτύσσεται μόνο για μικρές τιμές της γωνίας κλίσης του ρήγματος υποβάθρου ($\alpha=20^\circ$ έως 30°) και μεγάλες τιμές της σεισμικής ολίσθησης.

- β) Στην περίπτωση που η διάρρηξη δε φθάνει την επιφάνεια του εδάφους ισχύουν τα σχόλια που έγιναν στην προηγούμενη ενότητα για την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων. Παρατηρείται όμως ότι στην περίπτωση αυτή οι καμπύλες διάδοσης της $\gamma_{xy,max}$ και β_{max} δεν ταυτίζονται αλλά παρουσιάζουν μικρή διαφοροποίηση για την περίπτωση μικρών τιμών της γωνίας κλίσης του ρήγματος υποβάθρου.

5.2.1. Ύψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης

Στο διάγραμμα του Σχ. 5-21 παρουσιάζεται η εξάρτηση της τιμής του σχετικού ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H από το μέγεθος της σχετικής κατακόρυφης συνιστώσας της σεισμικής ολίσθησης, S_v/H . Από το διάγραμμα γίνεται φανερό η σημαντική επίδραση του λόγου S_v/H στο ύψος ανάπτυξης και η εξάρτηση του βαθμού της επίδρασης αυτής από την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας. Αντίθετα, φαίνεται καθαρά ότι ο μηχανισμός επέκτασης της αστοχίας καθ' ύψος δεν επηρεάζεται από την τιμή της γωνίας κλίσης, α . Τα αποτελέσματα του συνόλου των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι η εμφάνιση της αστοχίας στην επιφάνεια του εδάφους εμποδίζεται περισσότερο σε σχέση με την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων. Έτσι για έδαφος με ορθή παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_f=1.0\%$, απαιτείται το ιδιαίτερο μεγάλο μέγεθος σεισμικής διάρρηξης υποβάθρου $S/H=5.0\%$ για την πλήρη καθ' ύψος ανάπτυξης της επιφανειακής αστοχίας.

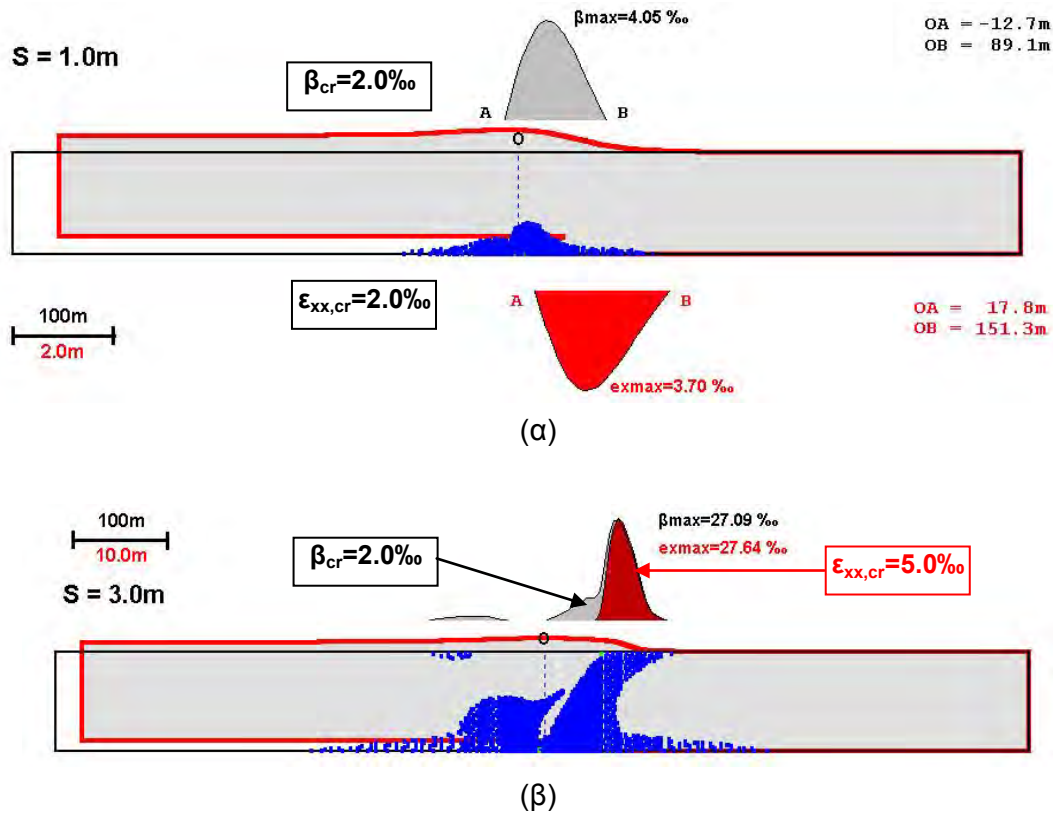
5.2.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Αστοχίας

Η τιμή της γωνίας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης, ϕ_δ , και στην περίπτωση των ανάστροφων ρηγμάτων αποδεικνύεται ότι δεν εξαρτάται από την τιμή της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου S/H , καθώς και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f . Η κύρια παράμετρος επιρροής είναι η γωνία κλίσης, α , του ρήγματος υποβάθρου. Σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχ. 5-22, η τιμή της γωνίας ϕ_δ κυμαίνεται από 53° μέχρι 67° , για τιμές της κλίσης του ρήγματος από 20° έως 50° .

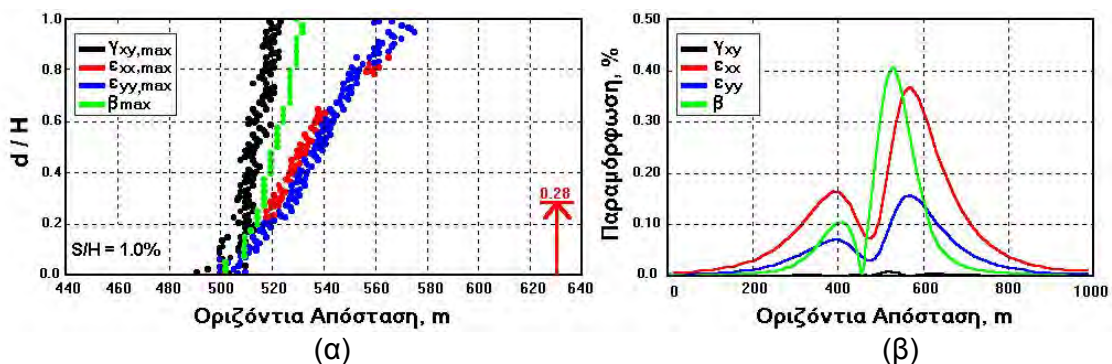
5.2.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης

Τα διαγράμματα του Σχ. 5-23 υποδεικνύουν ότι η τιμή β_{max} αυξάνεται περίπου γραμμικά με την αύξηση του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, S_v/H , για όλες τις τιμές της γωνίας κλίσης, α και τουλάχιστον για τις υψηλές τιμές της ορθής παραμόρφωσης

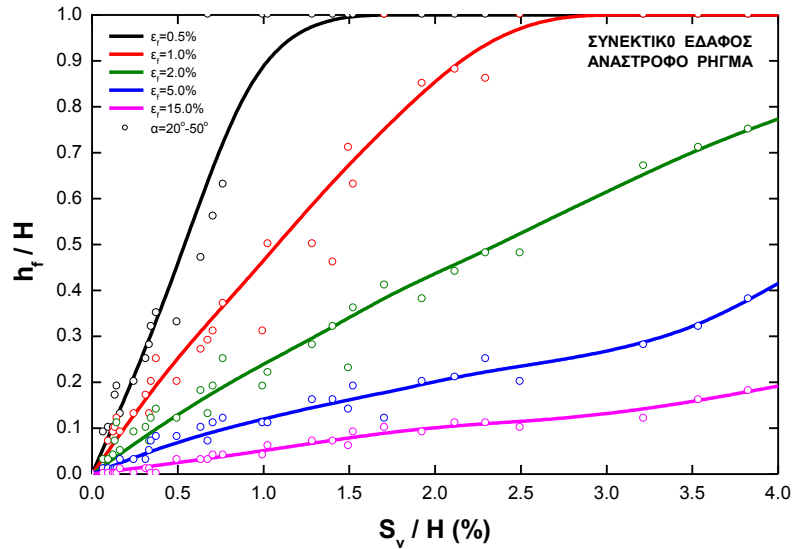
αστοχίας, ε_f . Για την λεπτομερέστερη διερεύνηση της επιρροής της γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα του Σχ. 5-24. Από τα διαγράμματα αυτά γίνεται φανερό ότι για τιμές του $\varepsilon_f \geq 2.0\%$, ισχύει γραμμική σχέση $\beta_{\max}-(S_v/H)$ η οποία δεν εξαρτάται από την τιμή της γωνίας α ούτε της παραμέτρου ε_f . Για μικρές όμως



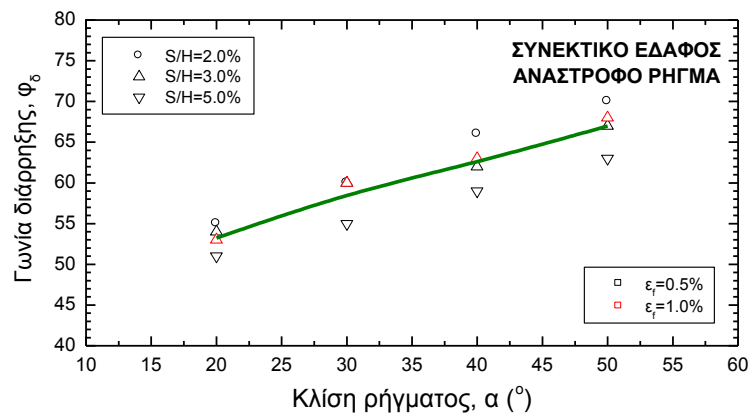
Σχήμα 5-19. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} , κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$) για α) $S/H=1.0\%$ ($\beta_{cr}=\varepsilon_{xx,cr}=2.0\%$) και β) $S/H=3.0\%$ ($\beta_{cr}=2.0\%$ και $\varepsilon_{xx,cr}=5.0\%$)



Σχήμα 5-20. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ε_{xx} , κατακορύφων ε_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ε_{xx} , ε_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\varepsilon_f=0.5\%$)



Σχήμα 5-21. Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H ως συνάρτηση του S_v/H για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ** έδαφος



Σχήμα 5-22. Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίση του ρήγματος υποβάθρου για **ανάστροφο** ρήγμα σε **ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ** έδαφος

τιμές της ε_f (0.5% και 1.0%), η τιμή της β_{\max} εξαρτάται από την τιμή όλων των παραμέτρων - α , ε_f , S_v/H - και η επίδραση αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη σύνταξη διαγραμμάτων πρακτικών εφαρμογών.

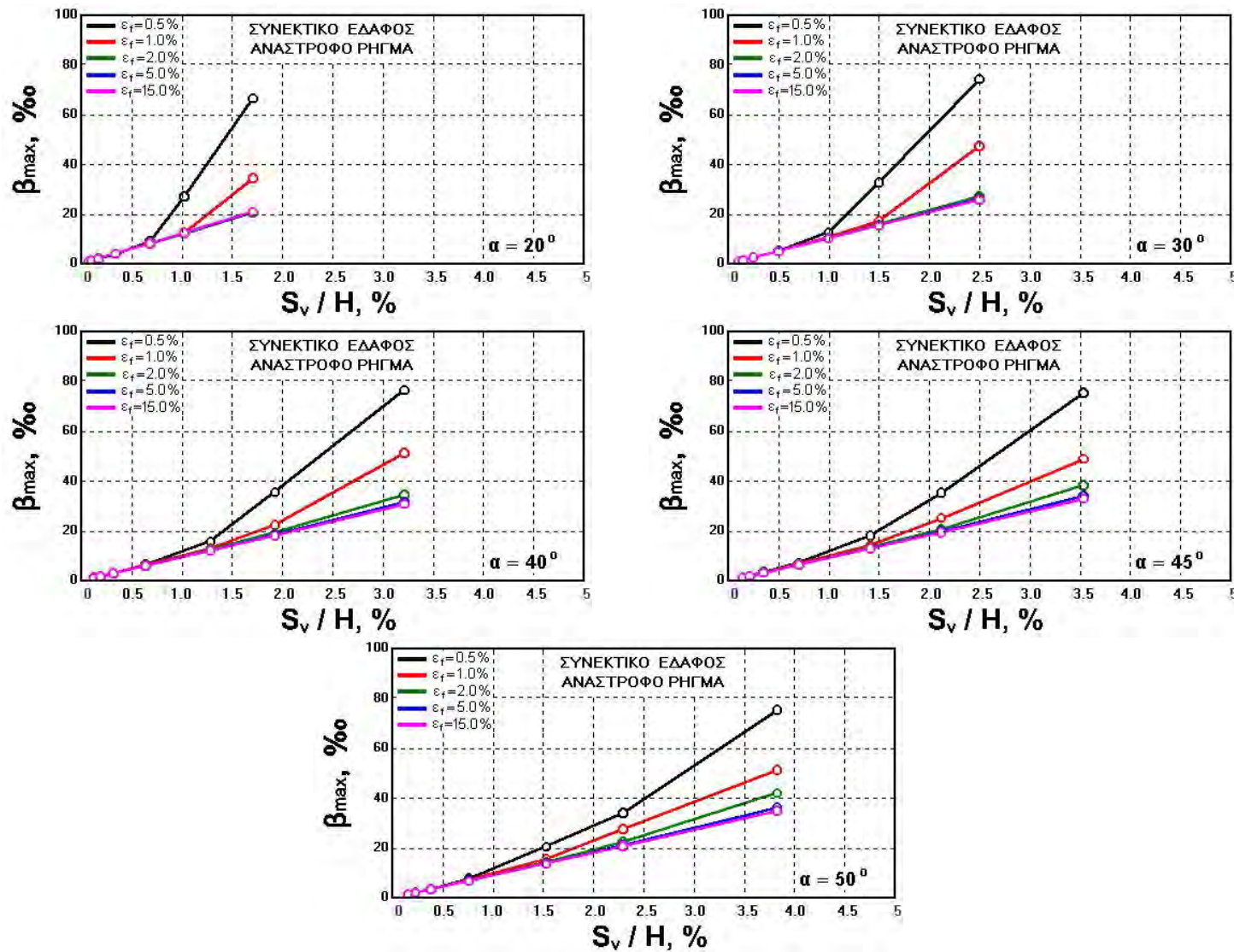
5.2.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης

Στα διαγράμματα των Σχ. 5-25 έως Σχ. 5-28 παρουσιάζεται η επίδραση του μεγέθους της σεισμικής διάρρηξης S_v/H στα εύρη της επικίνδυνης ζώνης, $B_{20\%}/H$, $B_{10\%}/H$, $B_{5\%}/H$ και $B_{2\%}/H$. Η συμπεριφορά εμφανίζεται ανάλογη με αυτή που περιγράφηκε για τα κανονικά ρήγματα. Τα διαγράμματα των Σχ. 5-29 έως Σχ. 5-32 σχεδιάστηκαν για τη σαφέστερη παρουσίαση της επιρροής της γωνίας α . Παρατηρείται ότι τα εύρη $B_{2\%}$, $B_{5\%}$

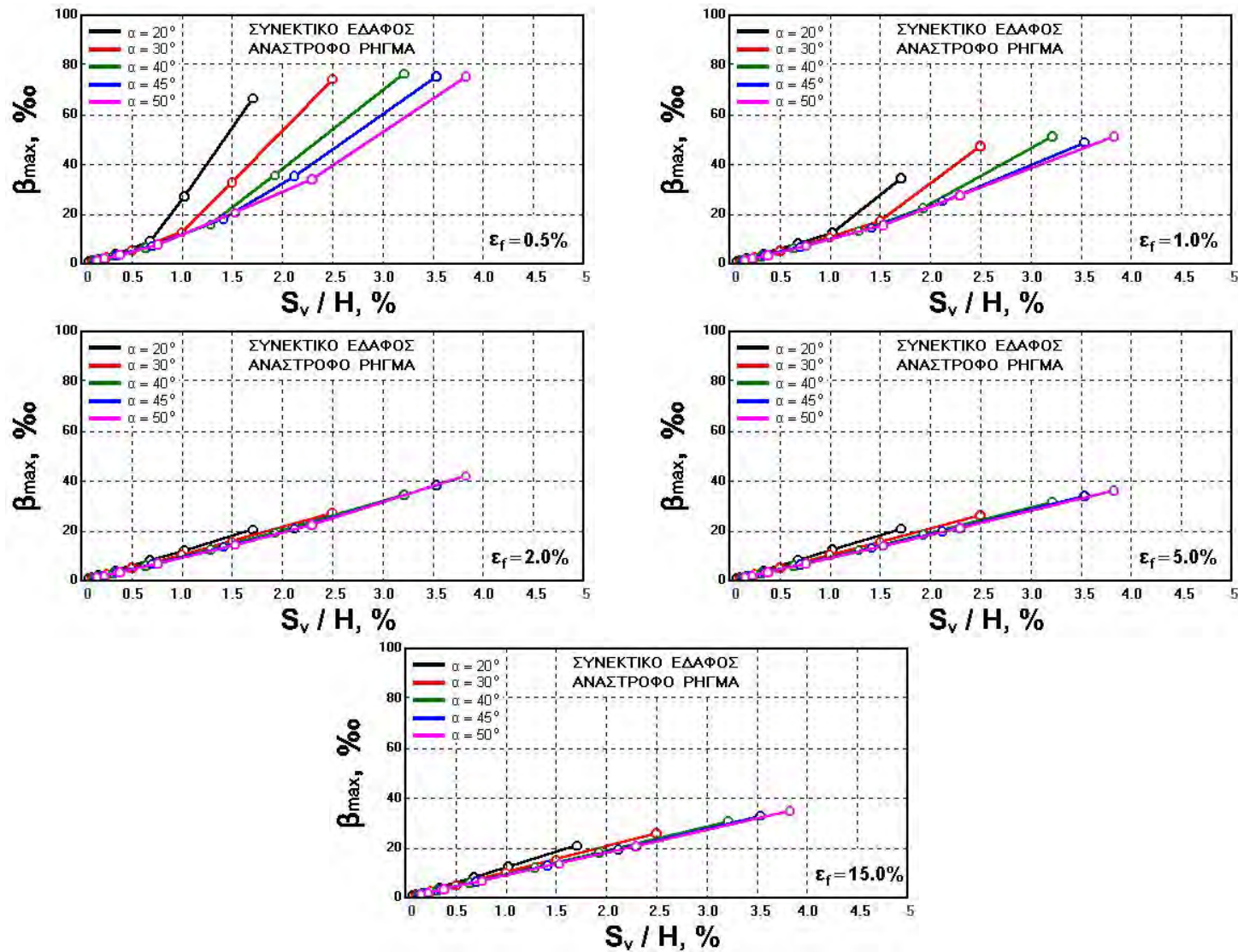
και $B_{10\%}$ δεν εξαρτώνται από την τιμή της γωνίας α αφήνοντας ως μόνες παραμέτρους επιρροής τις S_v/H και ε_f . Η συμπεριφορά αυτή διαφοροποιείται για το εύρος $B_{20\%}$, το γεγονός όμως δεν έχει ιδιαίτερα πρακτική σημασία αφού η κρίσιμη τιμή $\beta_{cr}=20\%$ θεωρείται ως ιδιαίτερα υψηλή.

5.2.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης

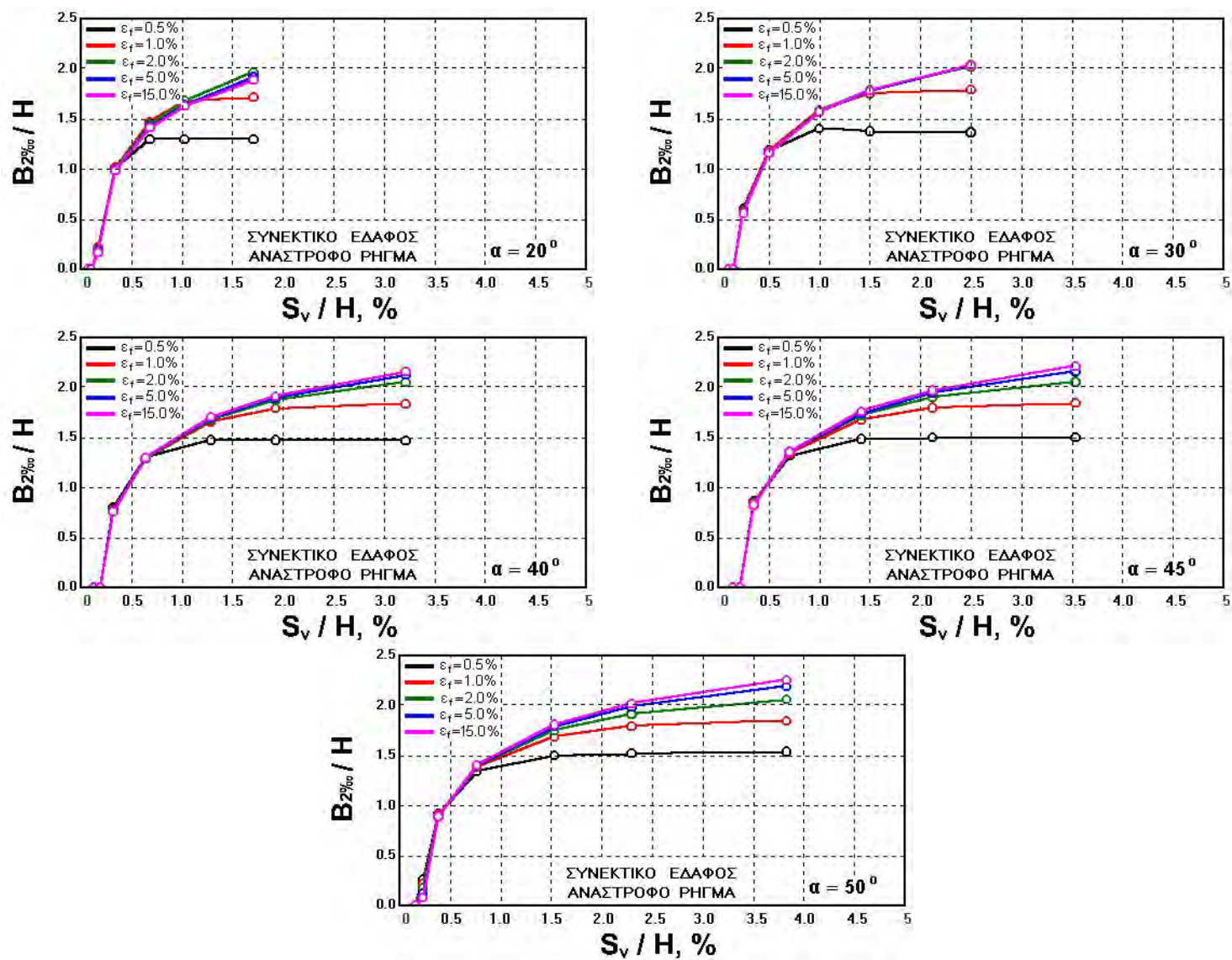
Τα διαγράμματα των Σχ. 5-33 έως Σχ. 5-36 παρουσιάζουν την επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου S_v/H στην τιμή της σχετικής απόστασης C/H . Στο Σχ. 5-33 παρουσιάζεται η τιμή του $C_{2\%}$ ενώ στα υπόλοιπα τρία σχήματα (Σχ. 5-34, Σχ. 5-35 και Σχ. 5-36) παρουσιάζονται οι τιμές $C_{5\%}/H$, $C_{10\%}/H$ και $C_{20\%}/H$, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η τιμή της σχετικής απόστασης (για τιμές του β_{cr} 2% και 5%) αυξάνεται γενικά με το μέγεθος της σχετικής κατακόρυφης σεισμικής ολίσθησης και εξαρτάται από την τιμή της γωνίας α με την έννοια ότι όσο αυξάνεται η τιμή της α τόσο μειώνεται η τιμή της σχετικής απόστασης. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τις σχετικές αποστάσεις $C_{10\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ και για μεγάλες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ελαττώνεται σημαντικά ή παύει να ισχύει η επιρροή τόσο της γωνίας α όσο και της σεισμικής ολίσθησης S_v/H επάνω στην τιμή της σχετικής απόστασης.



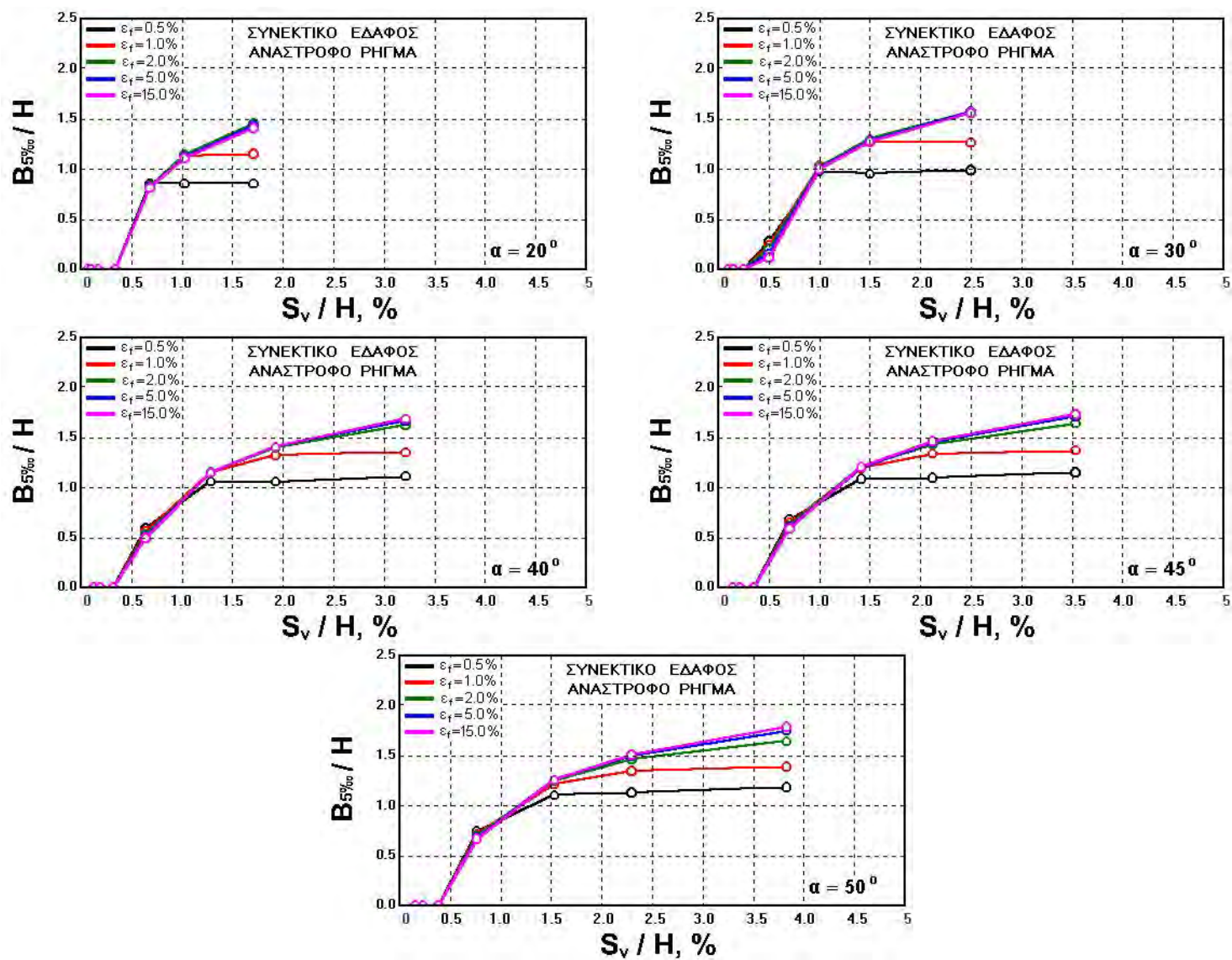
Σχήμα 5-23. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_t , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



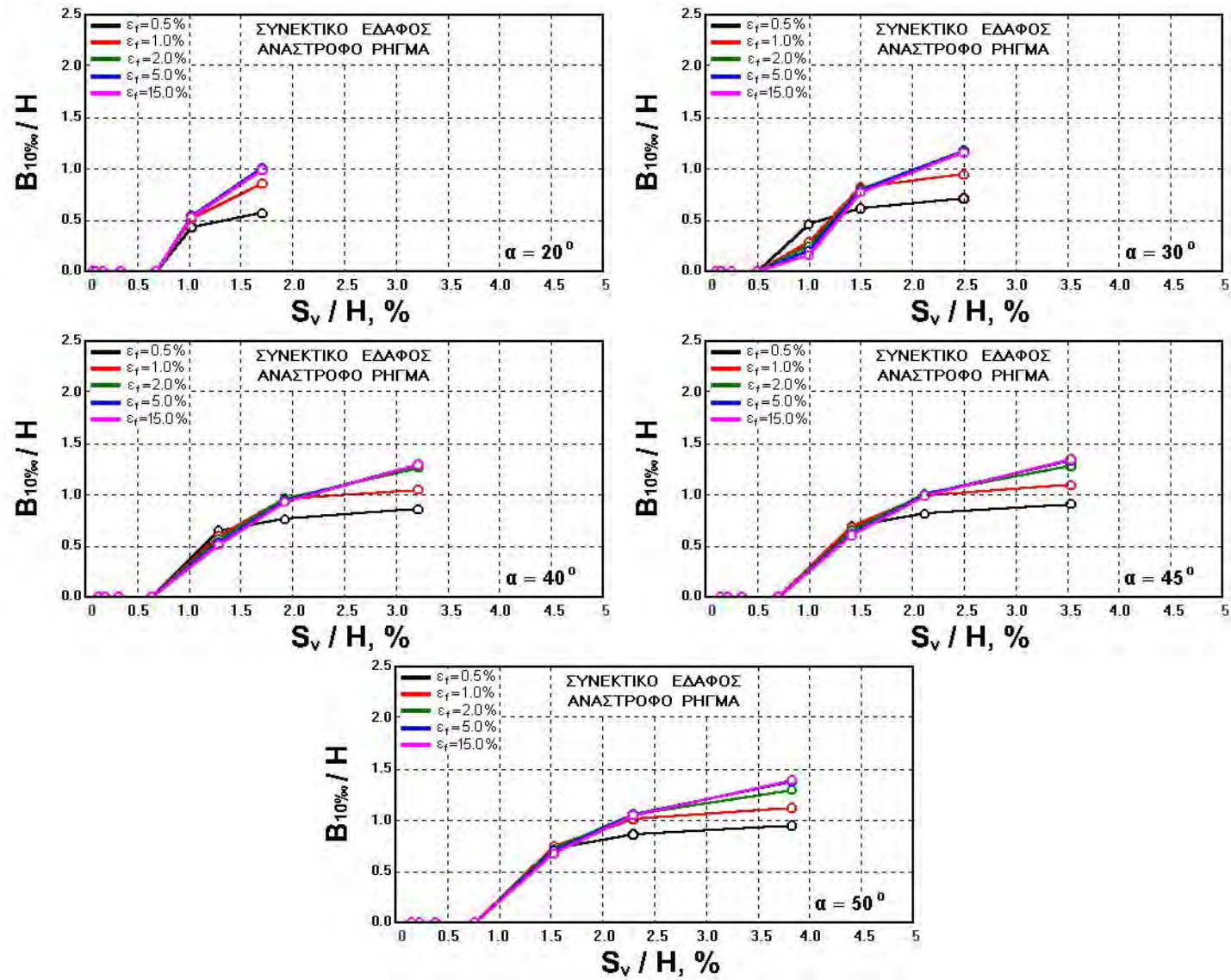
Σχήμα 5-24. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



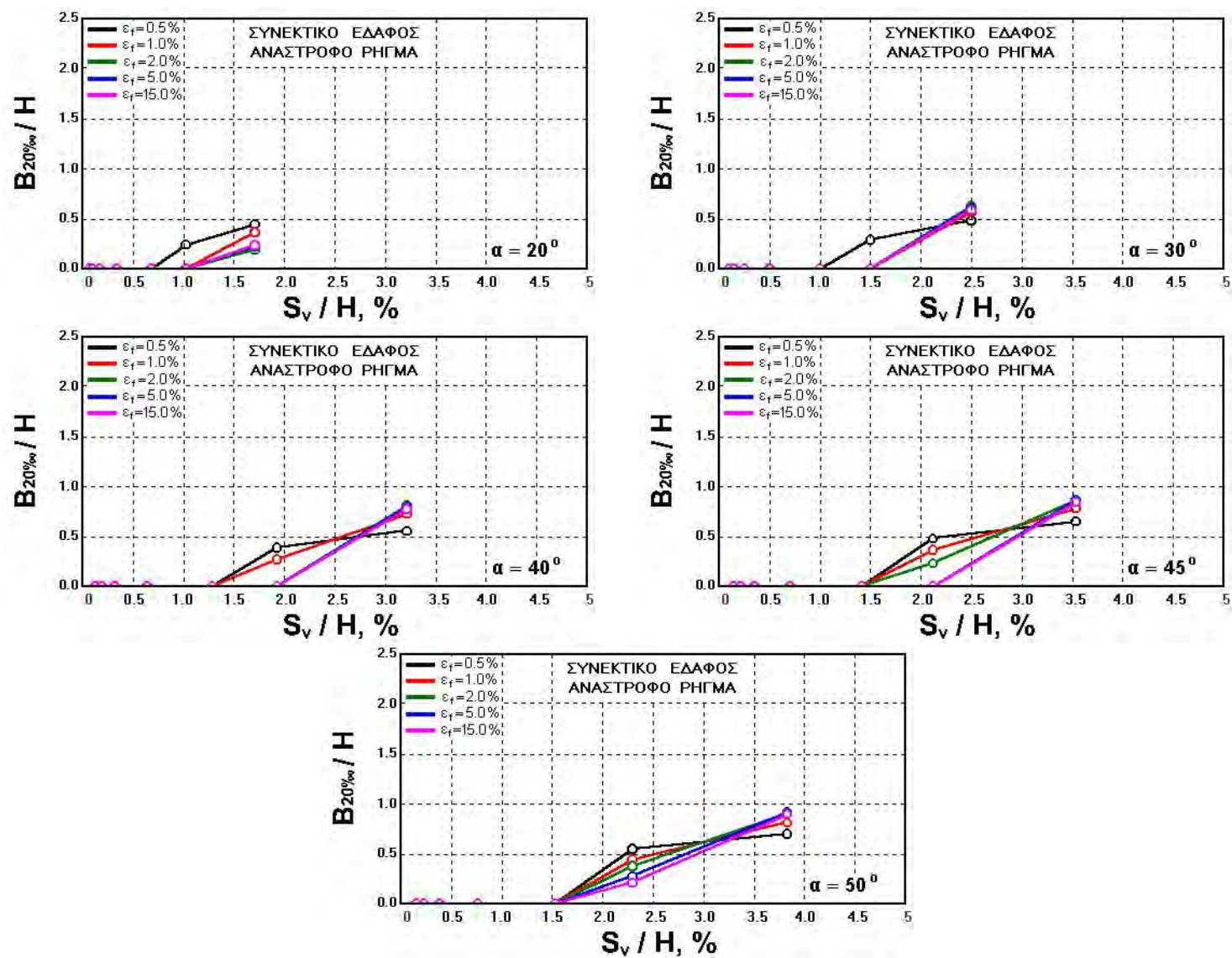
Σχήμα 5-25. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



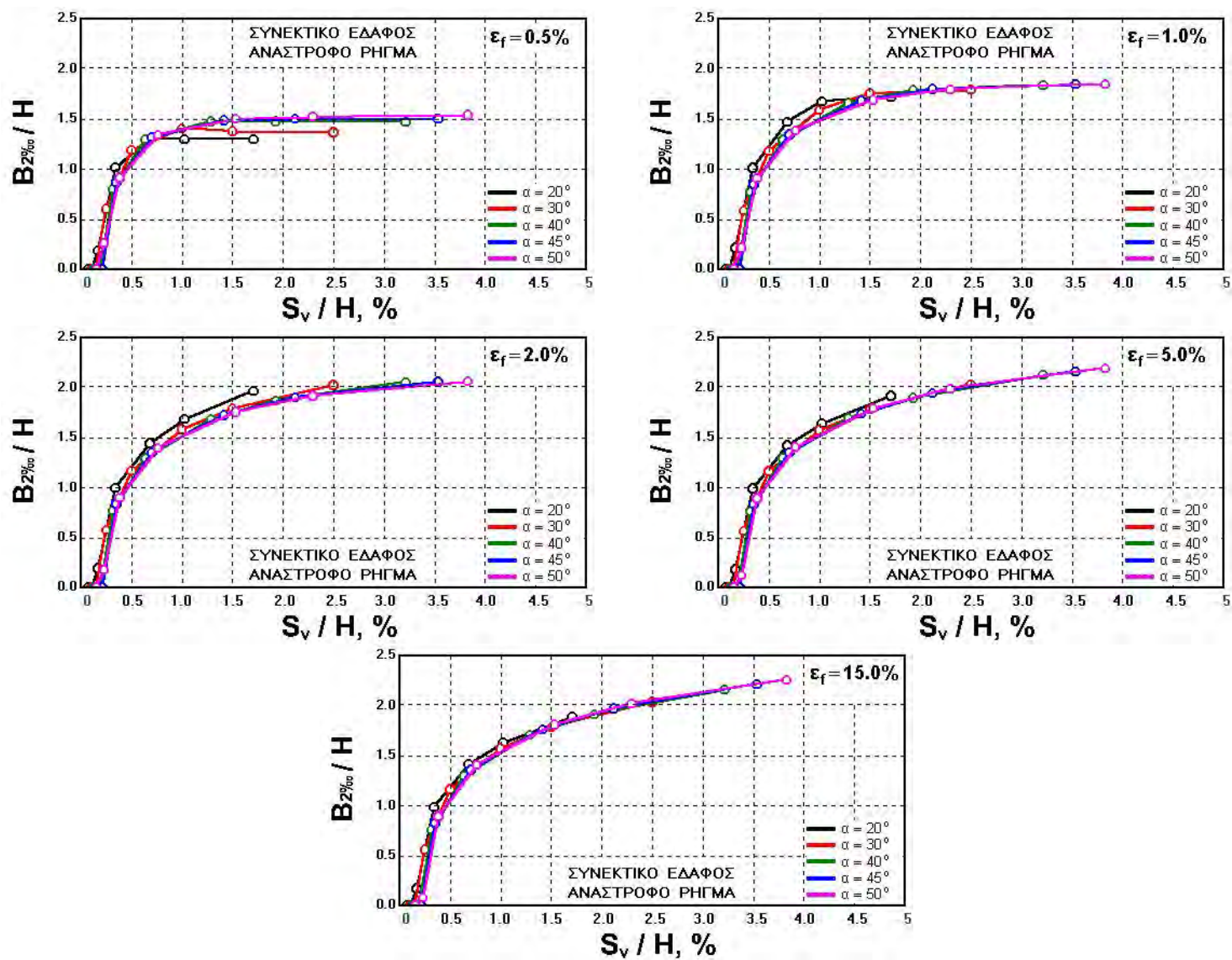
Σχήμα 5-26. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



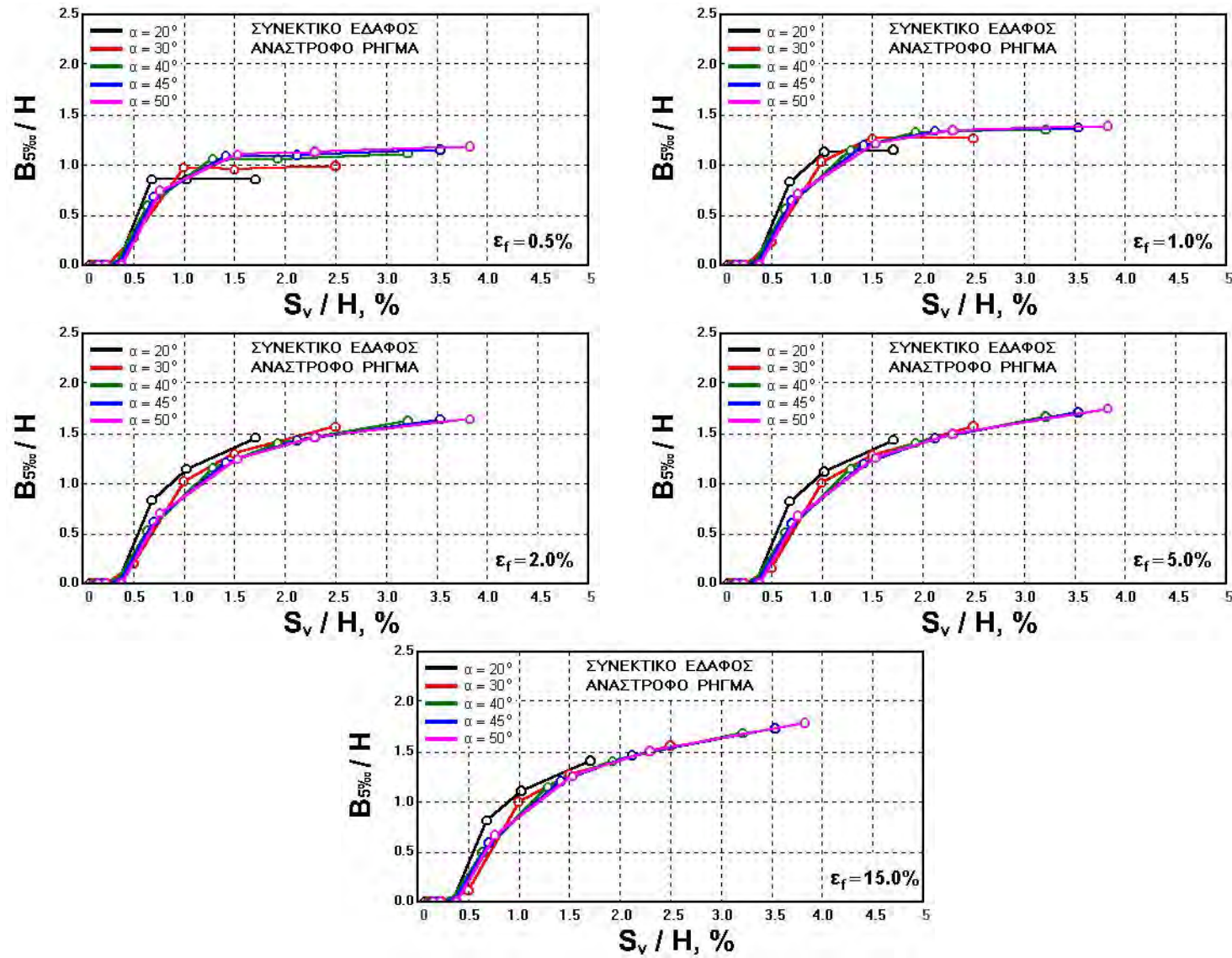
Σχήμα 5-27. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%oo}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



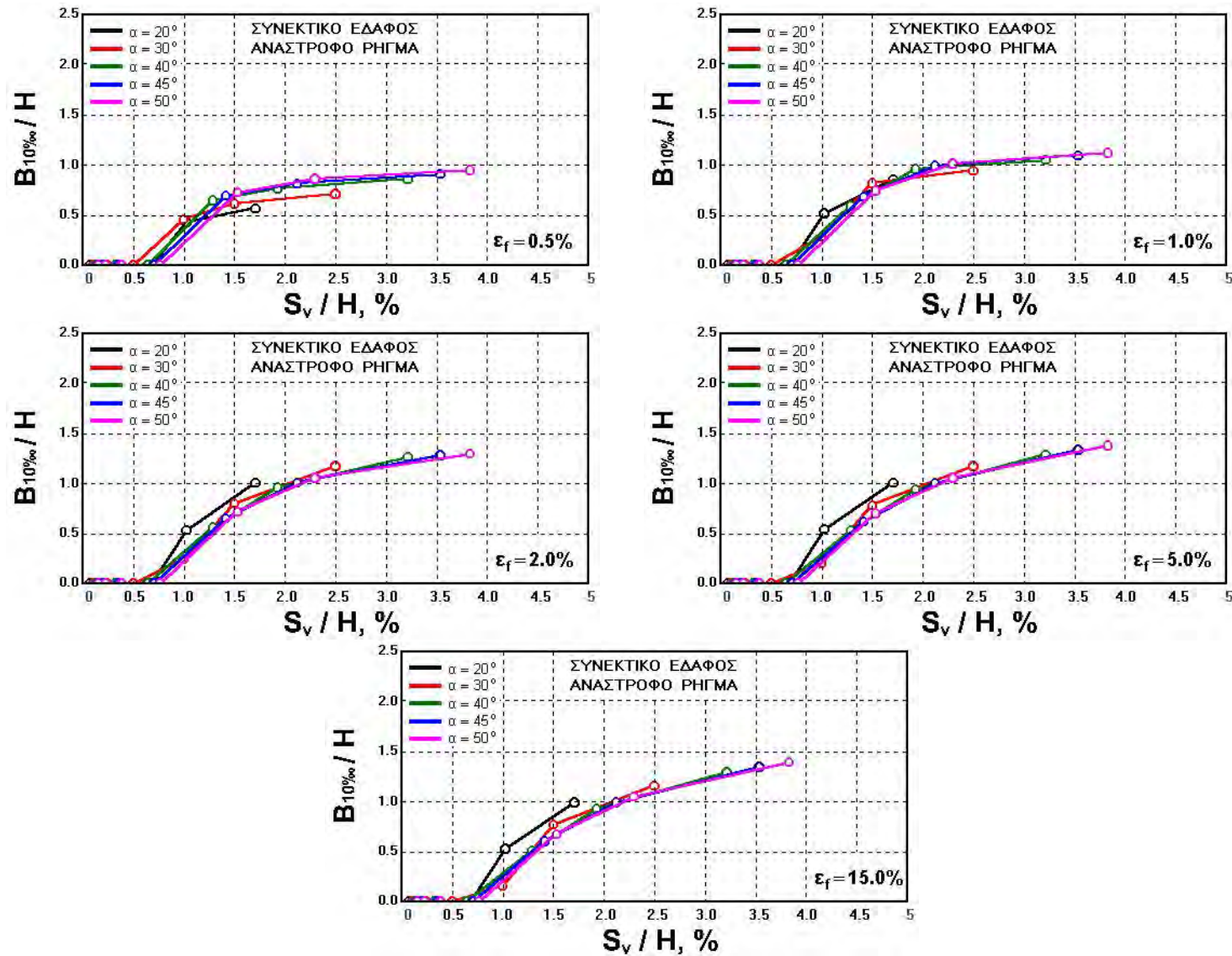
Σχήμα 5-28. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



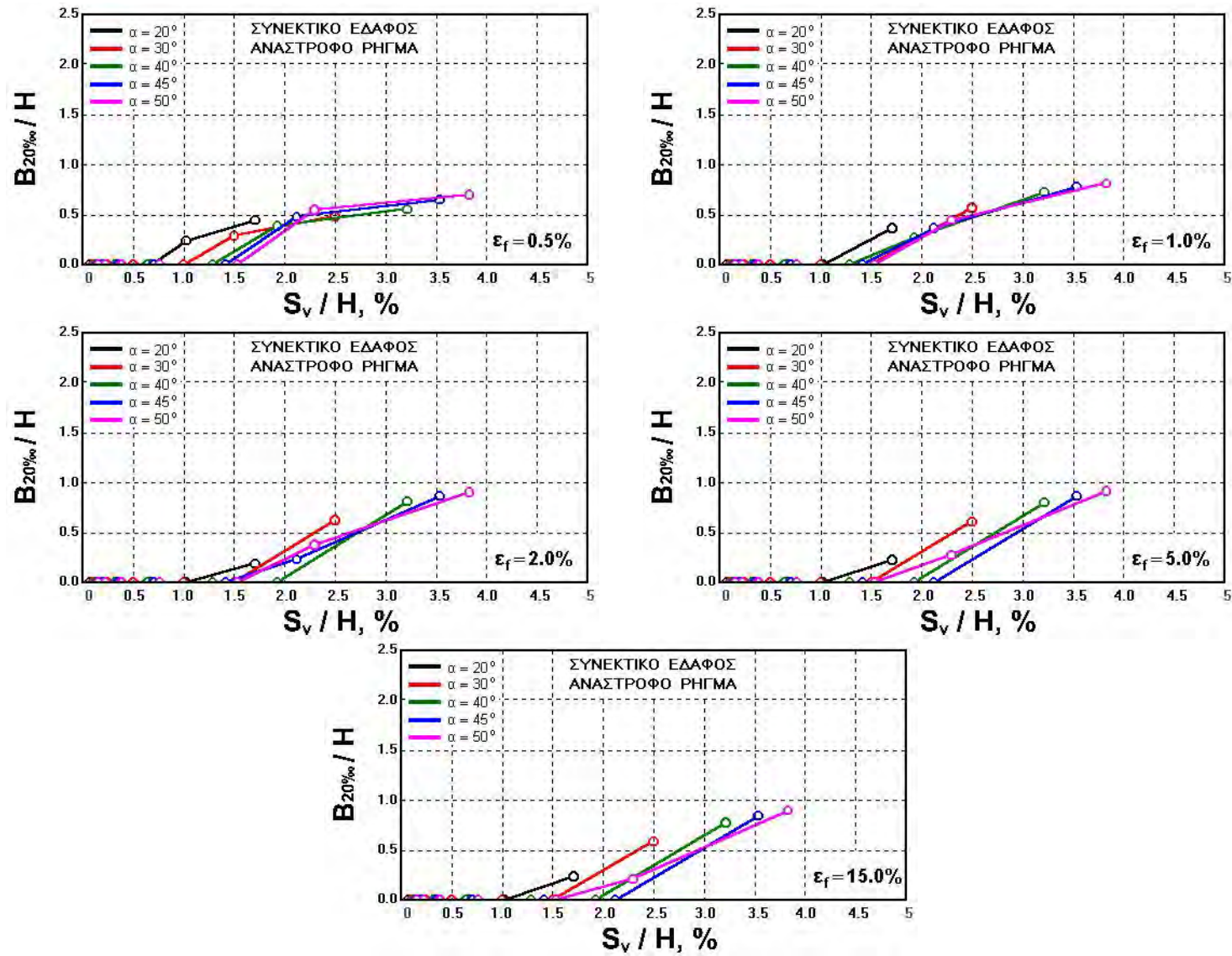
Σχήμα 5-29. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\% \sigma} / H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v / H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



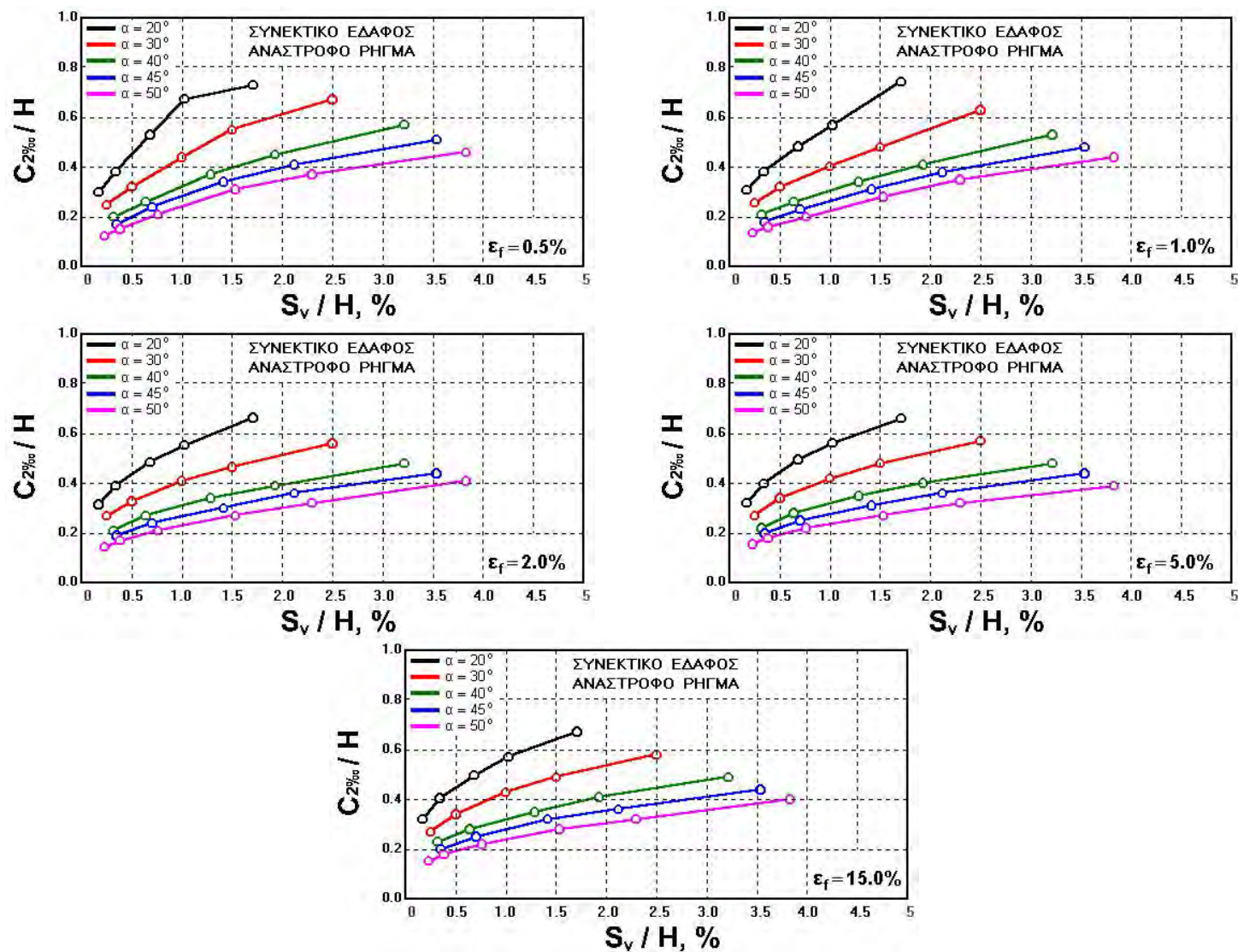
Σχήμα 5-30. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%σ}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, $α$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $ε_f$, (συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



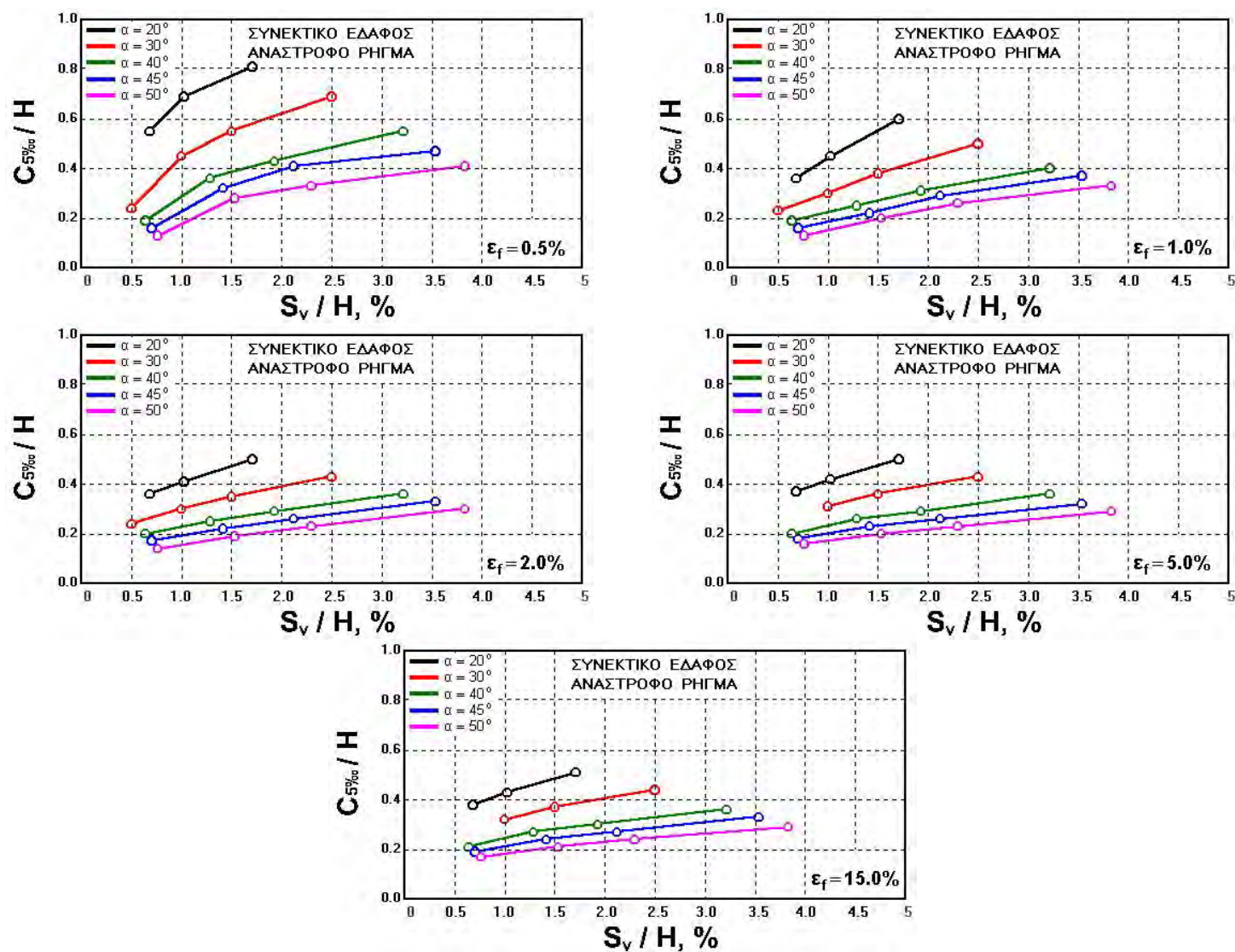
Σχήμα 5-31. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, αναστροφο ρήγμα)



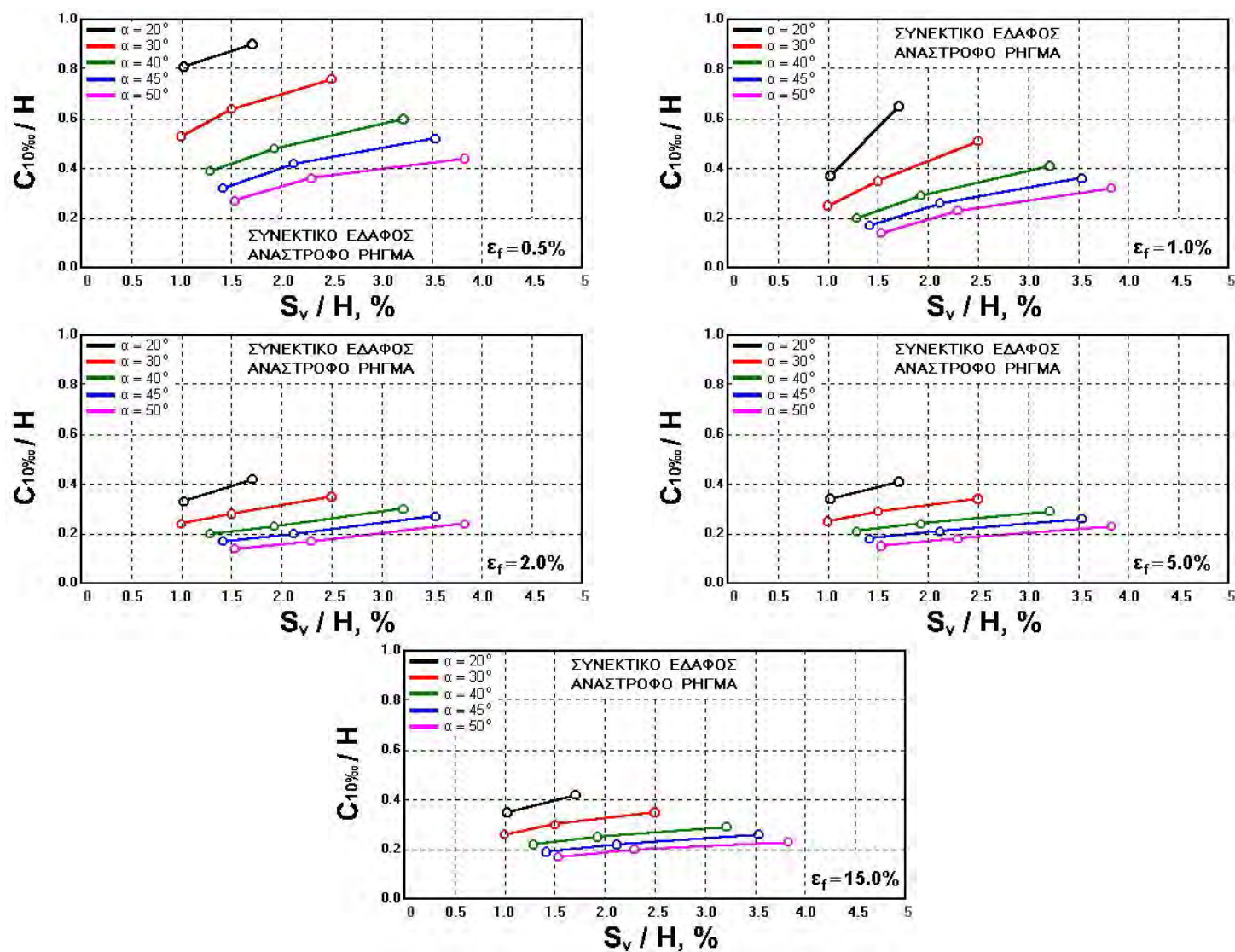
Σχήμα 5-32. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, αναστροφο ρήγμα)



Σχήμα 5-33. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\% \alpha} / H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v / H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, αναστροφο ρήγμα)



Σχήμα 5-34. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\% \alpha} / H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v / H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, αναστροφο ρήγμα)



Σχήμα 5-35. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (συνεκτικό έδαφος, αναστροφο ρήγμα)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - ΜΗ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών. Οι διερευνηθείσες παράμετροι και η μορφή της παρουσίασης των αποτελεσμάτων είναι αντίστοιχες αυτών του προηγούμενου κεφαλαίου που αφορά τα συνεκτικά εδάφη. Η μόνη διαφοροποίηση αφορά τη διερεύνηση της επιρροής της γωνίας διασταλτικότητας του μη-συνεκτικού εδάφους στο μηχανισμό και τα αποτελέσματα της διάρρηξης καθώς και τις επιλεγείσες για τη διερεύνηση τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , οι οποίες για τα μη-συνεκτικά εδάφη ήταν: 0.5%, 1.0%, 2.0% και 5.0%. Όπως και στην περίπτωση του προηγούμενου κεφαλαίου, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων συνοδεύεται από σύντομες μόνο παρατηρήσεις γιατί ο γενικός σχολιασμός και η σύνθεση όλων των αποτελεσμάτων αποτελεί αντικείμενο του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7.

6.1. Περίπτωση Κανονικού Ρήγματος

Οι αναλύσεις για την περίπτωση της διάρρηξης κανονικού ρήγματος διεξήχθησαν για τιμές της σεισμικής ολίσθησης, S , κυμαινόμενες από $0.002H$ έως $0.05H$ και για γωνία κλίσης, α , κυμαινόμενες από 45° - 80° . Για την περιγραφή του εδαφικού υλικού χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f : 0.5%, 1.0%, 2.0% και 5.0% και τρεις τιμές της γωνίας διασταλτικότητας ψ : 0° , 5° και 10° .

Στα διαγράμματα του Σχ. 6-1 παρουσιάζονται η κατανομή των επιφανειακών γωνιακών παραμορφώσεων, β και των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} καθώς και η καθ' ύψος ανάπτυξη της επιφάνειας αστοχίας για την περίπτωση κανονικού ρήγματος με τιμή σχετικής σεισμικής ολίσθησης, $S/H=1.0\%$ και δύο τιμές της γωνίας κλίσης α : 45° και 70° . Η τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας που χρησιμοποιήθηκε στις σχετικές αναλύσεις ήταν $\epsilon_f=0.5\%$. Παρατηρείται ότι η επικίνδυνη ζώνη στην επιφάνεια του εδάφους αποτελείται από δύο τμήματα: η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης περιλαμβάνεται στο δεξιό τμήμα της ζώνης (κύρια ζώνης διάρρηξης) ενώ στο αριστερό

τμήμα οι τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης είναι πολύ μικρότερες (δευτερεύουσα ζώνη). Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και η κατανομή των οριζόντιων ορθών παραμορφώσεων, ε_{xx} . Η πλέον ενδιαφέρουσα παρατήρηση, εν τούτοις, αφορά την ανάπτυξη δευτερεύουσας διάδοσης της διάρρηξης σε κατεύθυνση αντίθετη αυτής της κύριας διάρρηξης, Σχ. 6-1(α). Η ανάπτυξη της δευτερεύουσας αυτής διάρρηξης εμφανίζεται μόνο για σχετικά μικρές τιμές της γωνίας κλίσης (π.χ. $\alpha=45^\circ$ έως 50°), Σχ. 6-1(α) και συνοδεύεται από τη δημιουργία ενδιάμεσης τάφρου. Αντίθετα το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται για μεγαλύτερες τιμές της γωνίας α (π.χ. $\alpha=70^\circ$), Σχ. 6-1(β). Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει επίσης, ότι και στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών το εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{\varepsilon_{xx},cr}$ για $\varepsilon_{xx,cr}=5\%$ γίνεται μικρότερο του $B_{2\%}$, και υπερκαλύπτεται. Στα διαγράμματα του Σχ. 6-2(α) και (β) παρατηρείται ότι οι καμπύλες των μεγίστων τιμών όλων των παραμορφώσεων συμπίπτουν, οριοθετώντας με ευκρίνεια τη διάδοση της κύριας διάρρηξης προς την επιφάνεια του εδάφους.

Από την παρατήρηση του συνόλου των αντίστοιχων διαγραμμάτων με αυτά των Σχ. 6-1 και Σχ. 6-2, τα οποία περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β, προκύπτει ότι για μεγάλες τιμές της γωνία κλίσης του κανονικού ρήγματος υποβάθρου, η αναλυτικά υπολογιζόμενη διάδοση της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα παρουσιάζει ομοιότητα με το Σχ. 2-8(α) του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2. Αξίζει να σημειωθεί, ότι στην περίπτωση αυτή η καμπύλη διάδοσης των μεγίστων τιμών της διατμητικής παραμόρφωσης απομακρύνεται από την καμπύλη διάδοσης των μεγίστων τιμών της γωνιακής παραμόρφωσης όταν πλησιάζει την επιφάνεια του εδάφους. Η μορφή της καμπύλης αυτής φαίνεται να παρουσιάζει ομοιότητα με τις δευτερογενείς διαρρήξεις του Σχ. 2-8(α).

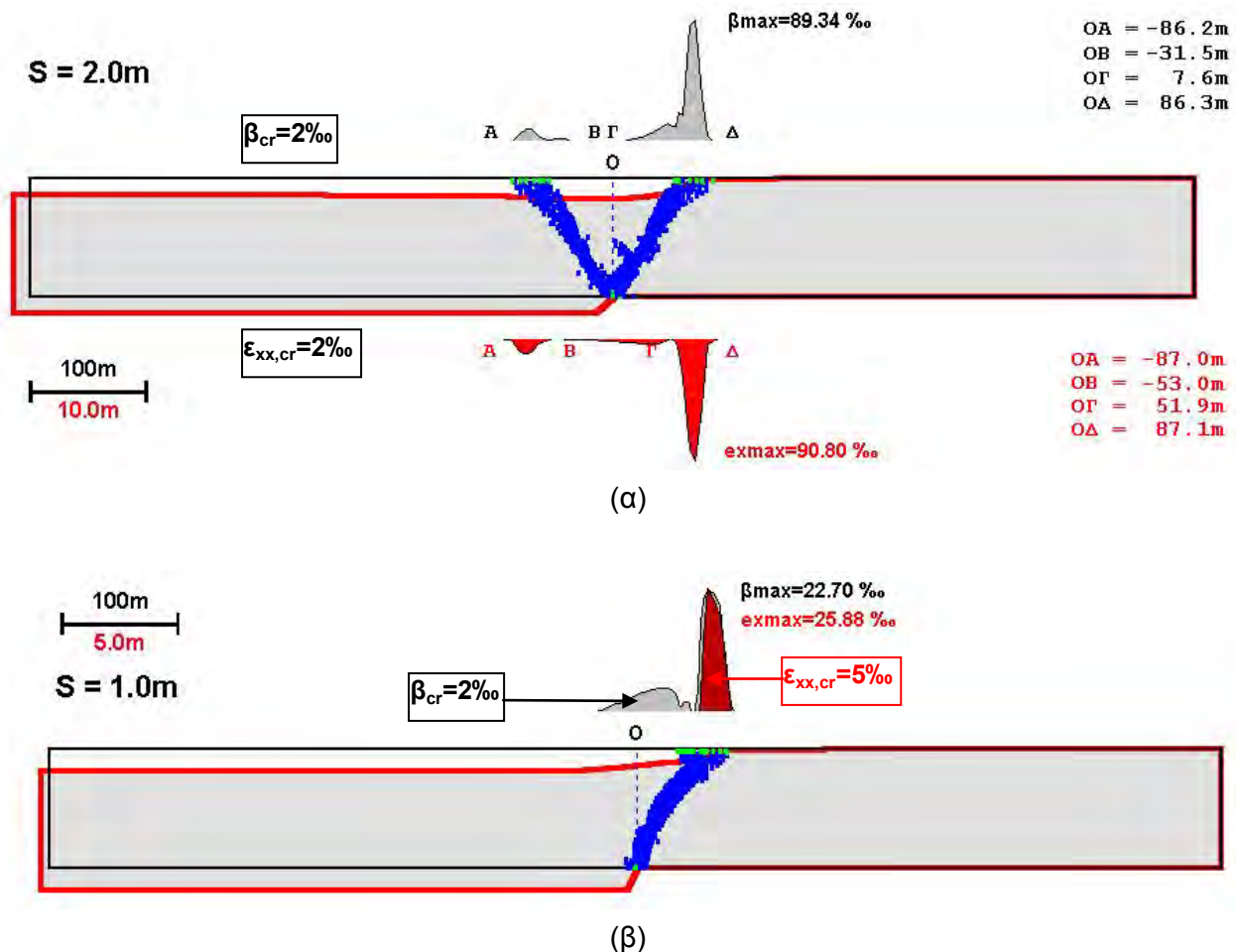
Όπως αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών διερευνήθηκε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας και η επιρροή της γωνίας διασταλτικότητας ψ του εδαφικού υλικού, στο μηχανισμό διάδοσης της διάρρηξης καθώς και στα υπολογιζόμενα μεγέθη. Στα διαγράμματα των Σχ. 6-3 και Σχ. 6-4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την περίπτωση κανονικού ρήγματος με $S/H=2.0\%$, $\alpha=50^\circ$, για δύο τιμές της γωνίας διασταλτικότητας $\psi=0^\circ$ και $\psi=10^\circ$ (η τιμή του $\varepsilon_f=0.5\%$). Παρατηρείται, ότι η εισαγωγή της διασταλτικότητας στους υπολογισμούς είχε ως αποτέλεσμα την μείωση των τιμών των γωνιακών παραμορφώσεων και την αύξηση του εύρους της επικίνδυνης ζώνης. Περισσότερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρατήρηση ότι η εισαγωγή της διασταλτικότητας παρεμποδίζει την ανάπτυξη της δευτερεύουσας διάρρηξης. Αντίθετα, η διάδοση της κύριας διάδοσης σύμφωνα με το Σχ. 6-4(α) δεν επηρεάζεται από την εισαγωγή της διασταλτικότητας.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων που αφορούν: 1) το ύψος ανάπτυξης h_f και τη γωνία διάδοσης, ϕ_δ , της

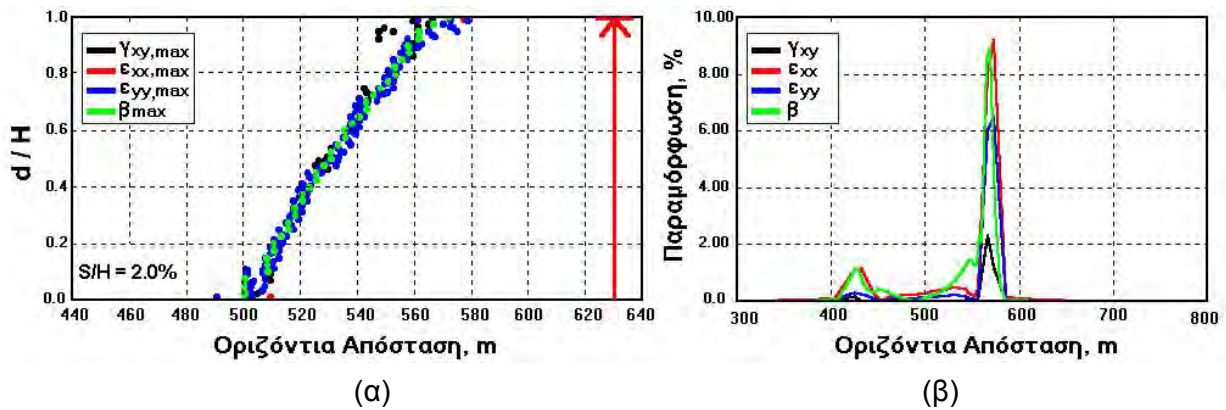
εδαφικής διάρρηξης 2) τη μέγιστη τιμή της επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , 3) το εύρος της επικίνδυνης ζώνης B και την απόσταση C του μέσου της ζώνης από το σημείο αναφοράς O. Όλες οι αναλύσεις για τον προσδιορισμό των μεγεθών, β_{\max} , B και C περιέλαβαν και διερευνήσεις για την επιρροή της γωνίας διασταλτικότητας, ψ .

6.1.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης

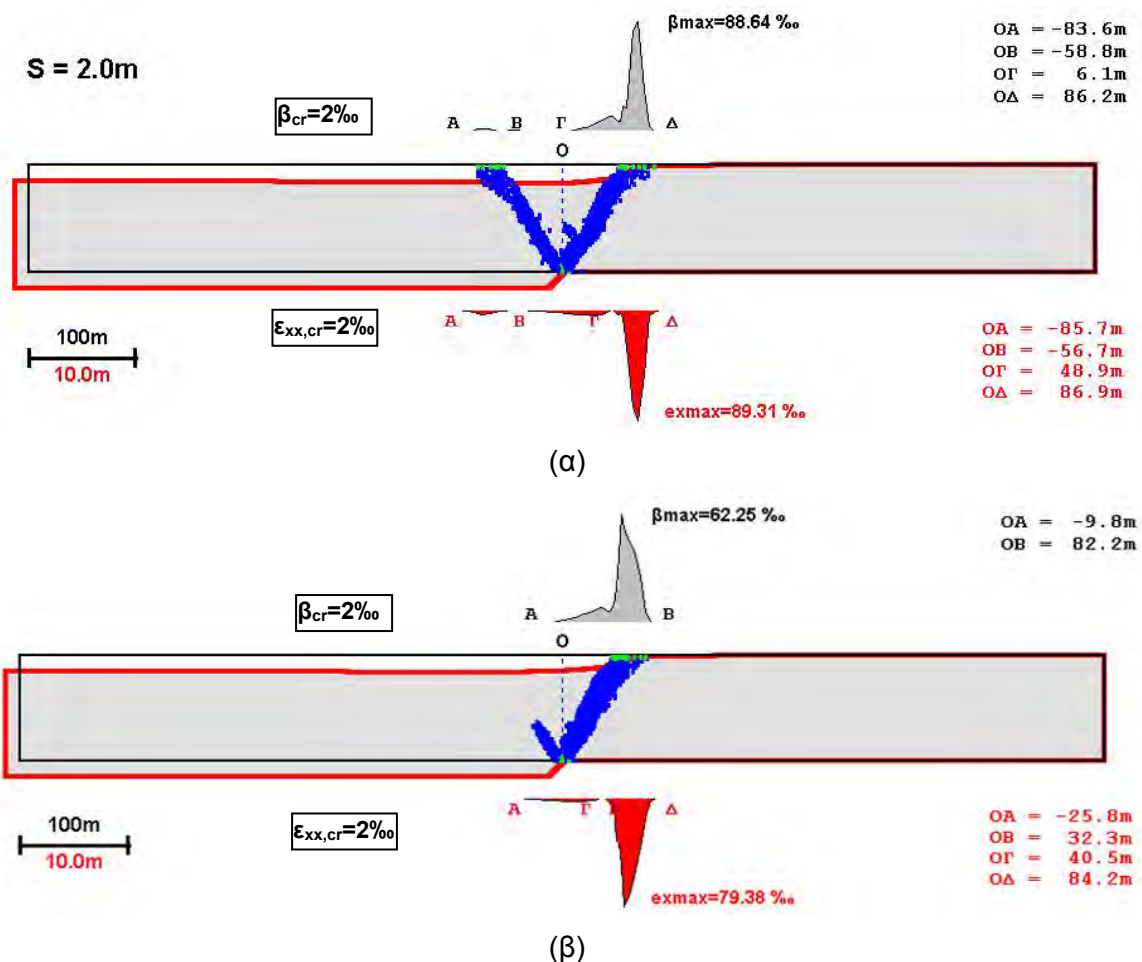
Στο διάγραμμα του Σχ. 6-5 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το σχετικό ύψος ανάπτυξης της επιφάνειας αστοχίας, h_f/H . Παρατηρείται ότι η κύρια παράμετρος επιρροής είναι το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, S/H . Συγκεκριμένα, το διάγραμμα υποδεικνύει ότι για τιμές του S/H μεγαλύτερες του 2.5% έως 3.0%, η αστοχία



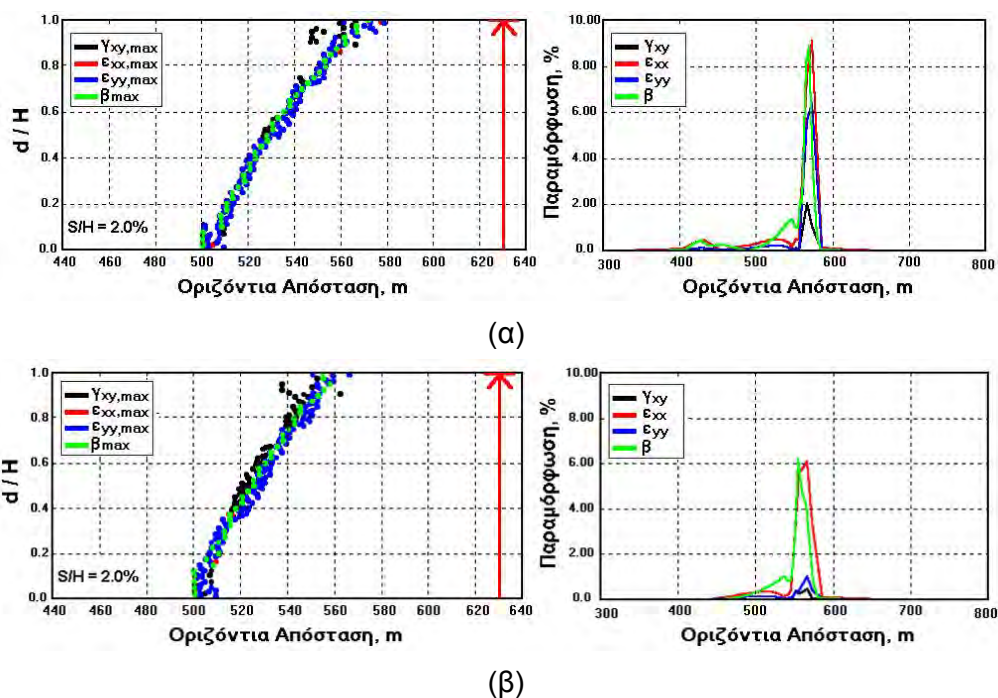
Σχήμα 6-1. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($S/H=2.0\%$) με κλίση α) $\alpha=45^\circ$ ($\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}=2\text{‰}$) και β) $\alpha=70^\circ$ ($\beta_{cr}=2\text{‰}$ και $\epsilon_{xx,cr}=5\text{‰}$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)



Σχήμα 6-2. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=2.0\%$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$).



Σχήμα 6-3. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2%), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($S/H=2.0\%$, $\alpha=50^\circ$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$



Σχήμα 6-4. Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($S/H=2.0\%$, $\alpha=50^\circ$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$

εκτείνεται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την περίπτωση πολύ ψαθυρής θραύσης ($\epsilon_f=0.5\%$), αρκεί σχετική σεισμική ολίσθηση $S/H=0.2\%$ για τη διάδοση της αστοχίας μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

6.1.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Διάρρηξης

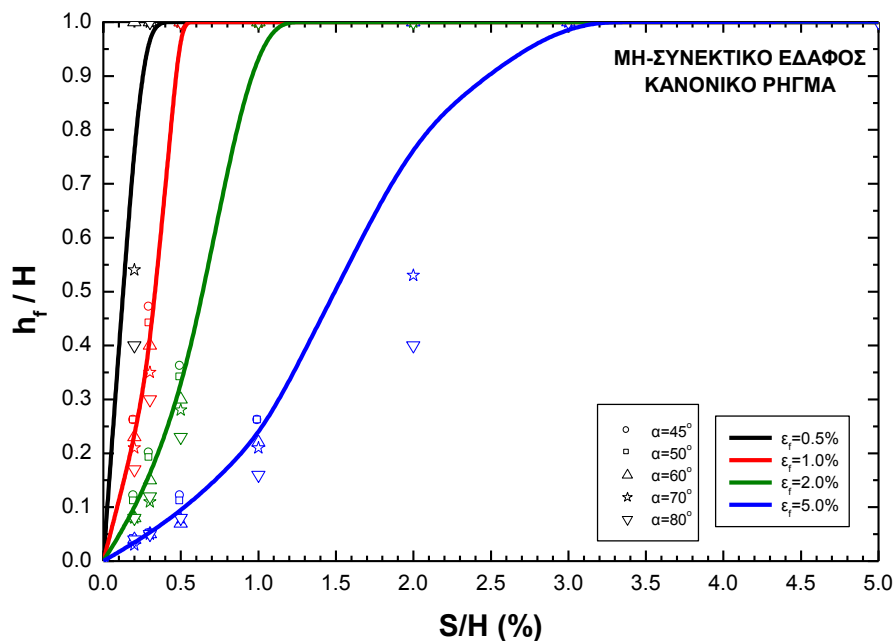
Οι διερευνήσεις για τη γωνία διάδοσης της επιφάνειας αστοχίας, ϕ_δ , οδηγούν όπως και στην περίπτωση των συνεκτικών εδαφών, στο συμπέρασμα ότι η μοναδική παράμετρος που επηρεάζει το φαινόμενο είναι η γωνία κλίσης, α , του ρήγματος, Σχ. 6-6. Μάλιστα, στην περίπτωση αυτή, η επιρροή της τιμής της γωνίας α είναι μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των συνεκτικών εδαφών και θα μπορούσε να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι η γωνία ϕ_δ παρουσίασε περίπου σταθερή τιμή για όλες τις αναλύσεις ίση με $\phi_\delta \approx 58^\circ$.

6.1.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης

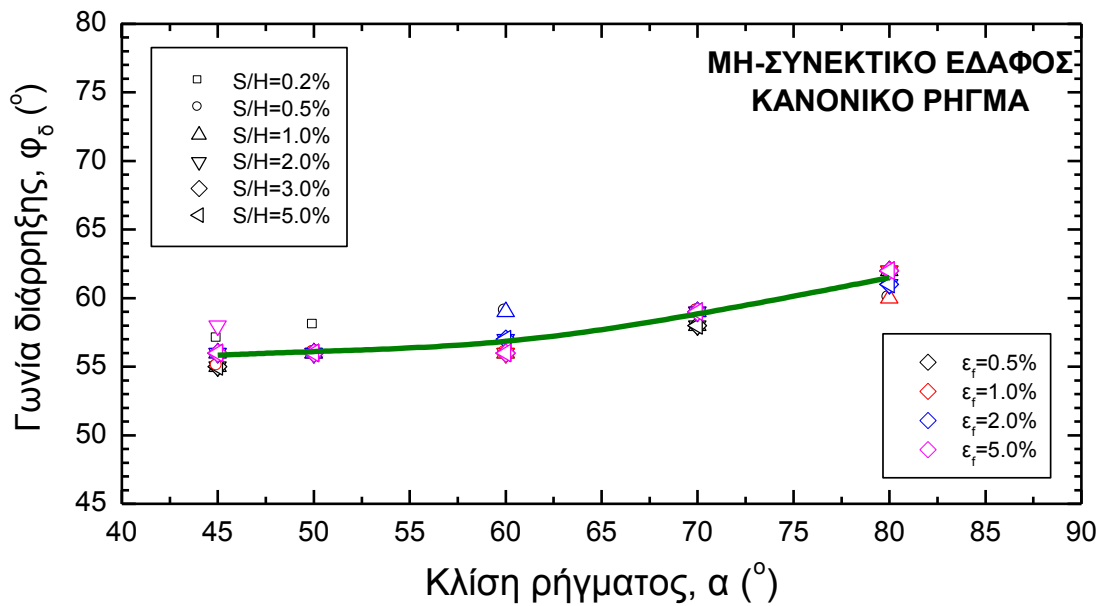
Για τη διερεύνηση της εξάρτησης της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα του Σχ. 6-7. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει όπως και

στις προηγηθείσες αντίστοιχες περιπτώσεις, ότι η τιμή της β_{\max} αυξάνεται περίπου γραμμικά με την τιμή της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, S/H για όλες τις εξετασθείσες τιμές της γωνίας κλίσης. Μικρή απόκλιση από τη γενική αυτή διαπίστωση, παρατηρείται για την υψηλότερη τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=5.0\%$. Για τη λεπτομερέστερη διερεύνηση της επιρροής της γωνίας κλίσης του ρήγματος σχεδιάσθηκαν και τα διαγράμματα του Σχ. 6-8. Παρατηρείται ότι για αυξανόμενες τιμές της γωνίας α , η τιμή της β_{\max} , γενικά μειώνεται. Για σχετικά υψηλές τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας και μικρές τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης (<του 1% έως 2%), φαίνεται, εν τούτοις, ότι η τιμή της γωνίας α παύει να επηρεάζει το φαινόμενο. Στην περιοχή αυτή ισχύει γραμμική συσχέτιση $\beta_{\max}-(S/H)$ η οποία είναι ανεξάρτητη της γωνίας κλίσης του ρήγματος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της επίδρασης της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης. Για το λόγο αυτό διεξήχθησαν παραμετρικές αναλύσεις τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στο Σχ. 6-9. Οι αναλύσεις αυτές αφορούν τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος με $\alpha=50^\circ$. Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων του Σχ. 6-9 προκύπτει ότι η γενική μορφή των διαγραμμάτων δε διαφέρει από αυτή του Σχ. 6-8. Συγκεκριμένα, ισχύει περίπου γραμμική σχέση $\beta_{\max}-(S/H)$, τουλάχιστον για μικρές τιμές της γωνίας ψ ($\sim 5^\circ$). Αξίζει ιδιαίτερης παρατήρησης το γεγονός ότι για σχετικά υψηλές τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας ($\varepsilon_f=2.0\%$ έως 5.0%) η τιμή της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης παύει να εξαρτάται από την τιμή της γωνίας ψ .



Σχήμα 6-5. Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H ως συνάρτηση του S/H για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού ρήγματος** σε **μη-συνεκτικό** έδαφος



Σχήμα 6-6. Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης του ρήγματος υποβάθρου για **κανονικό** ρήγμα σε **μη-συνεκτικό** έδαφος

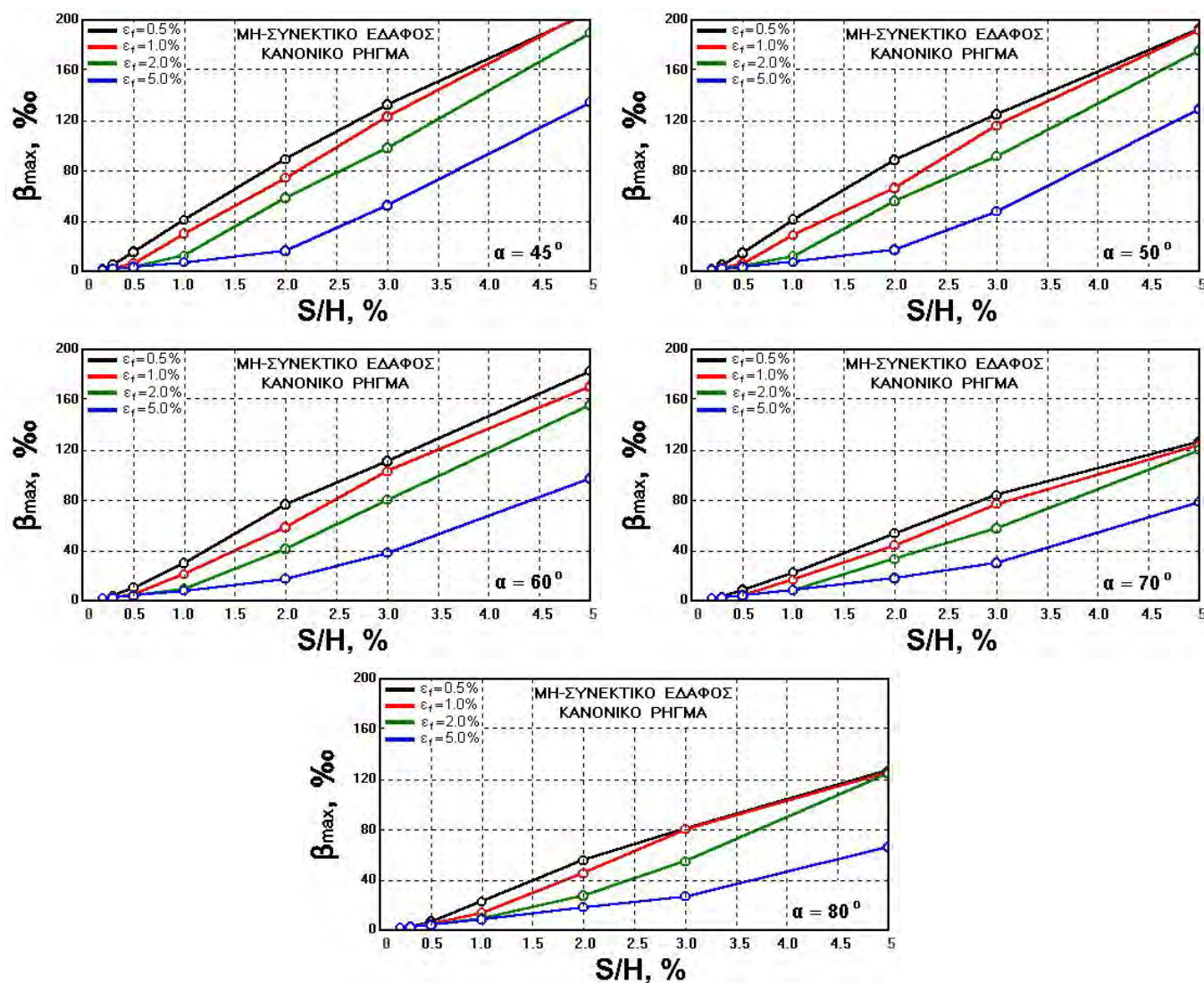
6.1.4. Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης

Στα διαγράμματα των Σχ. 6-10 έως Σχ. 6-13 παρουσιάζεται η επίδραση της σχετικής σεισμικής ολίσθησης S/H , στην τιμή του εύρους των επικίνδυνων ζωνών $B_{2\%}$, $B_{5\%}$, $B_{10\%}$ και $B_{20\%}$. Η παρατήρηση των διαγραμμάτων υποδεικνύει ότι η συμπεριφορά είναι όμοια με αυτή των συνεκτικών εδαφών (τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά) ιδιαίτερα στην περιοχή των μικρών τιμών της σχετικής σεισμικής ολίσθησης. Τα διαγράμματα των Σχ. 6-14 έως Σχ. 6-17 έχουν σχεδιασθεί ώστε να μπορεί να εξετασθεί με ευχέρεια η επίδραση της γωνίας κλίσης, α . Παρατηρείται ότι η επίδραση της κλίσης του ρήγματος υποβάθρου είναι σημαντική μόνο για σχετικά μεγάλες τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, δεν μπορεί όμως να θεωρηθεί ως αμελητέα για τις μικρές τιμές του S/H . Τα ανωτέρω συμπεράσματα είναι όμοια με αυτά που διατυπώθηκαν και για την περίπτωση των συνεκτικών εδαφών.

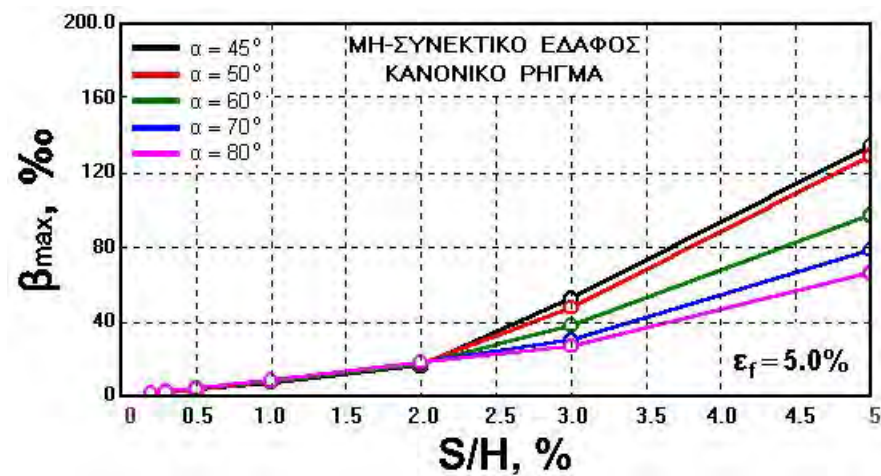
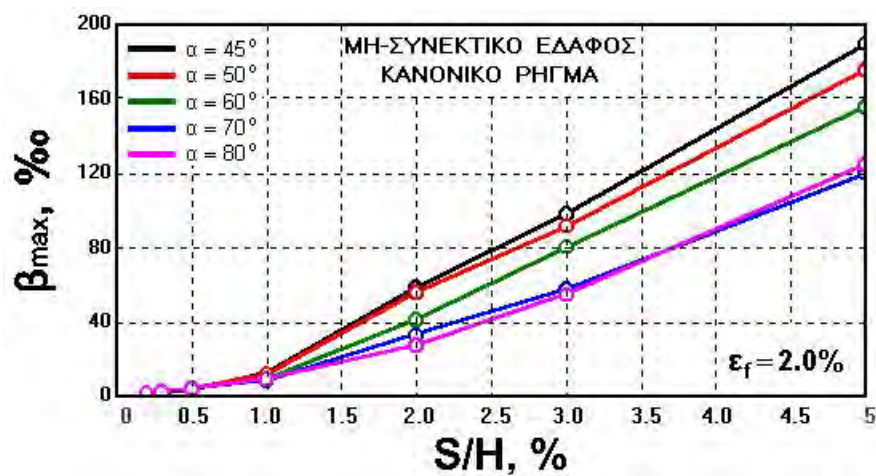
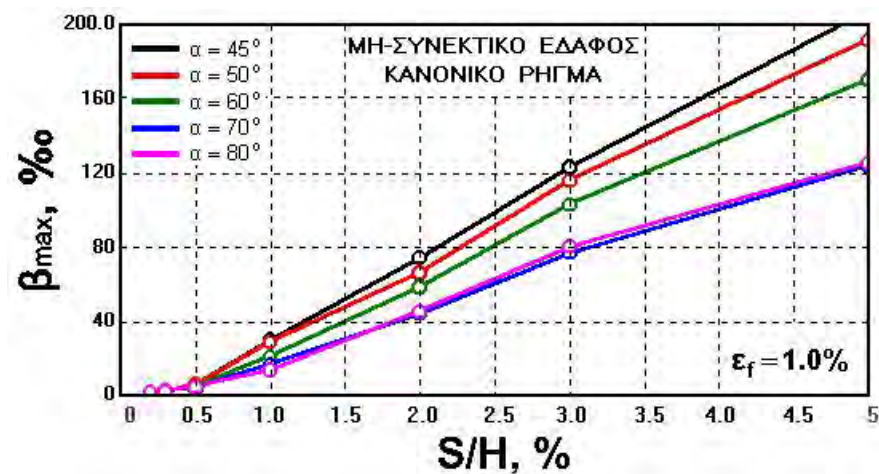
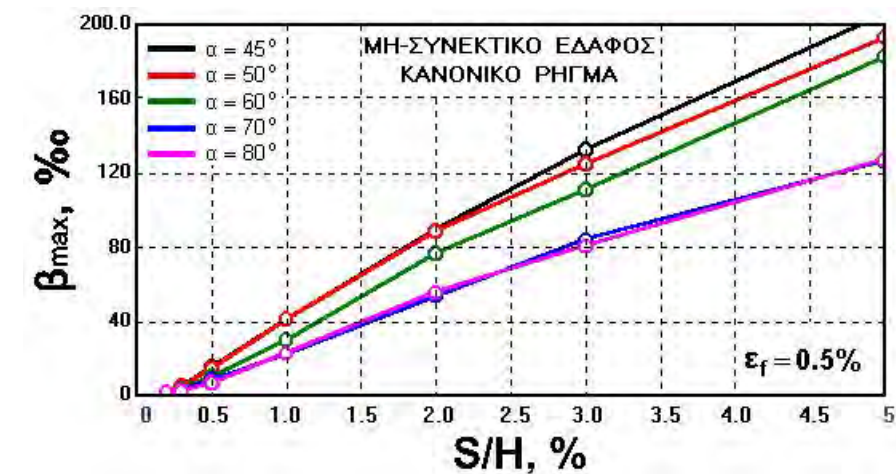
Για τη διερεύνηση της επίδρασης της γωνίας διασταλτικότητας ψ στην τιμή του εύρους της επικίνδυνης ζώνης πραγματοποιήθηκε ένας περιορισμένος αριθμός αναλύσεων που αφορούν τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος με $\alpha=50^\circ$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα του Σχ. 6-18 έως Σχ. 6-21 και υποδεικνύουν ότι για σχετική σεισμική ολίσθηση μέχρι 1.0% έως 2.0%, περίπου, η επιρροή της διασταλτικότητας του εδάφους μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέα. Για μεγαλύτερες τιμές της σεισμικής ολίσθησης παρατηρείται μικρή σχετική αύξηση του εύρους των επικίνδυνων ζωνών $B_{2\%}$ και $B_{5\%}$ για αυξανόμενες τιμές της γωνίας ψ . Αντίθετα για το εύρος των επικίνδυνων ζωνών $B_{10\%}$ και $B_{20\%}$ φαίνεται καθαρά ότι παύει να ισχύει οιαδήποτε επίδραση από τη γωνία διασταλτικότητας, ψ .

6.1.5. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης

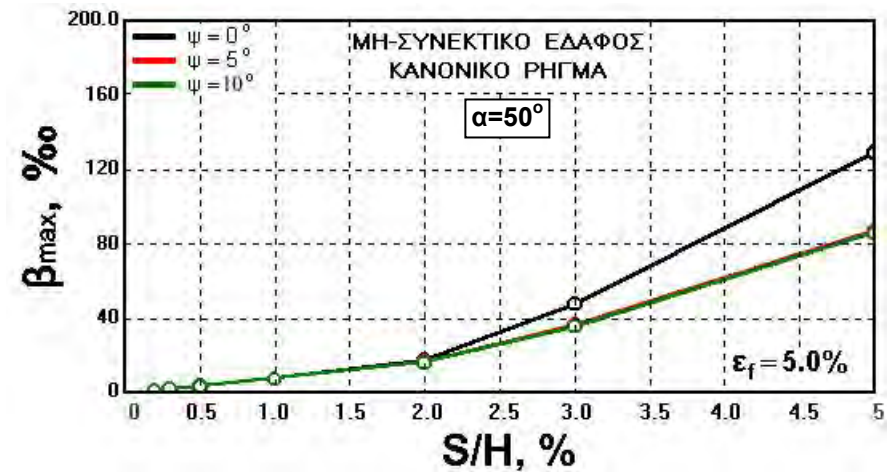
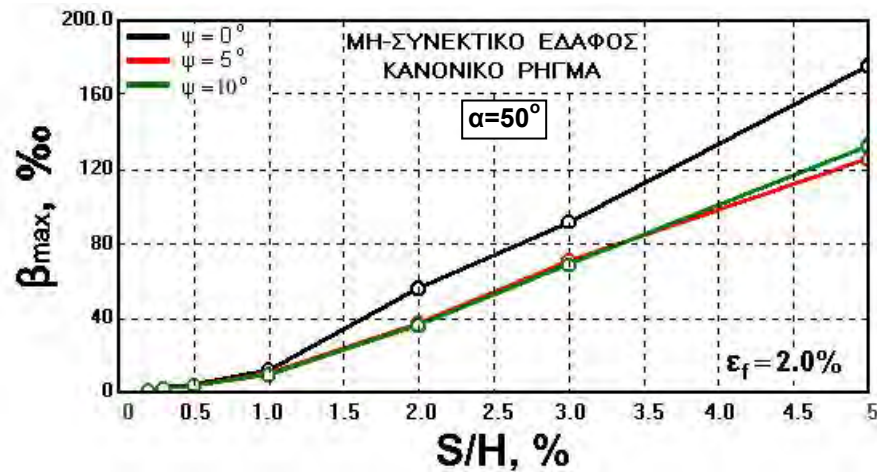
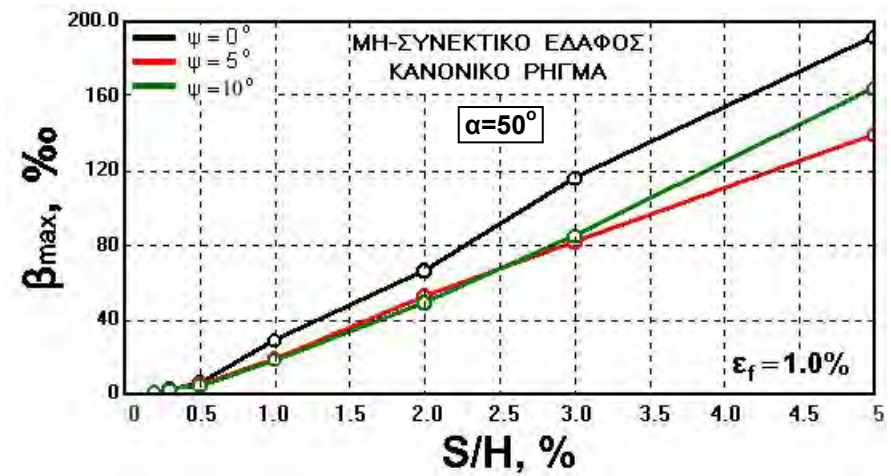
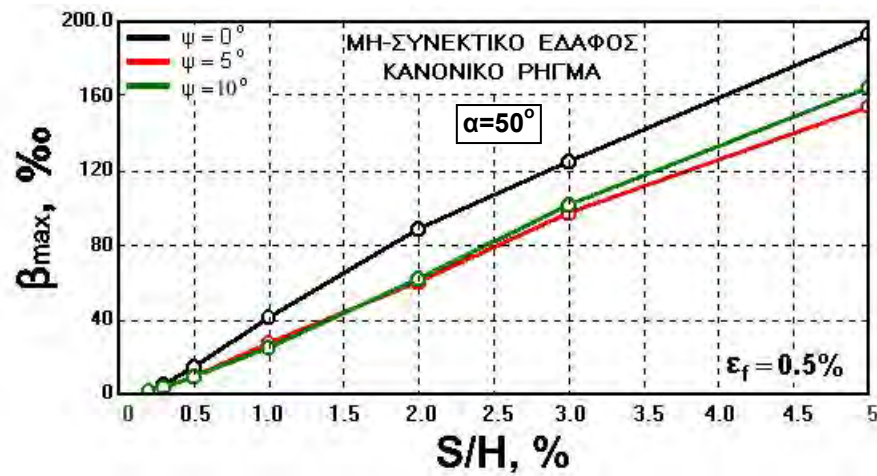
Για τη διερεύνηση της επίδρασης των εξεταζόμενων παραμέτρων στην τιμή της απόστασης C/H , σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα του Σχ. 6-22 έως Σχ. 6-25. Παρατηρείται σχετική ομοιότητα με την αντίστοιχη συμπεριφορά των συνεκτικών εδαφών, δηλαδή είναι εμφανές ότι η πλέον σημαντική παράμετρος είναι η τιμή της γωνίας κλίσης, α . Η μόνη διαφοροποίηση, σε σχέση με την περίπτωση των συνεκτικών εδαφών, φαίνεται να παρατηρείται για πολύ μικρές τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας ($\epsilon_f \leq 0.5\%$). Τέλος, όσον αφορά την επιρροή της γωνίας διασταλτικότητας ψ , στα διαγράμματα των Σχ. 6-26 έως Σχ. 6-29 παρατηρείται ότι η επιρροή αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα για μικρές τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης ($S/H \leq 1.0\%$) ενώ θεωρείται γενικά ως μικρή για μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου S/H .



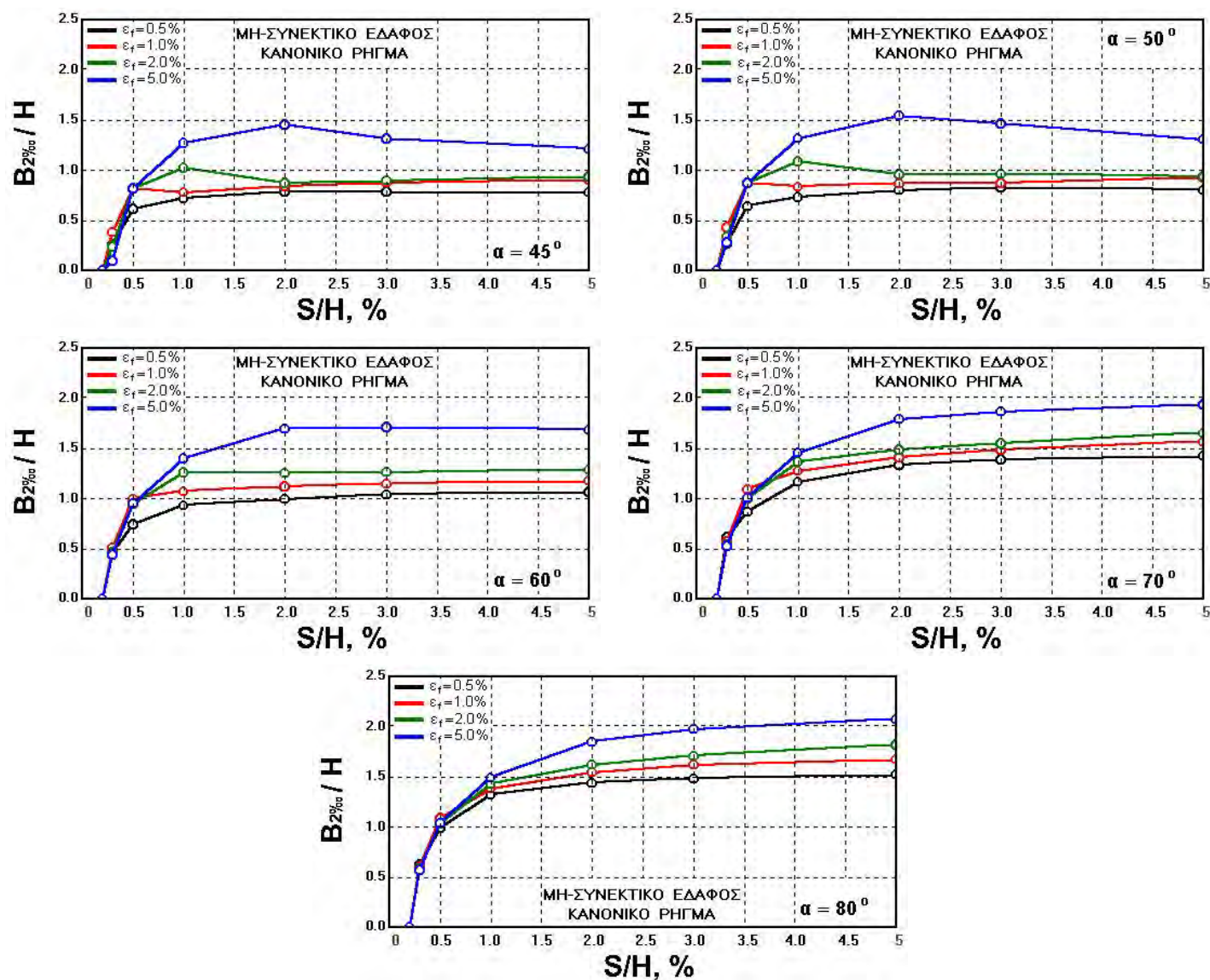
Σχήμα 6-7. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



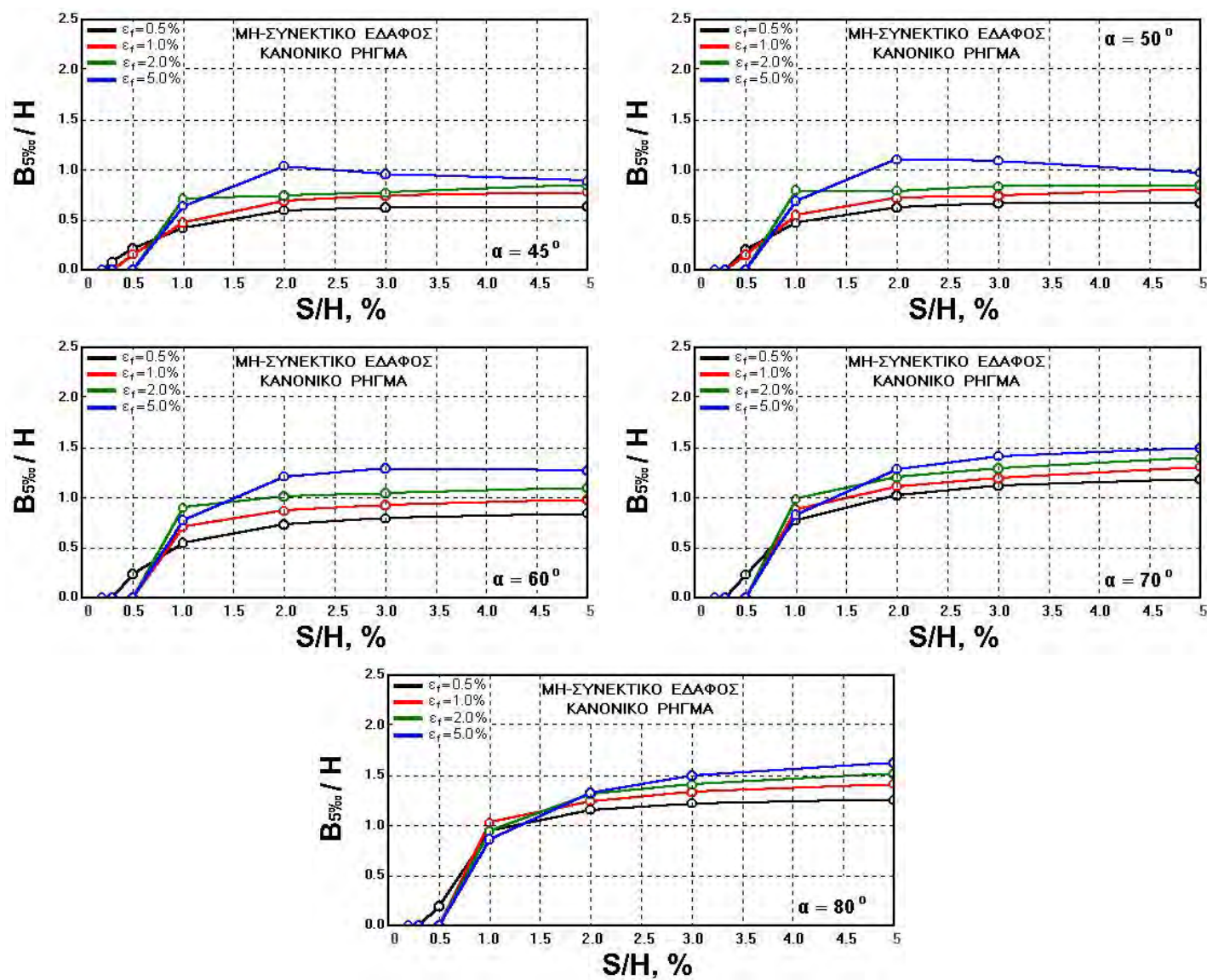
Σχήμα 6-8. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης, S/H , και της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



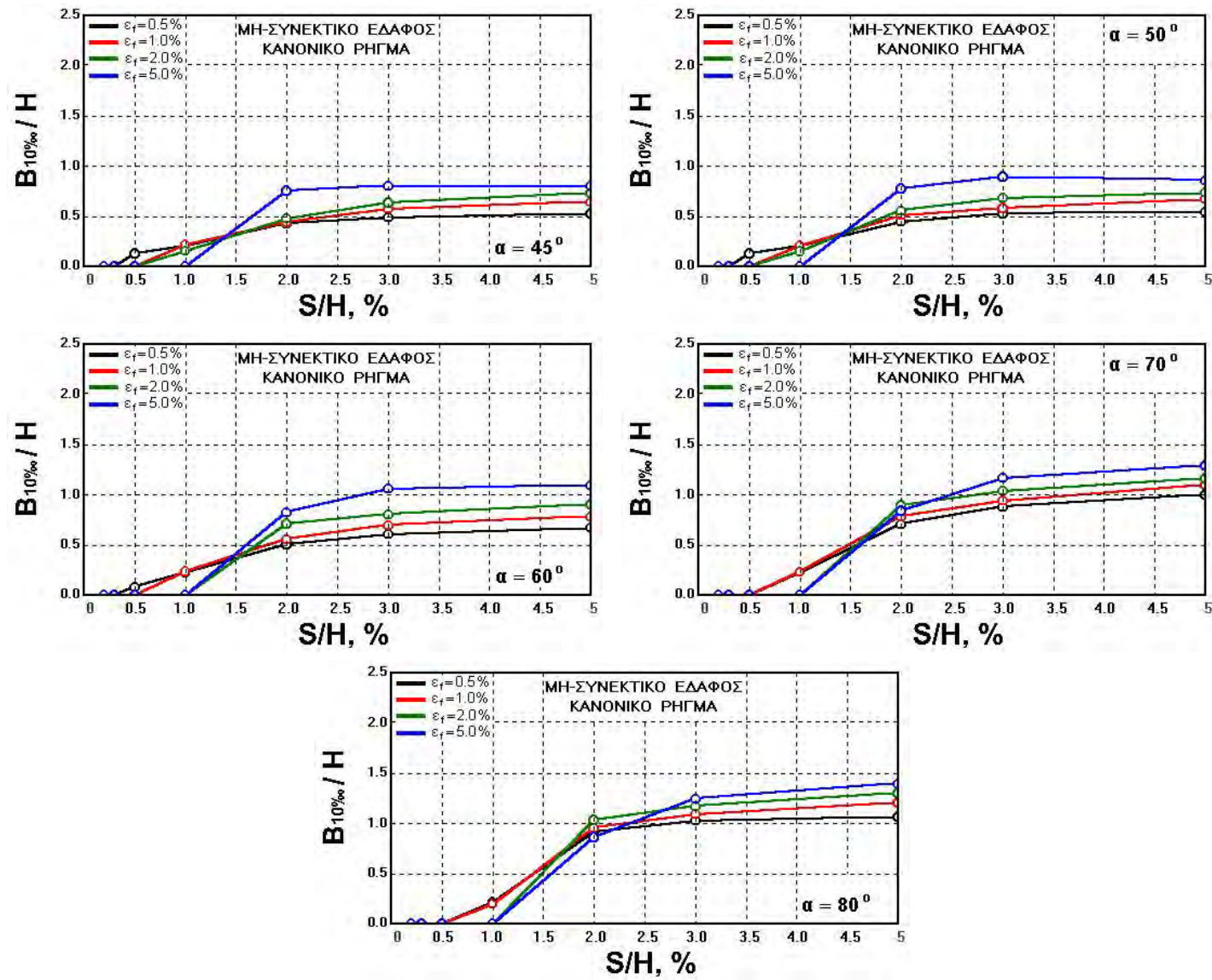
Σχήμα 6-9. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(\beta_{\max})-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



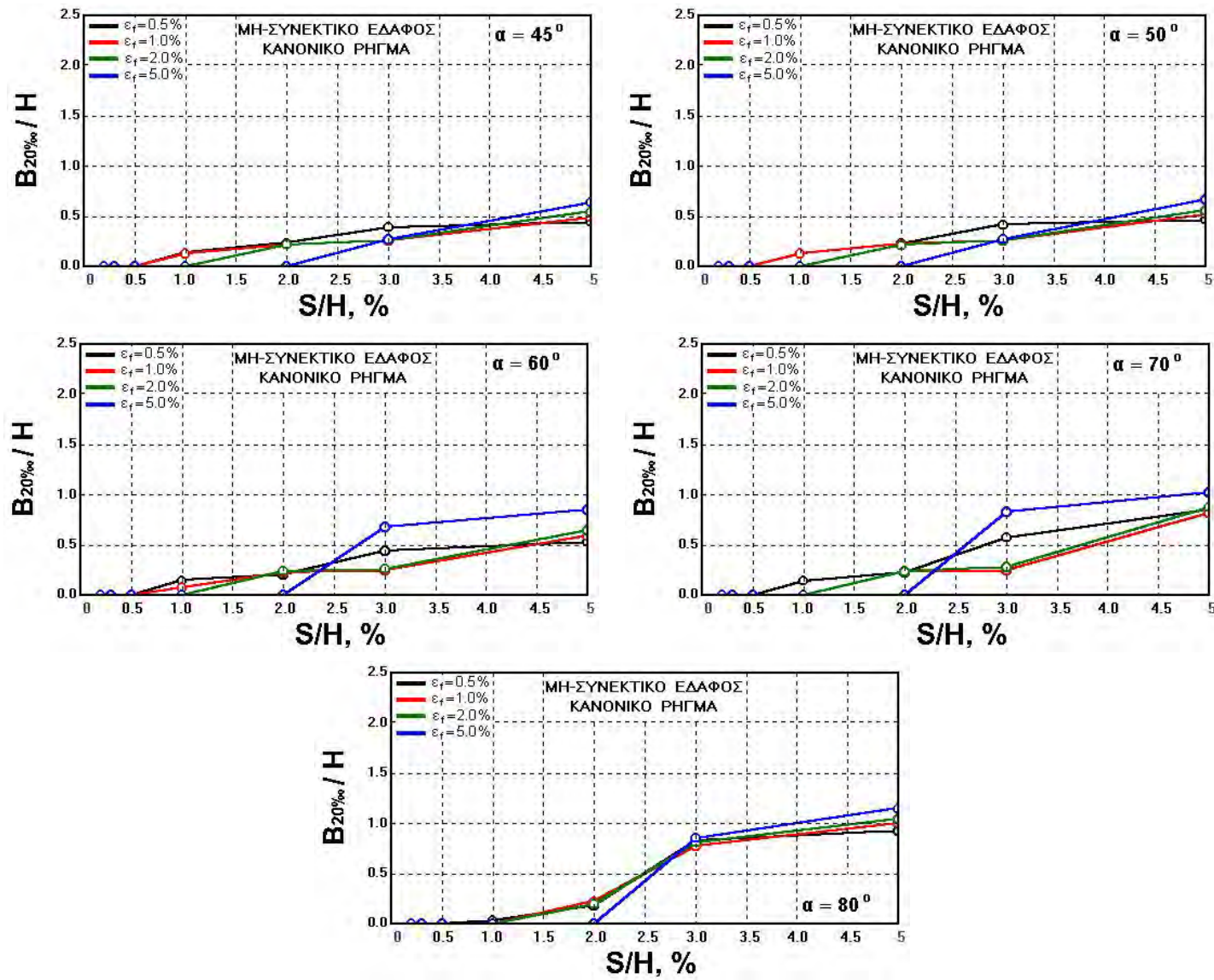
Σχήμα 6-10. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



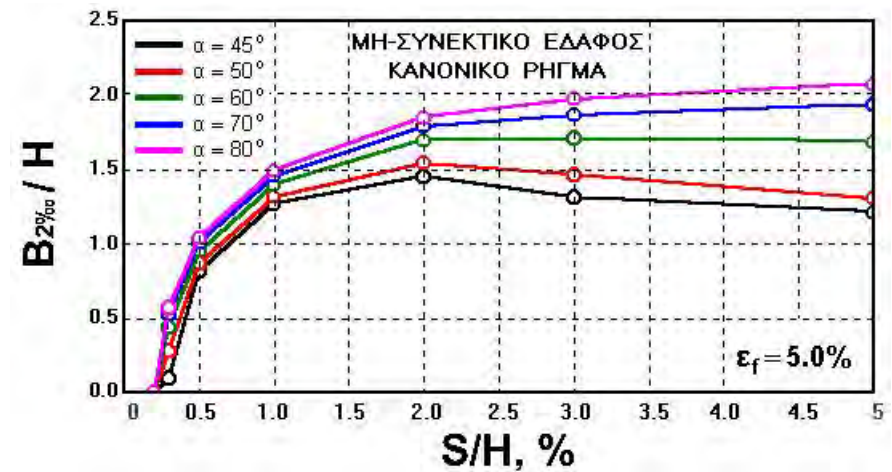
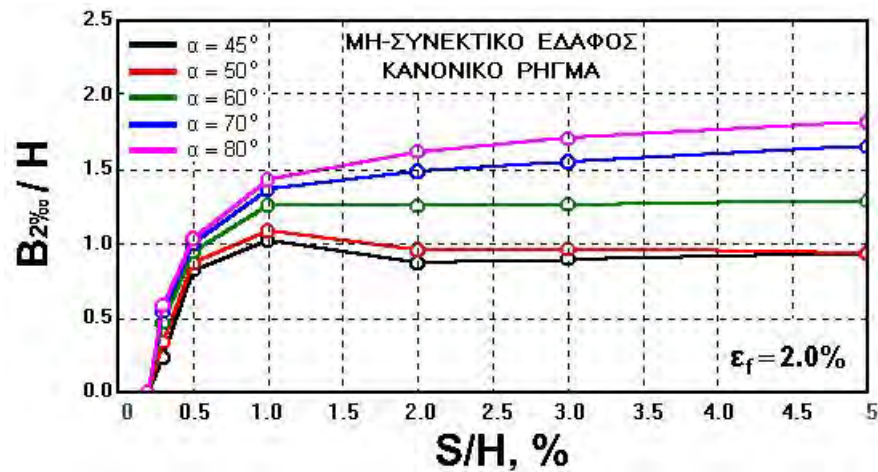
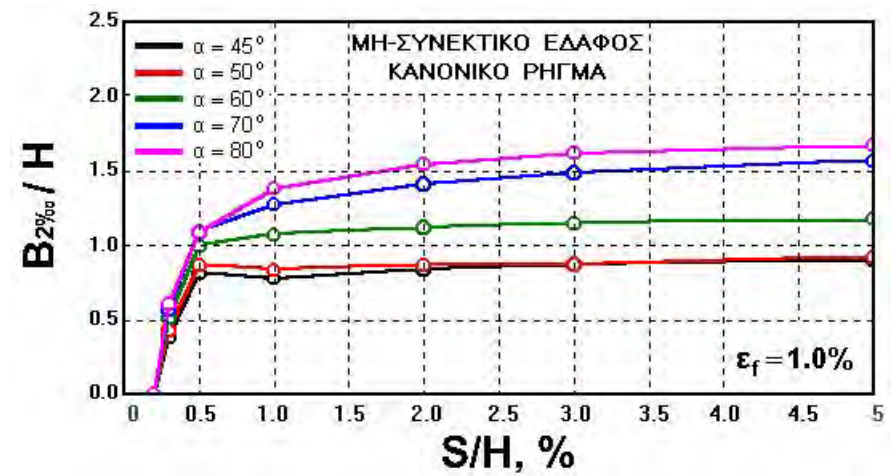
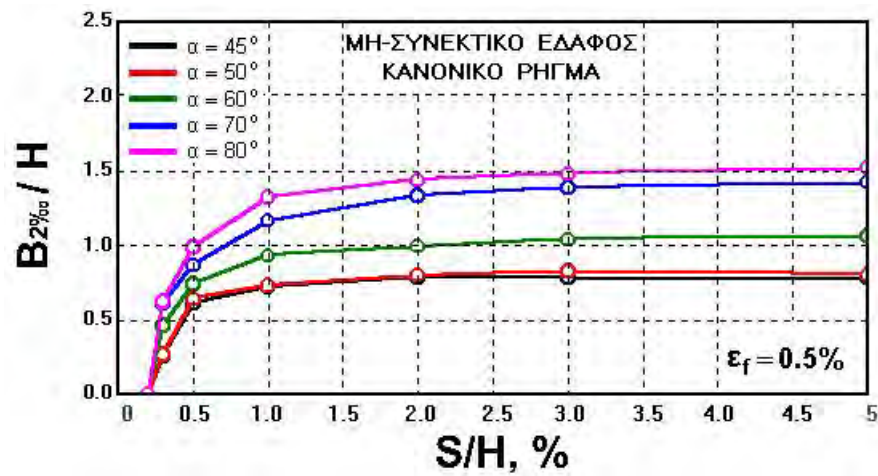
Σχήμα 6-11. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



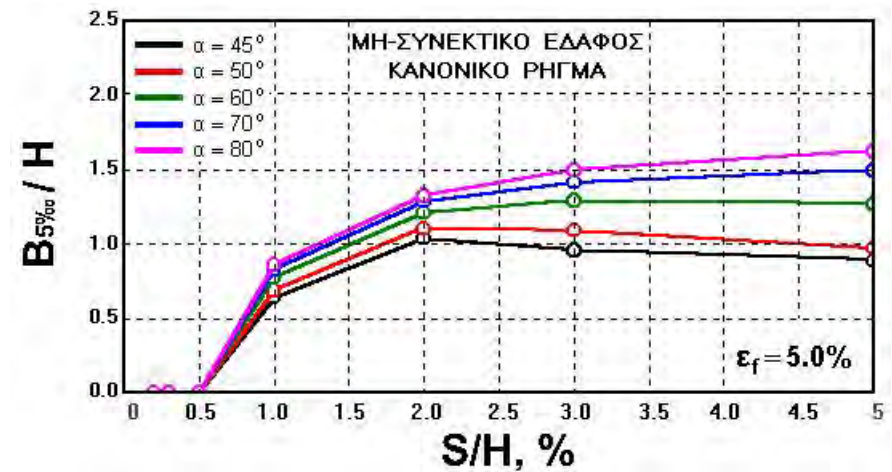
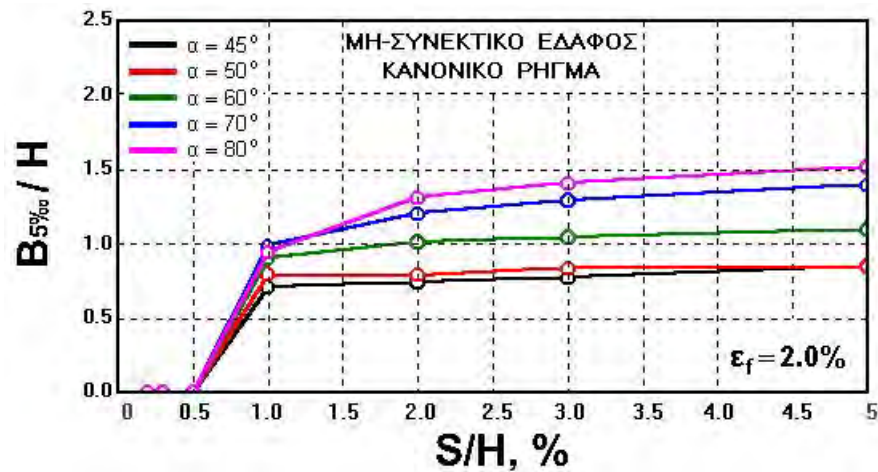
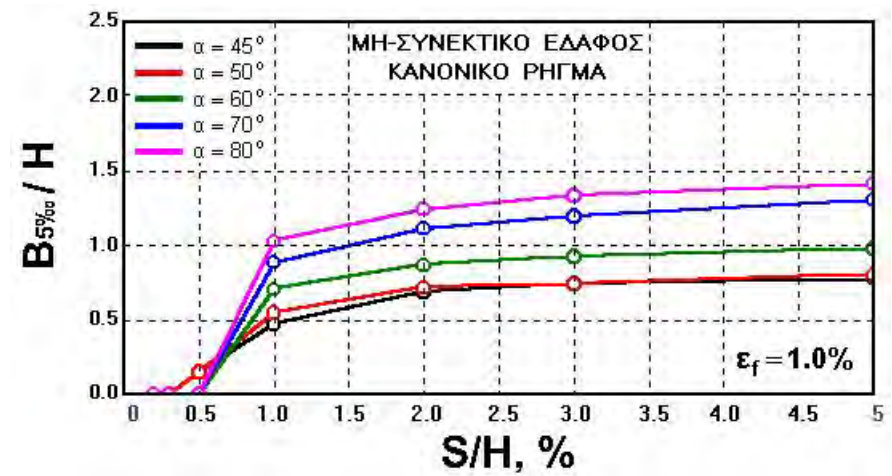
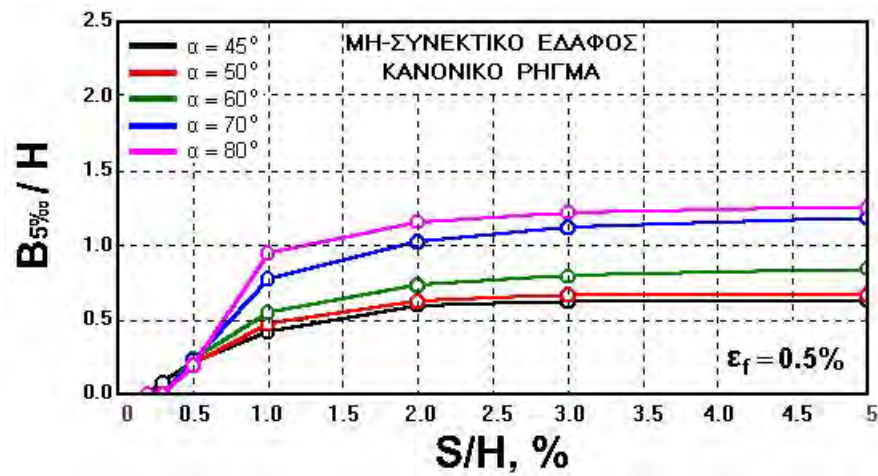
Σχήμα 6-12. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



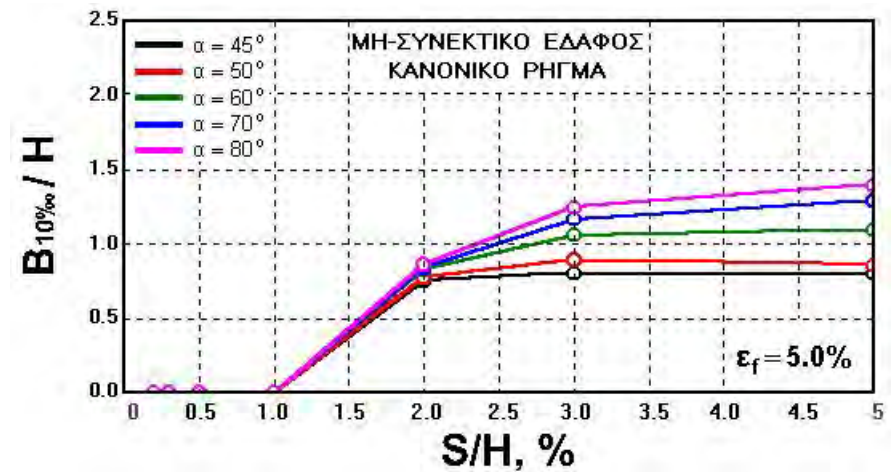
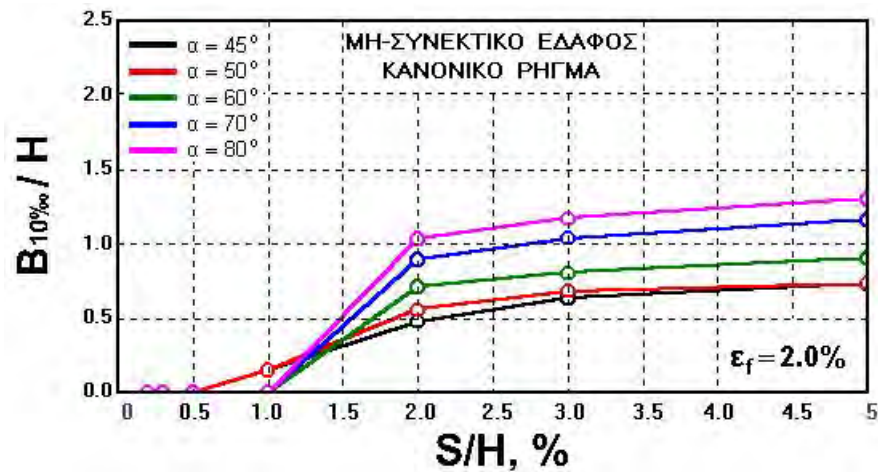
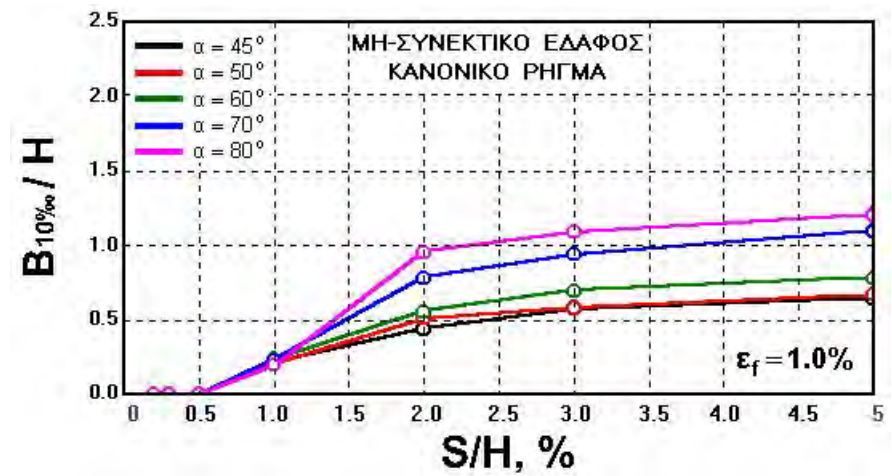
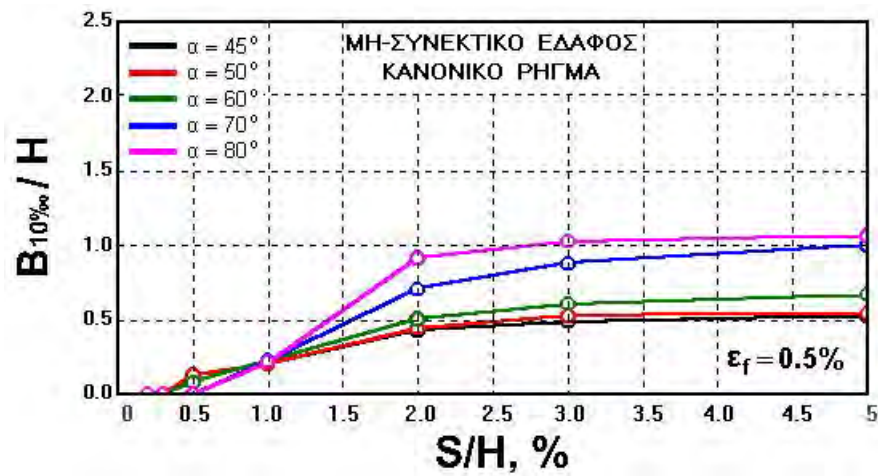
Σχήμα 6-13. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%_{so}}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



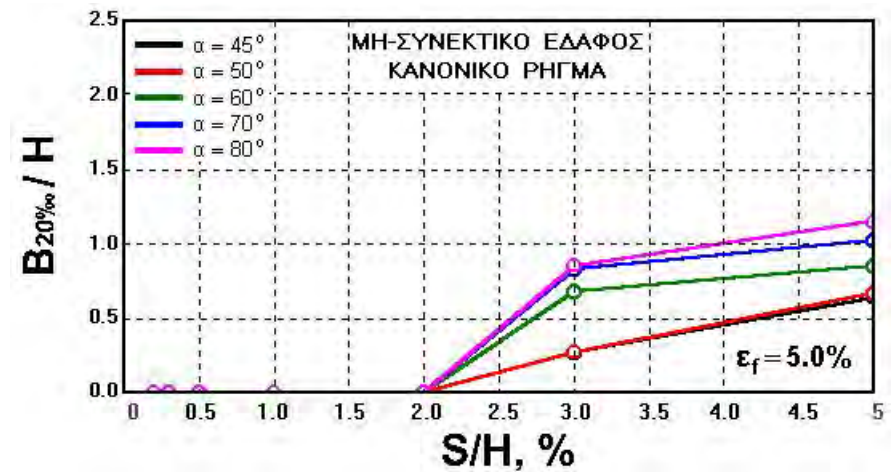
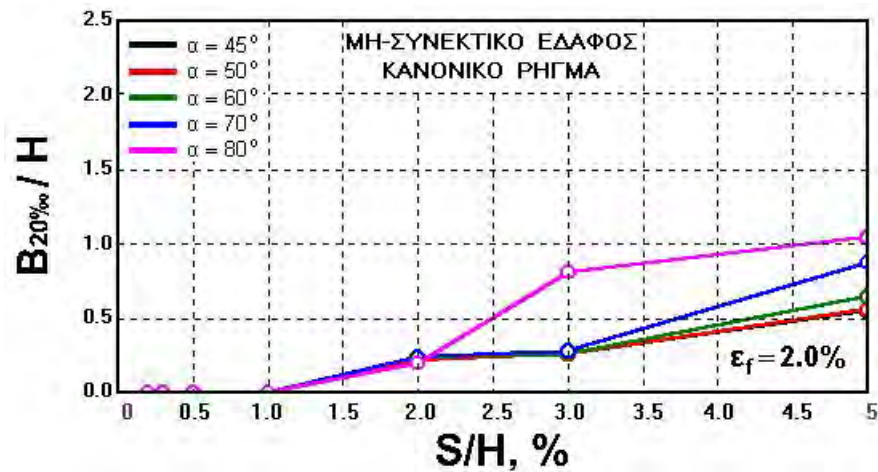
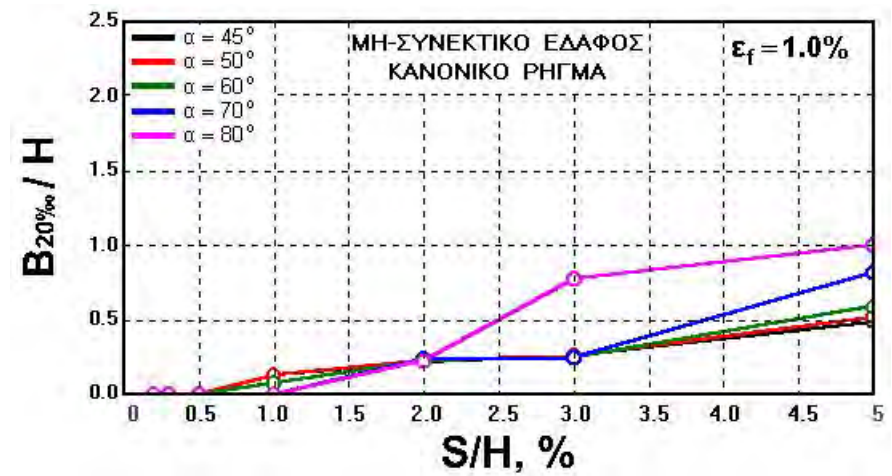
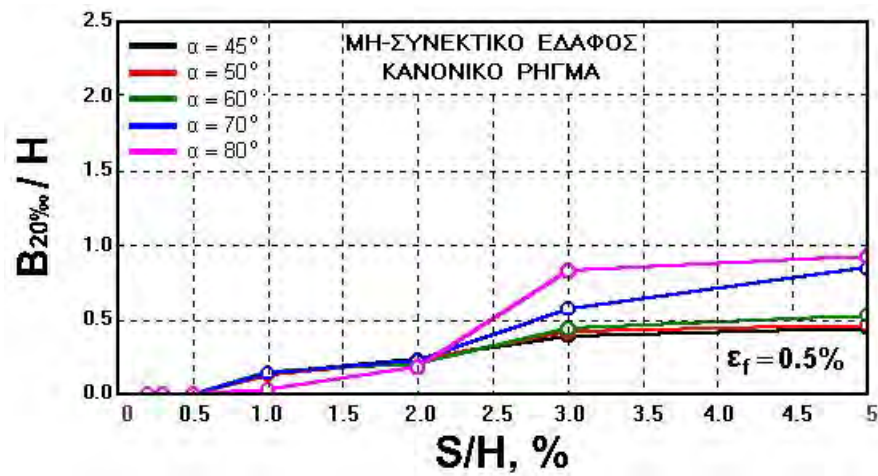
Σχήμα 6-14. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%_{oa}}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



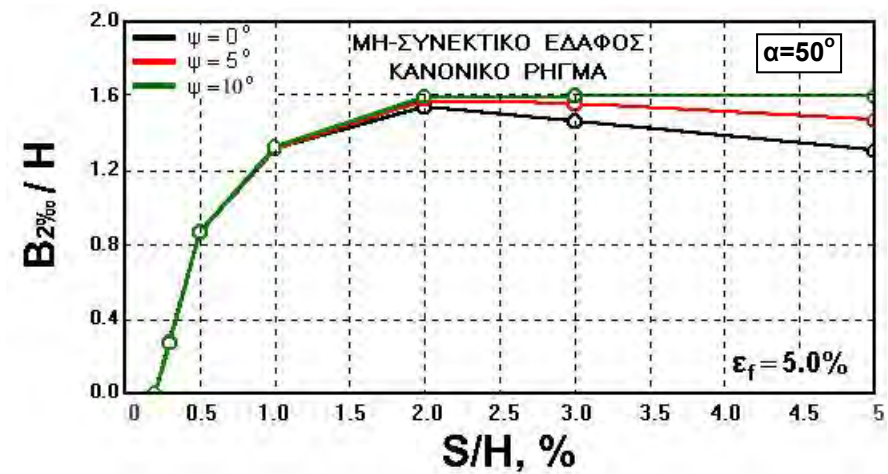
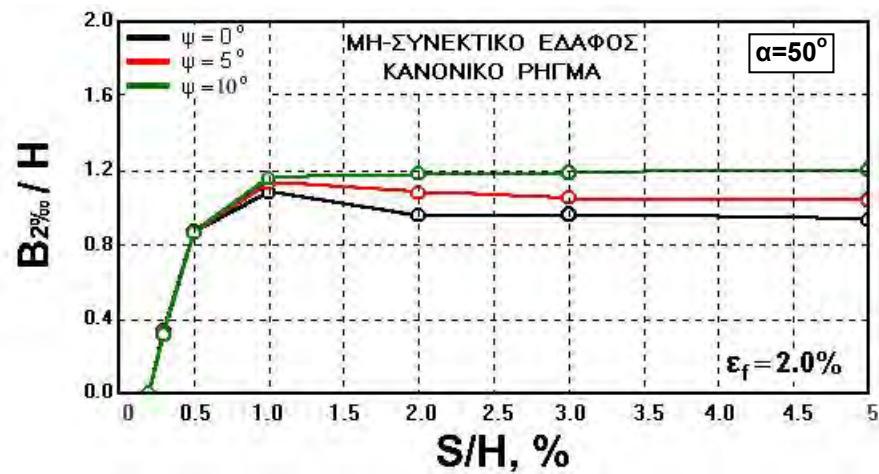
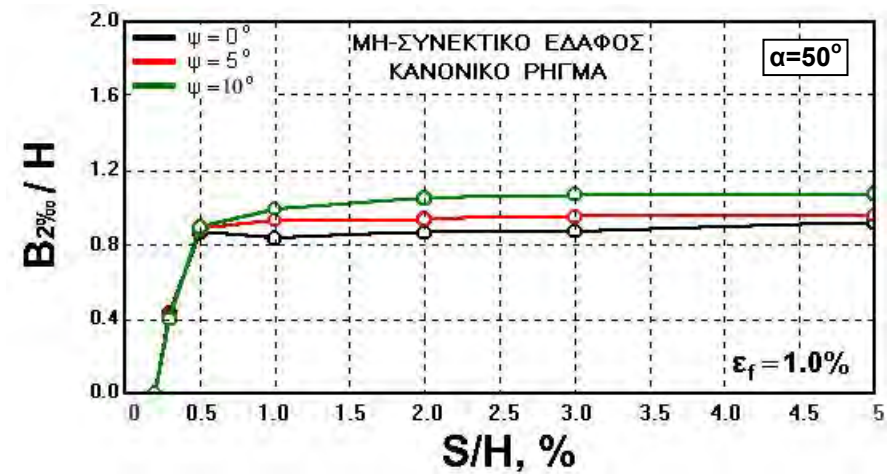
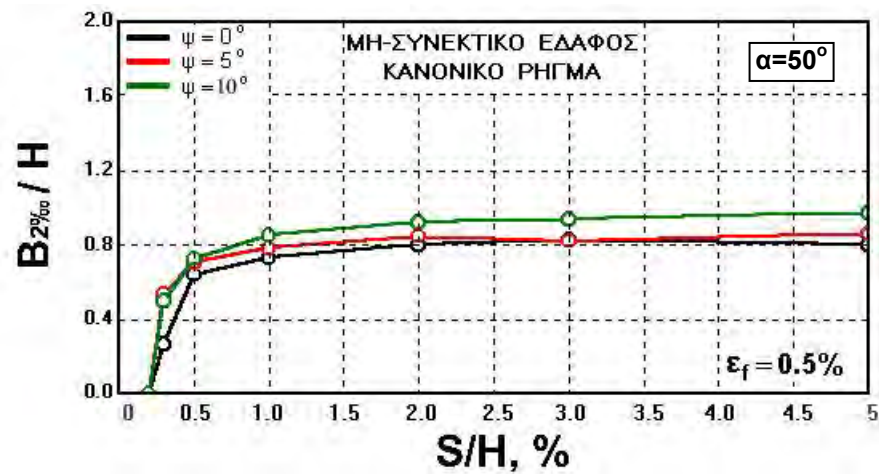
Σχήμα 6-15. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%_{oa}}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



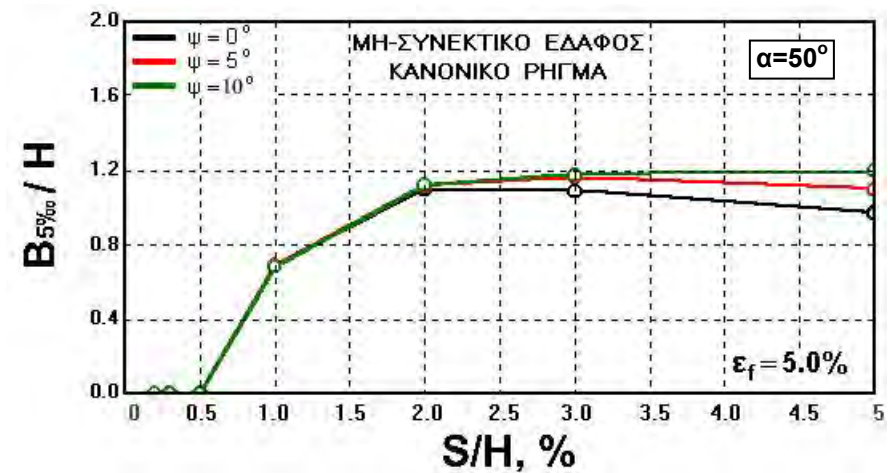
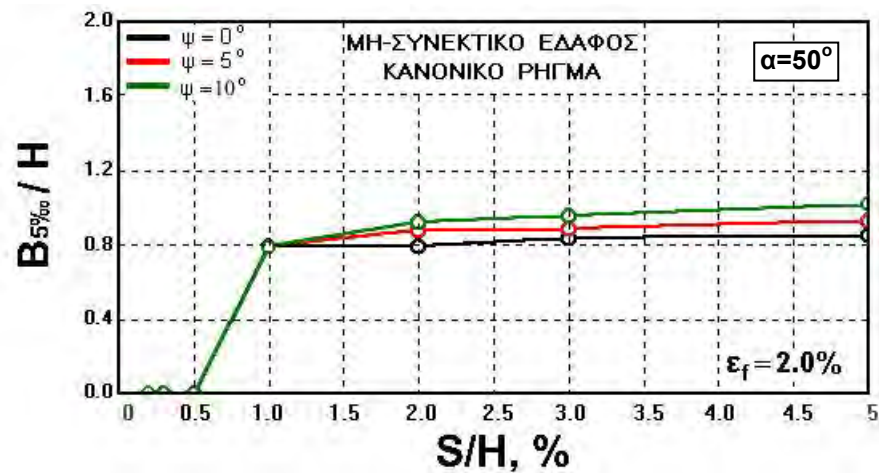
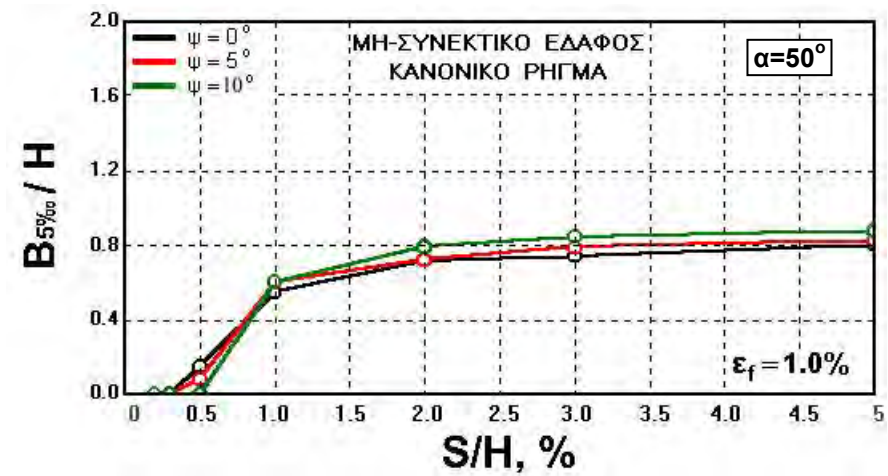
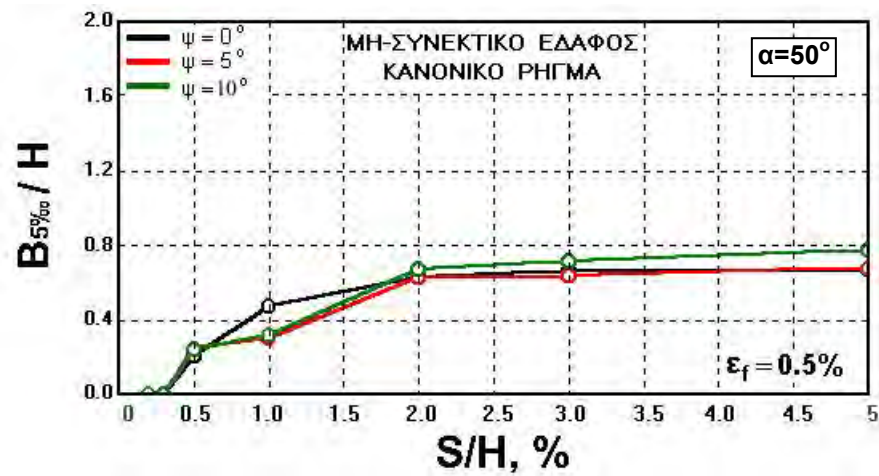
Σχήμα 6-16. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



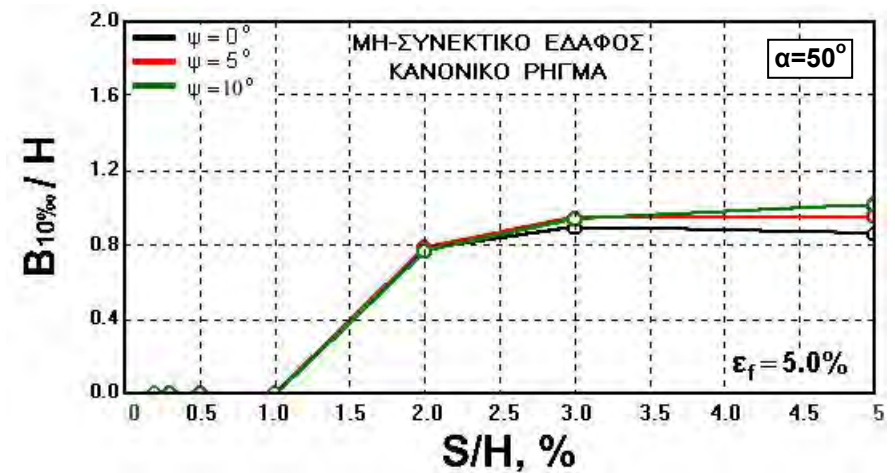
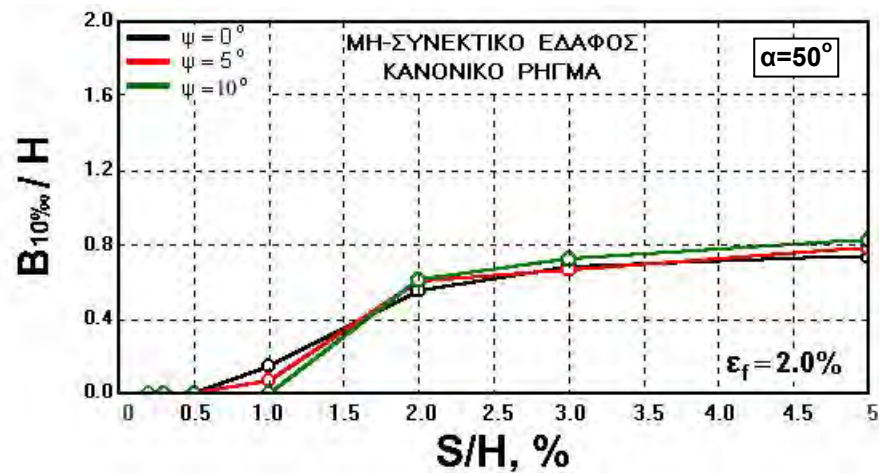
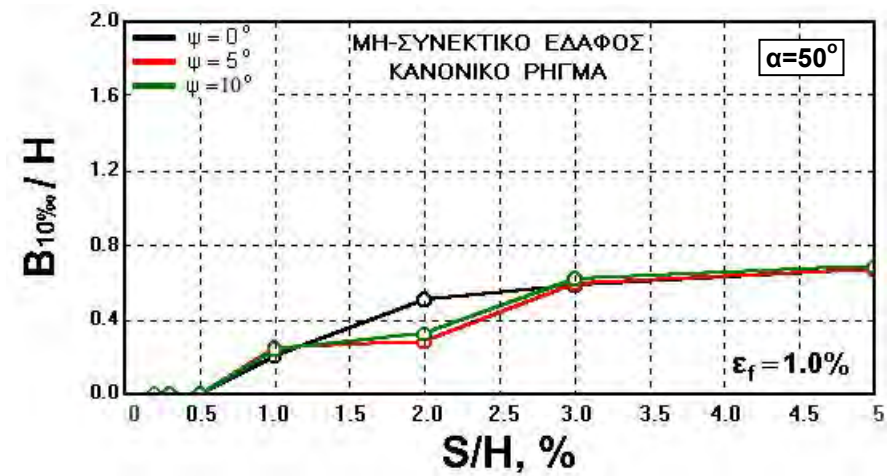
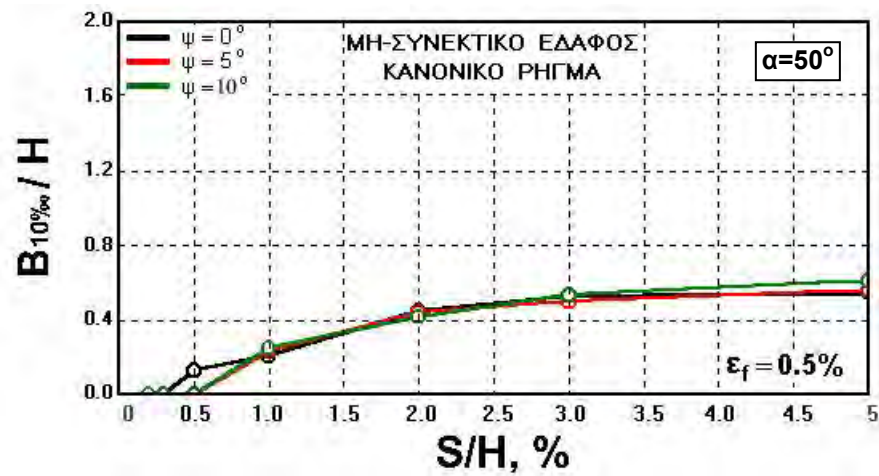
Σχήμα 6-17. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



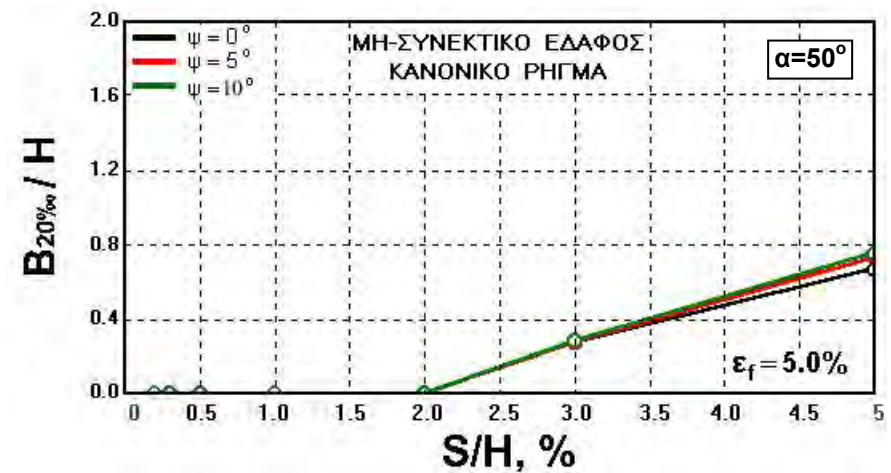
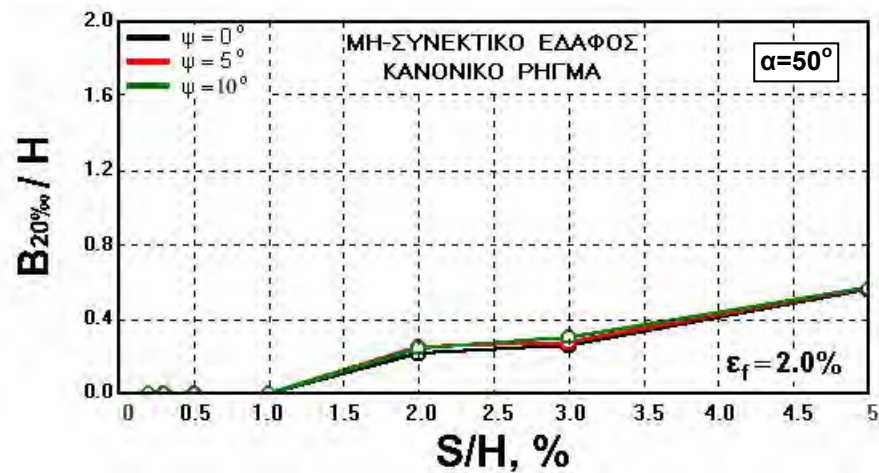
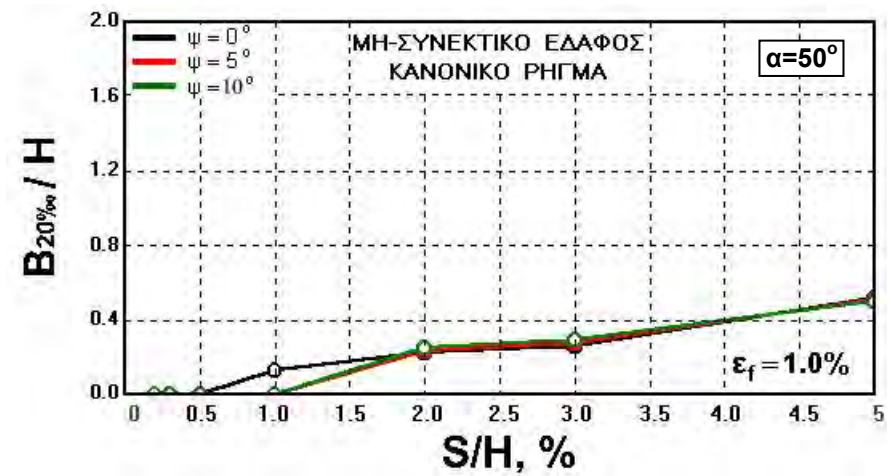
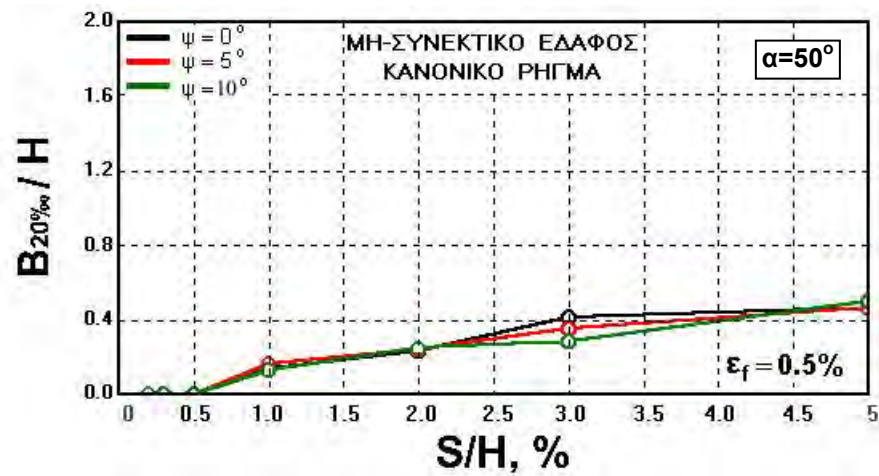
Σχήμα 6-18. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{2\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



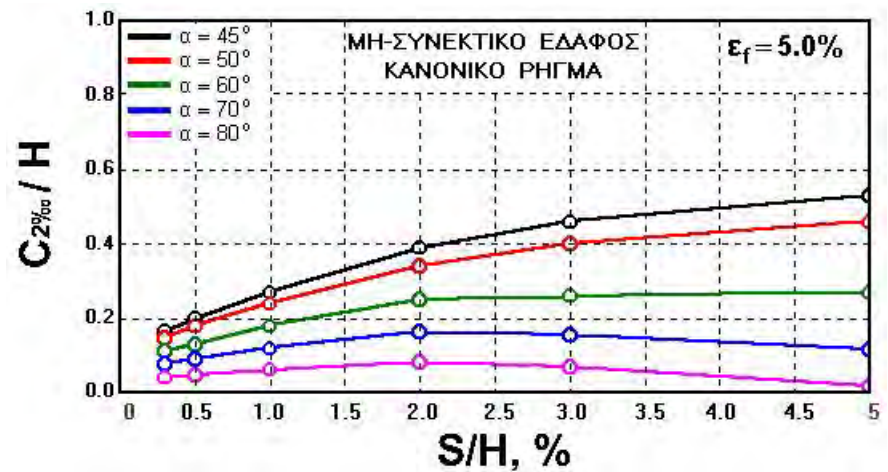
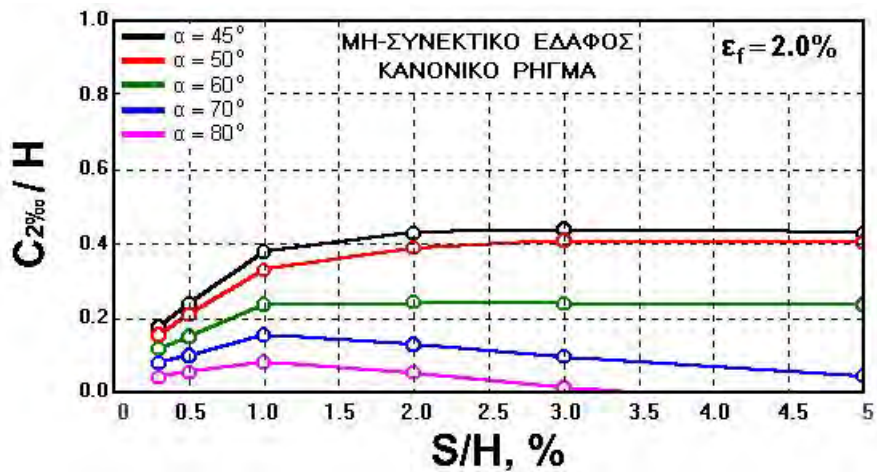
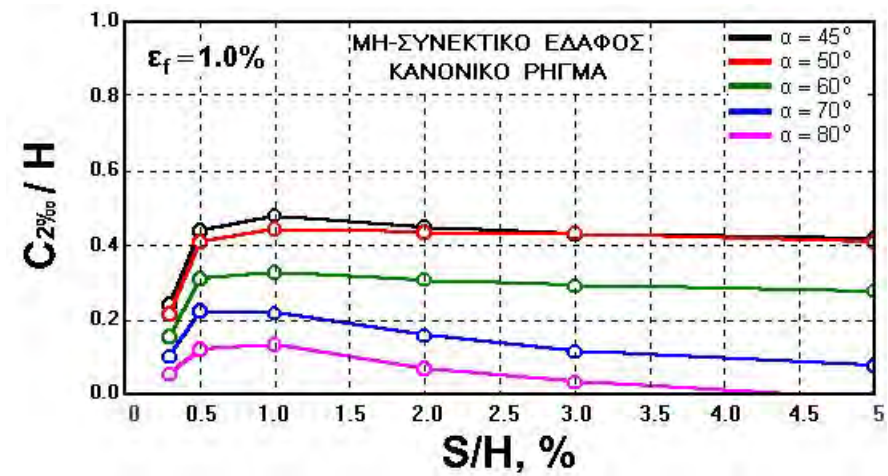
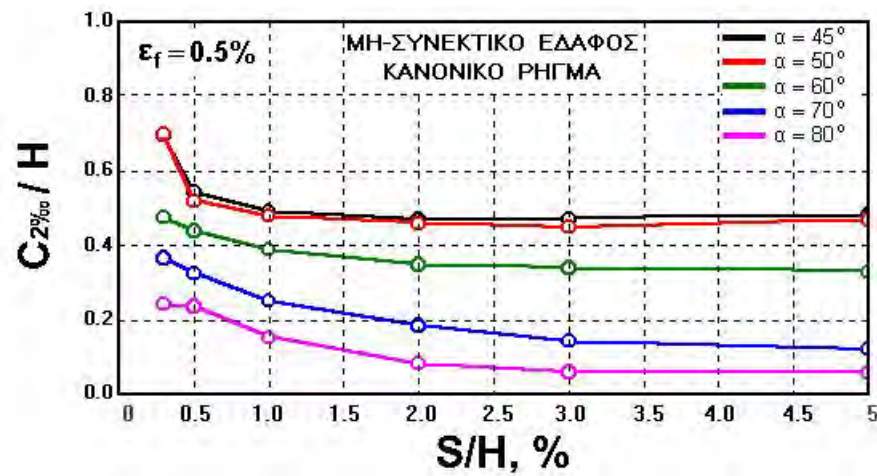
Σχήμα 6-19. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{5\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



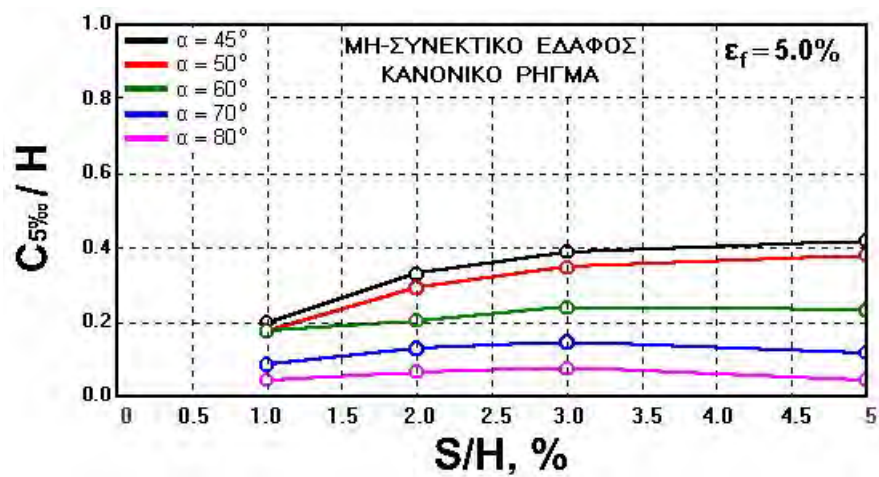
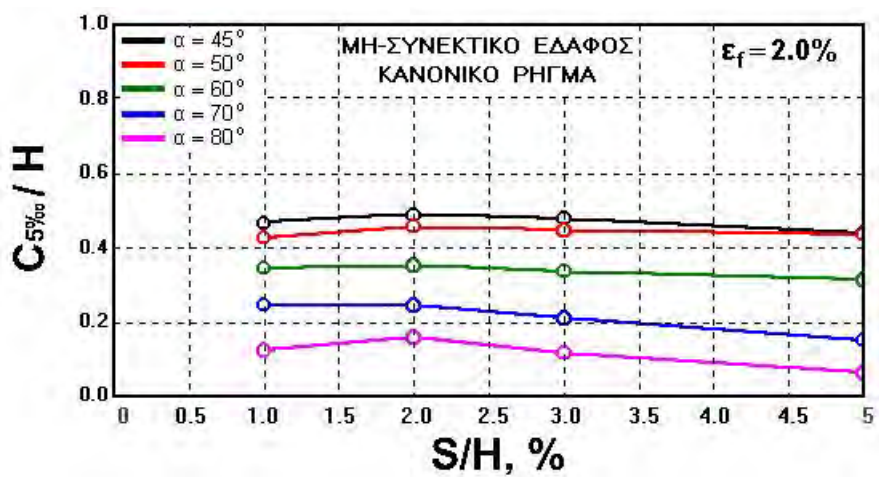
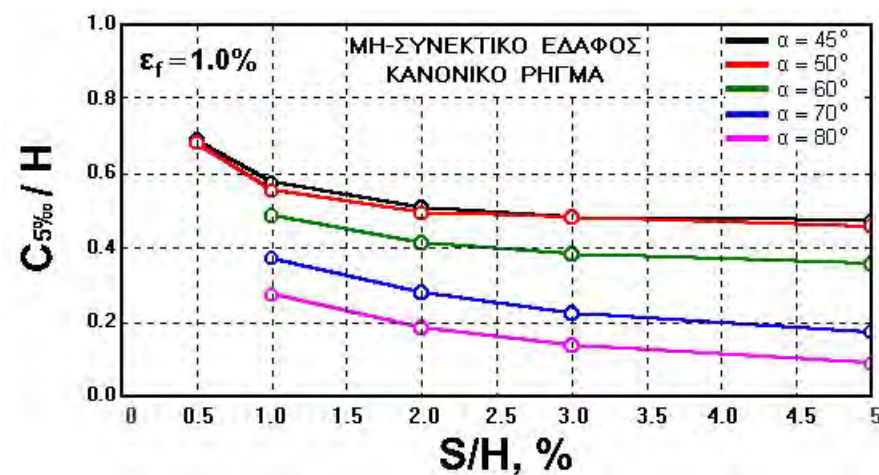
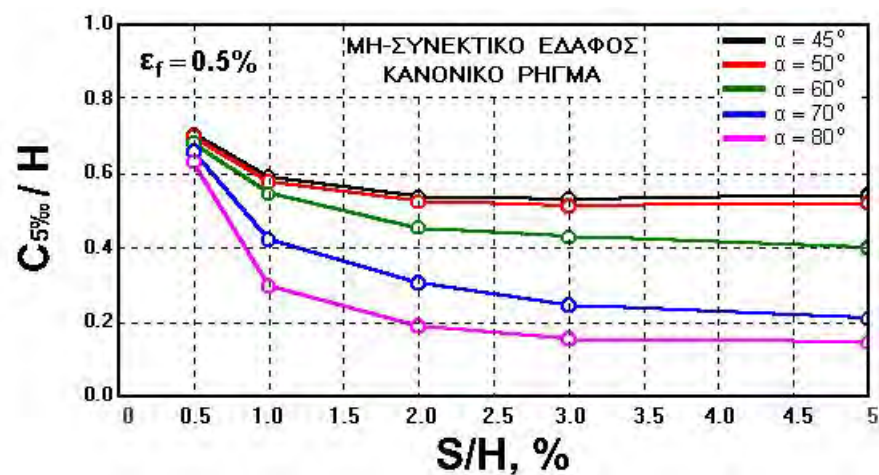
Σχήμα 6-20. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{10\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



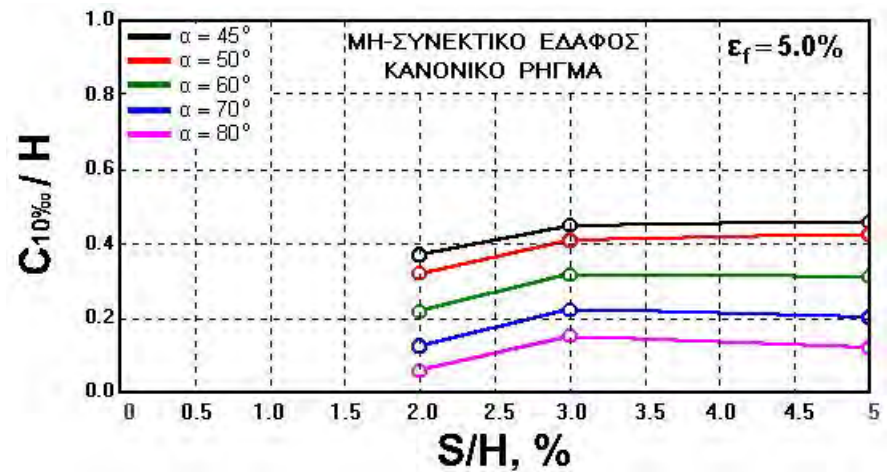
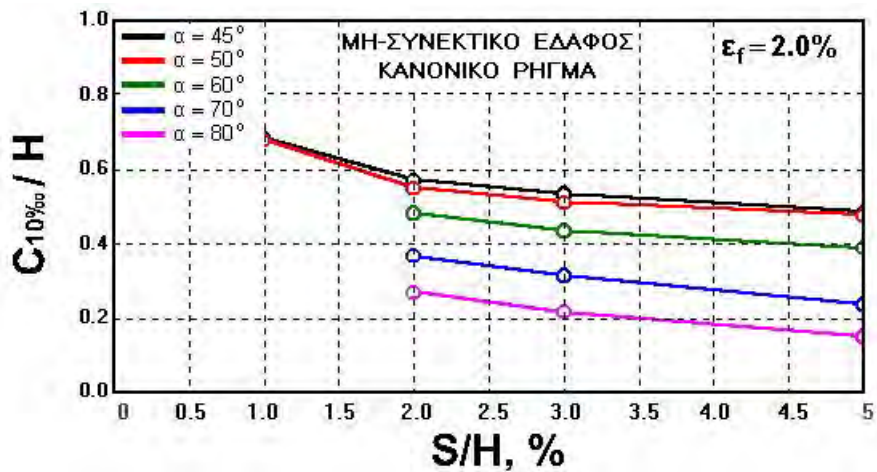
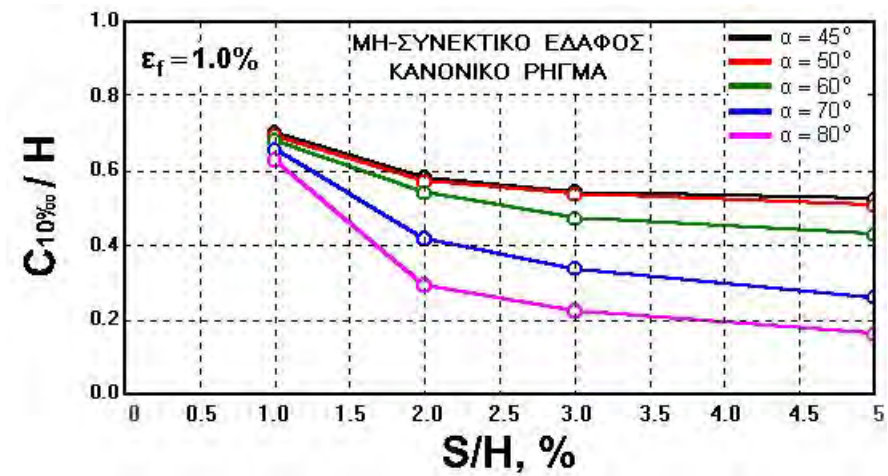
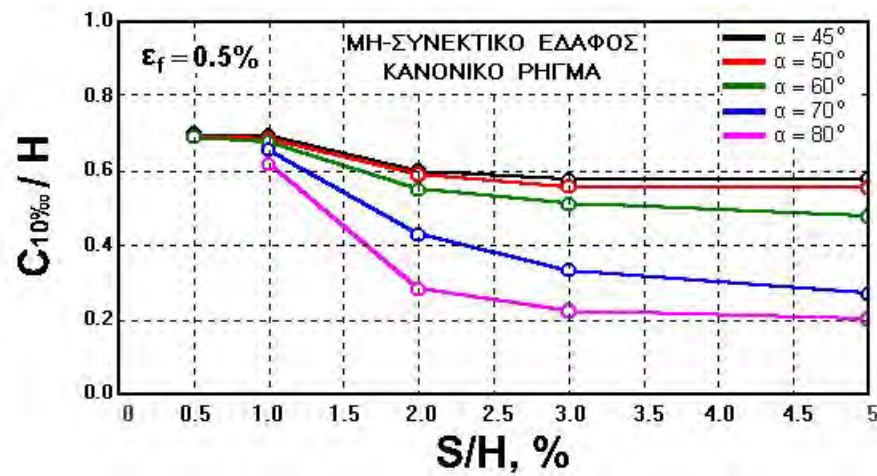
Σχήμα 6-21. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{20\%}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



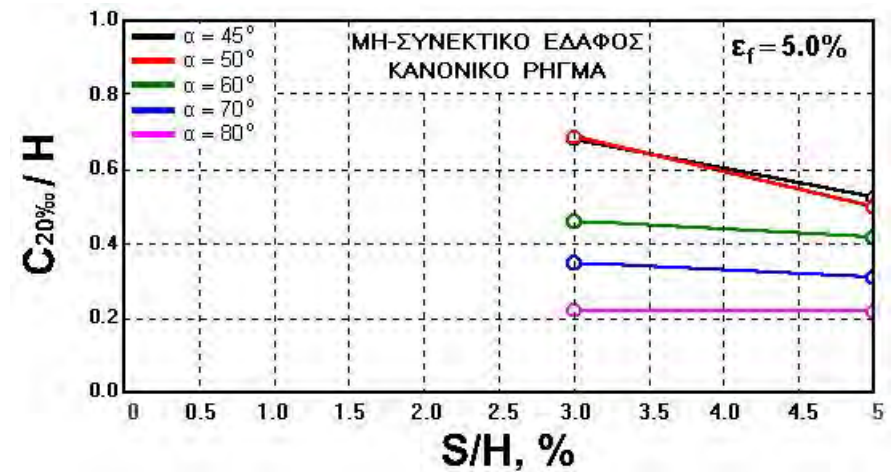
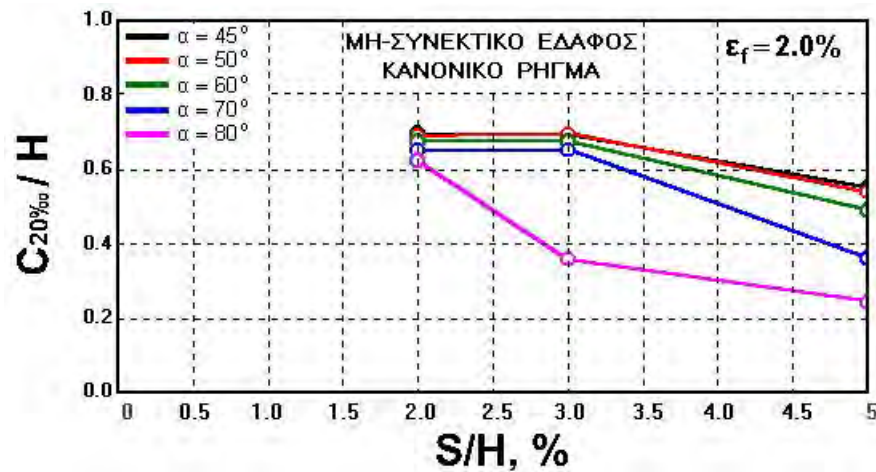
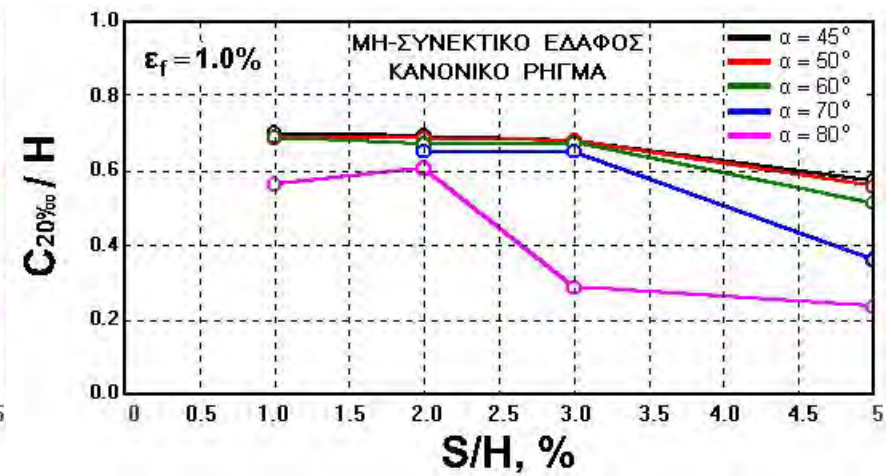
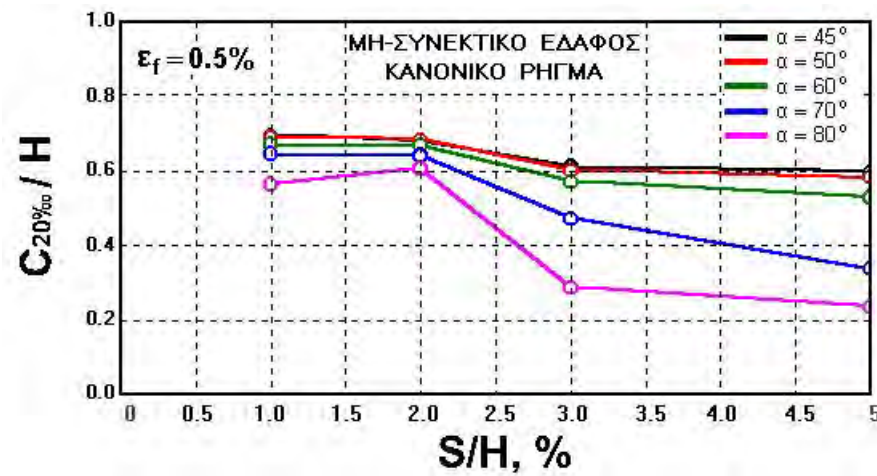
Σχήμα 6-22. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\% \alpha} / H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



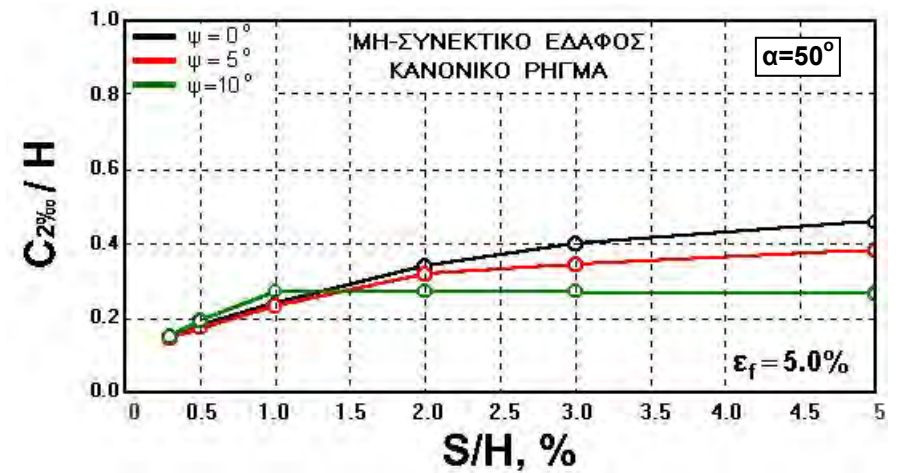
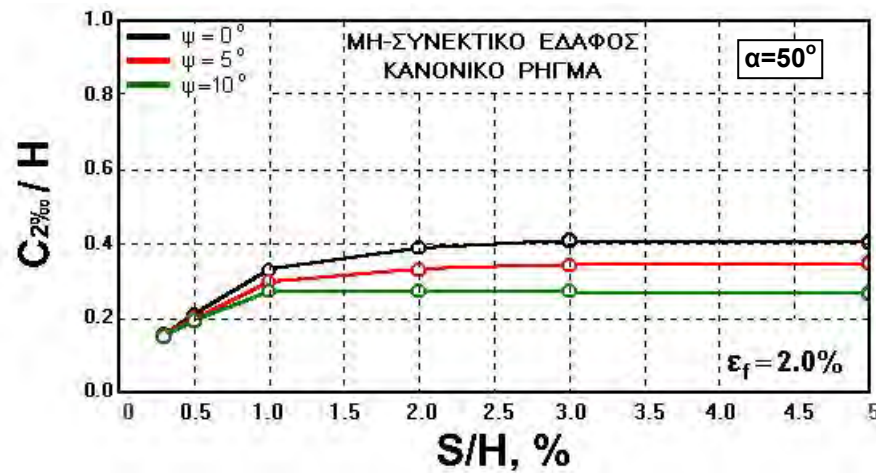
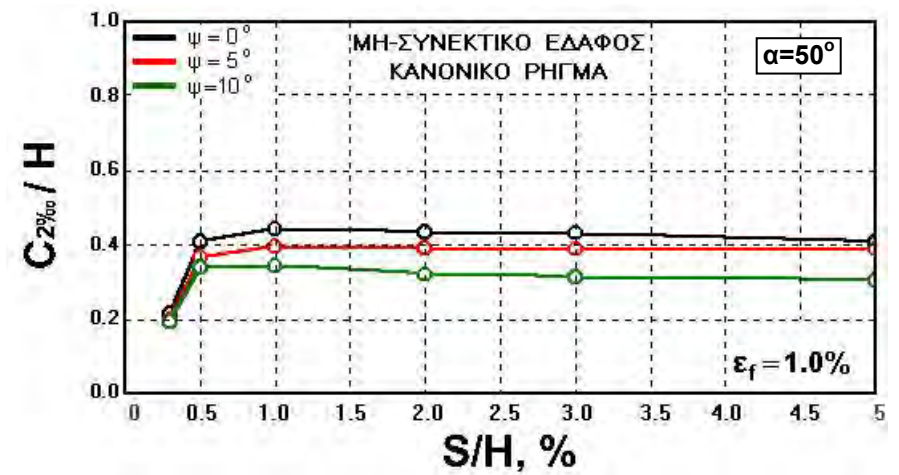
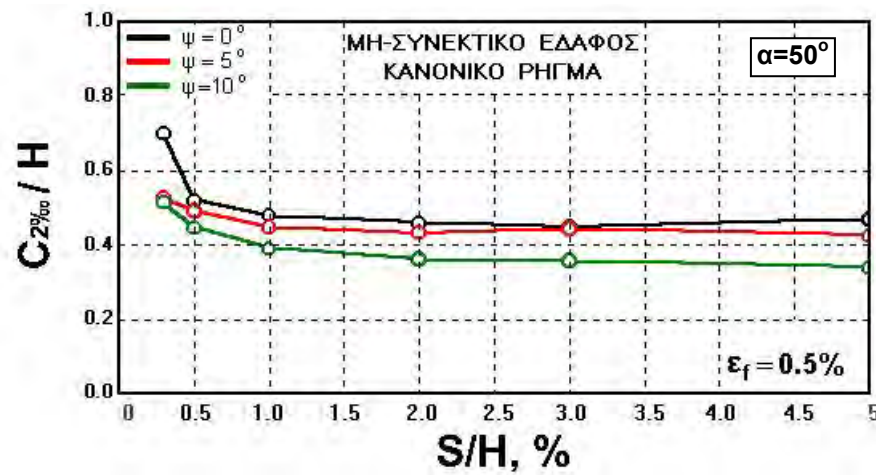
Σχήμα 6-23. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%_{\infty}}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



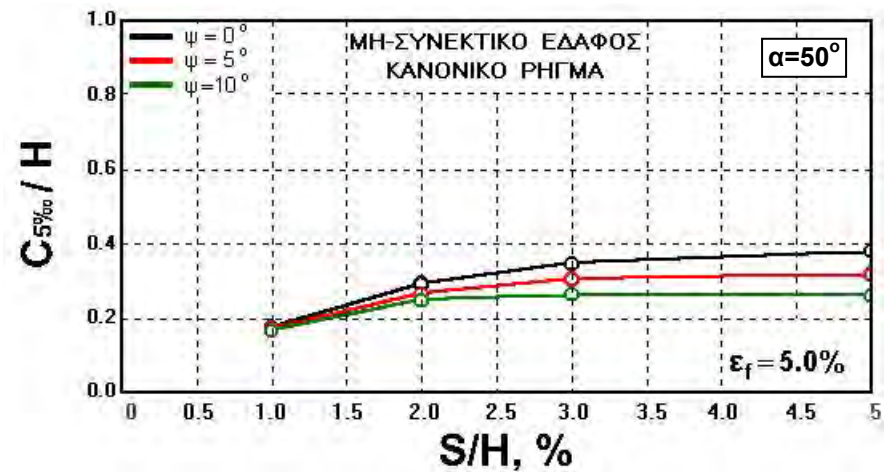
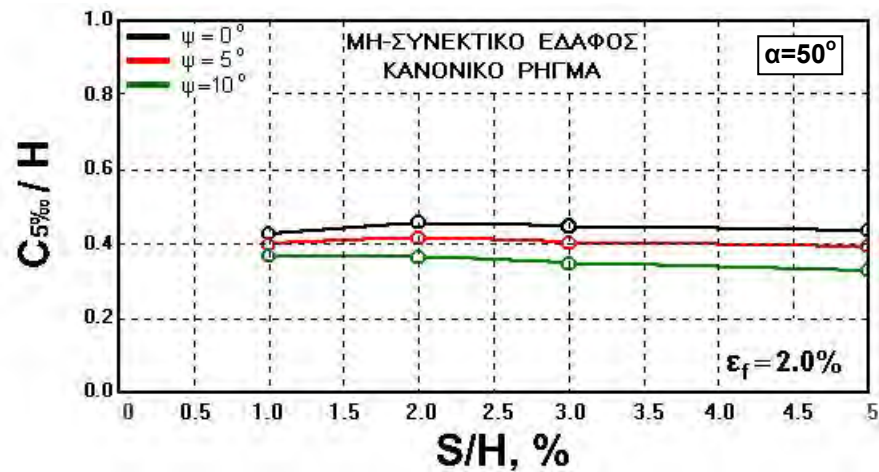
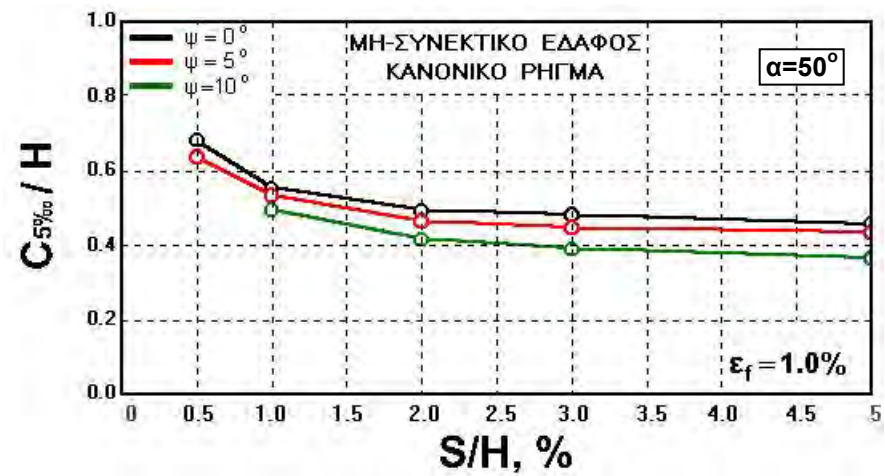
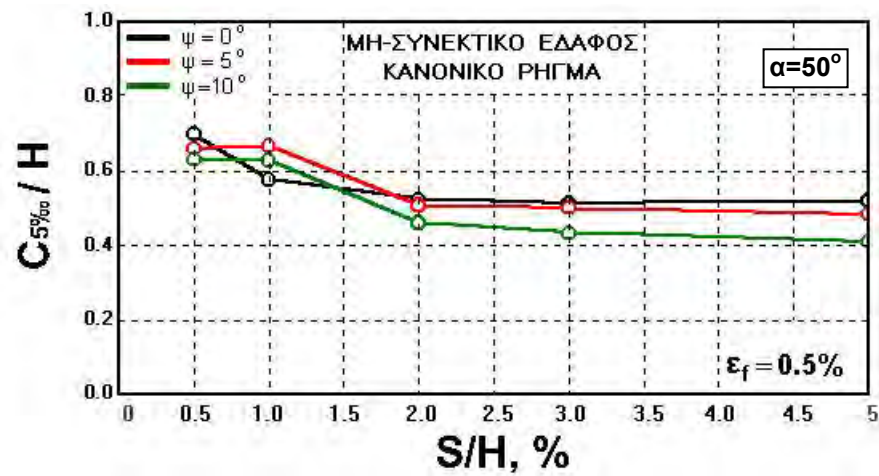
Σχήμα 6-24. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%ss}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



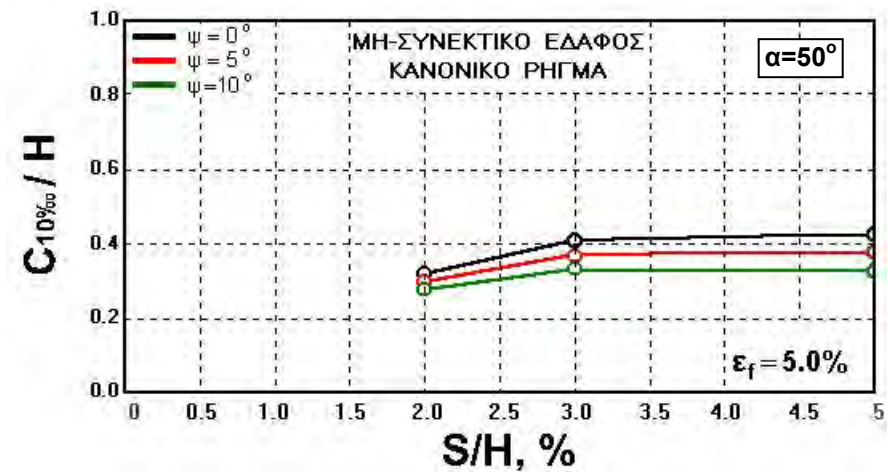
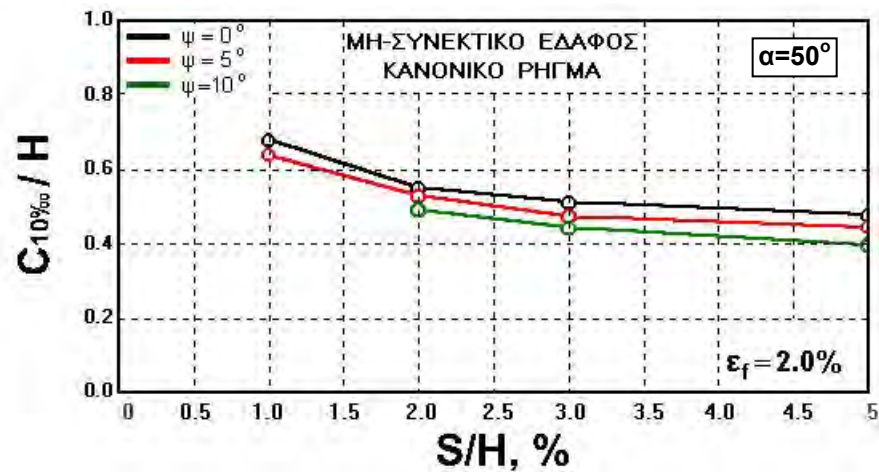
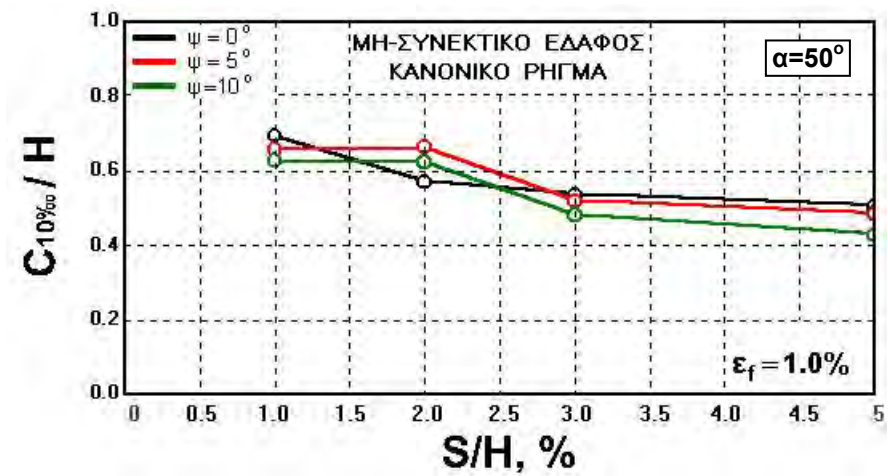
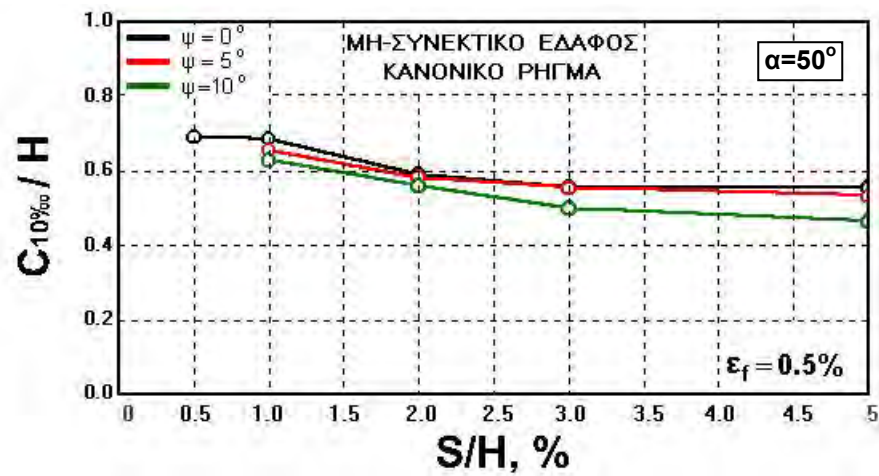
Σχήμα 6-25. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%ss}/H$, από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



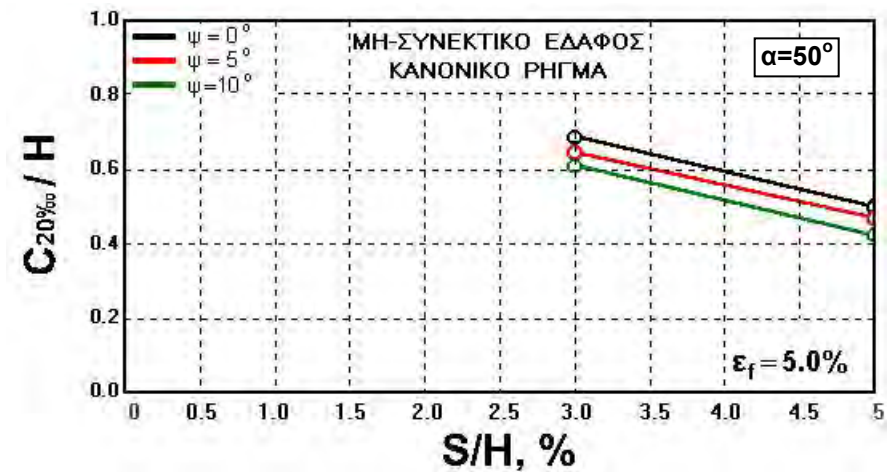
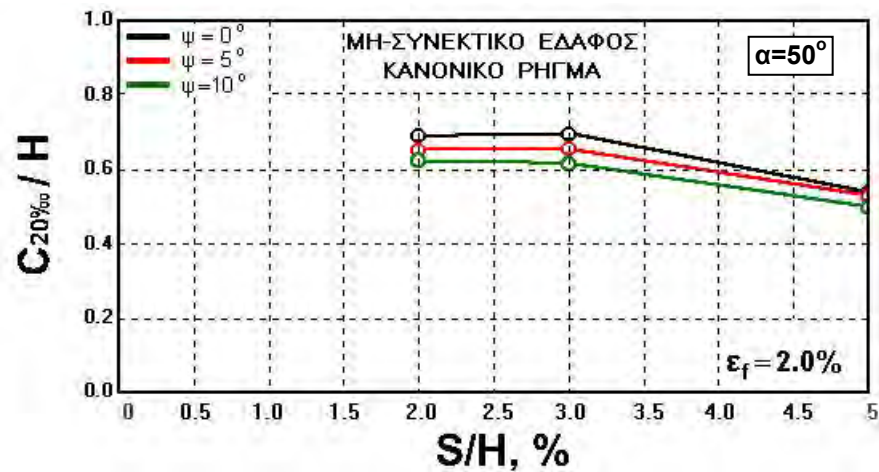
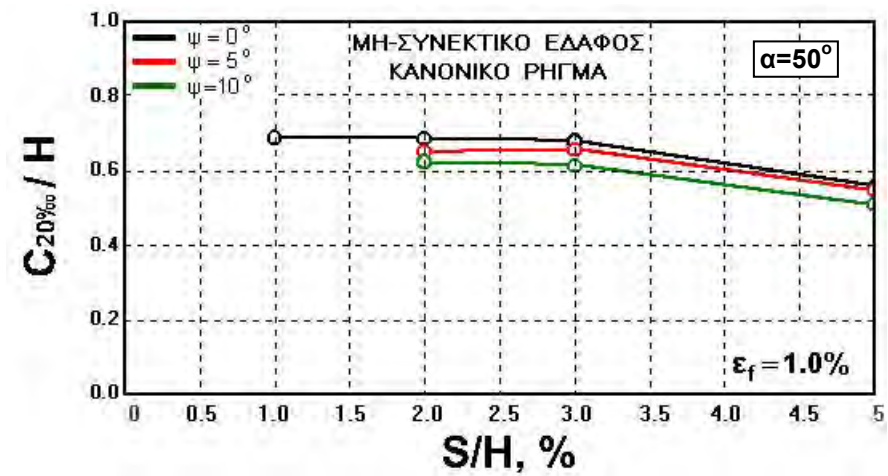
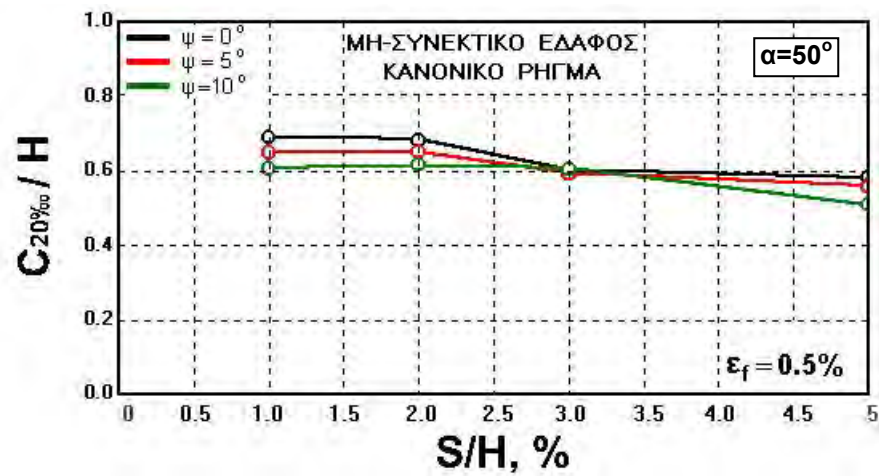
Σχήμα 6-26. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{2\%ss}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



Σχήμα 6-27. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{5\%ss}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



Σχήμα 6-28. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{10\%ss}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)



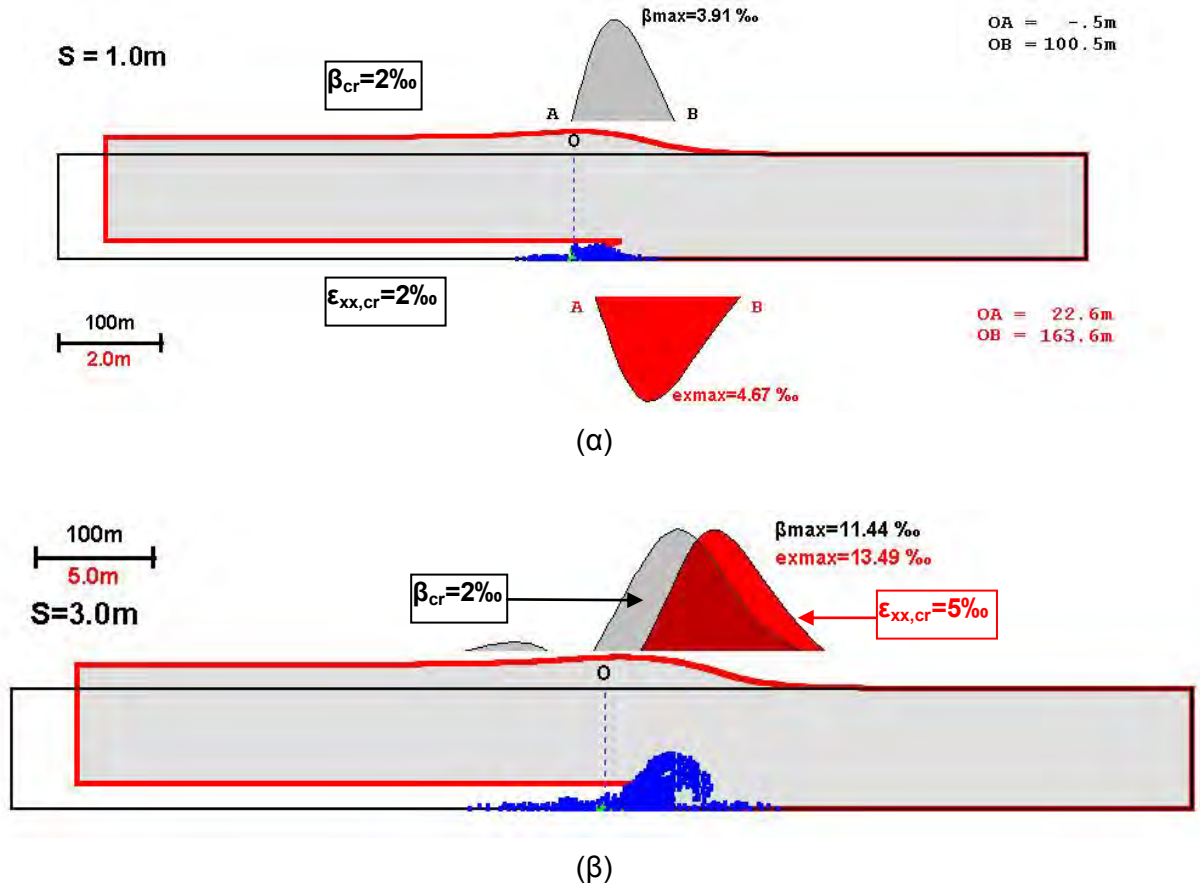
Σχήμα 6-29. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{20\%ss}/H)-(S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, κανονικό ρήγμα)

6.2 Περίπτωση Ανάστροφου Ρήγματος

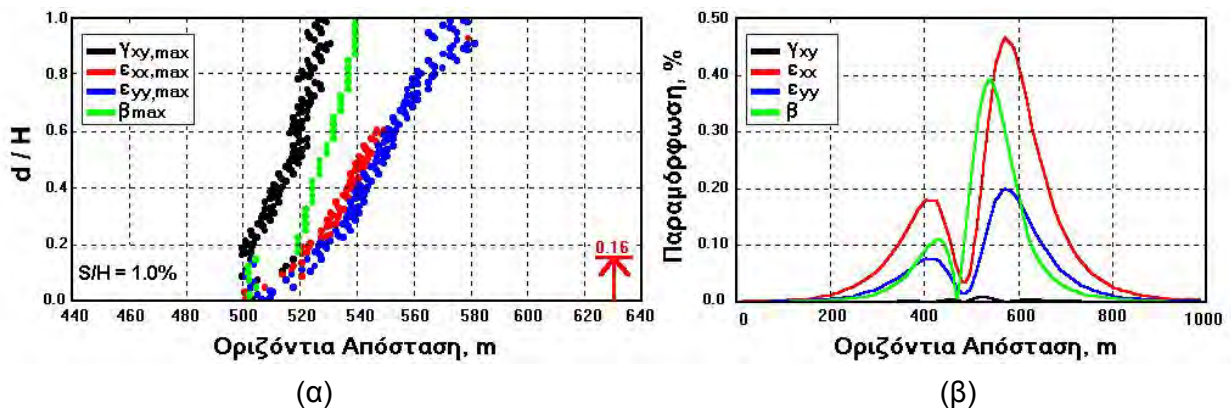
Για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς στην περίπτωση της διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος οι αναλύσεις που διεξήχθησαν ήταν αντίστοιχες με αυτές των κανονικών ρηγμάτων. Η μόνη διαφοροποίηση αφορά τη μέγιστη τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f η οποία στην περίπτωση του μη-συνεκτικού εδάφους ελήφθη ίση με 5.0%.

Στα διαγράμματα του Σχ. 6-30 παρουσιάζεται η παραμορφωμένη επιφάνεια του εδάφους, η κατανομή των επιφανειακών γωνιακών παραμορφώσεων, β και των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ε_{xx} (τιμές μεγαλύτερες του 2‰) καθώς και η διάδοση της αστοχίας προς την επιφάνεια εδάφους με $\varepsilon_f=0.5\%$, για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$). Στο Σχ. 6-30(α) η τιμή της σχετικής σεισμικής ολίσθησης (S/H) είναι 1.0% ενώ στο Σχ. 6-30(β), η τιμή αυξάνεται σε $S/H=3.0\%$. Όπως και στην περίπτωση των συνεκτικών εδαφών παρατηρείται ότι για μεγάλες τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης η επικίνδυνη ζώνη απαρτίζεται από δύο διακριτές ζώνες παραμορφώσεων: τη ζώνη των μεγάλων τιμών παραμορφώσεων η οποία και περιλαμβάνει τη μέγιστη τιμή παραμόρφωσης και μία σχεδόν σε επαφή ζώνη η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ μικρότερες τιμές παραμορφώσεων. Από το ανωτέρω διάγραμμα προκύπτει επίσης, ότι στην περίπτωση αυτή το εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{\varepsilon_{xx},cr}$ για $\varepsilon_{xx,cr}=5\%$ εκτείνεται κατά πολύ μικρό ποσοστό εκτός του δεξιού ορίου του εύρους $B_{2\%}$, η μέγιστη όμως τιμή $\varepsilon_{xx,max}$ βρίσκεται στο εσωτερικό του ανωτέρω εύρους. Στο διάγραμμα του Σχ. 6-31(α) παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η καθ' ύψος ανάπτυξη των επιφανειών στις οποίες εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές γ_{xy} , ε_{xx} , ε_{yy} και β , ενώ στο Σχ. 6-31(β) η κατανομή στην επιφάνεια του εδάφους όλων των παραμορφώσεων. Παρατηρείται ότι η γενική εικόνα (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β) παρουσιάζει ομοιότητα με τα αντίστοιχα διαγράμματα των συνεκτικών εδαφών του προηγούμενου κεφαλαίου. Το ύψος ανάπτυξης της επιφάνειας αστοχίας όμως φαίνεται να είναι μικρότερο στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών.

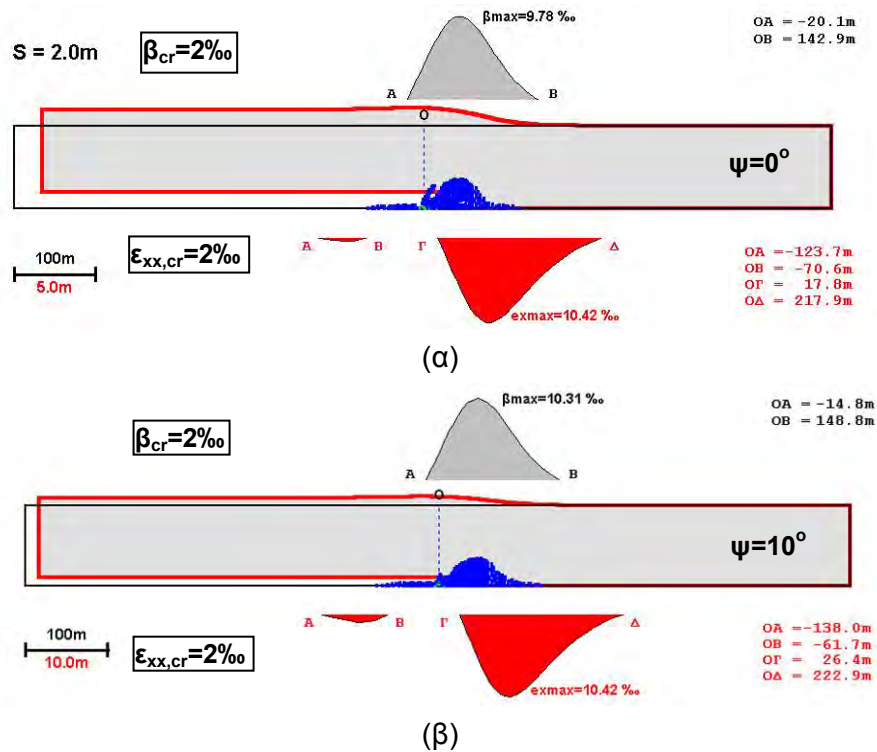
Για την επίδραση της γωνίας διασταλτικότητας ψ , πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για δύο τιμές του ψ (0° και 10°). Οι αναλύσεις αφορούν τη διάρρηξη ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου με μέγεθος σεισμικής ολίσθησης $S=2.0m$, γωνία κλίσης $\alpha=30^\circ$ και ορθή παραμόρφωση αστοχίας $\varepsilon_f=0.5\%$. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται γραφικά στα διαγράμματα των Σχ. 6-32(α) και (β) και Σχ. 6-33 (α) και (β). Η σύγκριση των διαγραμμάτων υποδεικνύει ότι η εισαγωγή γωνίας διασταλτικότητας $\psi=10^\circ$ δεν μεταβάλλει καθόλου τις τιμές των αποτελεσμάτων των αναλύσεων.



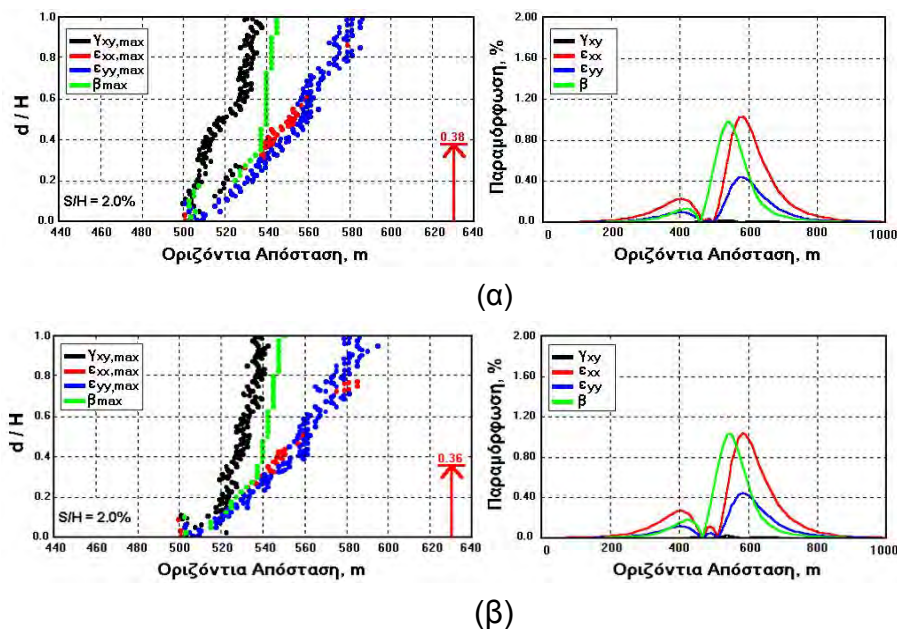
Σχήμα 6-30. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2‰), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) για α) $S/H=1.0\%$ ($\beta_{cr}=\epsilon_{xx,cr}=2\text{‰}$) και β) $S/H=3.0\%$ ($\beta_{cr}=2\text{‰}$, $\epsilon_{xx,cr}=5\text{‰}$)



Σχήμα 6-31. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S/H=1.0\%$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)



Σχήμα 6-32. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2‰), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($S/H=2.0\%$, $\alpha=30^\circ$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$



Σχήμα 6-33. Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($S/H=1.0\%$, $\alpha=30^\circ$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) με α) $\psi=0^\circ$ και β) $\psi=10^\circ$

6.2.1. Υψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης

Στο διάγραμμα του Σχ. 6-34 παρουσιάζεται η επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, S_v/H στην τιμή του σχετικού ύψους ανάπτυξης h_f/H για τιμές της γωνίας από 20° έως 50° και ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , κυμαινόμενες από 0.5% έως 5.0%. Η παρατήρηση του διαγράμματος υποδεικνύει ότι το ύψος ανάπτυξης h_f δεν επηρεάζεται από την τιμή της γωνίας α και είναι γενικά μικρότερο από το αντίστοιχο της περίπτωσης των συνεκτικών εδαφών. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι από όλες τις διερευνηθείσες περιπτώσεις, μόνο για την περίπτωση της πολύ ψαθυρής θραύσης ($\epsilon_f=0.5\%$) και της σχετικά μεγάλης σεισμικής ολίσθησης $S_v/H>2.0\%$, η επιφάνεια αστοχίας έφθασε την εδαφική επιφάνεια.

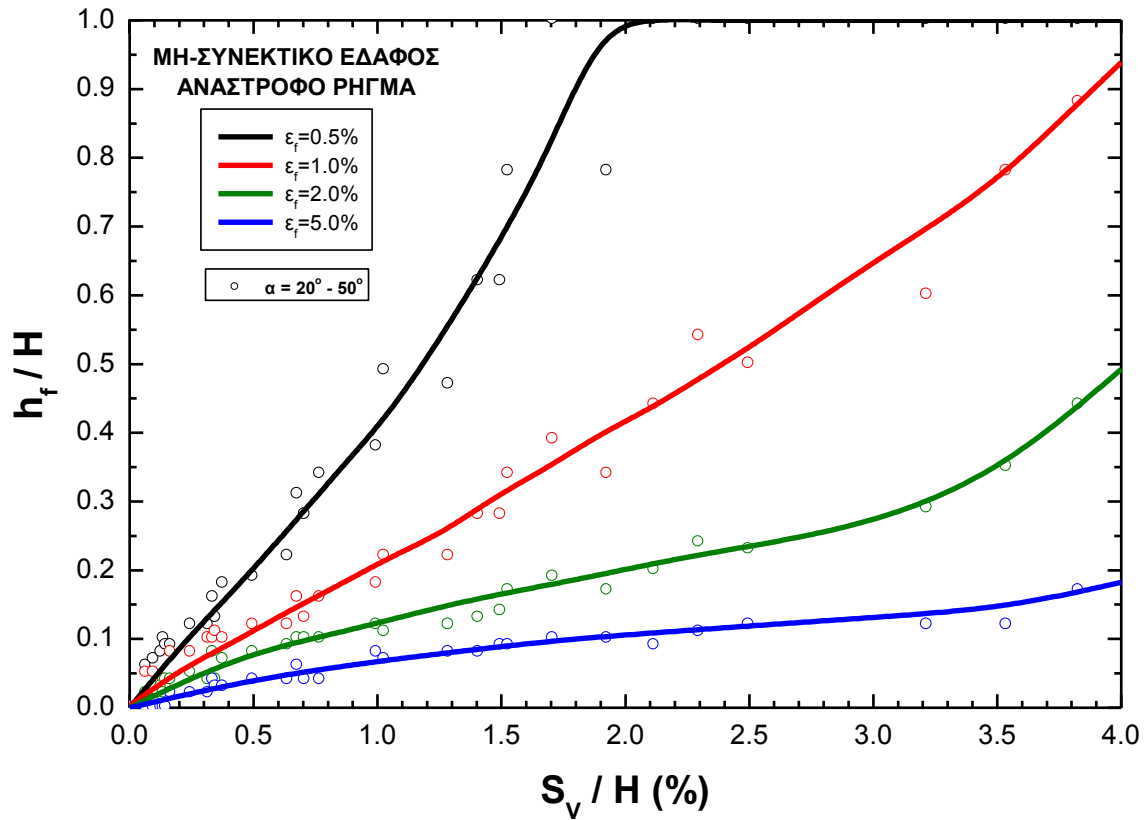
6.2.2. Γωνία Διάδοσης της Εδαφικής Αστοχίας

Όπως και στην περίπτωση των προηγμένων αναλύσεων, η τιμή της γωνίας διάδοσης της εδαφικής αστοχίας, ϕ_δ , φαίνεται να εξαρτάται μόνο από τη γωνία κλίσης του ρήγματος α . Το διάγραμμα του Σχ. 6-35 υποδεικνύει ότι η τιμή της γωνίας ϕ_δ αυξάνεται περίπου γραμμικά με την τιμή της γωνίας κλίσης, α . Συγκεκριμένα, αύξηση της γωνίας α από 20° έως 50° (αύξηση 150%), έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της γωνίας ϕ_δ από 40° σε 60° (αύξηση 50%).

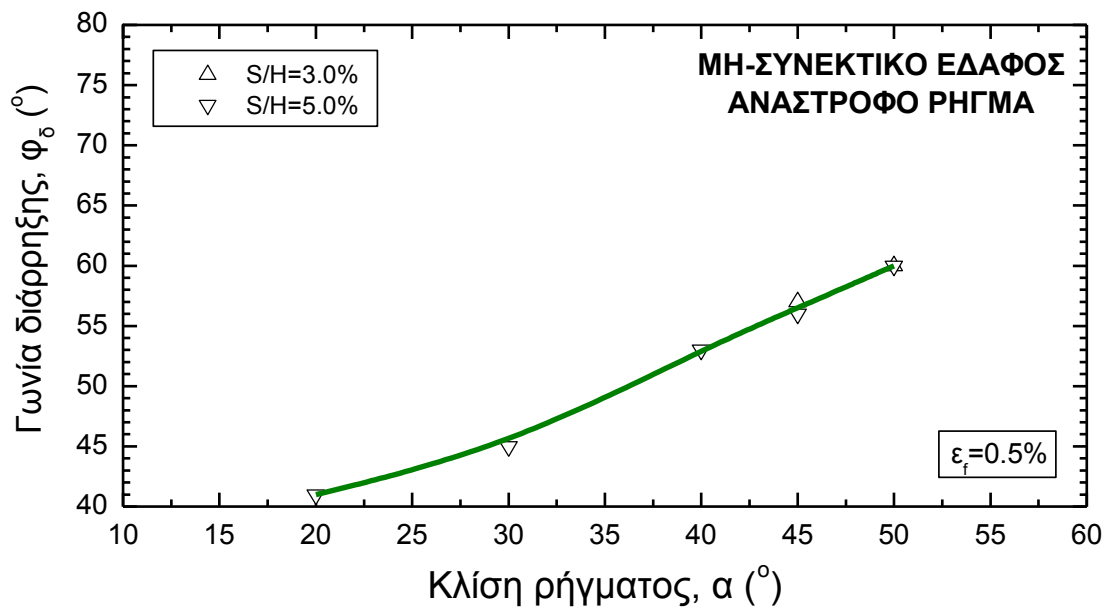
6.2.3. Μέγιστη Τιμή της Γωνιακής Παραμόρφωσης

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων, που αφορούν την επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης, S_v/H , της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και της γωνίας κλίσης, α , του ανάστροφου ρήγματος στην τιμή της β_{max} , παρουσιάζονται στα διαγράμματα του Σχ. 6-36. Παρατηρείται ότι, με εξαίρεση τη συμπεριφορά για την ψαθυρή κατάσταση αστοχίας ($\epsilon_f=0.5\%$), η τιμή της β_{max} αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης για όλες τις τιμές της γωνίας κλίσης, α . Για την τιμή $\epsilon_f=0.5\%$ παρατηρείται εντονότατη εξάρτηση της τιμής β_{max} , από την τιμή της S_v/H . Η ανωτέρω συμπεριφορά παρουσιάζεται με διαφορετικό τρόπο στα διαγράμματα του Σχ. 6-37. Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται καθαρά ότι η γραμμική συσχέτιση $\beta_{max}-(S_v/H)$ δεν εξαρτάται από τις τιμές της γωνίας κλίσης α και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , με εξαίρεση την τιμή $\epsilon_f=0.5\%$. Για την τιμή αυτή της ϵ_f η συσχέτιση $\beta_{max}-(S_v/H)$ εξαρτάται πλέον και από την τιμή της γωνίας α .

Η επίδραση της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στην τιμή της β_{max} , παρουσιάζεται στα διαγράμματα του Σχ. 6-38. Παρατηρείται ότι η συσχέτιση $\beta_{max}-(S_v/H)$ μπορεί να



Σχήμα 6-34. Κανονικοποιημένο ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H ως συνάρτηση του S_v/H για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος



Σχήμα 6-35. Γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα ως συνάρτηση της γωνίας κλίση του ρήγματος υποβάθρου για **ανάστροφο** ρήγμα σε **μη-συνεκτικό** έδαφος

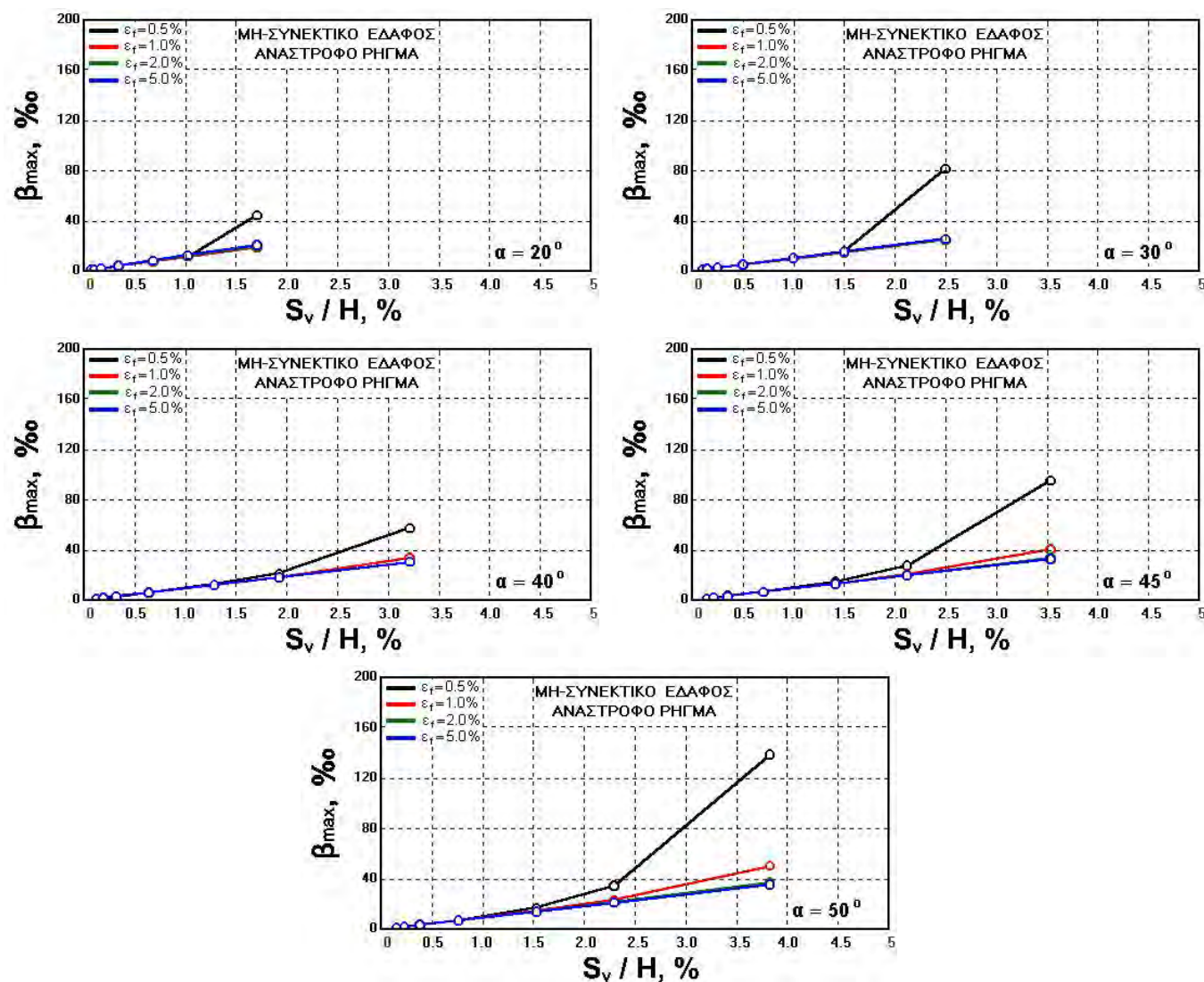
περιγραφεί με μία μοναδική γραμμική σχέση για όλες τις τιμές της γωνίας ψ και ε_f , με εξαίρεση την περίπτωση για $S_v/H > 1.5\%$ και $\varepsilon_f = 0.5\%$.

6.2.4. *Εύρος της Επικίνδυνης Ζώνης*

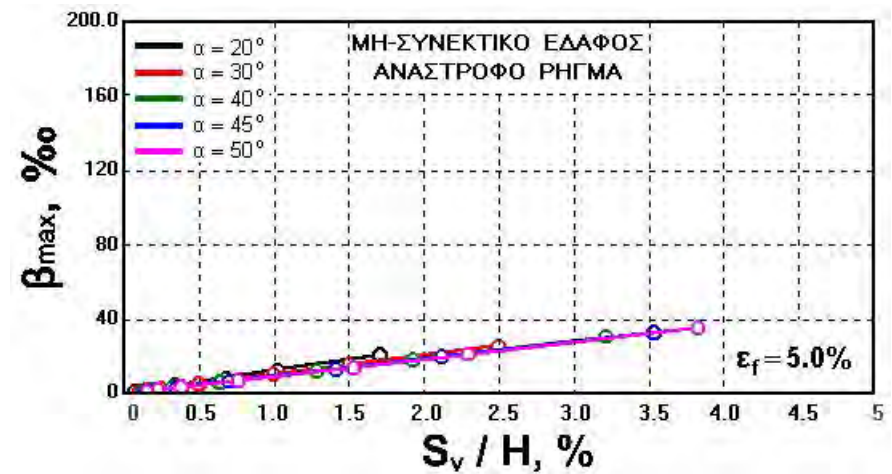
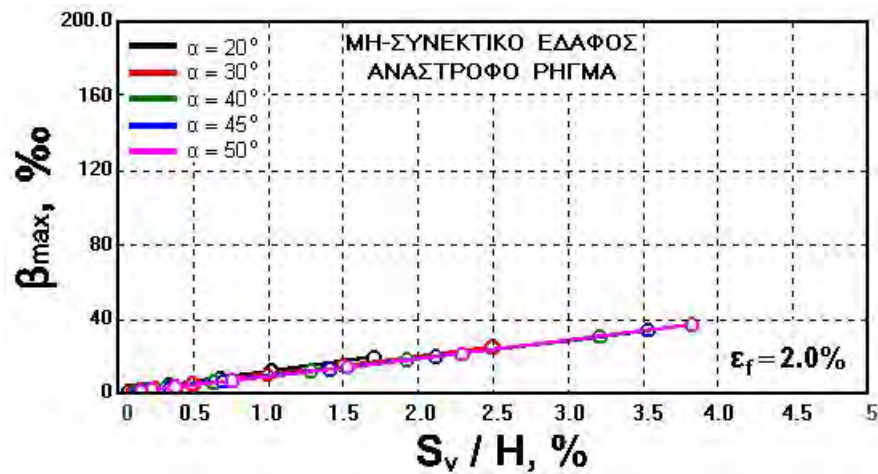
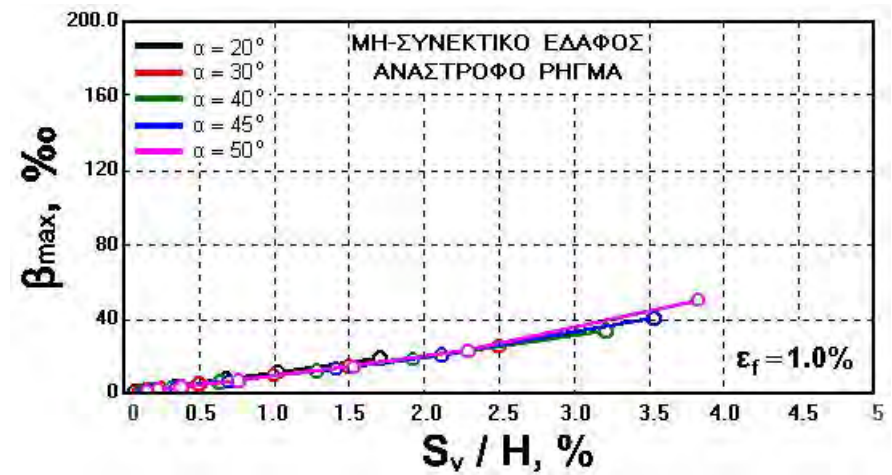
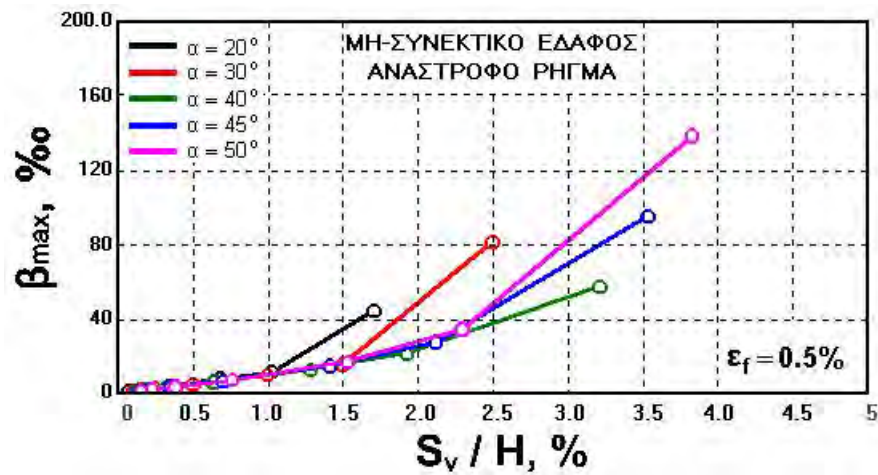
Στα διαγράμματα των Σχ. 6-39 έως Σχ. 6-42 παρουσιάζεται η επίδραση του μεγέθους της σεισμικής ολίσθησης S_v/H (και των παραμέτρων α και ε_f) στα εύρη της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}$, $B_{5\%}$, $B_{10\%}$ και $B_{20\%}$. Η συμπεριφορά είναι παρόμοια με αυτή που παρατηρήθηκε για την περίπτωση του συνεκτικού εδάφους με τη διαφορά ότι η επίδραση των παραμέτρων ε_f και α γίνεται στην περίπτωση αυτή σχεδόν αμελητέα. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις επιβεβαιώνονται και από τη διαφορετική παρουσίαση των ανωτέρω αποτελεσμάτων που γίνεται στα διαγράμματα των Σχ. 6-43 έως 6-46. Σχετικά με την επίδραση της γωνίας διασταλτικότητας ψ , τα διαγράμματα των Σχ. 6-47 έως 6-50 υποδεικνύουν ότι στην περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος η συμπεριφορά δεν επηρεάζεται από την τιμή της γωνίας ψ .

6.2.5. *Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης*

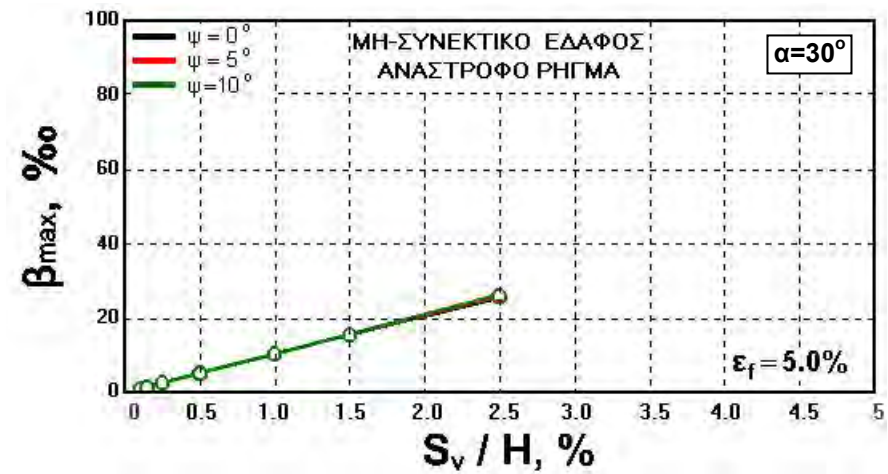
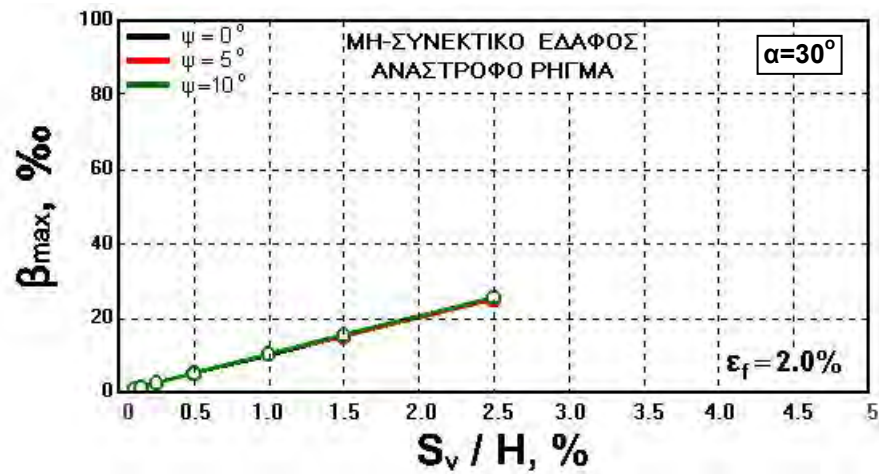
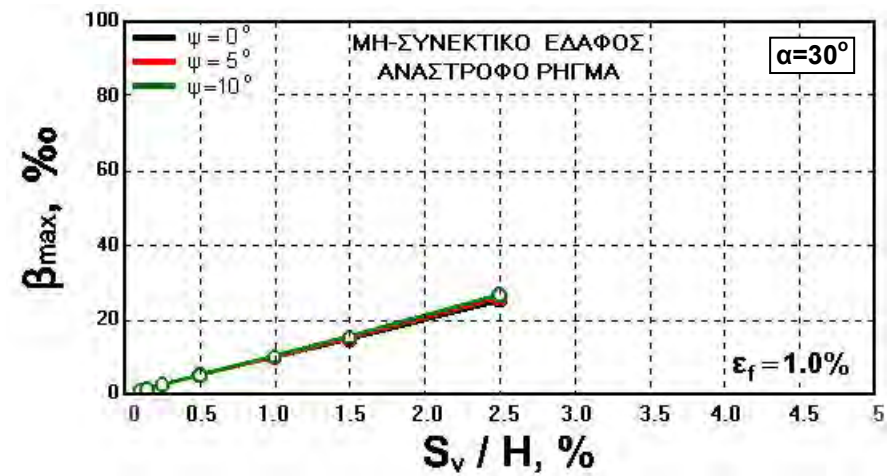
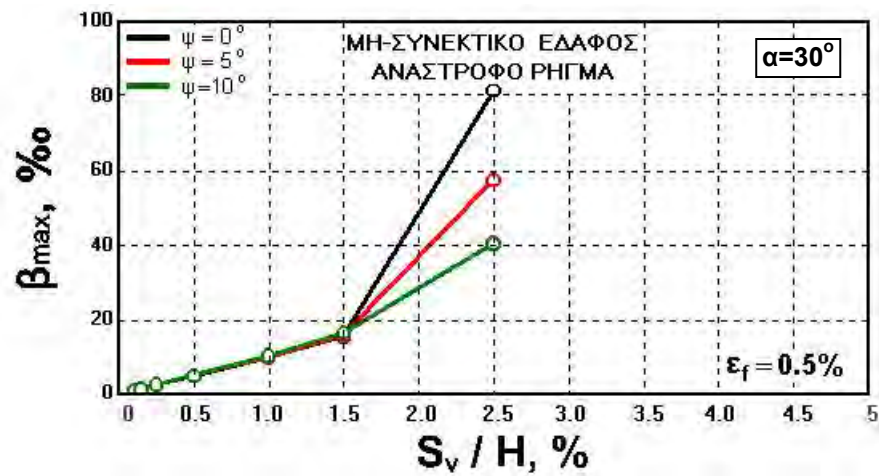
Τα διαγράμματα του Σχ. 6-51 έως Σχ. 6-54 παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο εξαρτάται η τιμή της σχετικής απόστασης C/H ($C_{2\%}/H$, $C_{5\%}/H$, $C_{10\%}/H$ και $C_{20\%}/H$) από τη σχετική σεισμική ολίσθηση, S_v/H και τις παραμέτρους α και ε_f . Παρατηρείται ότι η απόσταση C/H αυξάνεται περίπου γραμμικά και με σχετικά μικρή κλίση, με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης. Η συσχέτιση αυτή ($C/H-S_v/H$) είναι ανεξάρτητη της τιμής της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας ε_f και εξαρτάται μόνον από την γωνία κλίσης α με την έννοια ότι η απόσταση C μειώνεται όσο αυξάνεται η τιμή της γωνίας κλίσης. Τέλος, τα διαγράμματα των Σχ. 6-55 έως Σχ. 6-58, υποδεικνύουν με καθαρό τρόπο ότι η τιμή της γωνίας διασταλτικότητας ψ , δεν επηρεάζει, σχεδόν καθόλου, τη θέση της επικίνδυνης ζώνης της επιφάνειας του εδάφους.



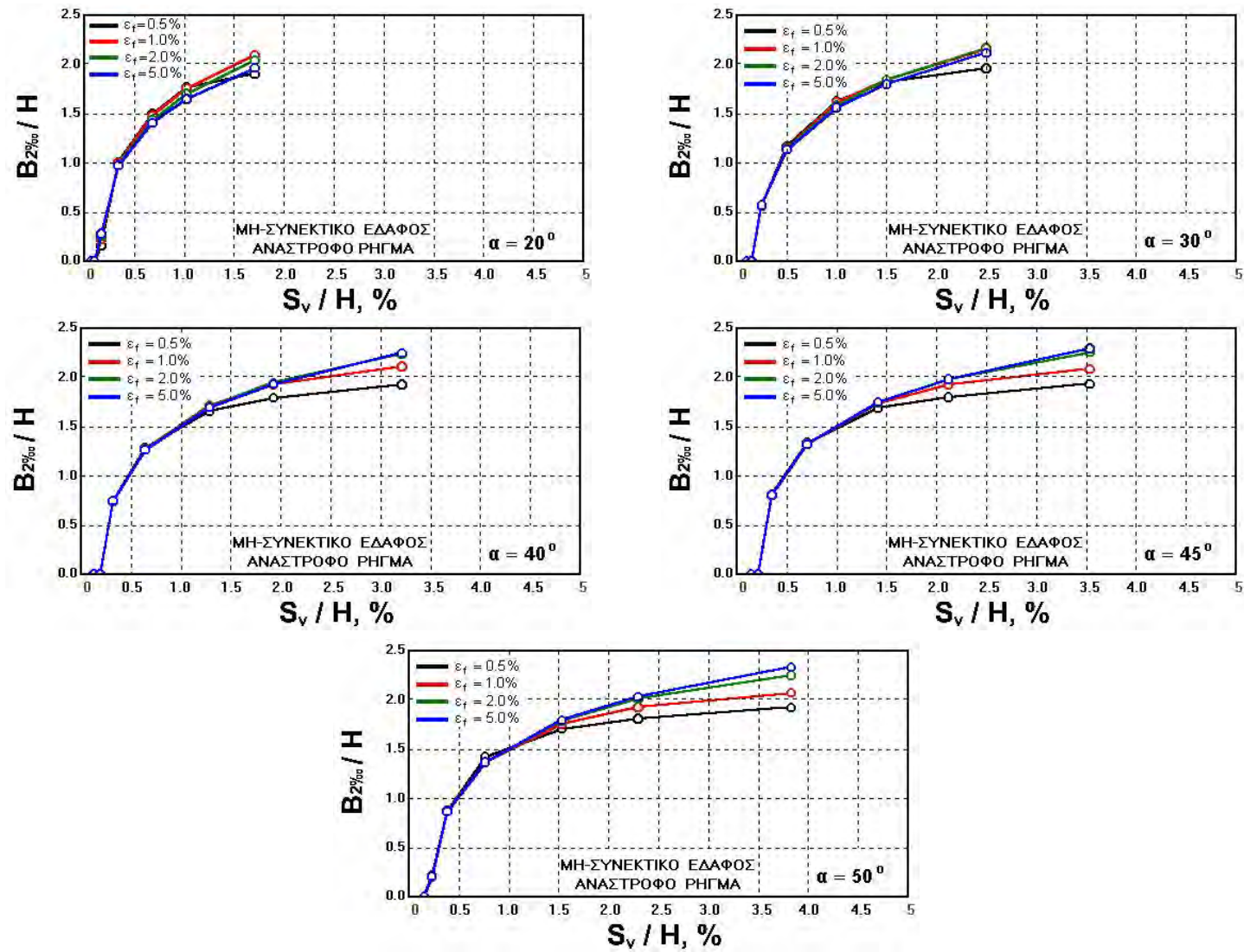
Σχήμα 6-36. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



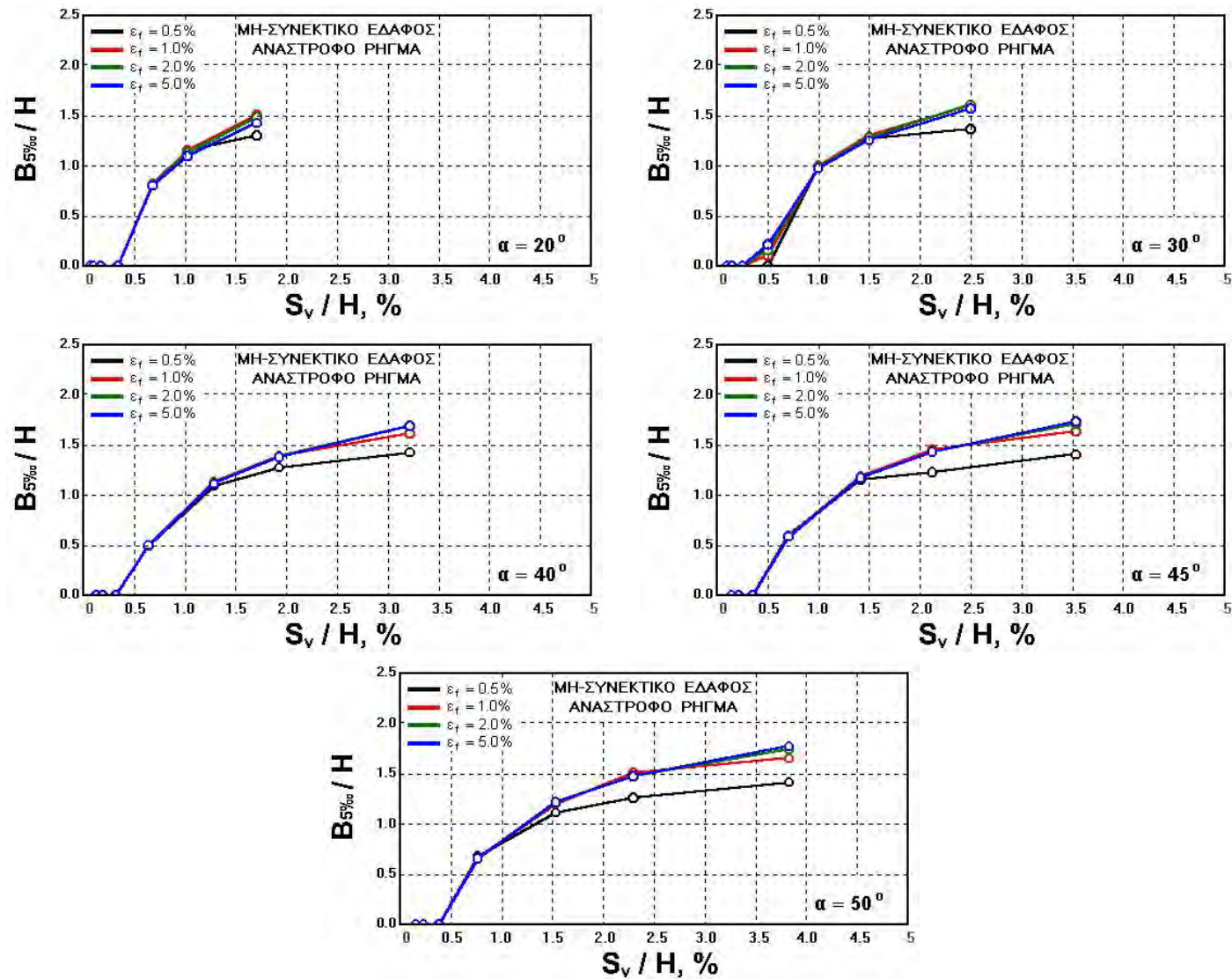
Σχήμα 6-37. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, αναστροφικό ρήγμα)



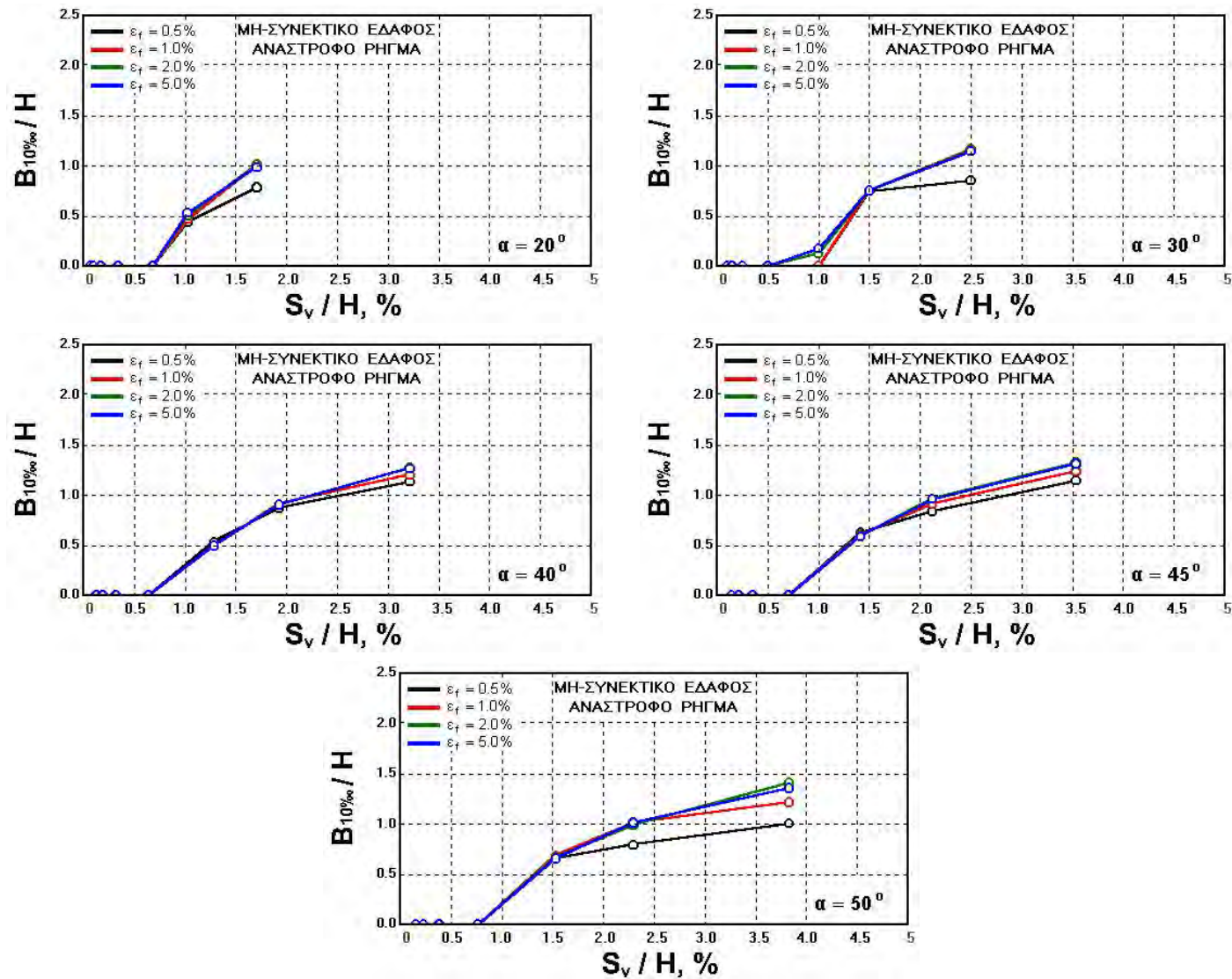
Σχήμα 6-38. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(\beta_{\max})-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



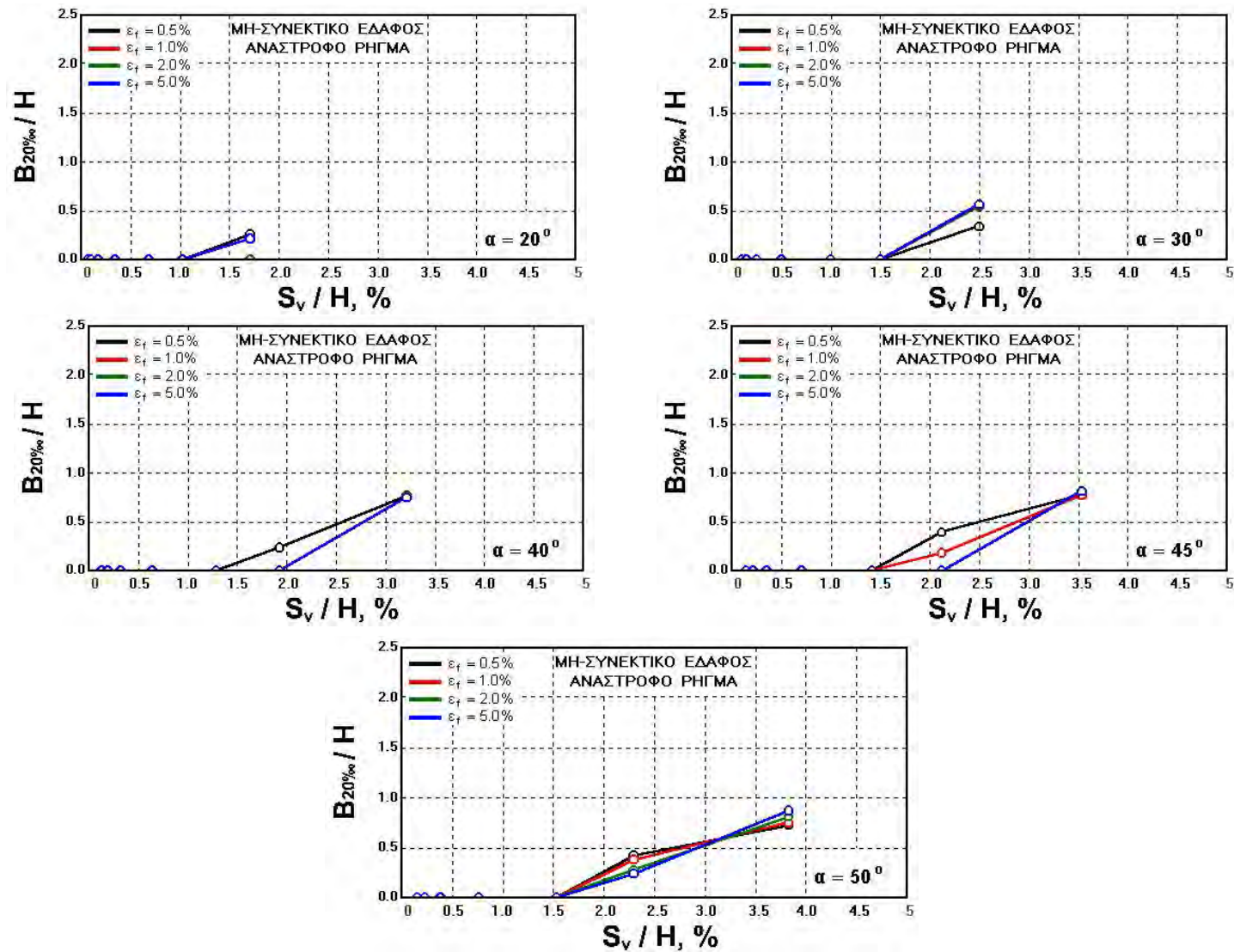
Σχήμα 6-39. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



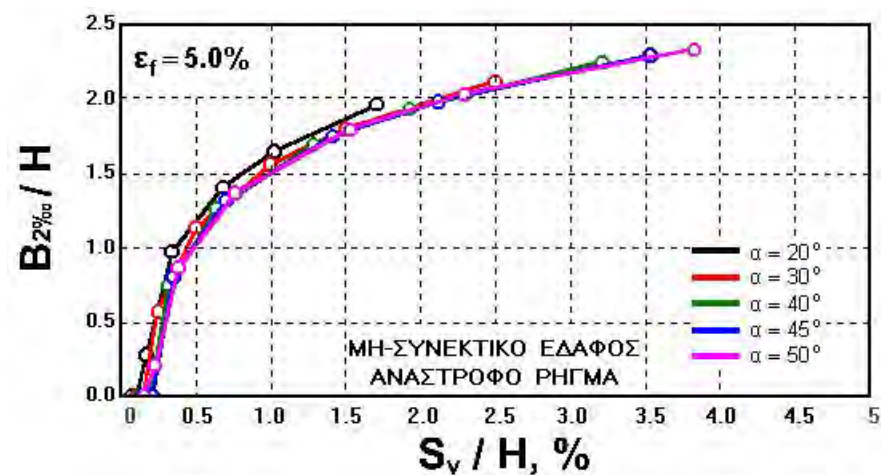
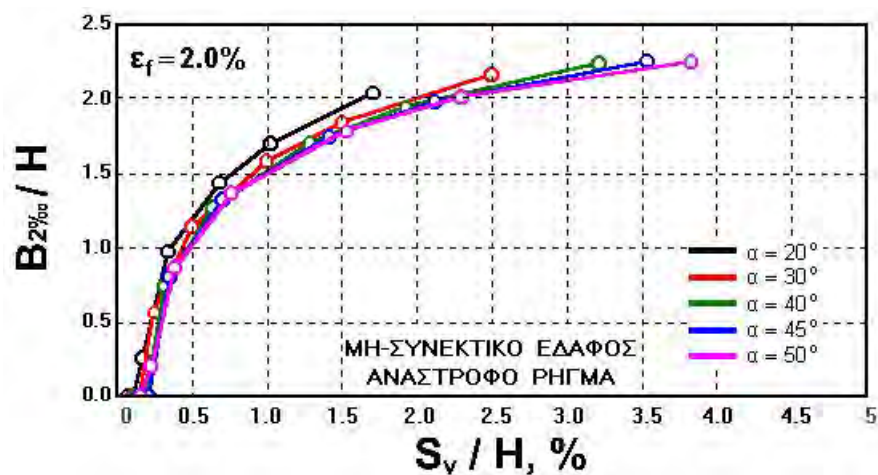
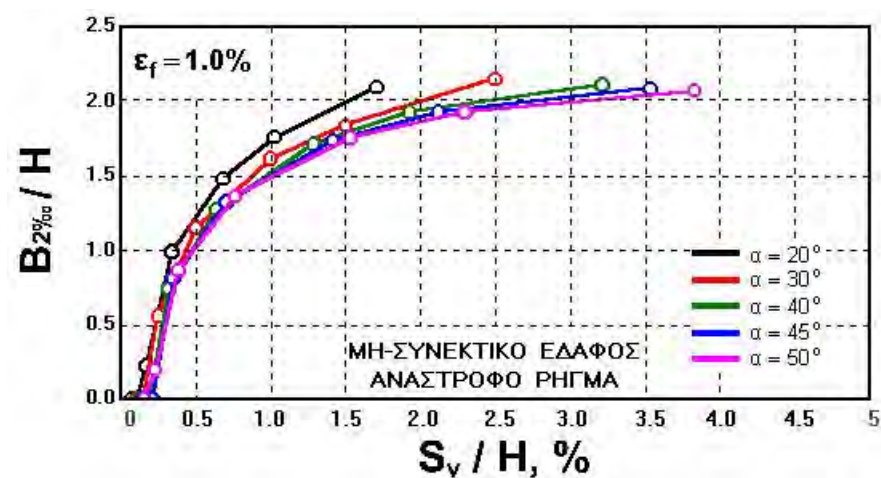
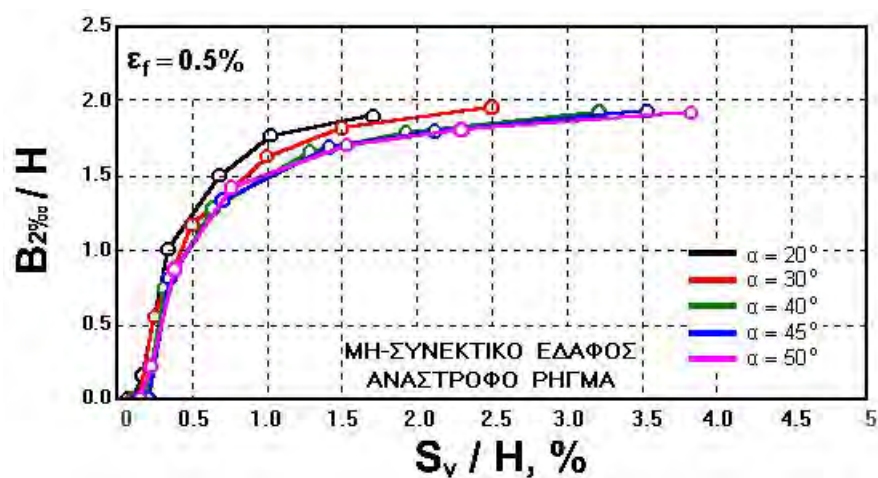
Σχήμα 6-40. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%_a}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



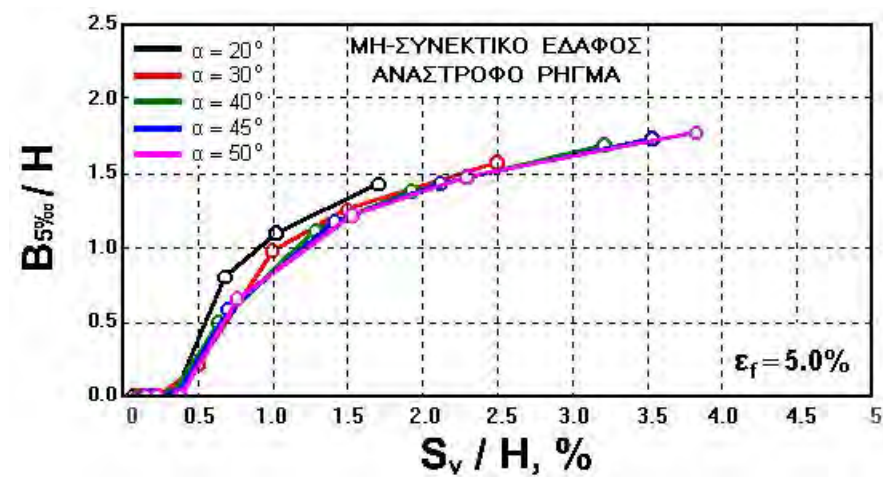
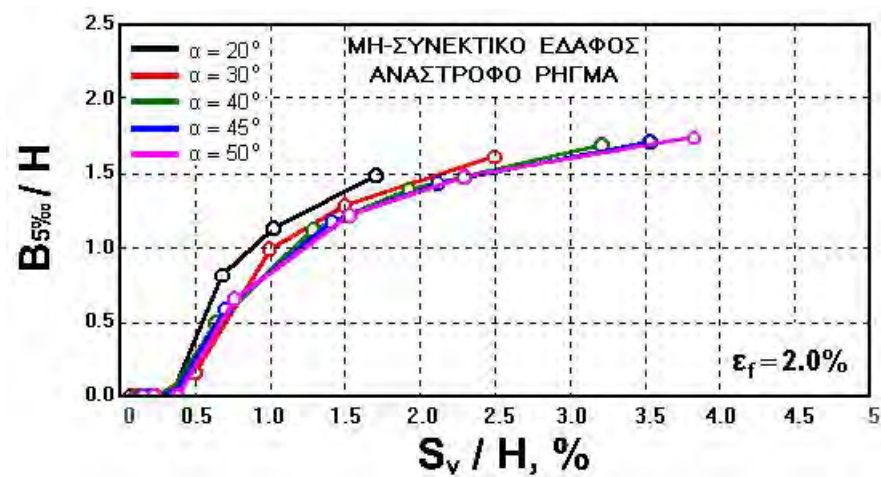
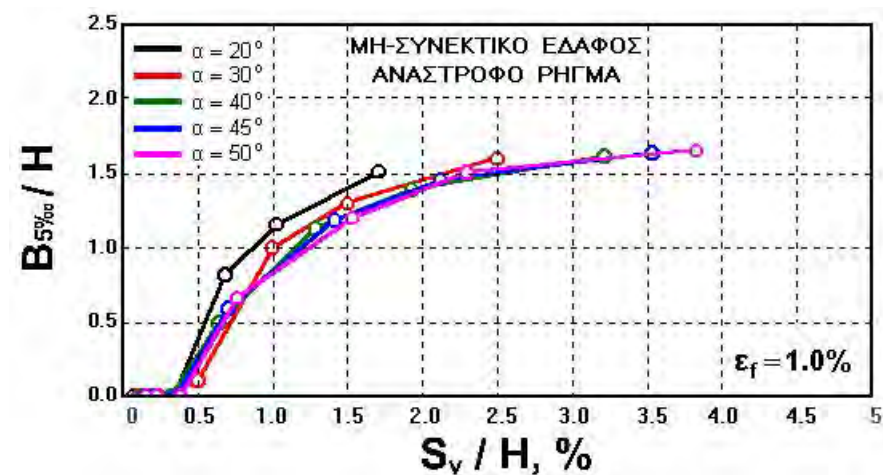
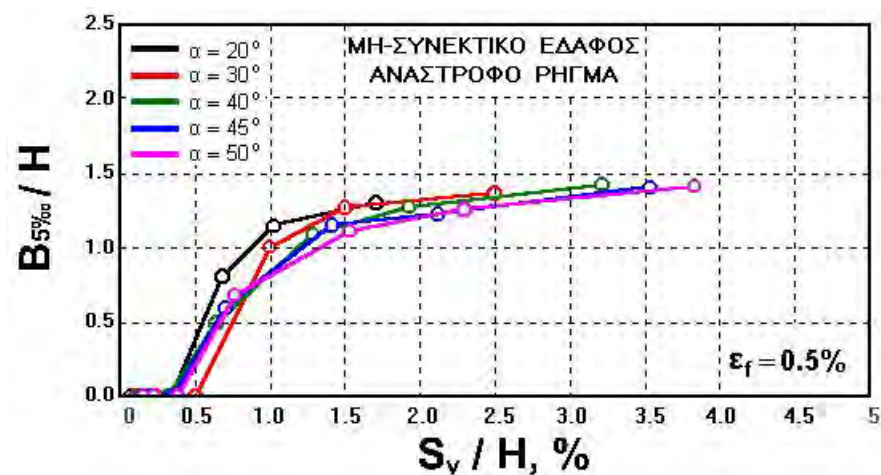
Σχήμα 6-41. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



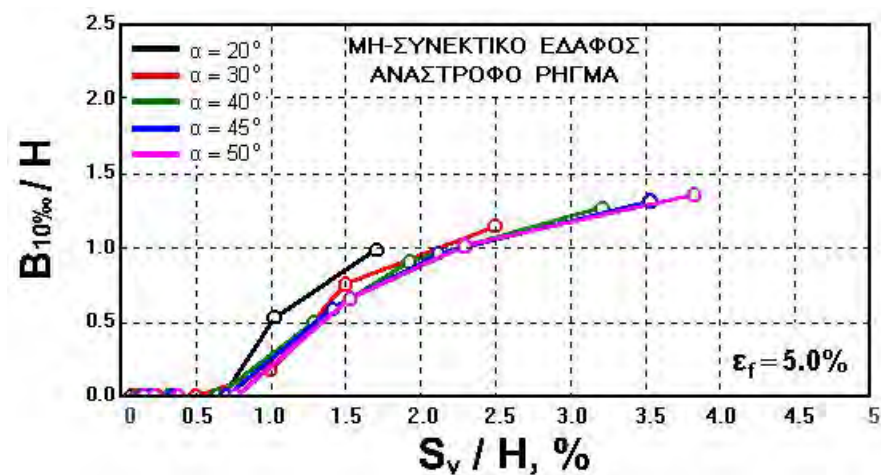
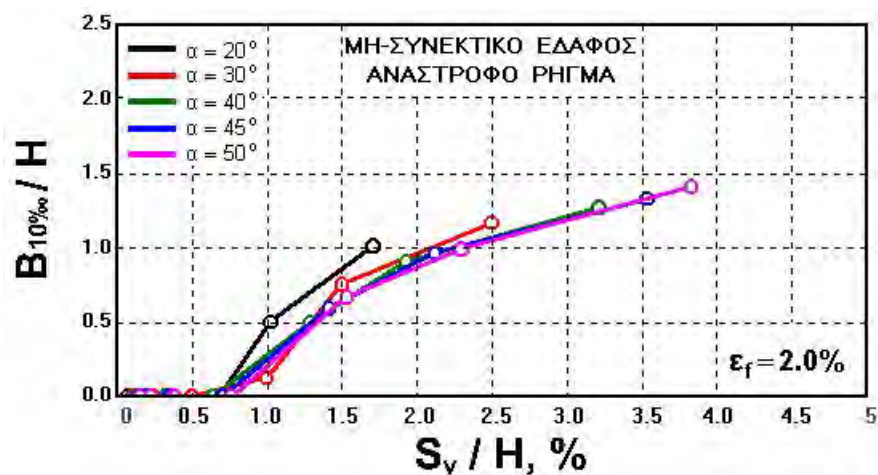
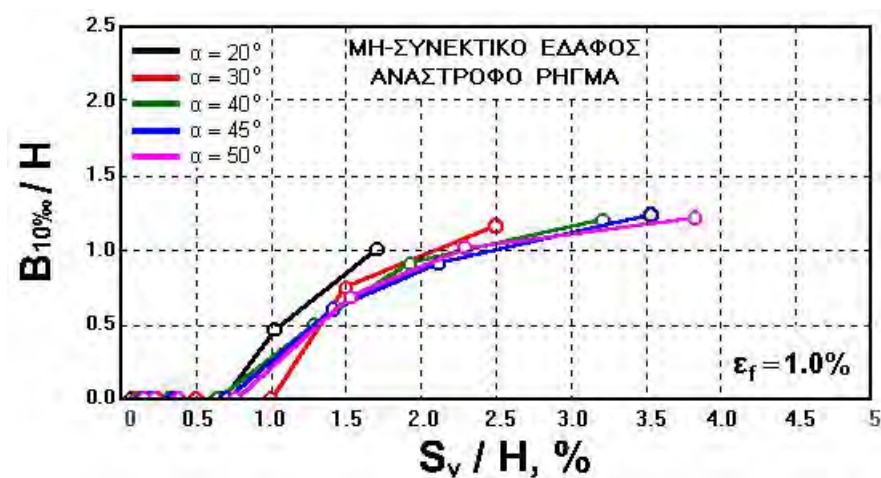
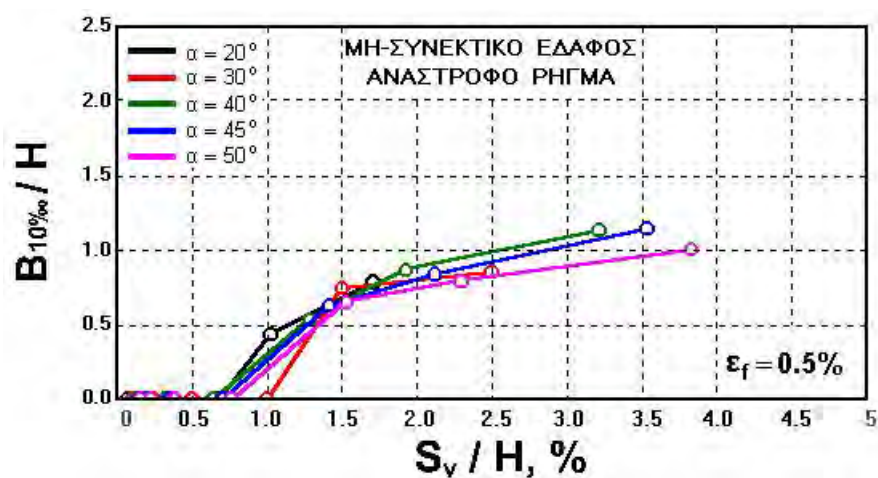
Σχήμα 6-42. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ε_f , για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



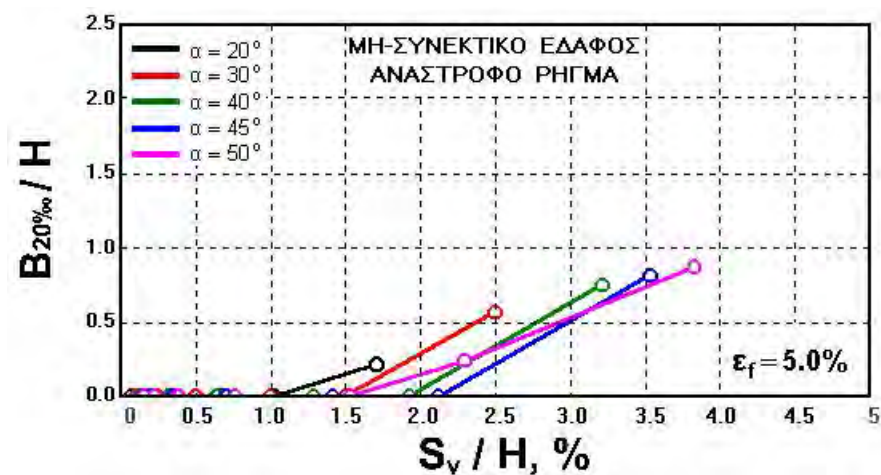
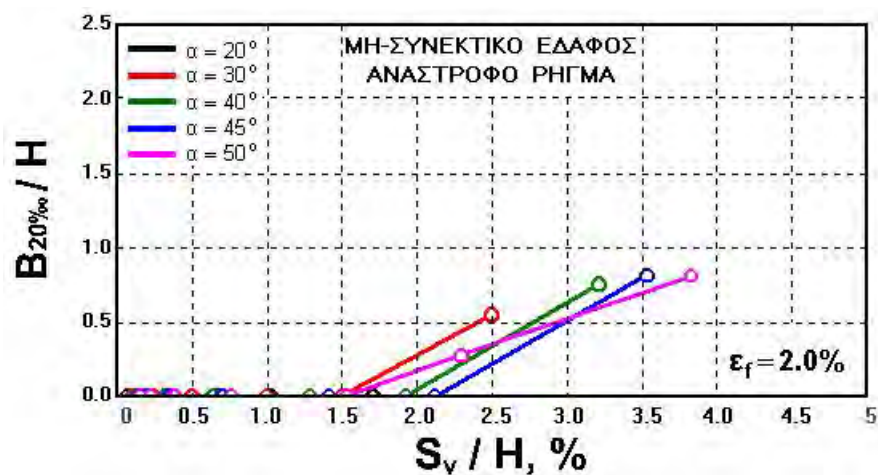
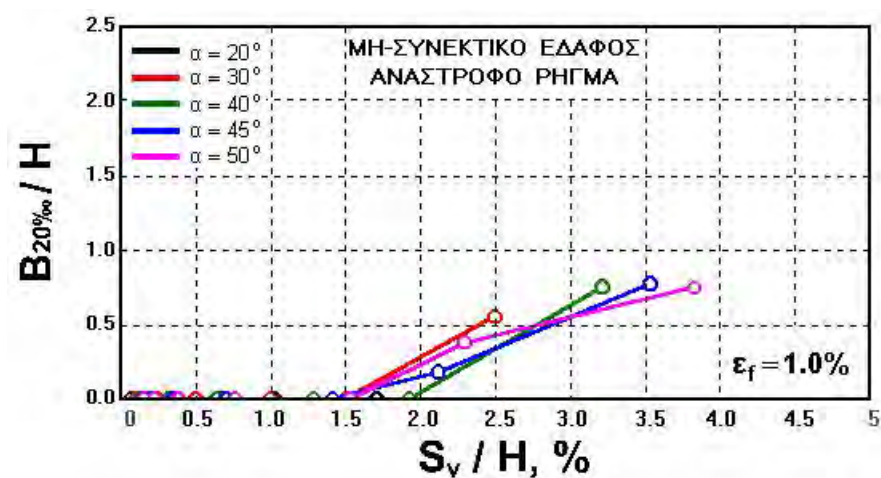
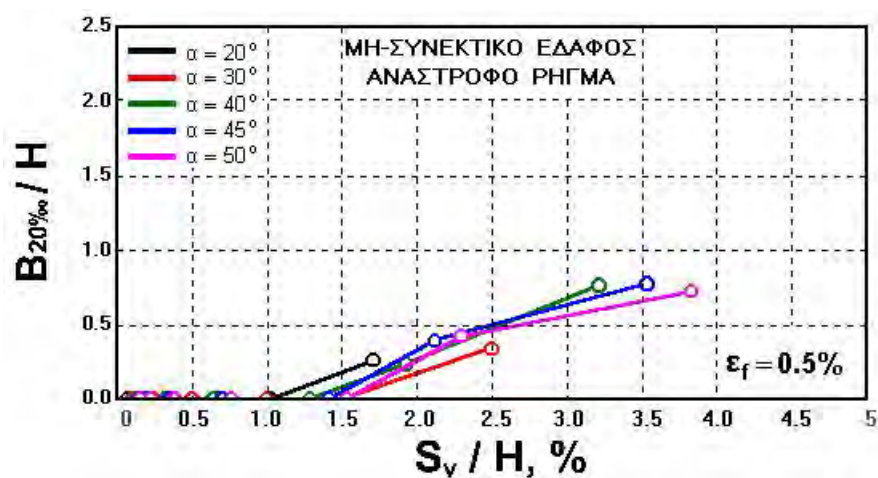
Σχήμα 6-43. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



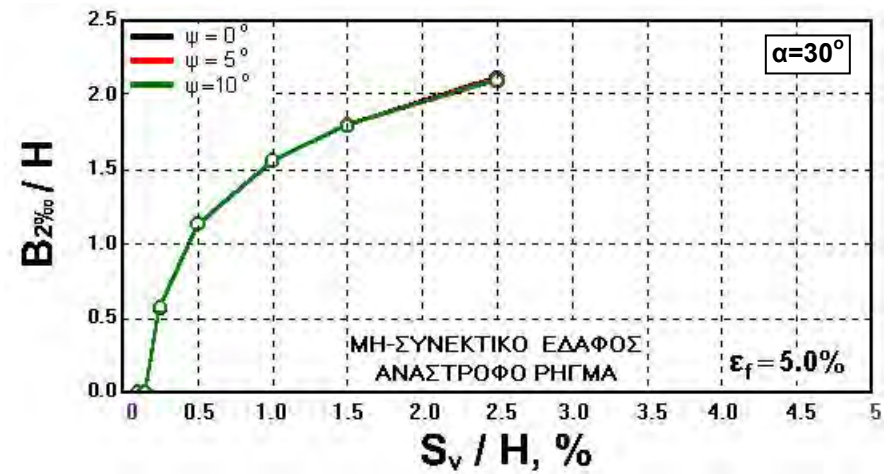
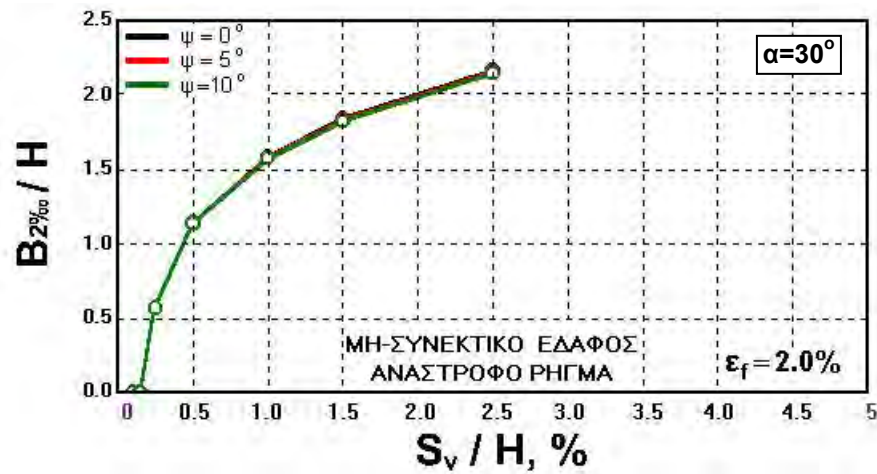
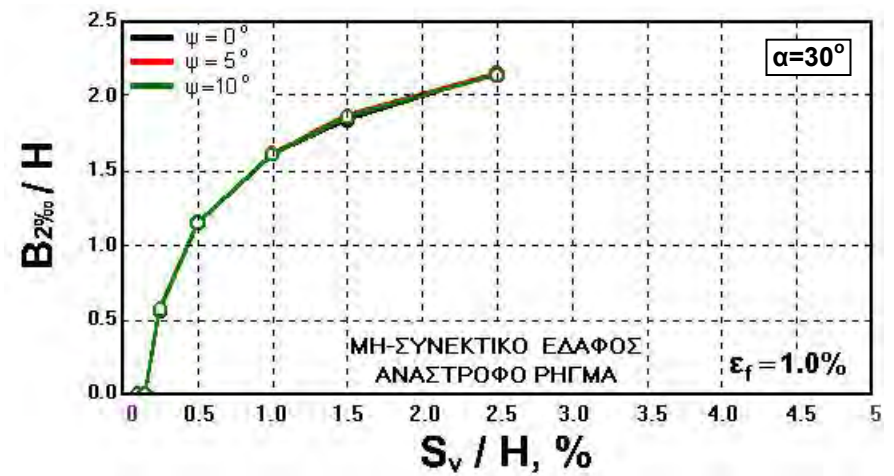
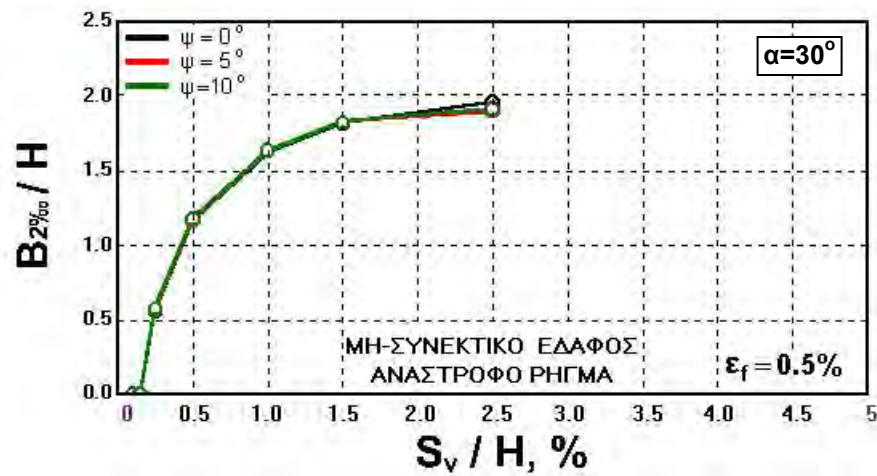
Σχήμα 6-44. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{5\%a}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



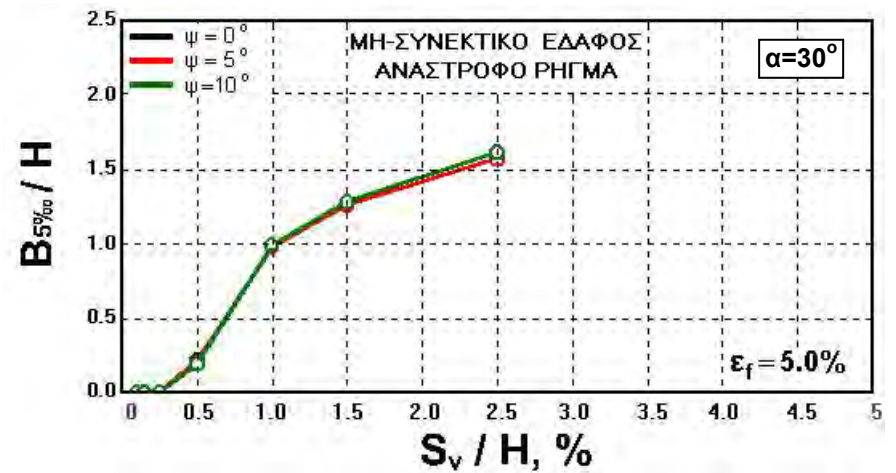
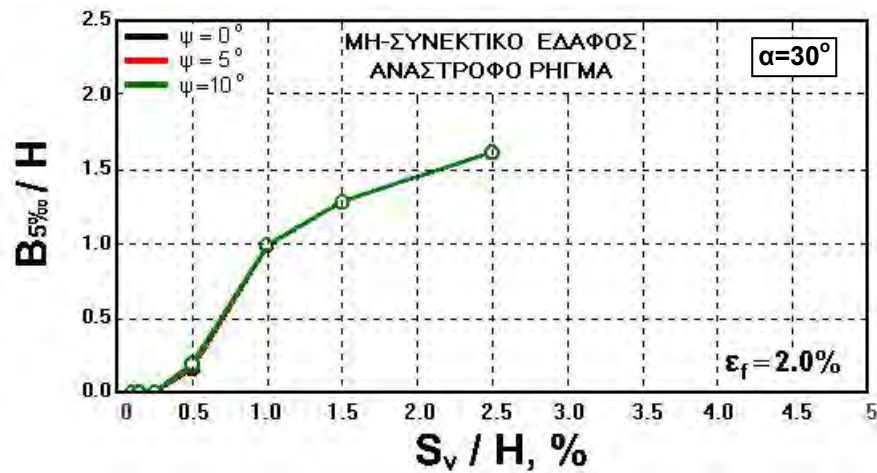
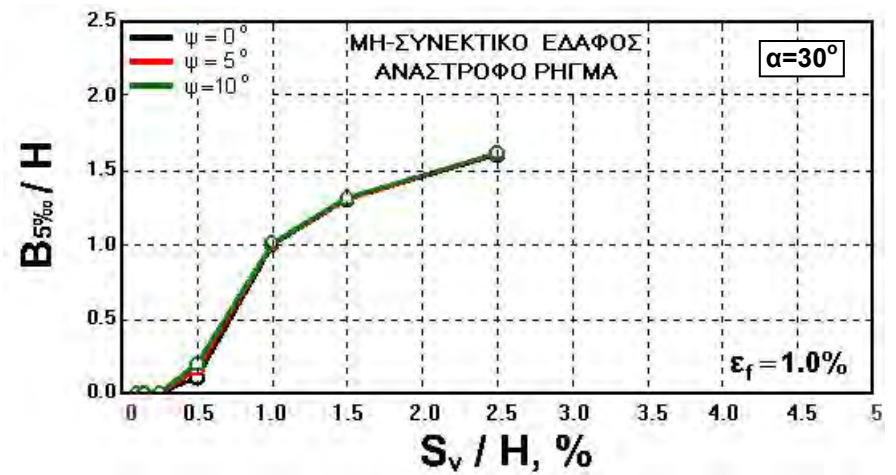
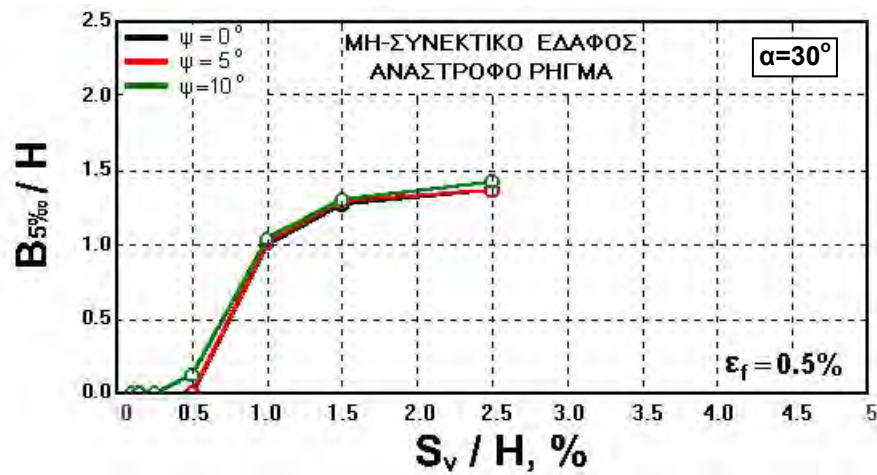
Σχήμα 6-45. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{10\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



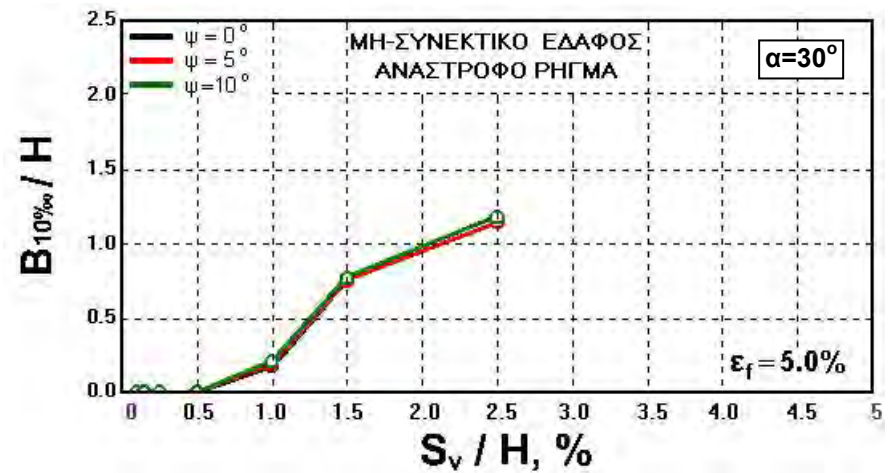
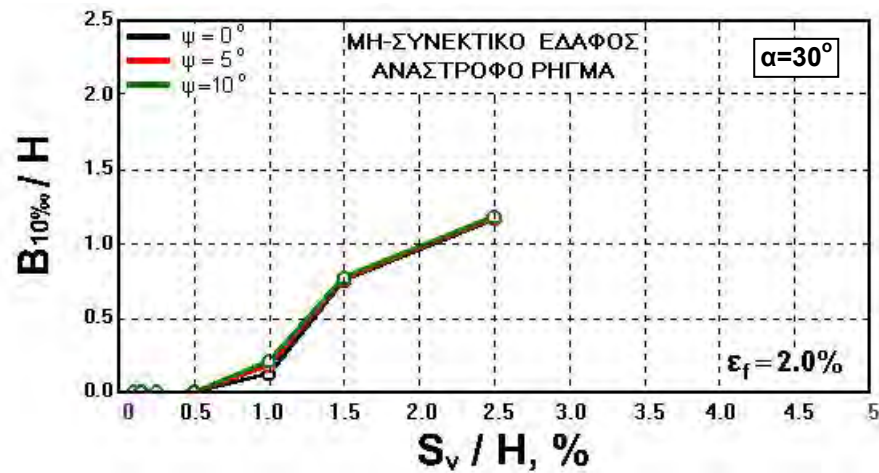
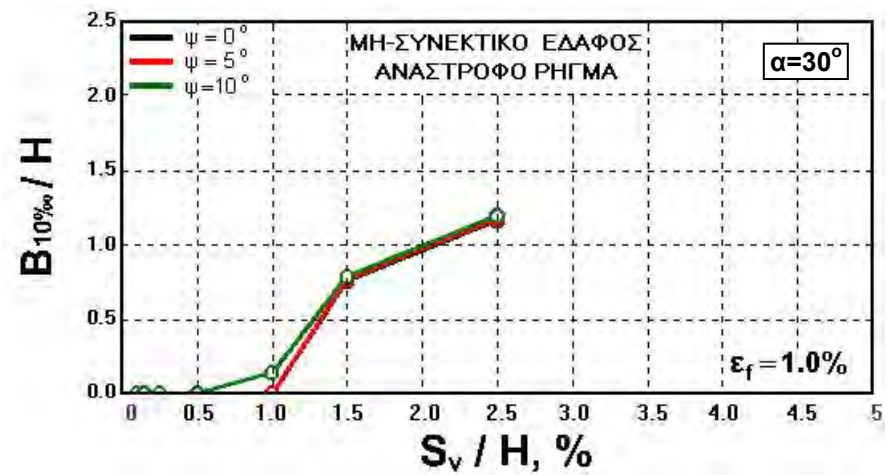
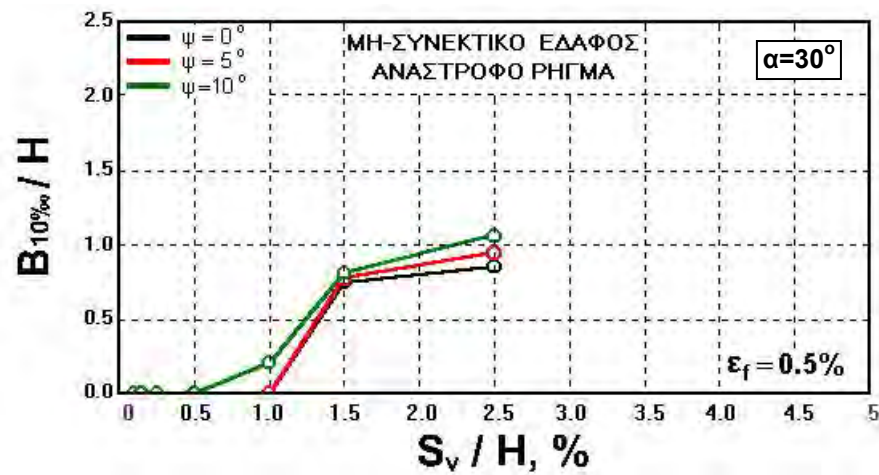
Σχήμα 6-46. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους $B_{20\%}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και τη γωνία κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



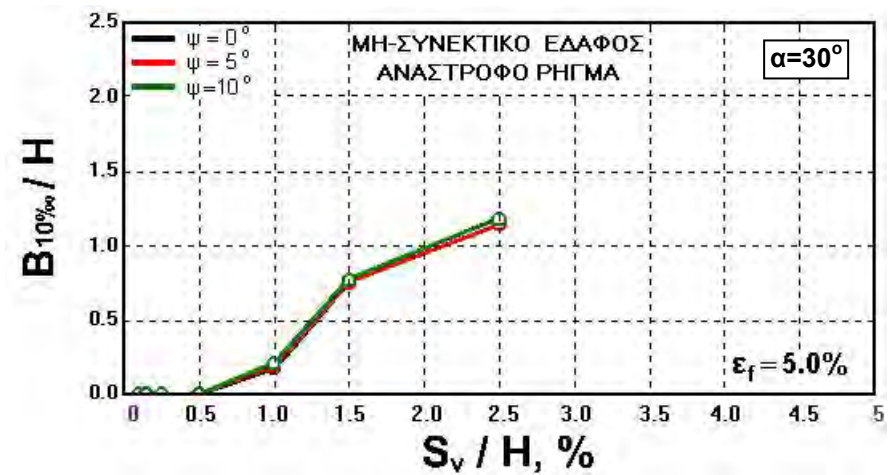
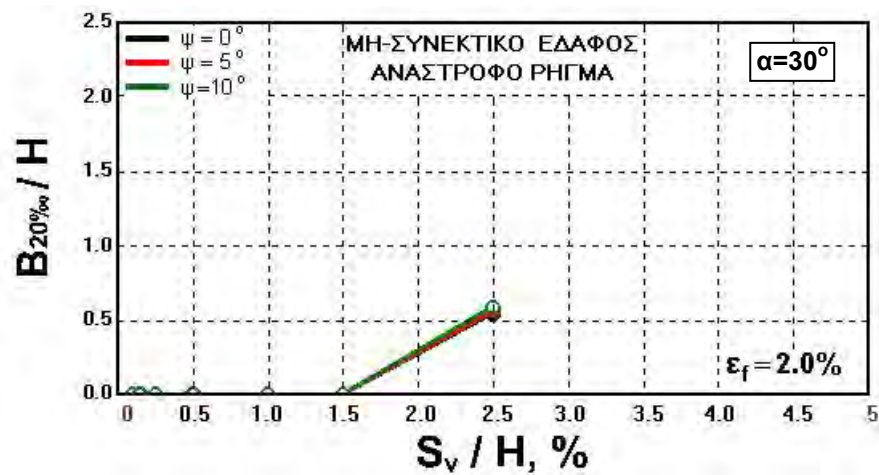
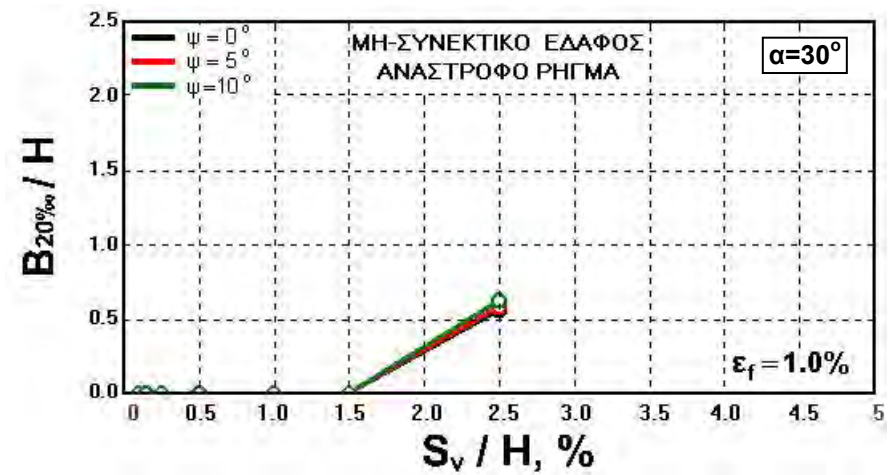
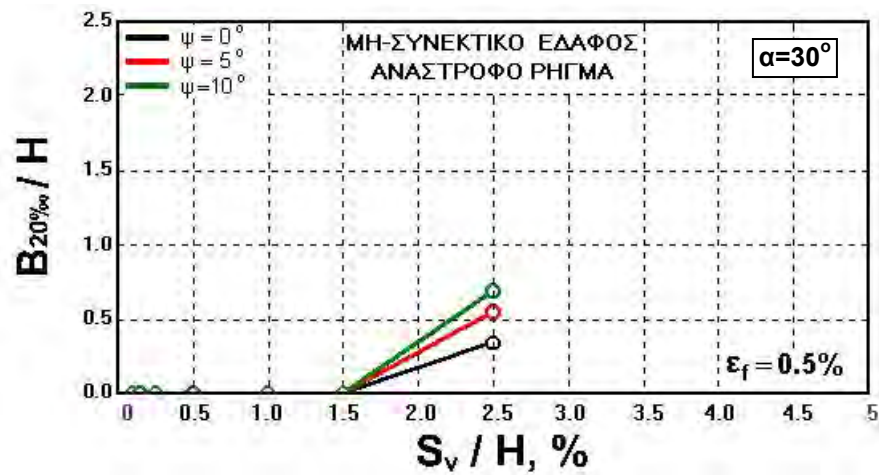
Σχήμα 6-47. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{2\%_{\sigma}}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



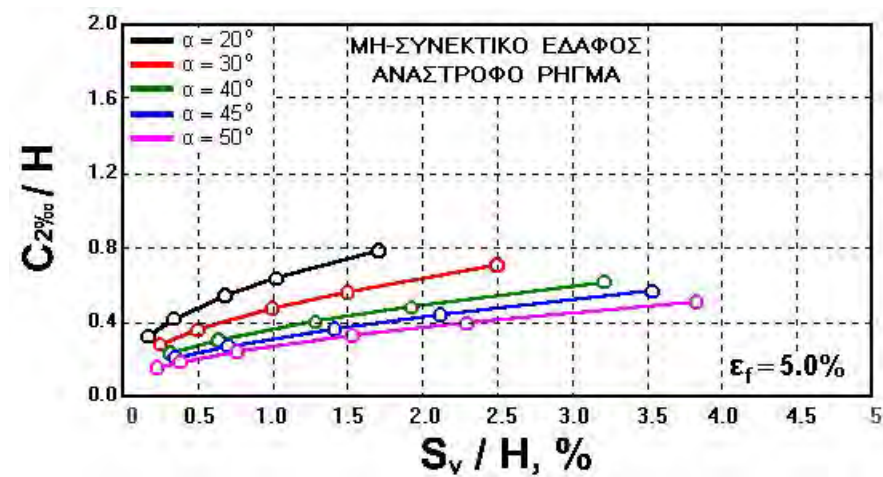
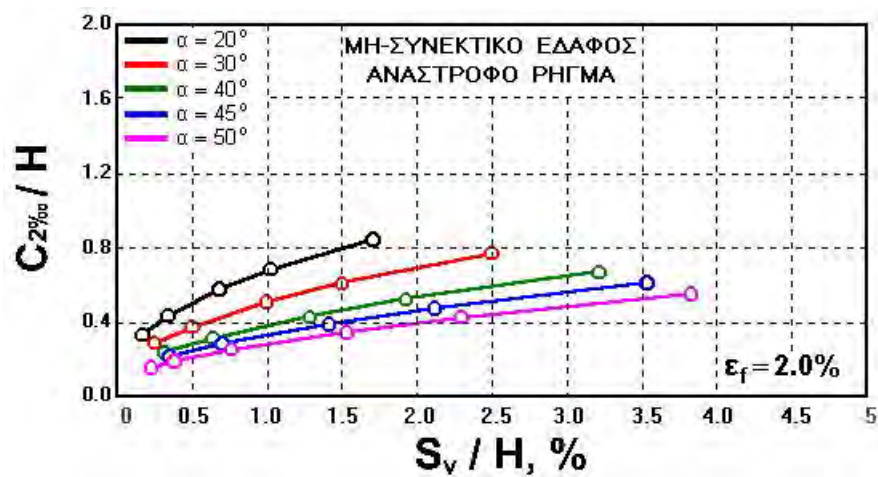
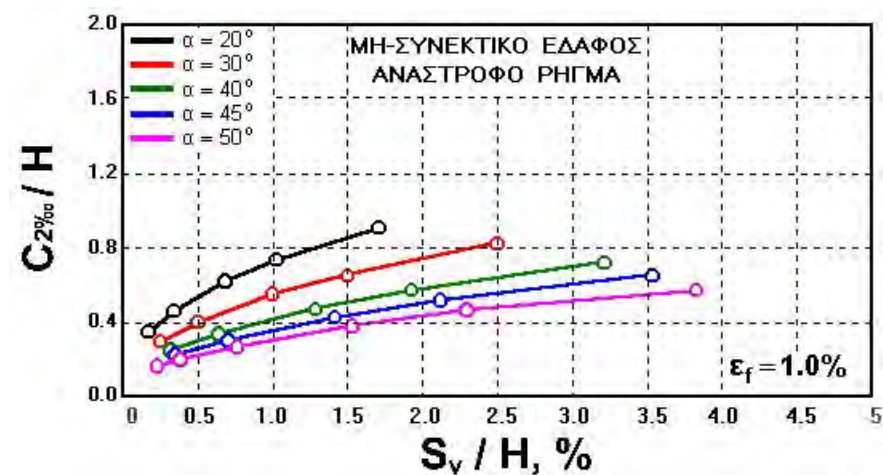
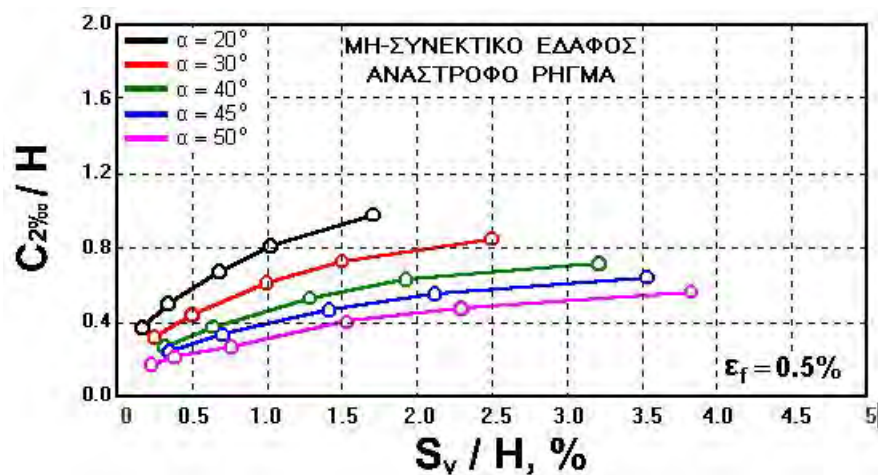
Σχήμα 6-48. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{5\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



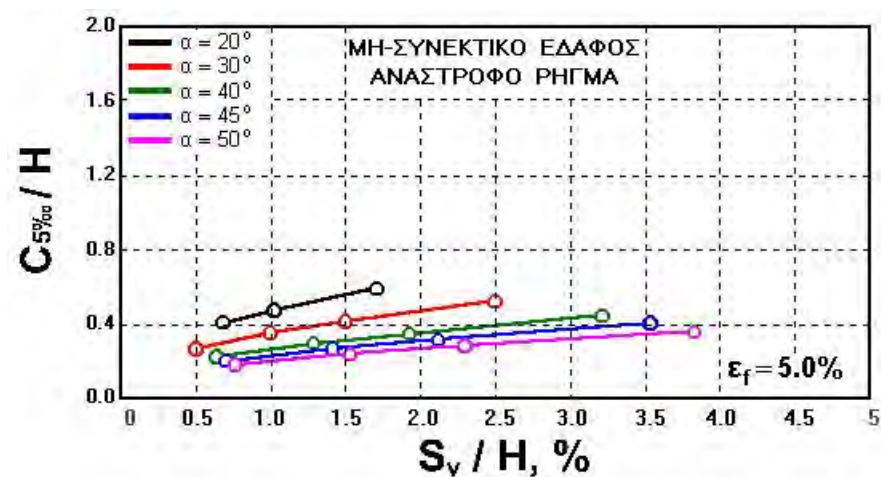
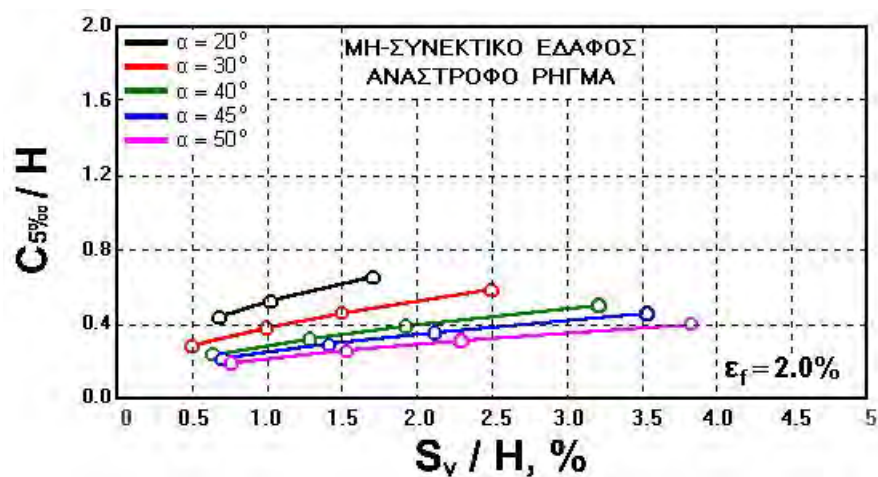
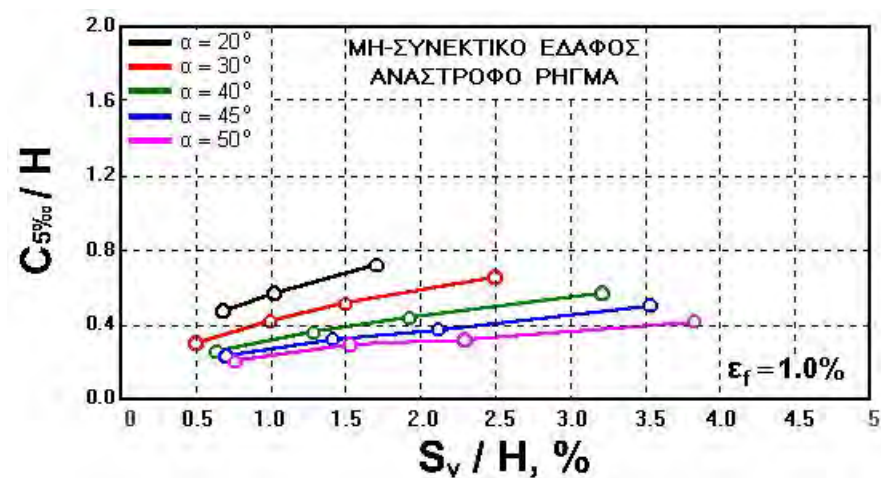
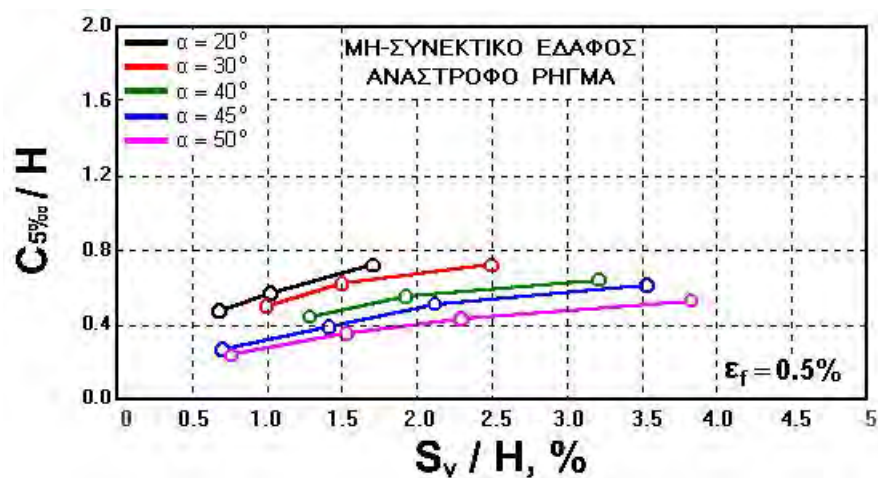
Σχήμα 6-49. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{10\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



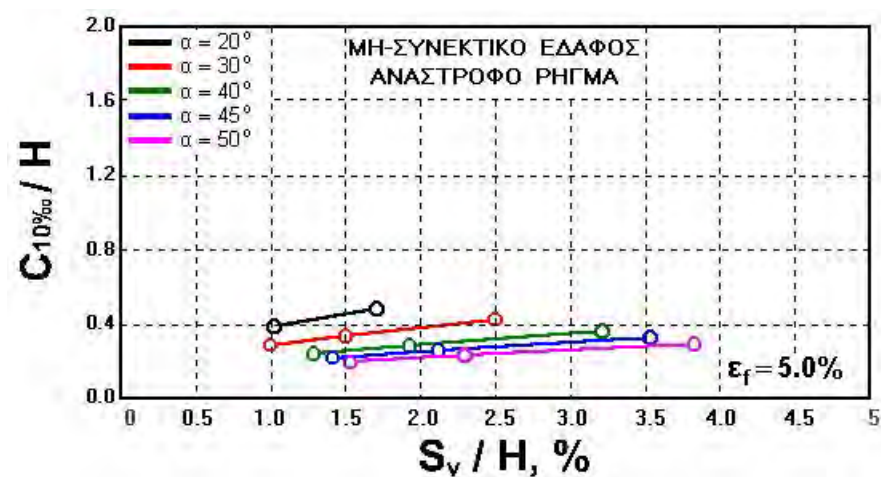
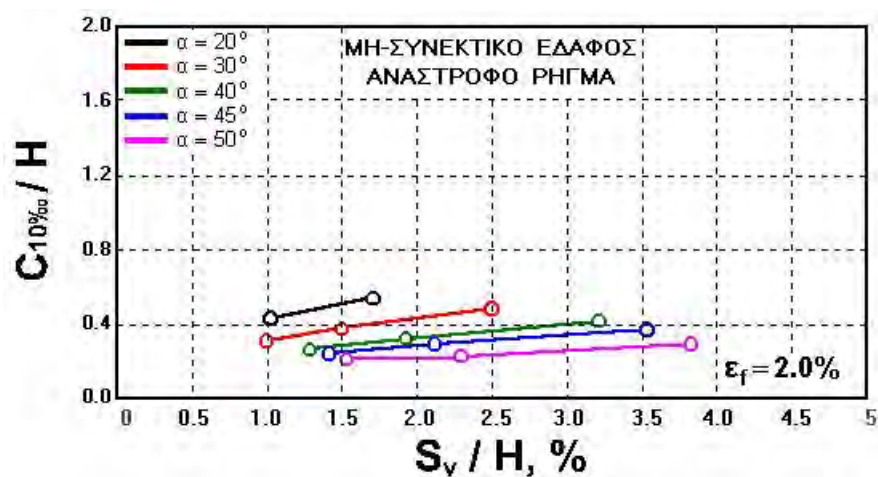
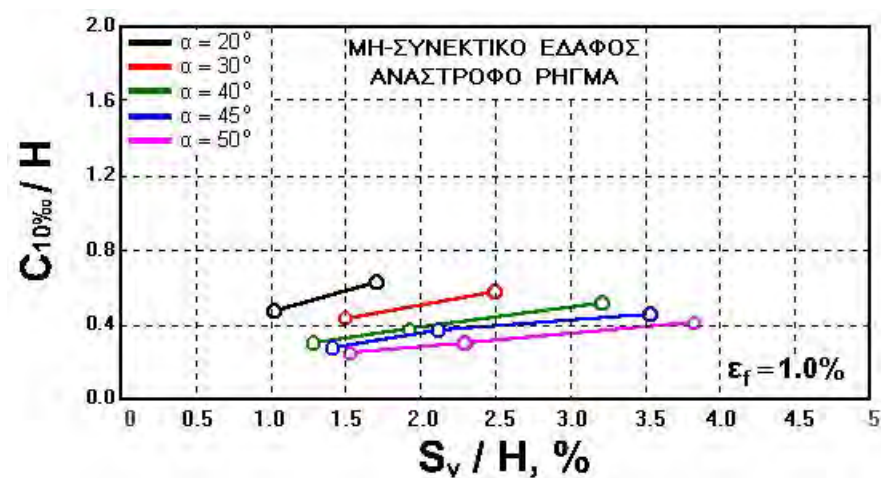
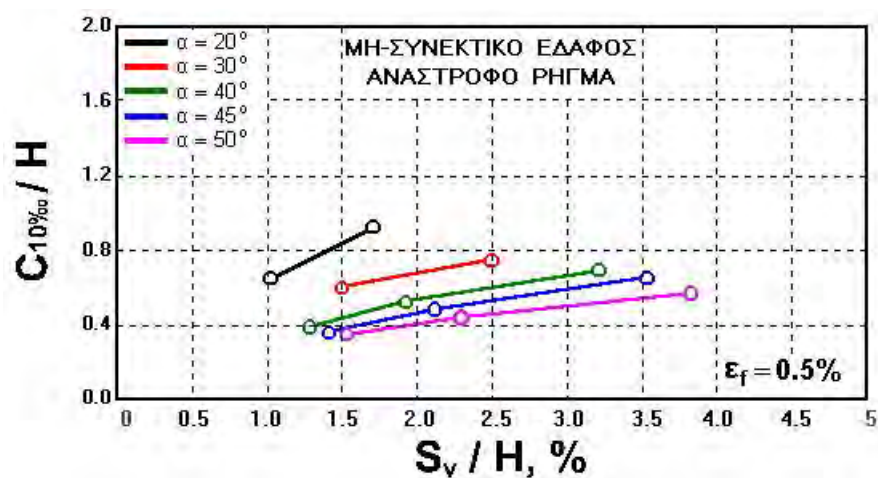
Σχήμα 6-50. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(B_{20\%_{\infty}}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



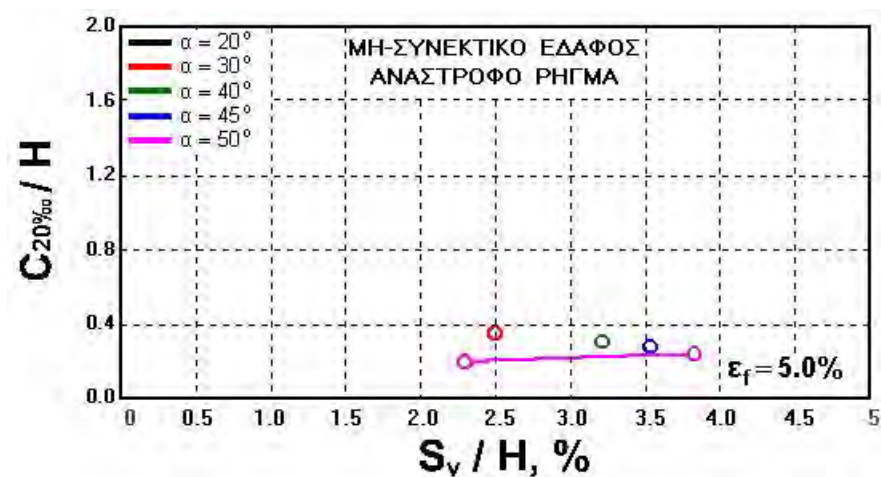
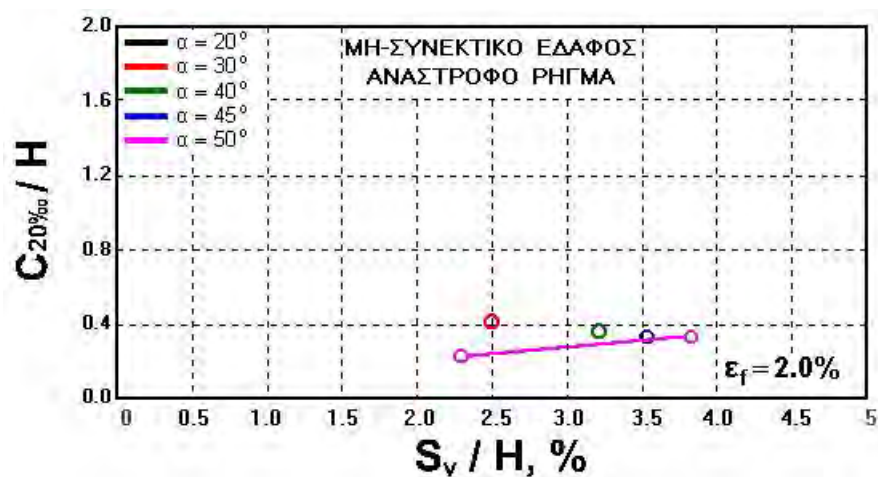
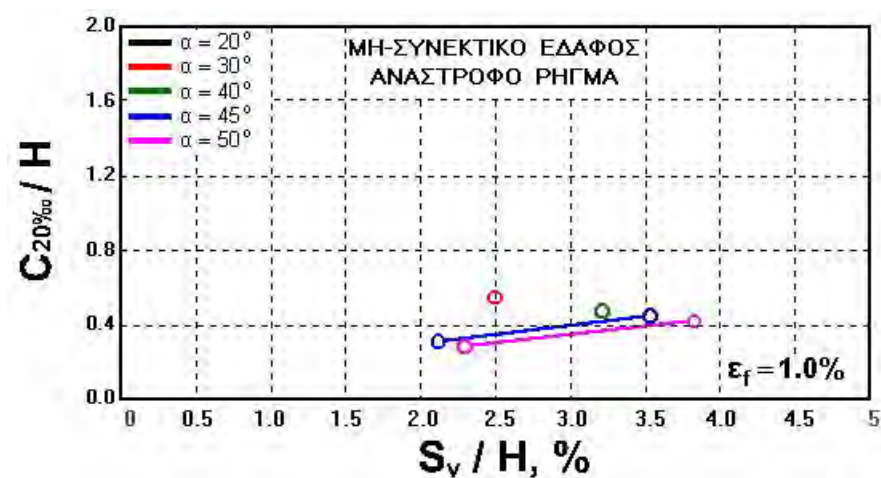
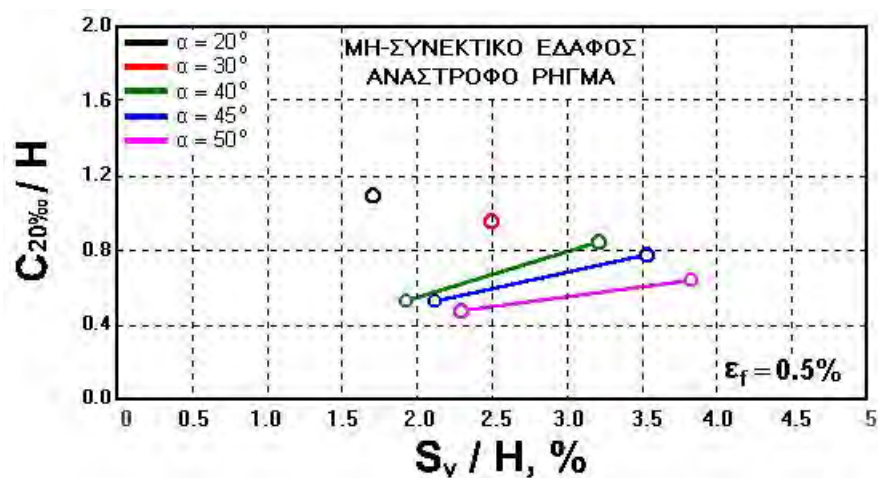
Σχήμα 6-51. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{2\%00}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



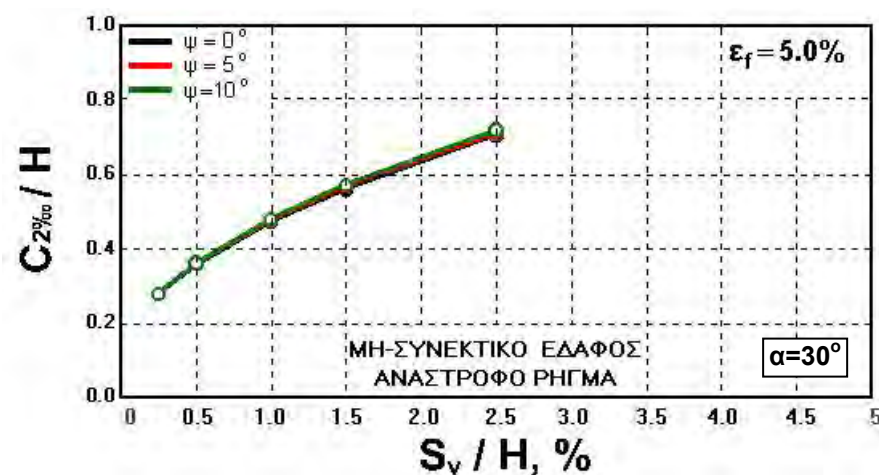
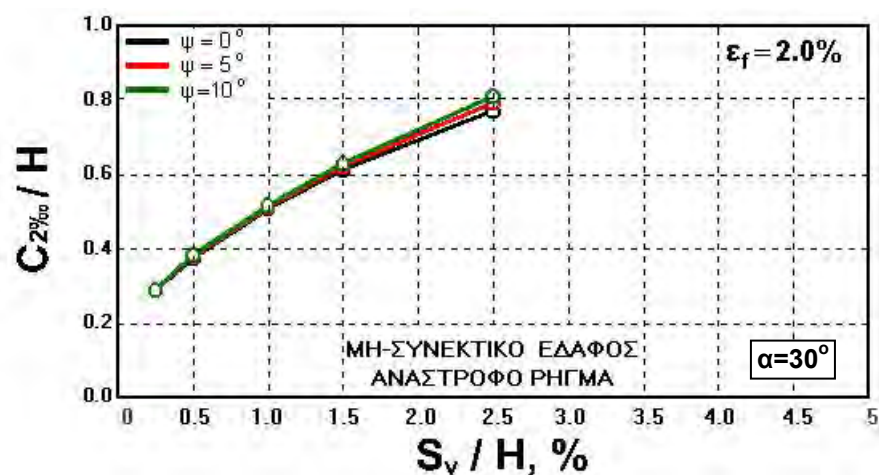
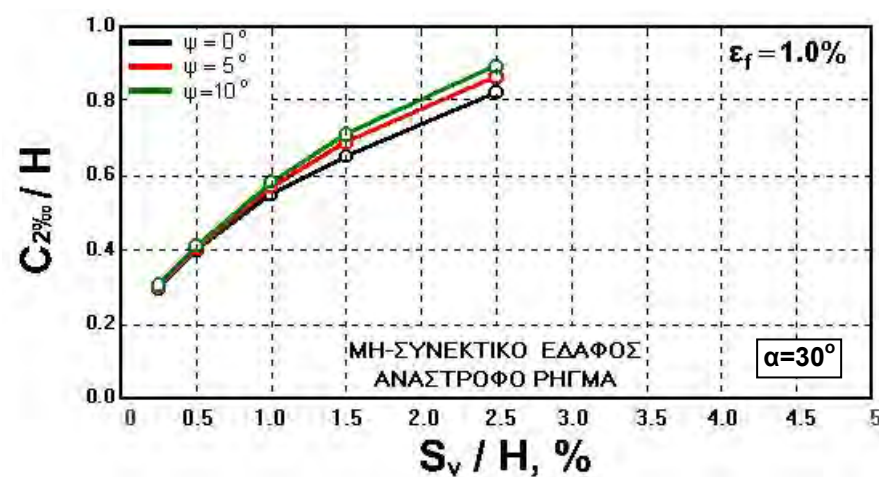
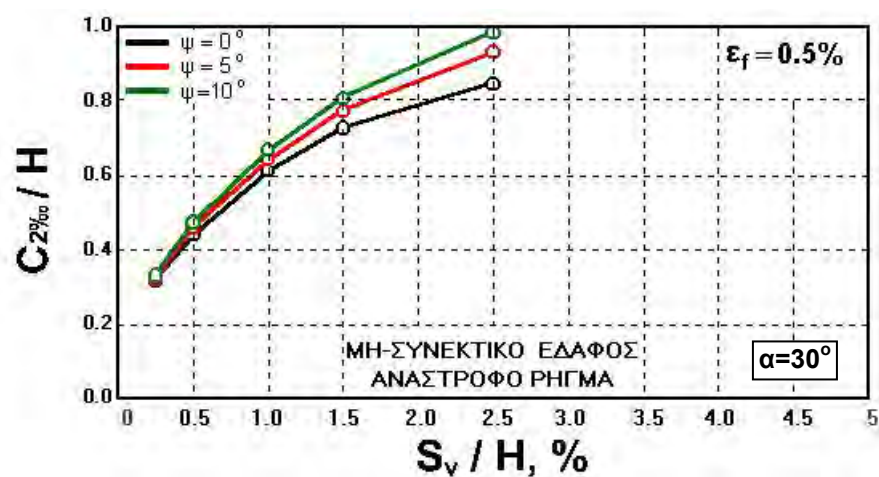
Σχήμα 6-52. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{5\%oa}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



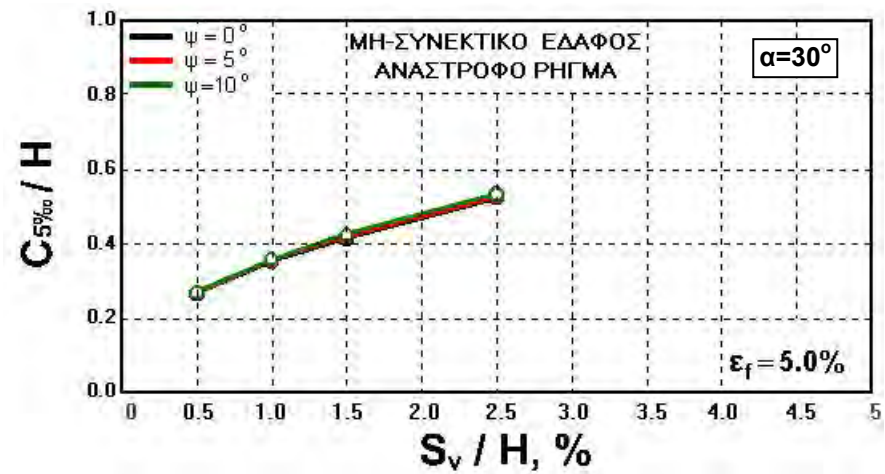
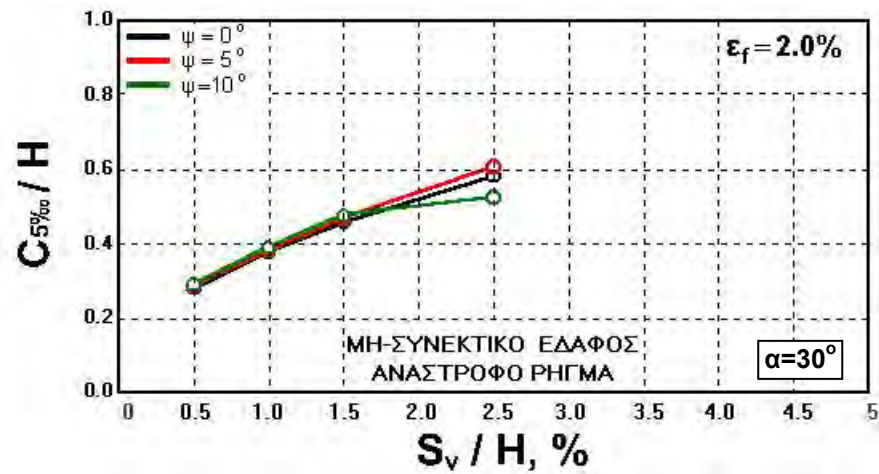
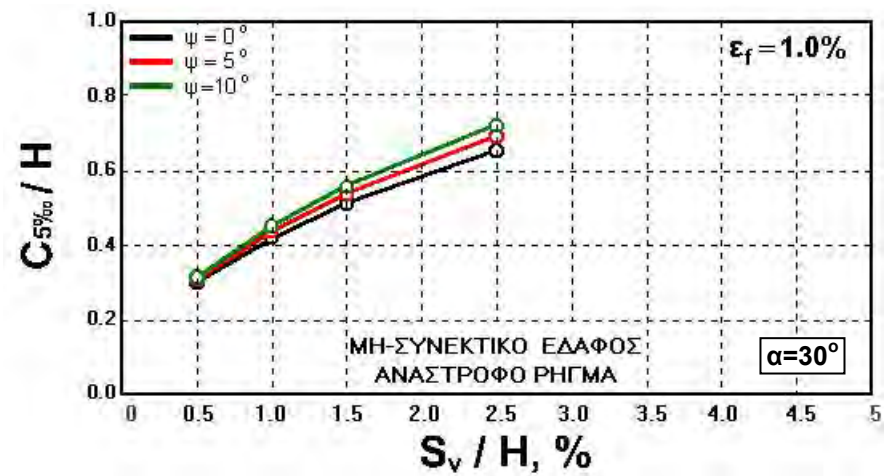
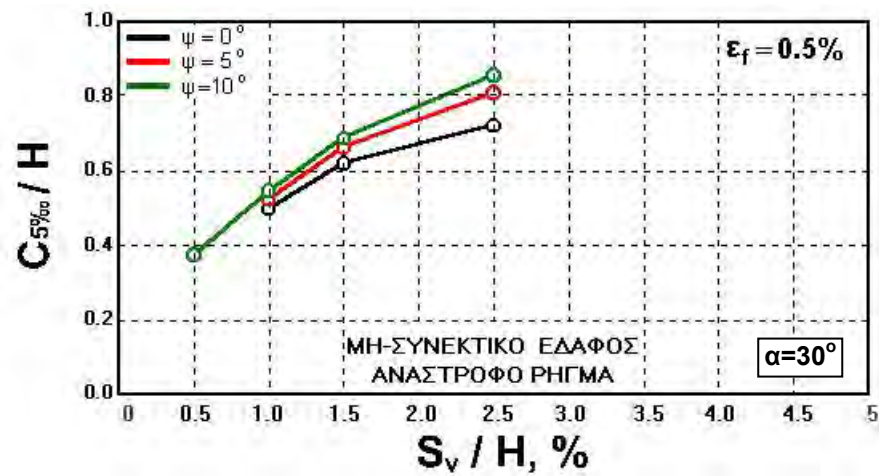
Σχήμα 6-53. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{10\%ao}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



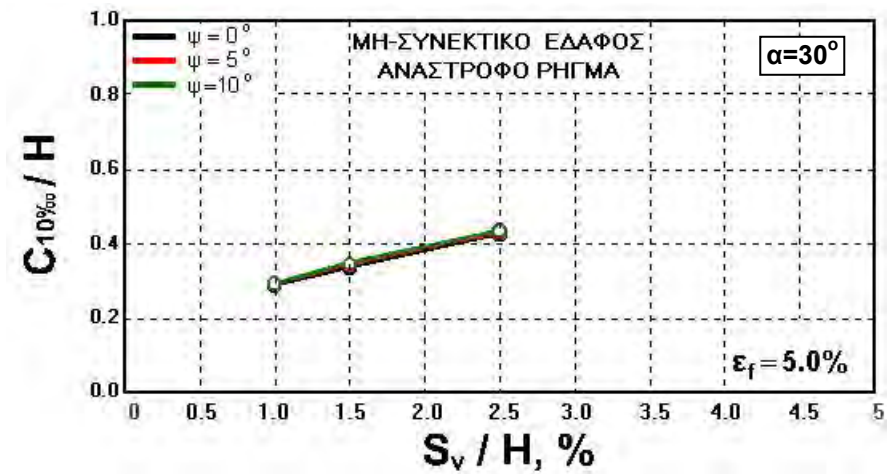
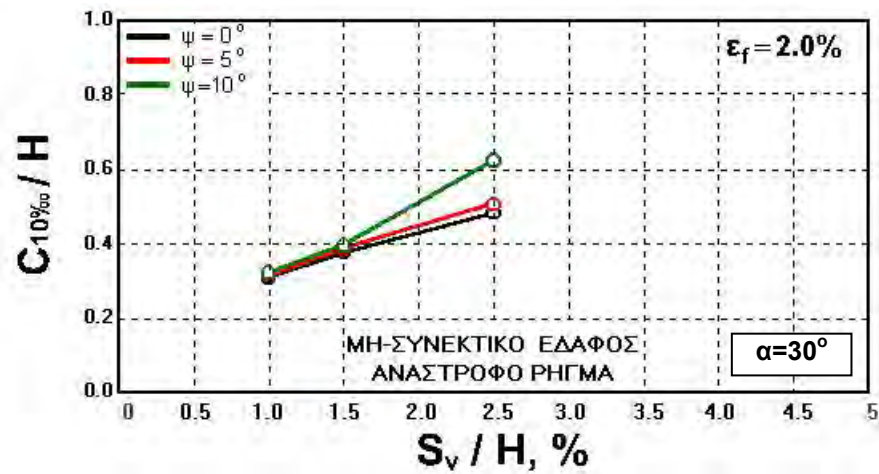
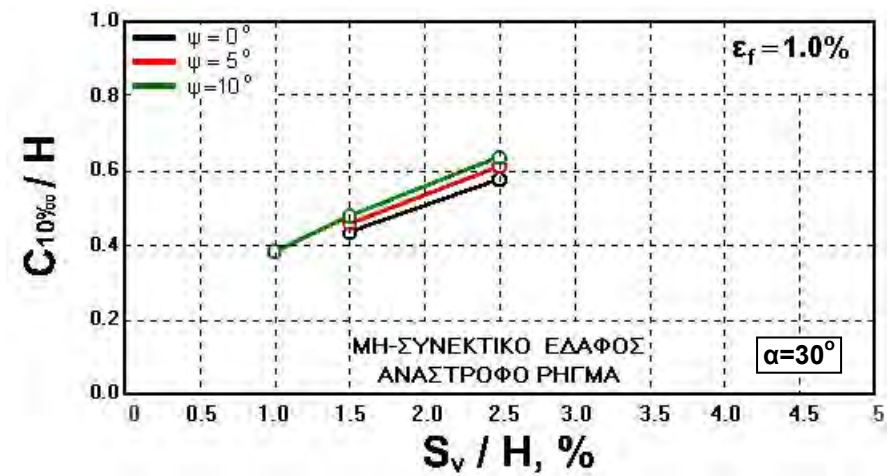
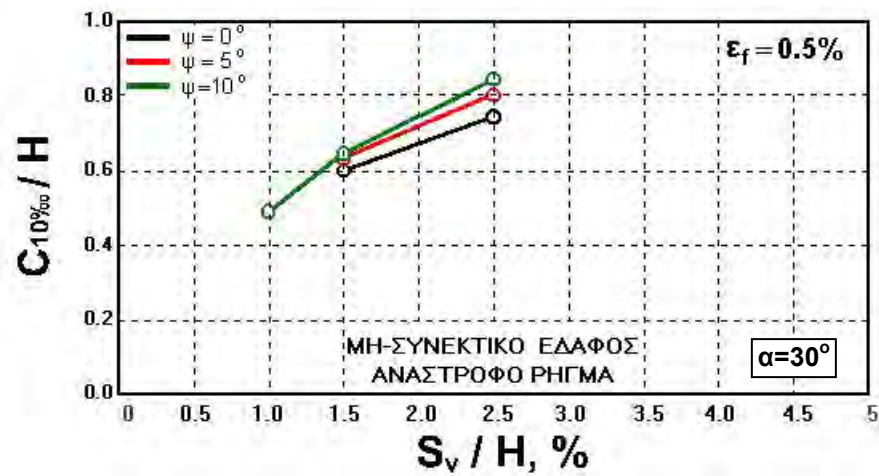
Σχήμα 6-54. Εξάρτηση της τιμής της σχετικής απόστασης $C_{20\%ao}/H$, από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση, S_v/H , και την τιμή της γωνίας κλίσης, α , για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



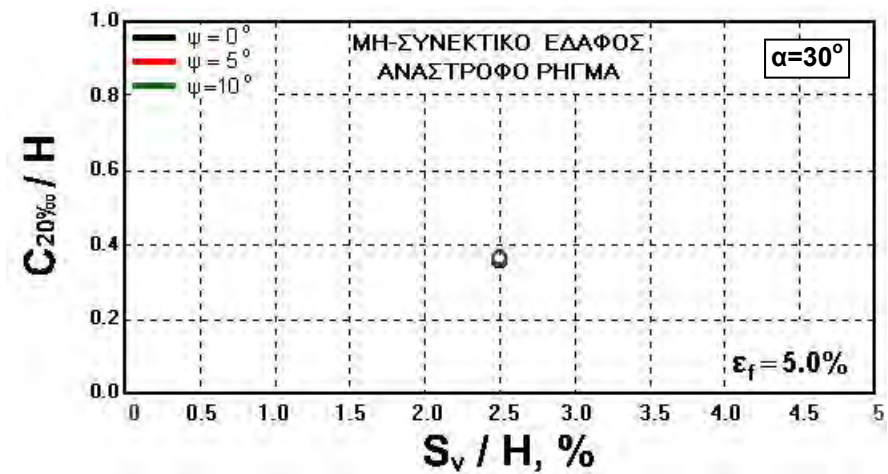
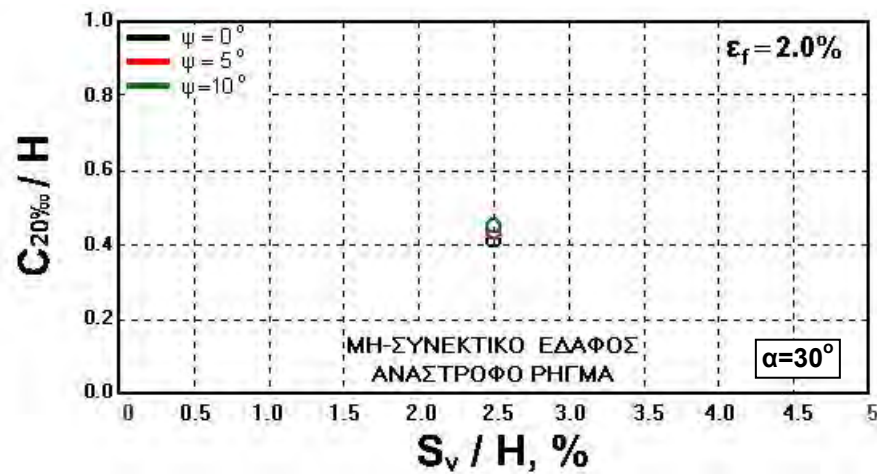
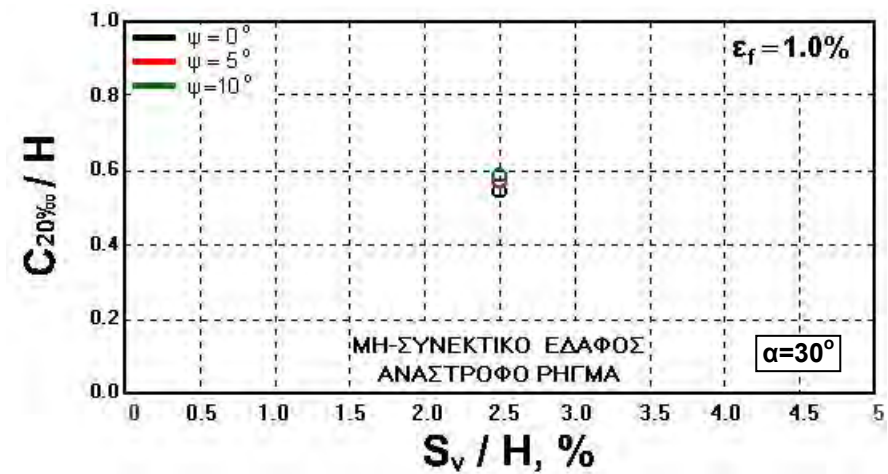
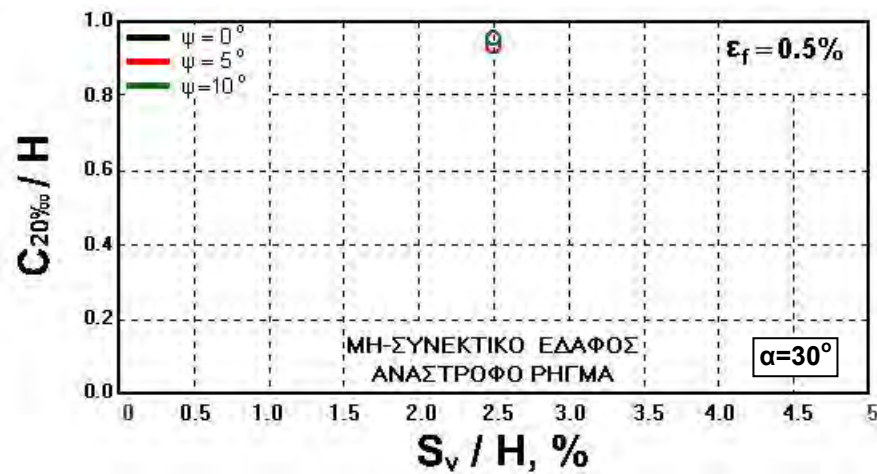
Σχήμα 6-55. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{2\%_{so}}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 6-56. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{5\%}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 6-57. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{10\%ss}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)



Σχήμα 6-58. Επίδραση της τιμής της γωνίας διασταλτικότητας, ψ , στη συσχέτιση $(C_{20\%ss}/H)-(S_v/H)$, για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , (μη-συνεκτικό έδαφος, ανάστροφο ρήγμα)

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

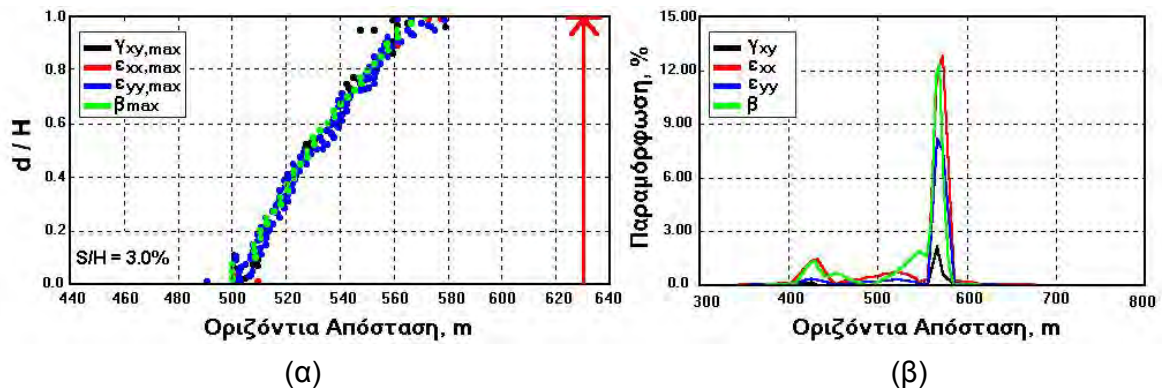
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο γενικός σχολιασμός όλων των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με έμφαση στη σύγκριση της υπολογισθείσας συμπεριφοράς της διάδοσης της διάρρηξης για τις περιπτώσεις των κανονικών και ανάστροφων ρηγμάτων τόσο για συνεκτικά όσο και για μη-συνεκτικά εδάφη. Στην αρχή σχολιάζεται ο τρόπος διάδοσης της διάρρηξης από γεωμετρική άποψη καθώς και το ύψος ανάπτυξης και η γωνία διάδοσης της επιφάνειας αστοχίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκριτικά αποτελέσματα αναλύσεων (τιμές β_{max} , B/H, C/H) με βάση το είδος του ρήγματος (κανονικό ή ανάστροφο) σε συνεκτικά και μη-συνεκτικά εδαφικά στρώματα. Αντίστοιχες συγκρίσεις παρουσιάζονται με βάση το είδος του εδάφους (συνεκτικό ή μη-συνεκτικό) για την περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων (όπου χρησιμοποιείται η συνισταμένη σεισμική ολίσθηση, S) και των ανάστροφων ρηγμάτων (με βάση την κατακόρυφη συνιστώσα, S_v , της σεισμικής ολίσθησης). Ακολουθεί η παρουσίαση των προτεινόμενων νομογραφημάτων, που έχουν συνταχθεί με βάση όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων και τα οποία διευκολύνουν τον άμεσο προσδιορισμό του εύρους και της θέσης της επικίνδυνης ζώνης όταν είναι γνωστά το είδος και τα χαρακτηριστικά του ρήγματος (S, α) και του εδάφους (ϵ_f). Τέλος, παρουσιάζονται συγκρίσεις των περιορισμένων αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας με τις τιμές που προκύπτουν από τα προτεινόμενα νομογραφήματα της παρούσας έρευνας.

7.1. Ανάπτυξη και Διάδοση της Εδαφικής Διάρρηξης

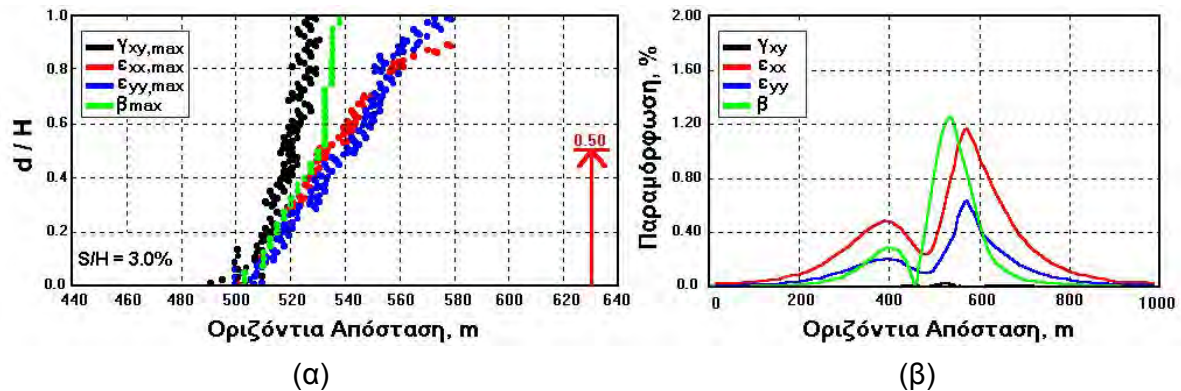
Όπως έχει αναφερθεί στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις έχει τη δυνατότητα γραφικής παρουσίασης των σημείων πλαστικοποίησης (plastic points) και των σημείων ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων (tension points) τα οποία προκύπτουν μετά την επιβολή της εξαναγκασμένης μετακίνησης. Σχετικά διαγράμματα, που παράγονται από το πρόγραμμα μετεπεξεργασίας FAULT έχουν παρουσιασθεί στα ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 και ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 για τυπικές περιπτώσεις ρηγμάτων υποβάθρου ενώ στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α περιλαμβάνονται όλα τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις.

Η παρατήρηση όλων των διαγραμμάτων που περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α δείχνει ότι τα σημεία πλαστικοποίησης καλύπτουν ζώνη σημαντικού εύρους η οποία διαδίδεται από τη στάθμη του υποβάθρου προς την επιφάνεια του εδάφους όσο αυξάνεται το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης. Η ανωτέρω παρατήρηση ισχύει για τη διάδοση τόσο της κύριας όσο και της δευτερεύουσας εδαφικής διάρρηξης. Το σημαντικό εν τούτοις εύρος της ζώνης πλαστικοποίησης δεν επιτρέπει την εξαγωγή πρακτικών συμπερασμάτων για το ακριβές σχήμα της επιφάνειας της εδαφικής διάρρηξης και του σημείου στο οποίο αυτή τέμνει την επιφάνεια του εδάφους. Για το λόγο αυτό το πρόγραμμα FAULT παράγει διαγράμματα, όπως αυτά των Σχ. 5-2 (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5) και Σχ. 6-2 (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6), τα οποία παρουσιάζουν αφενός το γεωμετρικό τόπο των μεγίστων τιμών των παραμορφώσεων γ_{xy} , ϵ_{xx} , ϵ_{yy} και της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , και αφετέρου την κατανομή των ανωτέρω παραμορφώσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Τέτοια διαγράμματα κατασκευάστηκαν για όλες τις περιπτώσεις των αναλύσεων της παρούσας έρευνας και περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

Στα Σχ. 7-1 και Σχ. 7-2 παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα του Σχ. 7-1 αναφέρονται στην περίπτωση κανονικού ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε μη-συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$) ρήγματος ενώ αυτά του Σχ. 7-2 στην περίπτωση ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$). Παρατηρείται ότι όταν η διάδοση της διάρρηξης φθάνει την επιφάνεια του εδάφους οι καμπύλες όλων των μεγίστων τιμών παραμορφώσεων (γ_{xy} , ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , β) ταυτίζονται σε όλο το μήκος της διαδρομής. Αντίθετα στην περίπτωση που το ύψος ανάπτυξης της διάρρηξης παραμένει στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος, οι καμπύλες διάδοσης των παραμορφώσεων παύουν να ταυτίζονται για τιμές του ύψους μεγαλύτερες του h_f . Στην περίπτωση αυτή, οι καμπύλες διάδοσης των $\gamma_{xy,max}$ και β_{max} γίνονται σχεδόν κατακόρυφες ενώ οι καμπύλες των $\epsilon_{xx,max}$ και $\epsilon_{yy,max}$ συνεχίζουν να διαδίδονται ακολουθώντας την αρχική γενική διεύθυνση όλων των καμπυλών. Με βάση τα αποτελέσματα των συγκρίσεων της μορφής των υπολογισθεισών καμπυλών διάδοσης με αυτά των παρατηρήσεων πραγματικών ρηγμάτων (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2) γίνεται δεκτό ότι ο συνδυασμός των καμπυλών β_{max} και $\gamma_{xy,max}$ περιγράφει σχετικά ικανοποιητικά το σχήμα της επιφάνειας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης.



Σχήμα 7-1. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)



Σχήμα 7-2. (α) Μεταβολή της θέσης των μεγίστων τιμών των οριζοντίων, ϵ_{xx} , κατακορύφων ϵ_{yy} , και διατμητικών παραμορφώσεων, γ_{xy} , καθώς και της γωνιακής παραμόρφωσης, β , με την κανονικοποιημένη απόσταση από τη βάση του εδαφικού στρώματος (d/H) και (β) κατανομή των επιφανειακών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $S/H=3.0\%$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)

Όπως φάνηκε από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 και ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6, ιδιαίτερο πρακτικό ενδιαφέρον κατά τη διάδοση της εδαφικής διάρρηξης προς την επιφάνεια παρουσιάζει ο καθορισμός του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , και της γωνίας διάδοσης της διάρρηξης, ϕ_d . Στις ενότητες που ακολουθούν συνοψίζονται τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων και συγκρίνονται οι περιπτώσεις των κανονικών και των ανάστροφων ρηγμάτων για τους δύο εξεταζόμενους τύπους εδαφών.

7.1.1. Ύψος Ανάπτυξης της Εδαφικής Διάρρηξης

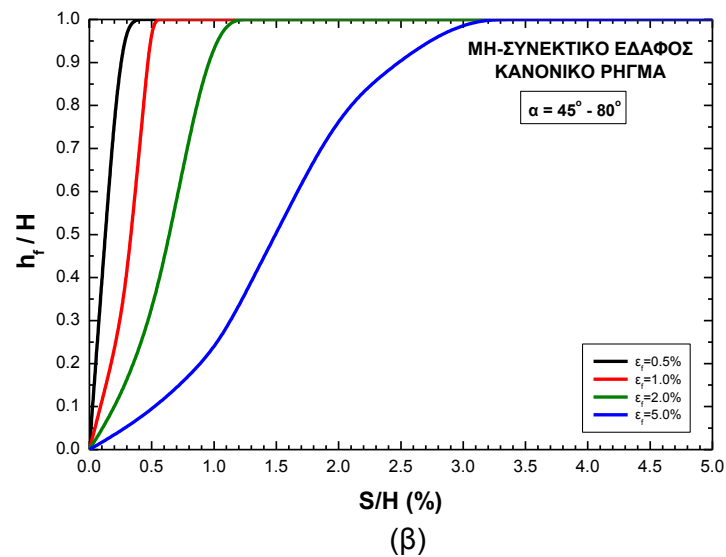
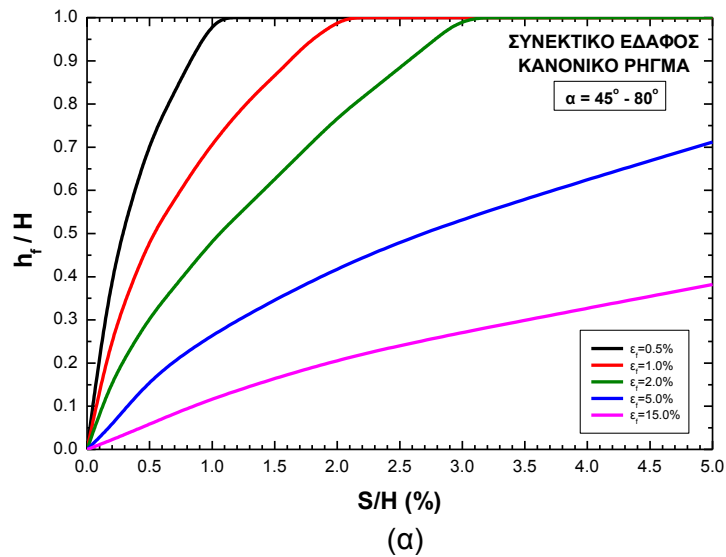
Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, το σχετικό ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f/H , στο εδαφικό στρώμα που υπέρκειται του υποβάθρου εξαρτάται μόνο από

το σχετικό μέγεθος της σεισμικής διάρρηξης και την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f . Στα διαγράμματα του Σχ. 7-3 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα και απλοποιημένα τα σχετικά διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Η σύγκριση αποδεικνύει ότι στην περίπτωση των κανονικών ρηγμάτων η καθ' ύψος ανάπτυξη της εδαφικής διάρρηξης γίνεται με πολύ μεγαλύτερη ευχέρεια στα μη-συνεκτικά σε σχέση με τα συνεκτικά εδάφη. Παρατηρείται μάλιστα ότι στο μη-συνεκτικό έδαφος η διάρρηξη φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους για όλες τις χρησιμοποιηθείσες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας. Για την περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος, εν τούτοις δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση της συμπεριφοράς για τα δύο είδη εδαφών. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι η παρατηρούμενη τάση είναι αντίθετη αυτής που αναφέρθηκε στα προηγούμενα. Φαίνεται δηλαδή, ότι η εδαφική διάρρηξη φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους με περισσότερη ευχέρεια στα συνεκτικά σε σχέση με τα μη-συνεκτικά εδάφη. Σημειώνεται ότι το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης αποτελεί σημαντική παράμετρο, ιδιαίτερα στην επιβεβαίωση της ύπαρξης τυφλών ρηγμάτων καθώς και στην περίπτωση της εκτίμησης του απαιτούμενου πάχους τεχνητού εδαφικού στρώματος τοποθετημένου στην επιφάνεια ρηγματωμένου υποβάθρου με σκοπό την απορρόφηση των παραμορφώσεων που μεταβιβάζονται στη θεμελίωση των γειτονικών τεχνικών έργων (Bray 2001).

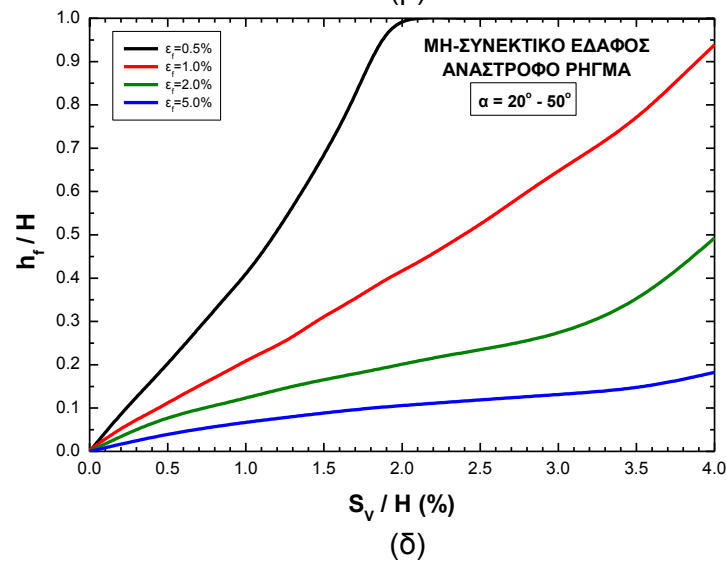
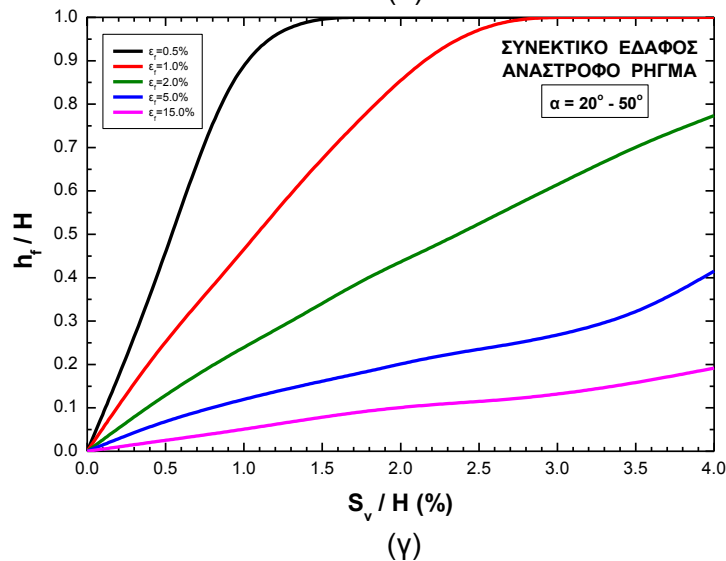
7.1.2. Γωνία Διάδοσης της Διάρρηξης του Εδάφους

Από όσα εκτέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε φανερό ότι η γωνία διάδοσης της διάρρηξης στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος, εξάρταται μόνον από τη γωνία κλίσης α του ρήγματος υποβάθρου. Με σκοπό τη σύγκριση της συμπεριφοράς των εξετασθέντων περιπτώσεων των κανονικών και αναστρόφων ρηγμάτων και συνεκτικών και μη-συνεκτικών εδαφών, παρουσιάζονται στο διάγραμμα του Σχ. 7-4 συγκεντρωμένες οι μέσες καμπύλες όλων των περιπτώσεων που εξετάστηκαν. Από την παρατήρηση του διαγράμματος προκύπτει ότι για την περίπτωση του κανονικού ρήγματος η τιμή της γωνίας ϕ_δ δεν επηρεάζεται αισθητά από την κατηγορία του εδάφους. Λαμβάνοντας υπόψη και την πολύ μικρού βαθμού εξάρτηση από τη γωνία κλίσης, α , του ρήγματος υποβάθρου, είναι δυνατό να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι για όλες τις αναλύσεις της παρούσας έρευνας η τιμή της γωνίας διάδοσης προέκυψε περίπου σταθερή και ίση με $\phi_\delta \approx 55^\circ$.

Για την περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος η τιμή της γωνίας ϕ_δ προκύπτει σημαντικά μεγαλύτερη κατά τη διάδοση της διάρρηξης σε συνεκτικό σε σχέση με μη-συνεκτικό έδαφος. Επίσης, η εξάρτηση από την τιμή της γωνίας κλίσης α είναι πολύ πιο έντονη συγκρινόμενη με την περίπτωση του κανονικού ρήγματος. Επομένως για τη διάδοση της διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου, η τιμή της γωνίας ϕ_δ μπορεί να υπολογίζεται με βάση τις καμπύλες του διαγράμματος του Σχ. 7-2.

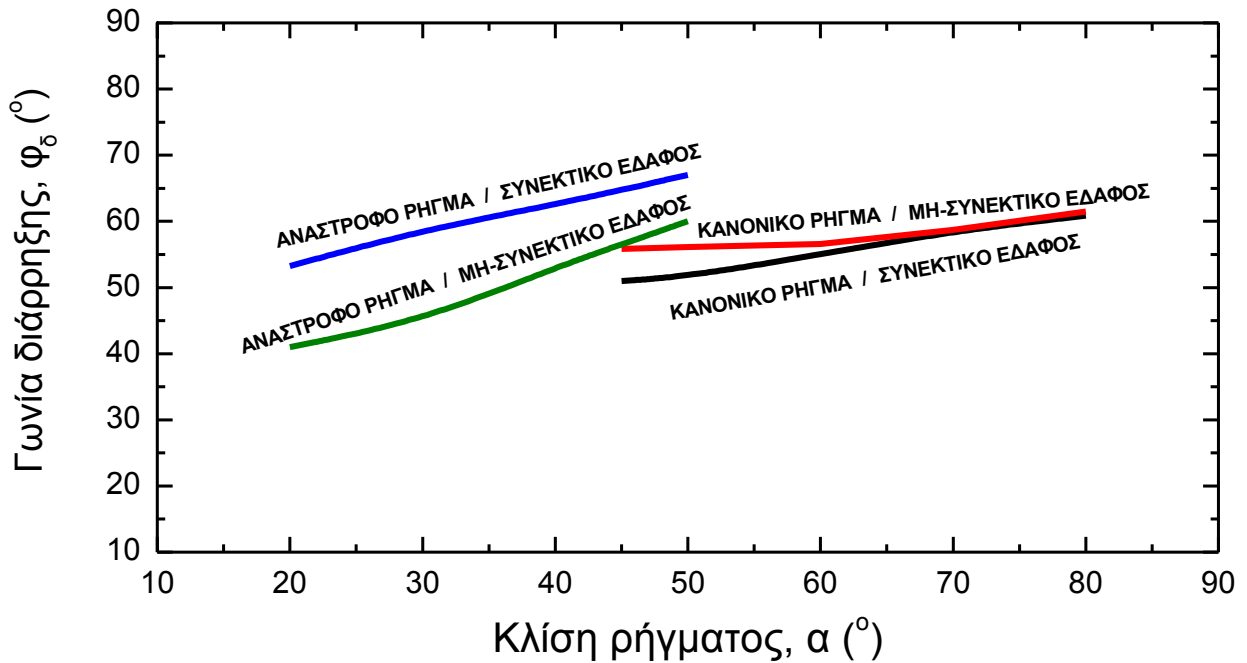


ΚΑΝΟΝΙΚΟ
ΡΗΓΜΑ



ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ
ΡΗΓΜΑ

Σχήμα 7-3. Νομογραφήματα υπολογισμού του σχετικού ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης (h_f/H) ως συνάρτηση της σχετικής σεισμικής ολίσθησης (α) κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος (β) κανονικό ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος (γ) ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος (δ) ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος



Σχήμα 7-4. Εξάρτηση της γωνίας διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης από την κλίση του ρήγματος υποβάθρου για όλες τις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν

7.2. Σύγκριση Συμπεριφοράς Κανονικών και Ανάστροφων Ρηγμάτων Υποβάθρου

Κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων στα προηγούμενα κεφάλαια διαπιστώθηκαν ορισμένες ομοιότητες και διαφορές στη συμπεριφορά του εδαφικού στρώματος κατά τη διάδοση της διάρρηξης του υποκείμενου υποβάθρου. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων της διάδοσης της διάρρηξης κανονικού και ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου (με κοινή γωνία κλίσης $\alpha=45^\circ$), για αυξανόμενες τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης υποβάθρου και τιμές της παραμέτρου ε_f κυμαινόμενες από 0.5% έως 15.0% (για συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος). Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται έτσι ώστε να είναι ευχερής η σύγκριση της συμπεριφοράς όσον αφορά την τιμή της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης καθώς και του εύρους και θέσης της επικίνδυνης ζώνης.

7.2.1. Μέγιστη Γωνιακή Παραμόρφωση

Στα διαγράμματα του Σχ. 7-5 συγκρίνονται οι υπολογισθείσες τιμές β_{\max} , για τα δύο είδη ρηγμάτων για την περίπτωση του συνεκτικού εδάφους ($\varepsilon_f=0.5\%$). Παρατηρείται ότι η διάρρηξη κανονικού ρήγματος έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγαλύτερων τιμών γωνιακής παραμόρφωσης σε σχέση με αυτές του ανάστροφου ρήγματος. Η διαφοροποίηση όμως αυτή ισχύει μόνο για την περίπτωση της ψαθυρής συμπεριφοράς και σχεδόν παύει να ισχύει για υψηλότερες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας. Στην περίπτωση του μη-συνεκτικού εδάφους, Σχ. 7-6, η διαφοροποίηση γίνεται

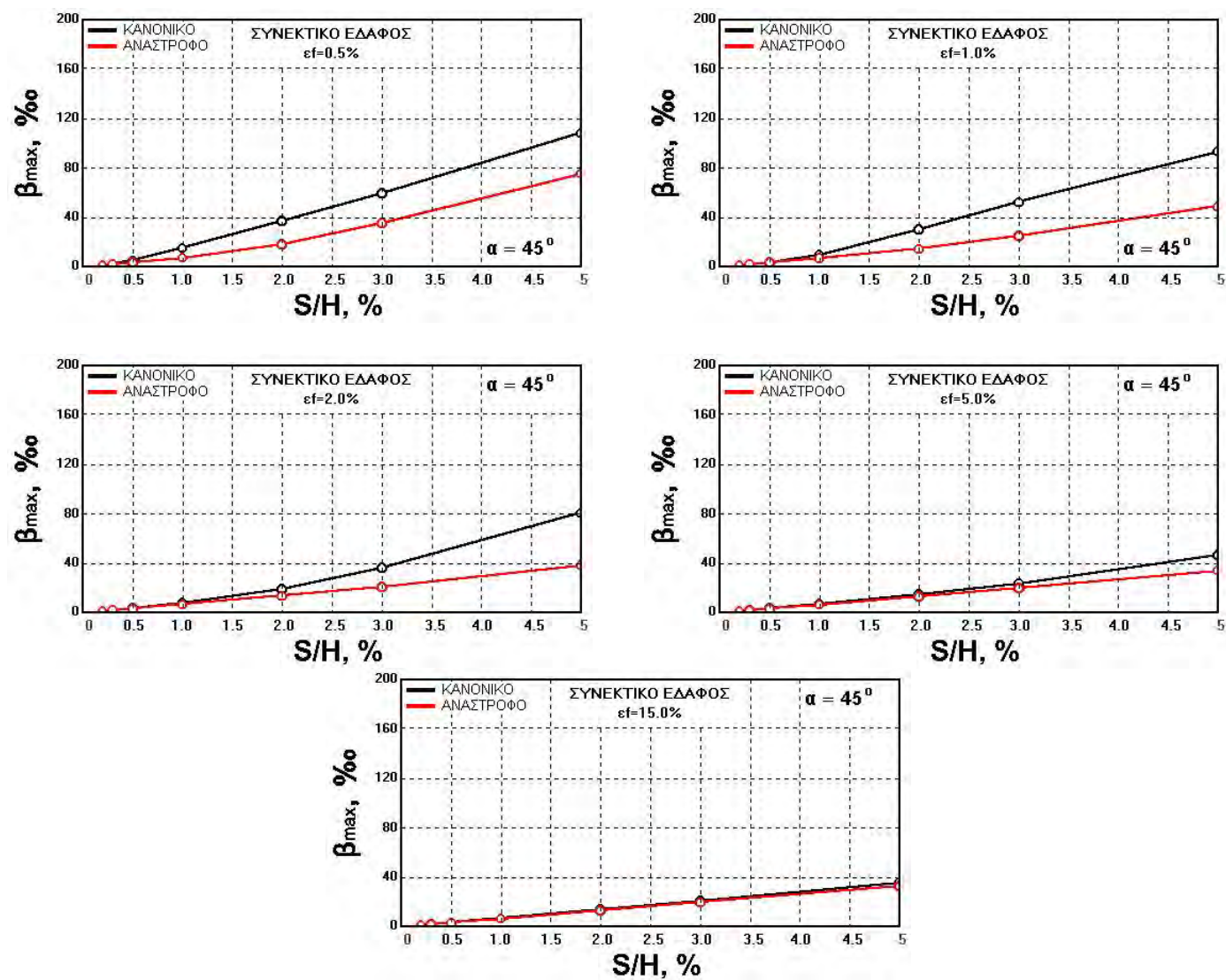
εντονότατη, ιδιαίτερα για μεγάλες τιμές της σεισμικής ολίσθησης του υποβάθρου. Η ανωτέρω διαφοροποίηση της συμπεριφοράς οφείλεται κυρίως στην μεγάλη αύξηση της τιμής β_{\max} για το κανονικό ρήγμα, ενώ για το ανάστροφο ρήγμα οι τιμές της γωνιακής παραμόρφωσης δεν μεταβάλλονται αισθητά για τα συνεκτικά και μη-συνεκτικά εδάφη. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ περιλαμβάνονται αντίστοιχα αποτελέσματα συγκρίσεων για τιμές ε_f μεγαλύτερες του 0.5%.

7.2.2. Εύρος Επικίνδυνης Ζώνης

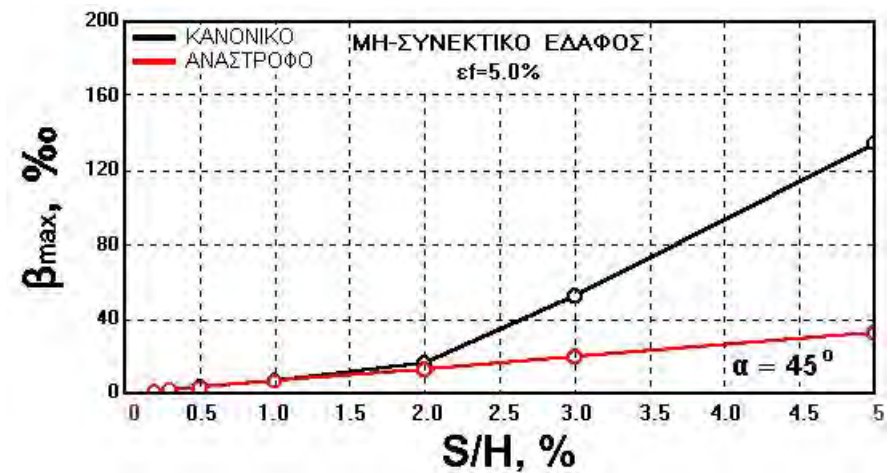
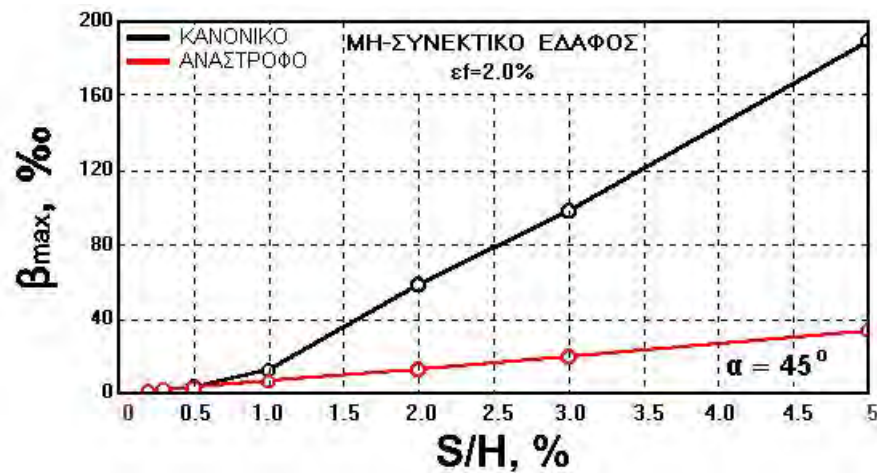
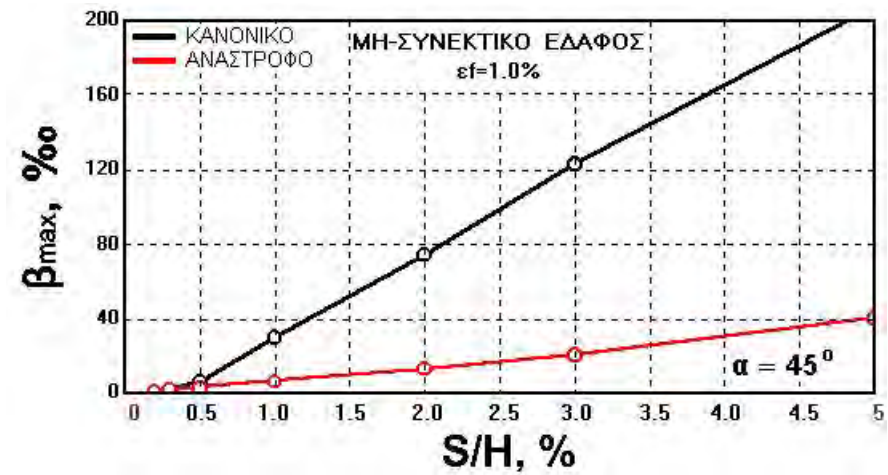
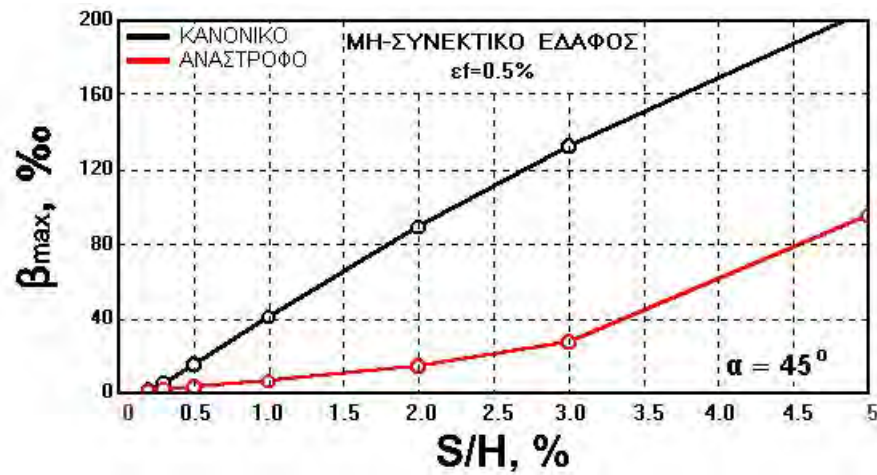
Στα διαγράμματα του Σχ. 7-7 συγκρίνονται οι υπολογισθείσες τιμές $B_{2\%}$ για τα δύο είδη ρηγμάτων, για την περίπτωση του συνεκτικού εδάφους. Παρατηρείται ότι για τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης S/H από 0.5% έως 1.0% η συμπεριφορά των δύο ειδών ρηγμάτων δεν διαφοροποιείται. Για μεγαλύτερες όμως τιμές της σεισμικής ολίσθησης, το εύρος της επικίνδυνης ζώνης είναι σημαντικά μεγαλύτερο για το ανάστροφο ρήγμα. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι για μεγάλες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας δεν παρατηρείται σχεδόν καμία διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των δύο ειδών ρηγμάτων. Για την περίπτωση του μη-συνεκτικού εδάφους τα αποτελέσματα των συγκρίσεων παρουσιάζονται στο Σχ. 7-8. Στην περίπτωση αυτή η αύξηση του εύρους $B_{2\%}$ γίνεται εντονότατη και παραμένει έντονη ακόμη και στην περίπτωση των μεγάλων τιμών του ε_f . Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ περιλαμβάνονται διαγράμματα σύγκρισης για τα εύρη $B_{5\%}$, $B_{10\%}$, και $B_{20\%}$, στα οποία παρατηρείται ανάλογη συμπεριφορά με αυτή της περίπτωσης $B_{2\%}$.

7.2.3. Θέση της Επικίνδυνης Ζώνης

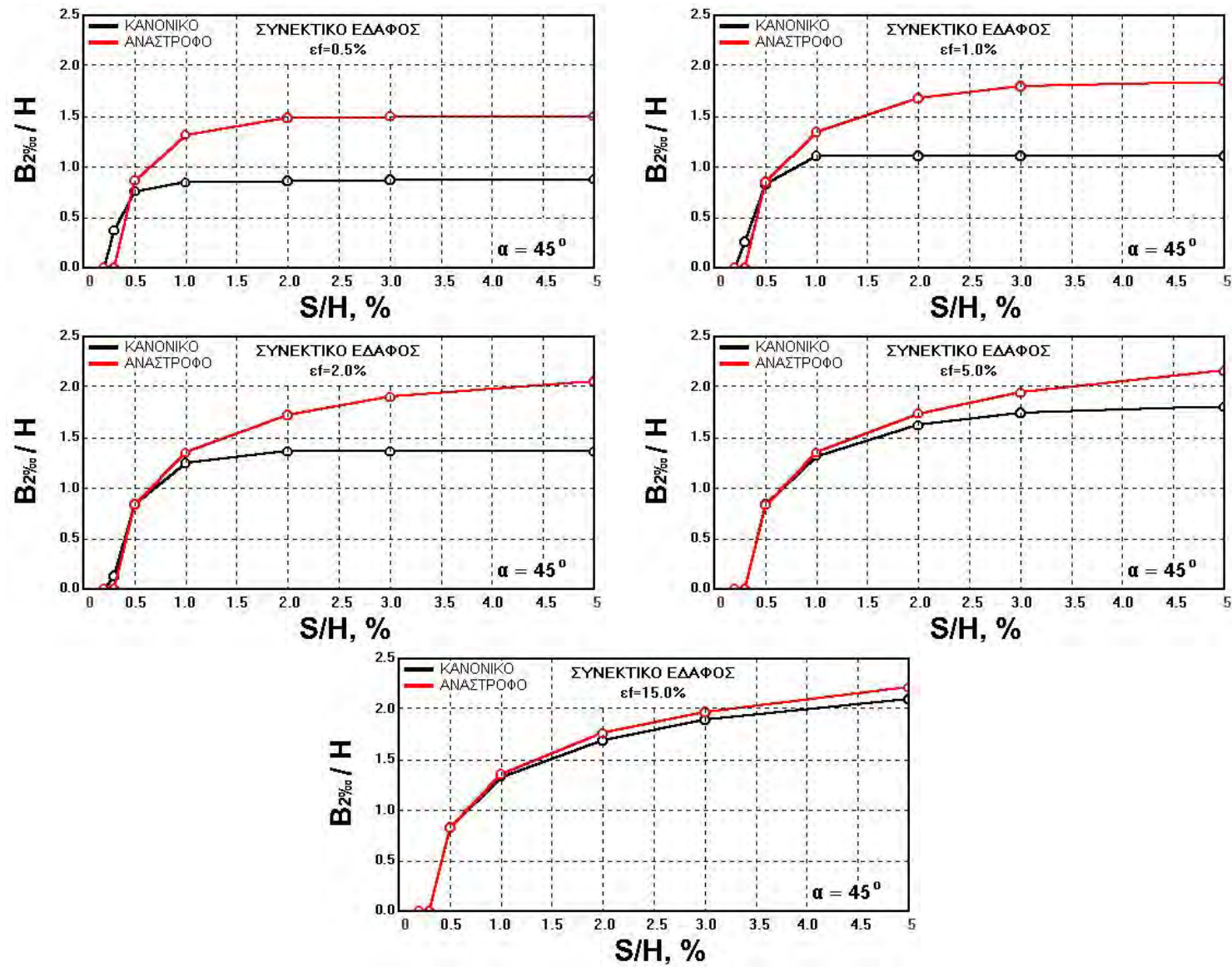
Οι συγκρίσεις για τη θέση της επικίνδυνης ζώνης παρουσιάζονται στα διαγράμματα του Σχ. 7-9. Παρατηρείται ότι η σχετική απόσταση $C_{2\%}/H$ είναι μικρότερη για τα ανάστροφα σε σχέση με τα κανονικά ρήγματα, για την περίπτωση του συνεκτικού εδάφους, δηλαδή η επικίνδυνη ζώνη βρίσκεται πλησιέστερα στο σημείο αναφοράς Ο. Η διαφοροποίηση παύει εν τούτοις να ισχύει, για υψηλές τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας. Στην περίπτωση του μη-συνεκτικού εδάφους και για μικρές τιμές του ε_f παρατηρείται η ύπαρξη μιας κρίσιμης τιμής της σχετικής σεισμικής ολίσθησης ($S/H \approx 2.0\%$ έως 2.5%) εκατέρωθεν της οποίας η συμπεριφορά διαφοροποιείται, Σχ. 7-10. Για τιμές της σεισμικής ολίσθησης μικρότερης της κρίσιμης, η συμπεριφορά είναι όμοια με αυτήν του συνεκτικού εδάφους, ενώ αντιστρέφεται για μεγαλύτερες τιμές της σεισμικής ολίσθησης. Αποτελέσματα συγκρίσεων για τις τιμές $C_{5\%}/H$, $C_{10\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.



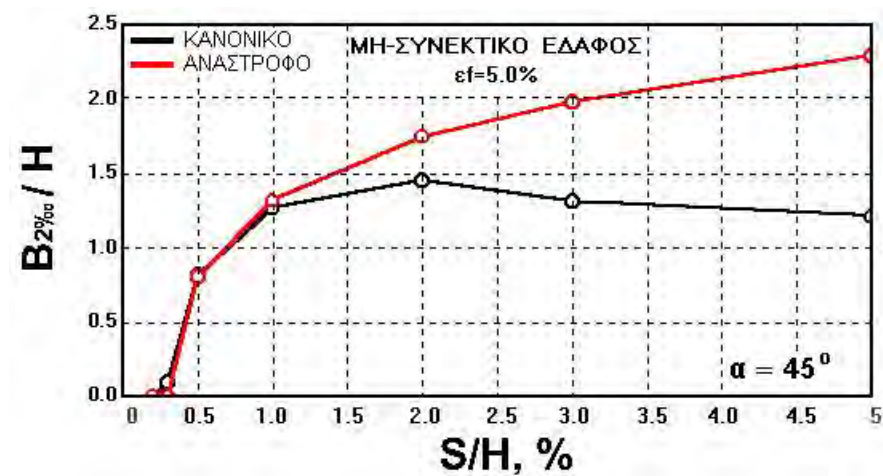
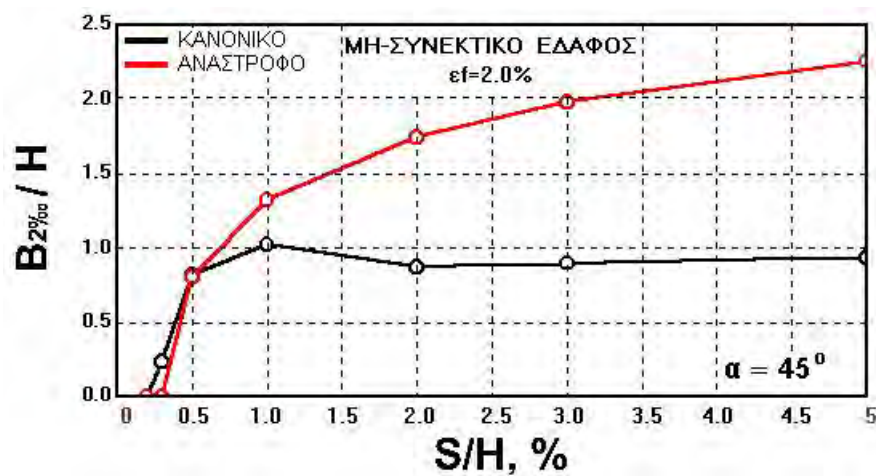
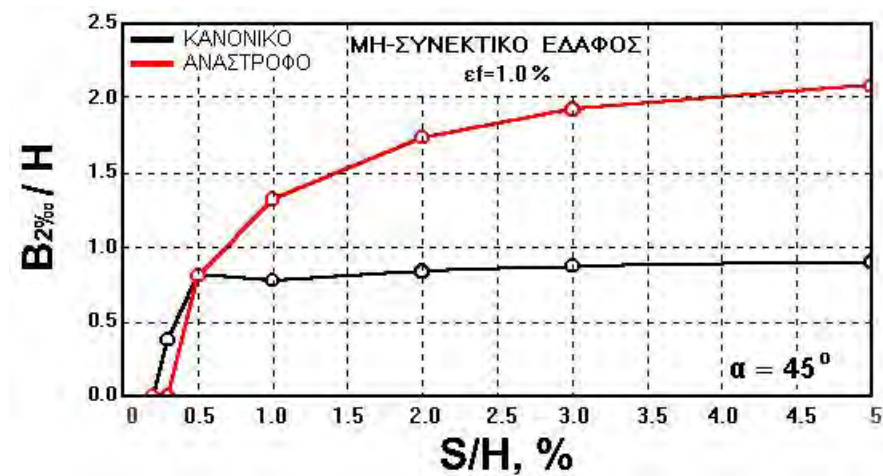
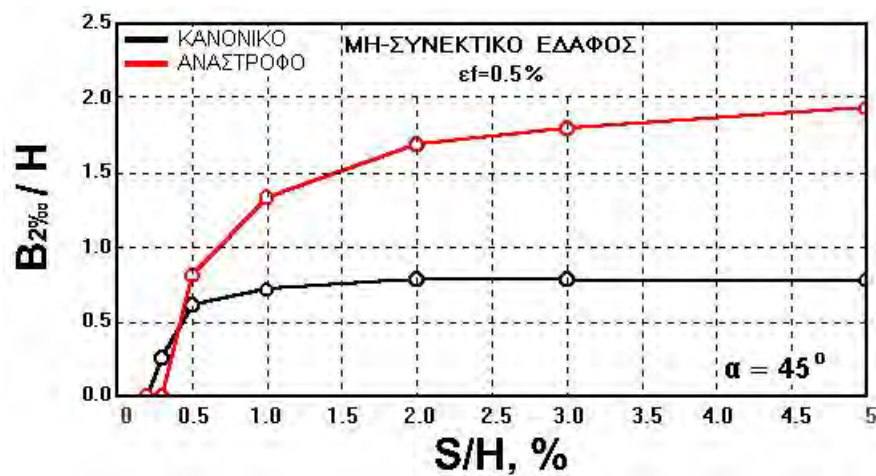
Σχήμα 7-5. Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση β_{\max} -(S/H) για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , και **συνεκτικό έδαφος**



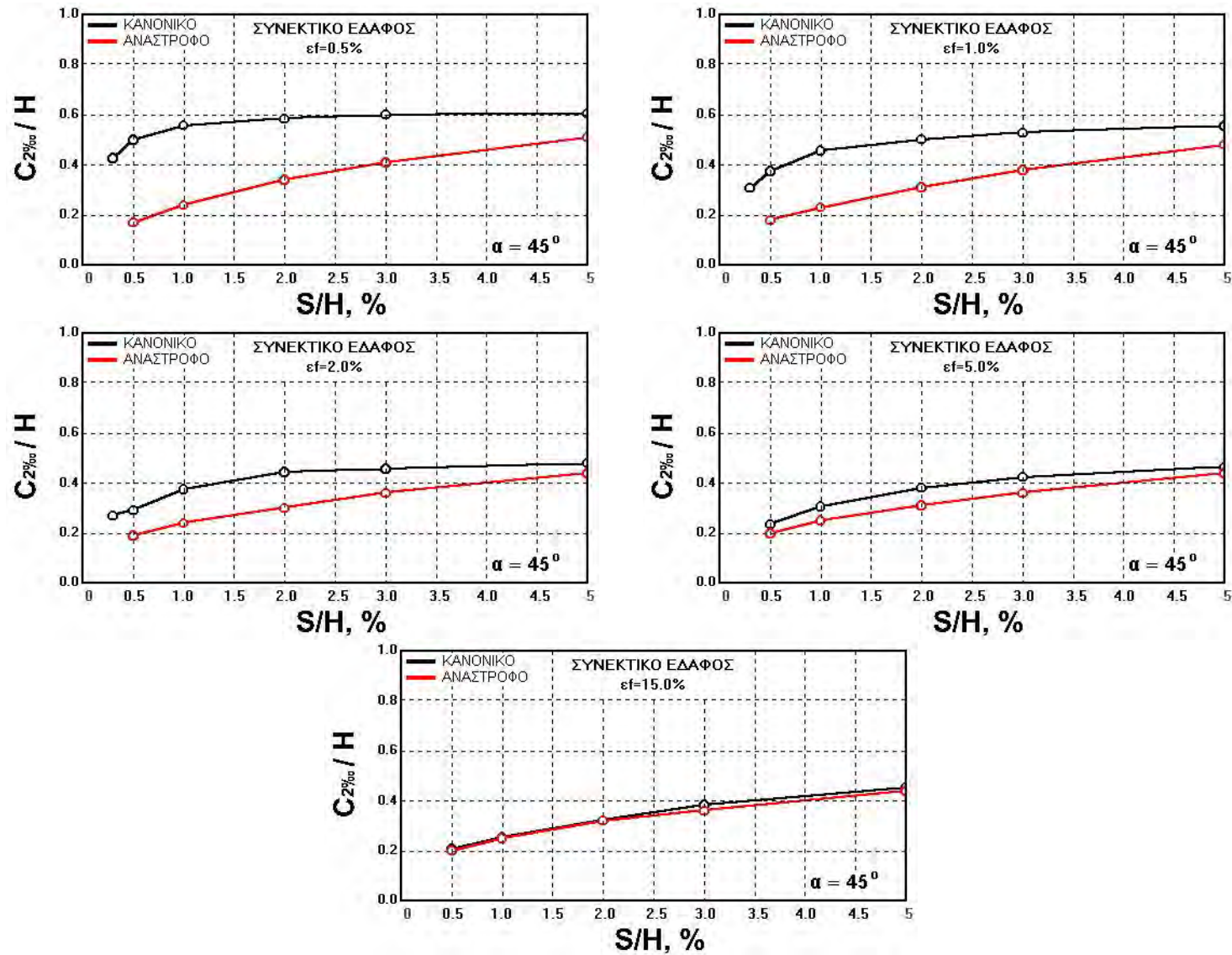
Σχήμα 7-6. Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση β_{\max} -(S/H) για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , και μη-συνεκτικό έδαφος



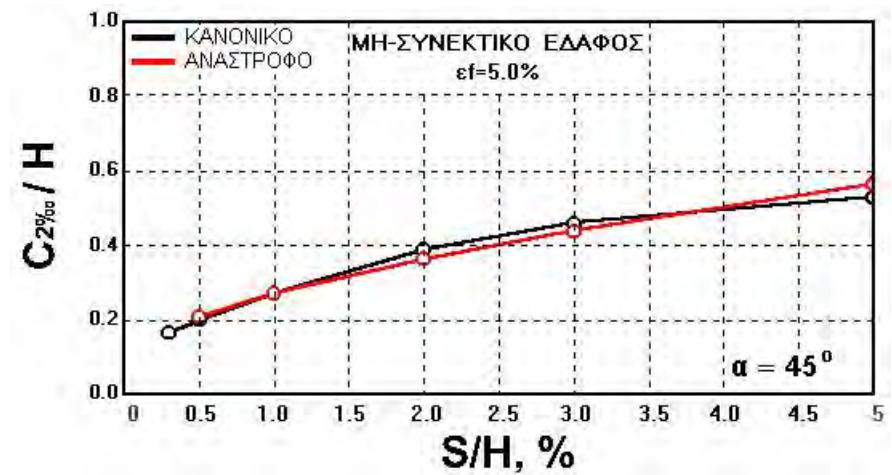
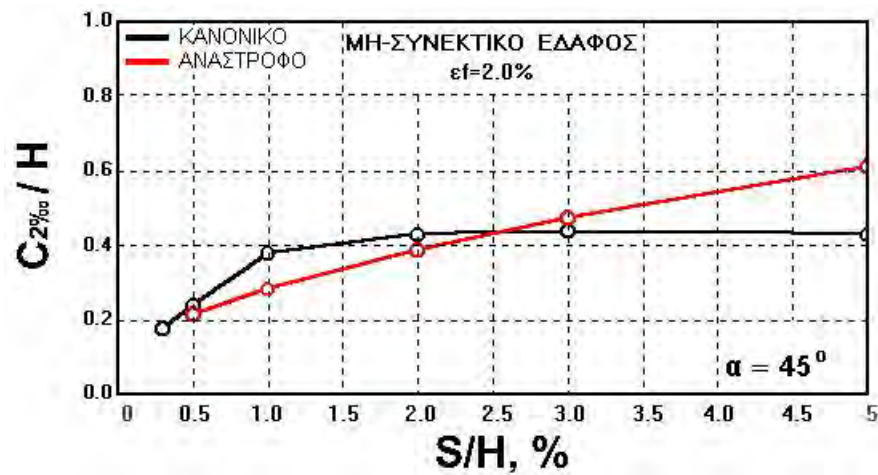
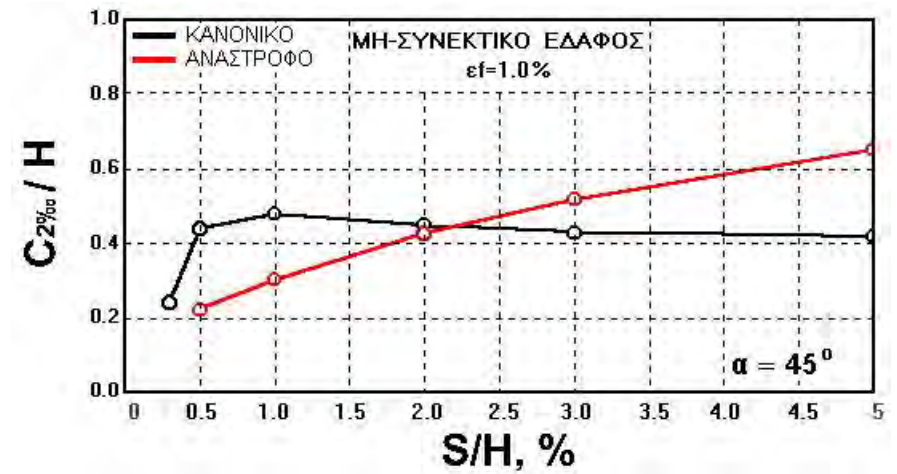
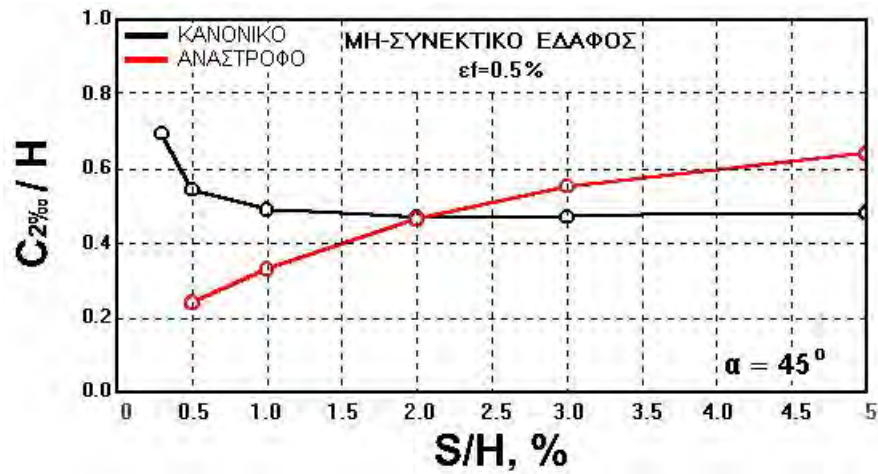
Σχήμα 7-7. Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $B_{2\%}$ -(S/H) για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και **συνεκτικό** έδαφος



Σχήμα 7-8. Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $B_{2\% \alpha} - (S/H)$ για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f , και μη-συνεκτικό έδαφος



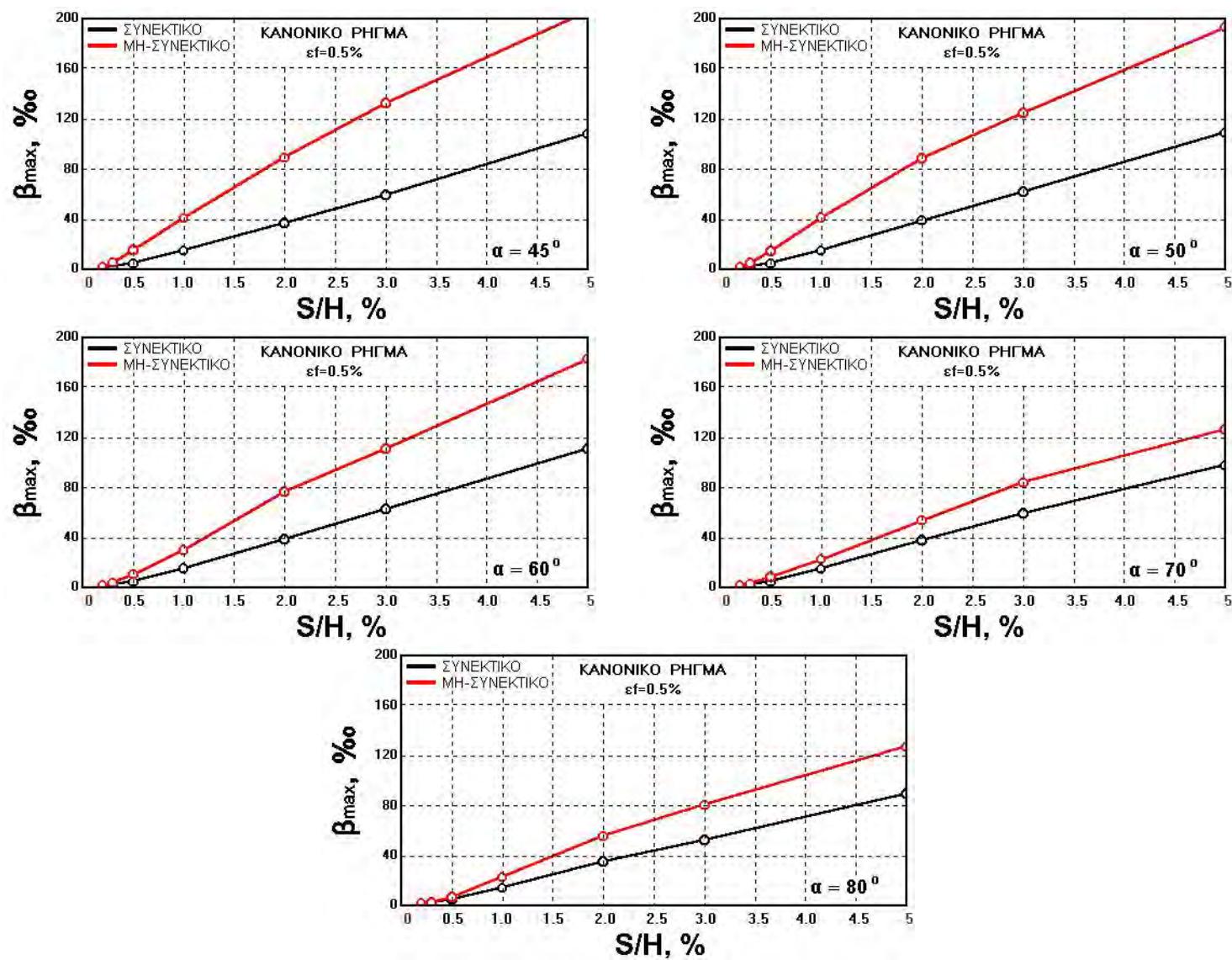
Σχήμα 7-9. Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $C_{2\%}$ -(S/H) για διάφορες τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ε_f , και **συνεκτικό έδαφος**



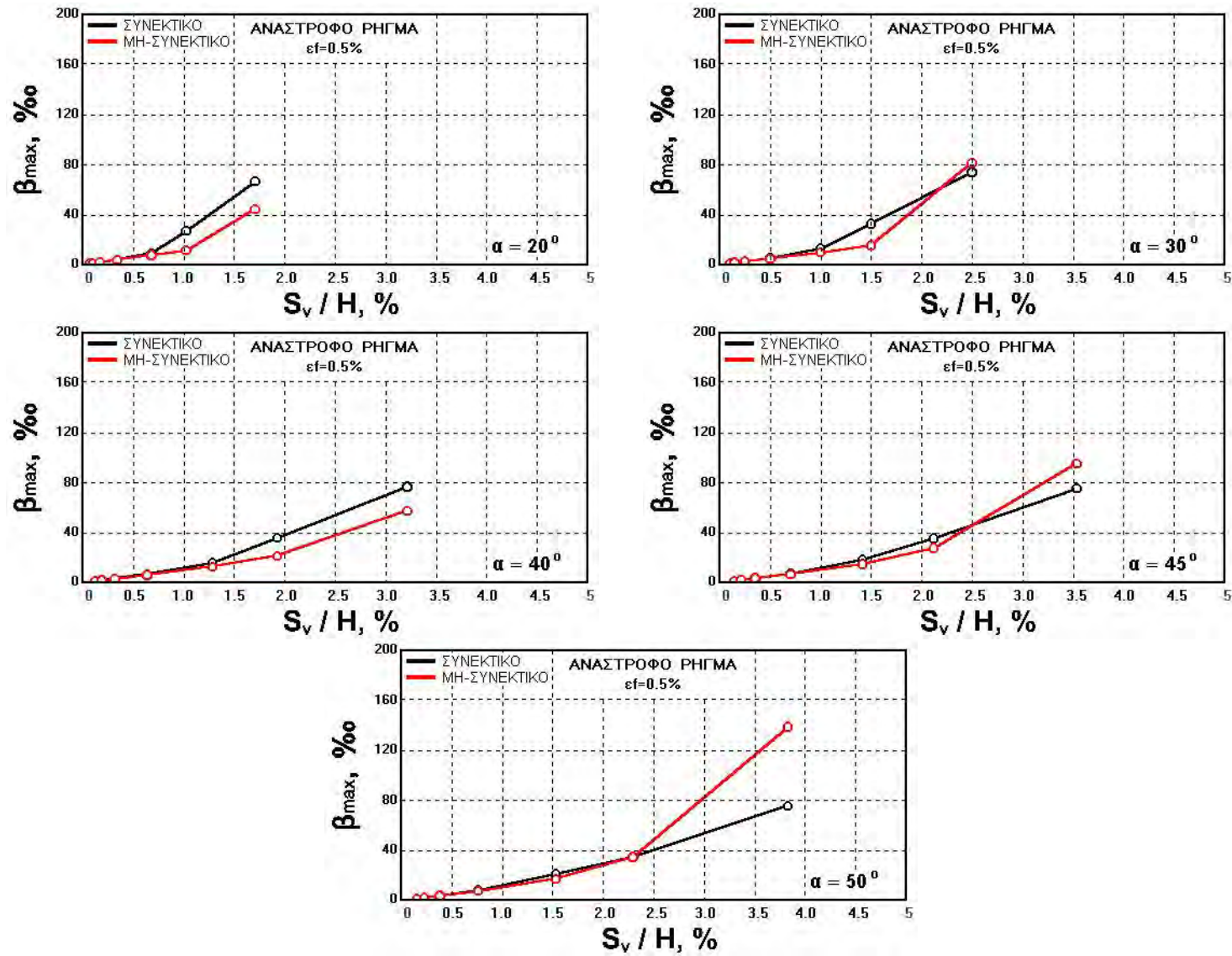
Σχήμα 7-10. Επίδραση του είδους του ρήγματος στη συσχέτιση $C_{2\%}-(S/H)$ για διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α , και μη-συνεκτικό έδαφος

7.3. Σύγκριση Συμπεριφοράς Συνεκτικών και Μη-συνεκτικών Εδαφών

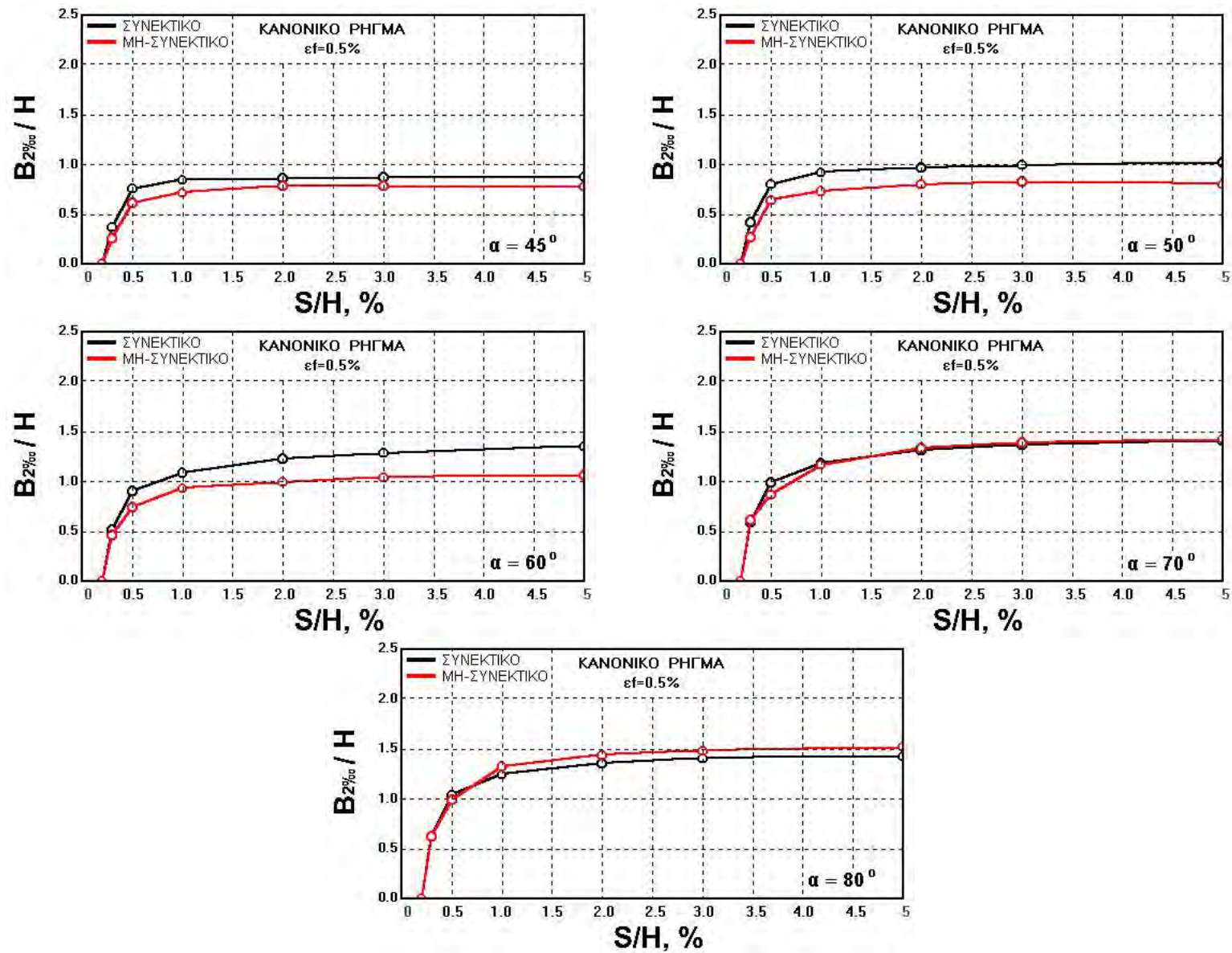
Για τη σύγκριση της συμπεριφοράς των συνεκτικών και μη-συνεκτικών εδαφών κατά τη διάδοση της διάρρηξης του υποβάθρου παρουσιάζονται τα διαγράμματα των Σχ. 7-11 έως Σχ. 7-16. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των ανάστροφων ρηγμάτων χρησιμοποιείται ως παράμετρος η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής ολίσθησης S_v/H . Η παρατήρηση των διαγραμμάτων οδηγεί, όπως είναι αναμενόμενο, σε συμπεράσματα παρόμοια με αυτά που διατυπώθηκαν στην Ενότητα 7-2.



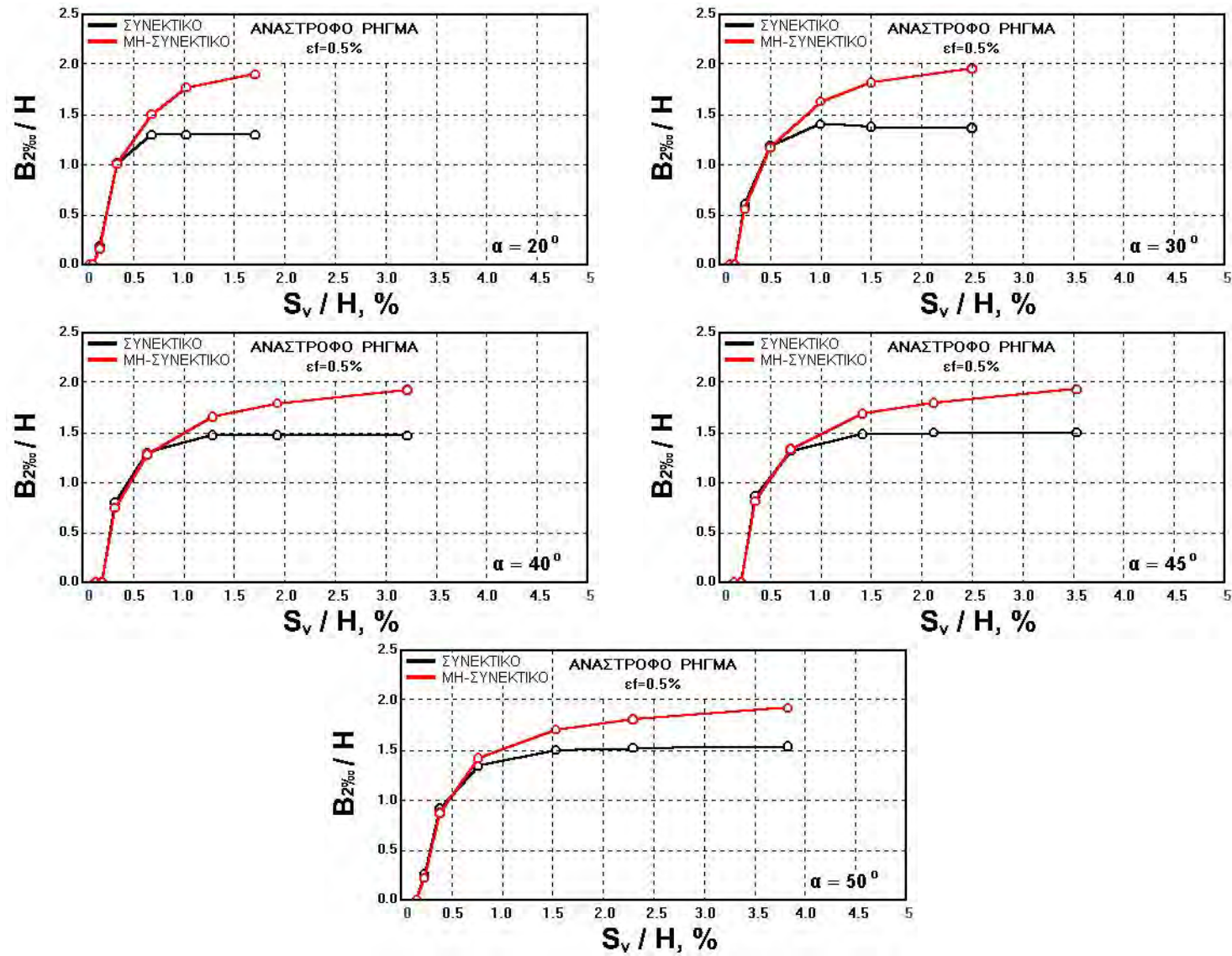
Σχήμα 7-11. Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση β_{max} -(S/H) για **κανονικό** ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α



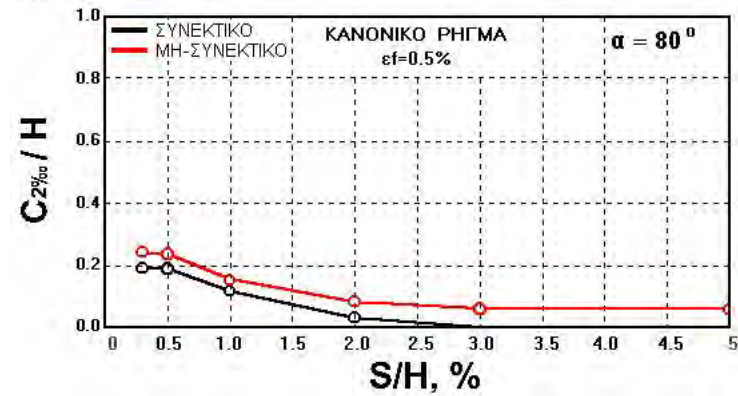
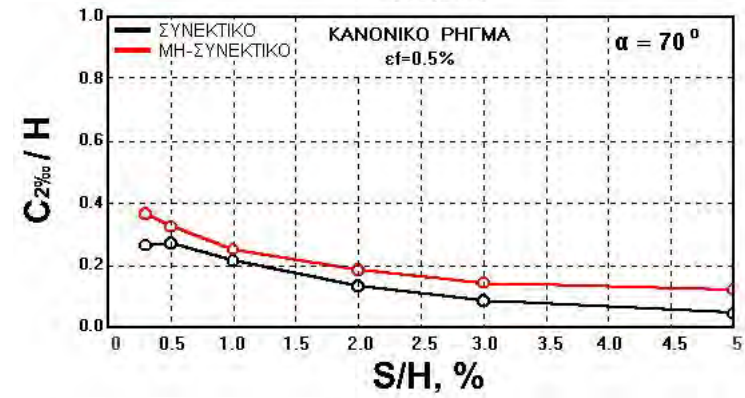
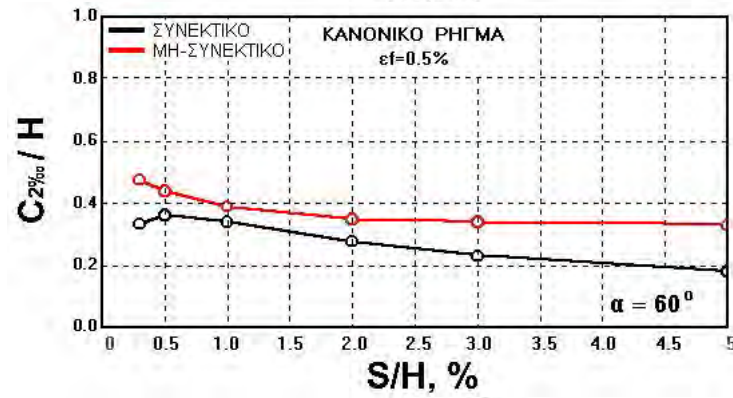
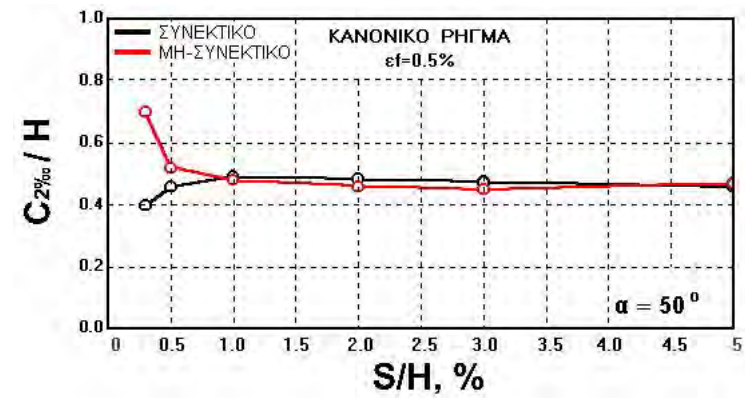
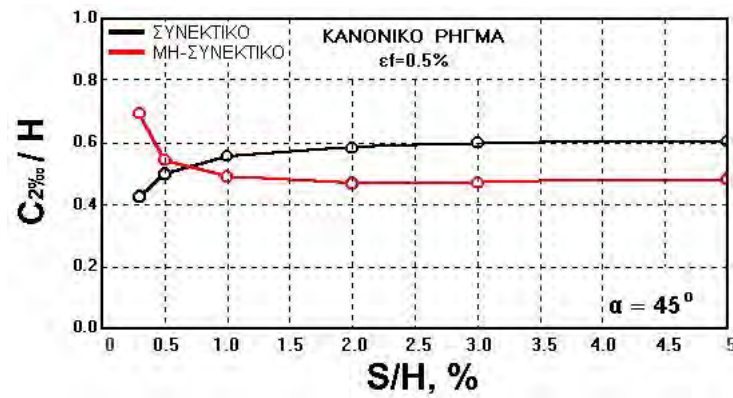
Σχήμα 7-12. Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $\beta_{max}(S_v/H)$ για ανάστροφο ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α



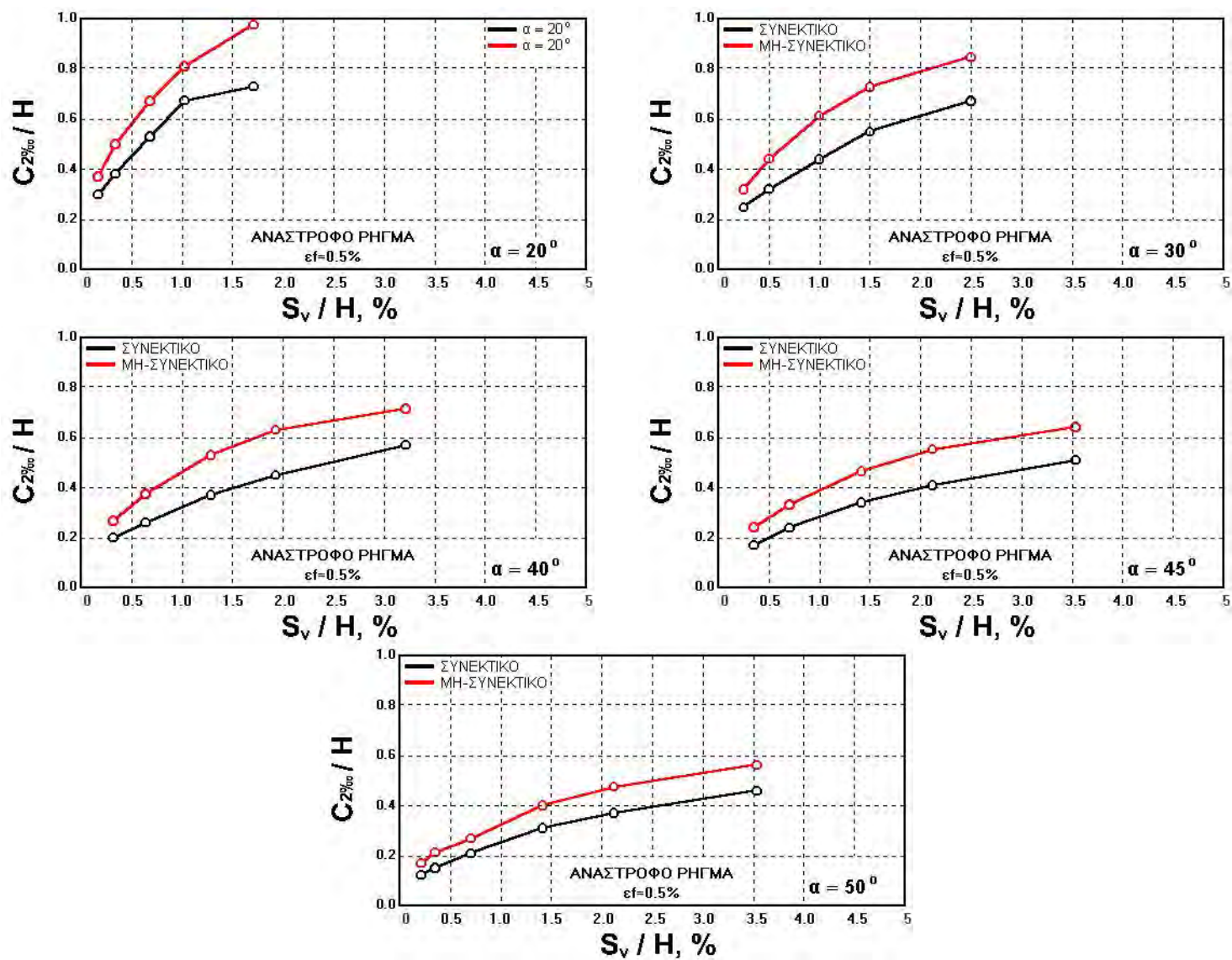
Σχήμα 7-13. Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $B_{2\%}$ -(S/H) για κανονικό ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α



Σχήμα 7-14. Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $B_{2\%}/H$ -(S_v/H) για **ανάστροφο** ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α



Σχήμα 7-15. Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $C_{2\%_0}$ -(S/H) για κανονικό ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α



Σχήμα 7-16. Επίδραση της κατηγορίας εδάφους στη συσχέτιση $C_{2\% \alpha}-(S_v/H)$ για **ανάστροφο** ρήγμα και διάφορες τιμές της γωνίας κλίσης, α

7.4. Κατασκευή Νομογραφήματων – Κύρια Ζώνη Διάρρηξης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα νομογραφήματα τα οποία συντάχθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τη διευκόλυνση της χρήσης τους σε πρακτικές εφαρμογές. Τα νομογραφήματα επιτρέπουν τον προσδιορισμό των τιμών β_{\max} , $B_{2\%}$, $B_{5\%}$, $B_{10\%}$, και $B_{20\%}$ καθώς και των τιμών $C_{2\%}$, $C_{5\%}$, $C_{10\%}$ και $C_{20\%}$, για τις επιθυμητές τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, S/H , της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f και της γωνίας κλίσης, α . Υπενθυμίζεται ότι η τιμή της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης και του εύρους της επικίνδυνης ζώνης εξαρτάται σε αμελητέο βαθμό από την τιμή της γωνίας κλίσης α , και γι' αυτό στα αντίστοιχα νομογραφήματα παρουσιάζονται μέσες καμπύλες που προκύπτουν όπως φαίνεται στα διαγράμματα των Σχ. 7-17, Σχ. 7-18 και Σχ. 7-19. Σημειώνεται ότι τα νομογραφήματα της ενότητας αυτής αφορούν την ανάπτυξη της κύριας ζώνης διάρρηξης. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται νομογραφήματα τα οποία συντάχθηκαν για την κάλυψη των περιπτώσεων στις οποίες αναπτύσσεται και δευτερεύουσα ζώνη διάρρηξης, εκτός από την κύρια ζώνη διάρρηξης.

7.4.1. Νομογραφήματα Διάρρηξης Κανονικού Ρήγματος

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται νομογραφήματα υπολογισμού των τιμών β_{\max} , B/H , C/H για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος υποβάθρου. Τα νομογραφήματα αυτά παρουσιάζονται για τις περιπτώσεις πρώτα συνεκτικού και στη συνέχεια μη-συνεκτικού εδάφους.

Περίπτωση Συνεκτικού Εδάφους

Στην Υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα νομογραφήματα των Σχ. 7-20 έως 7-32 για τον υπολογισμό των τιμών β_{\max} , B/H , C/H για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος.

Περίπτωση Μη-συνεκτικού Εδάφους

Στην Υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα νομογραφήματα των Σχ. 7-33 έως 7-40 για τον υπολογισμό των τιμών β_{\max} , B/H , C/H για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος.

7.4.2. Νομογραφήματα Διάρρηξης Ανάστροφου Ρήγματος

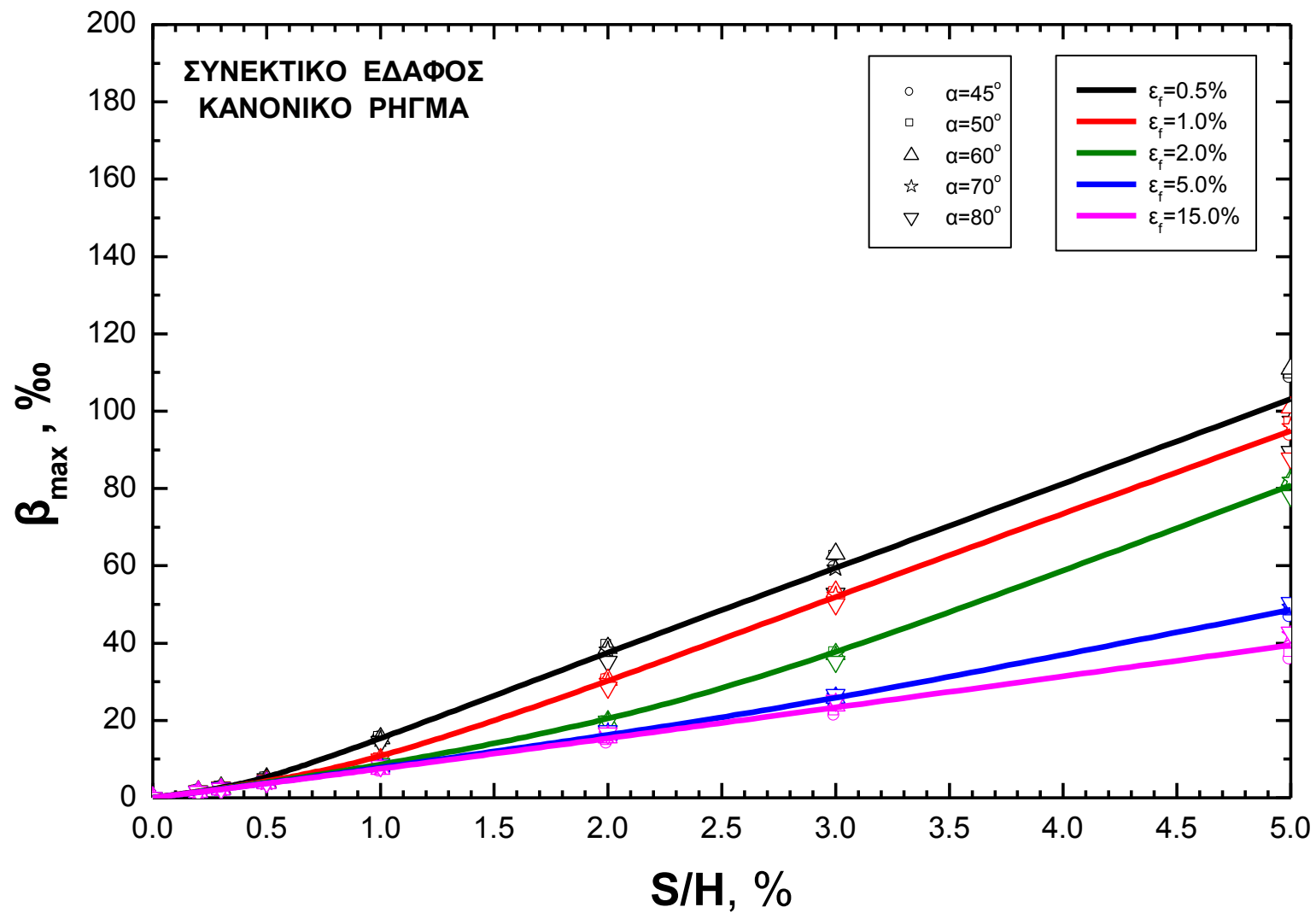
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται νομογραφήματα υπολογισμού των τιμών β_{\max} , B/H , C/H για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου. Τα νομογραφήματα αυτά παρουσιάζονται για τις περιπτώσεις πρώτα συνεκτικού και μετά μη-συνεκτικού εδάφους.

Περίπτωση Συνεκτικού Εδάφους

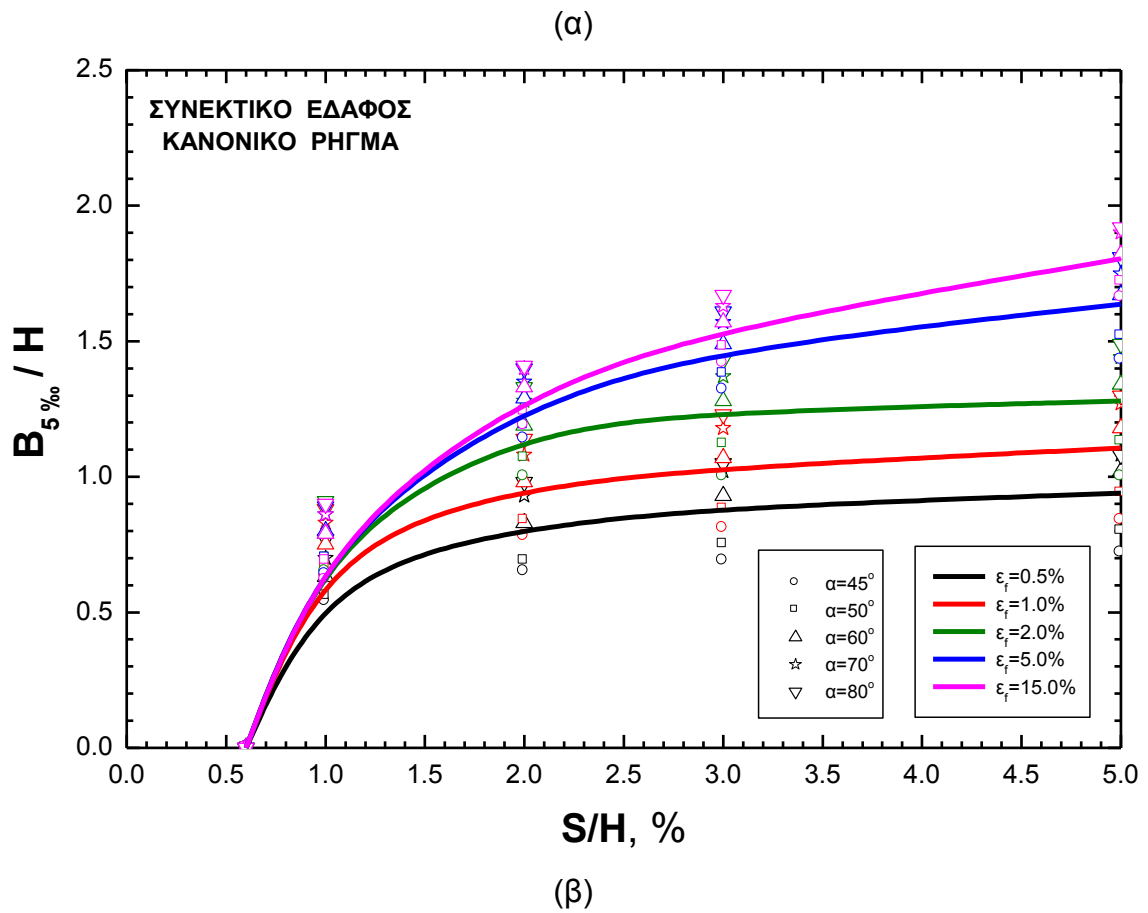
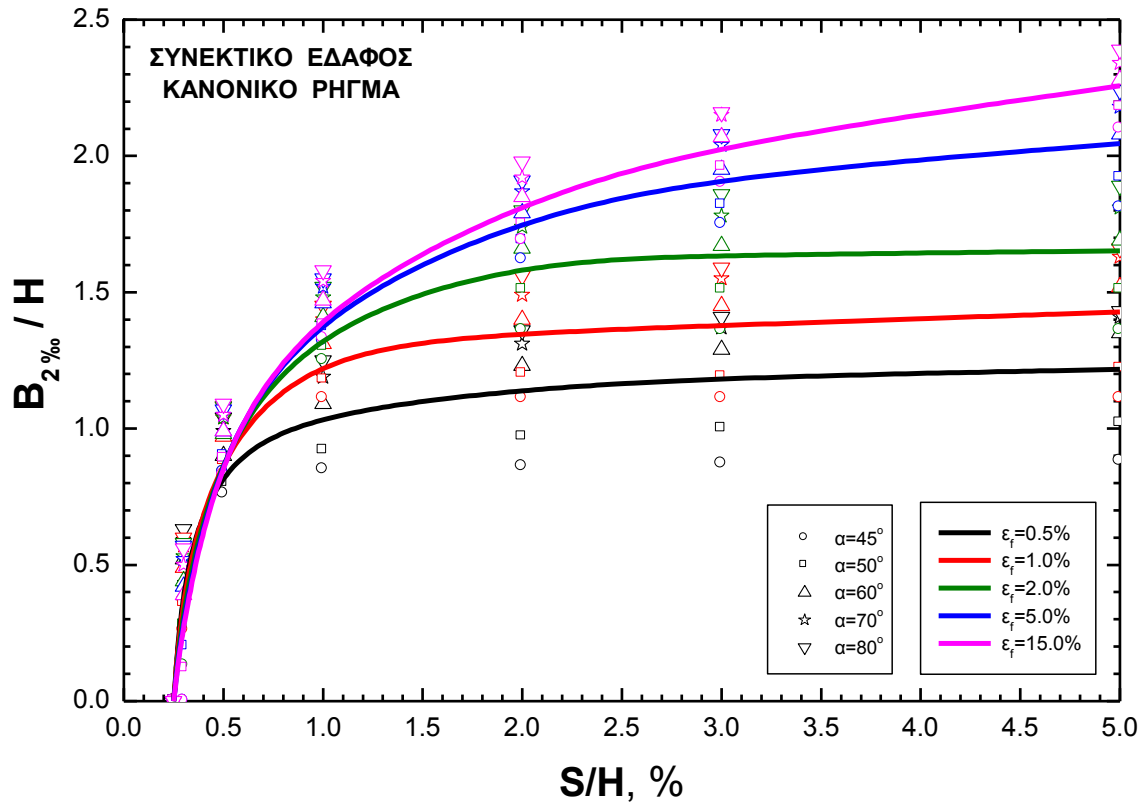
Στην Υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα νομογραφήματα των Σχ. 7-43 έως 7-57 για τον υπολογισμό των τιμών β_{\max} , B/H , C/H για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος.

Περίπτωση Μη-συνεκτικού Εδάφους

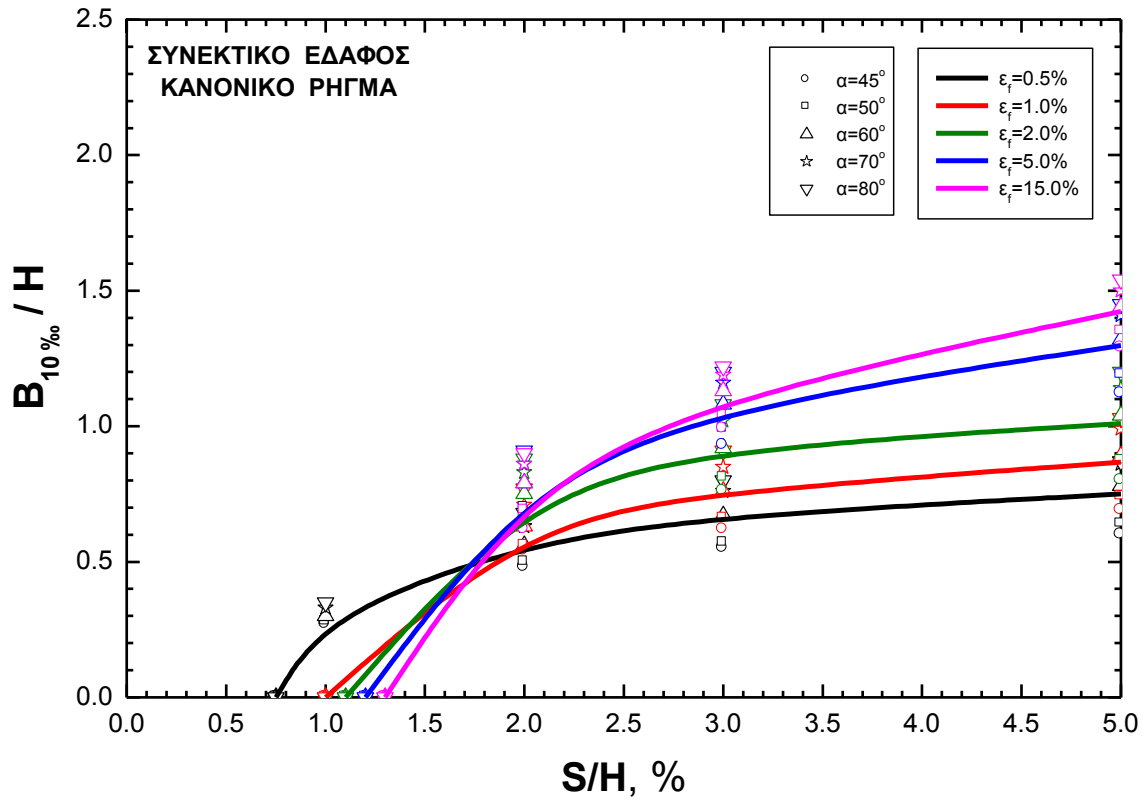
Στην Υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα νομογραφήματα των Σχ. 7-58 έως 7-68 για τον υπολογισμό των τιμών β_{\max} , B/H , C/H για την περίπτωση διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος.



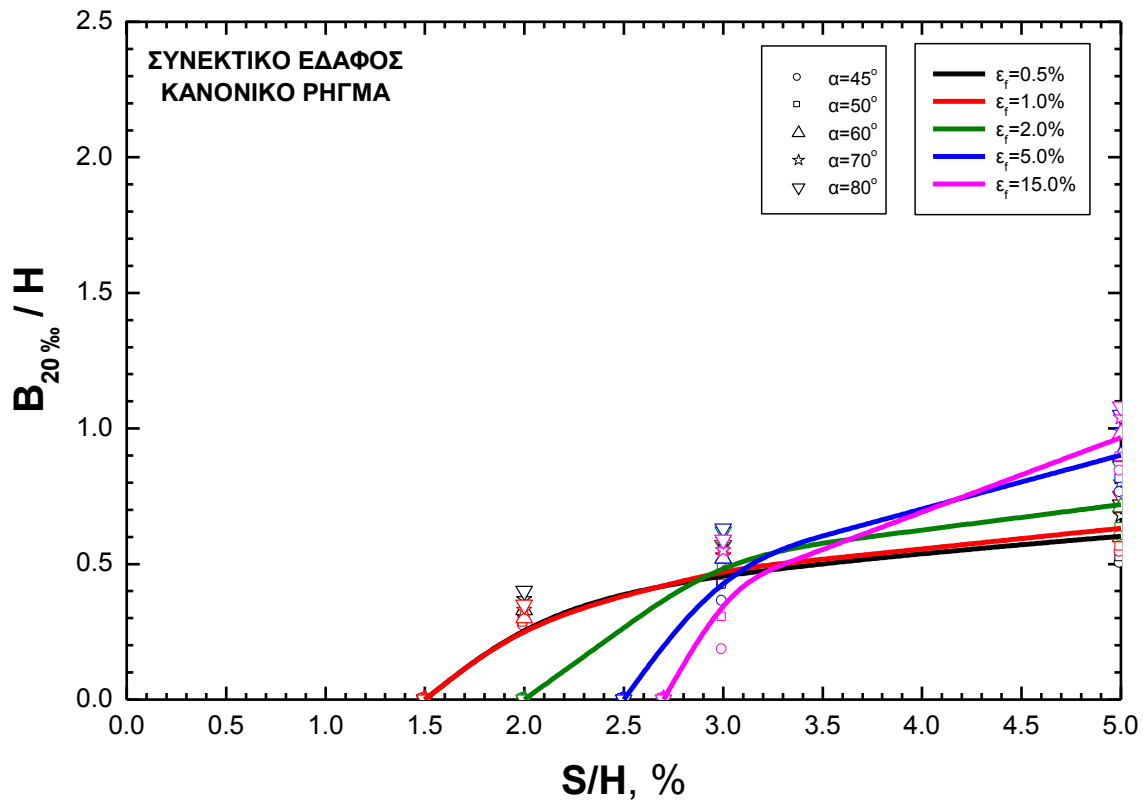
Σχήμα 7-17. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (**κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος**)



Σχήμα 7-18. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)

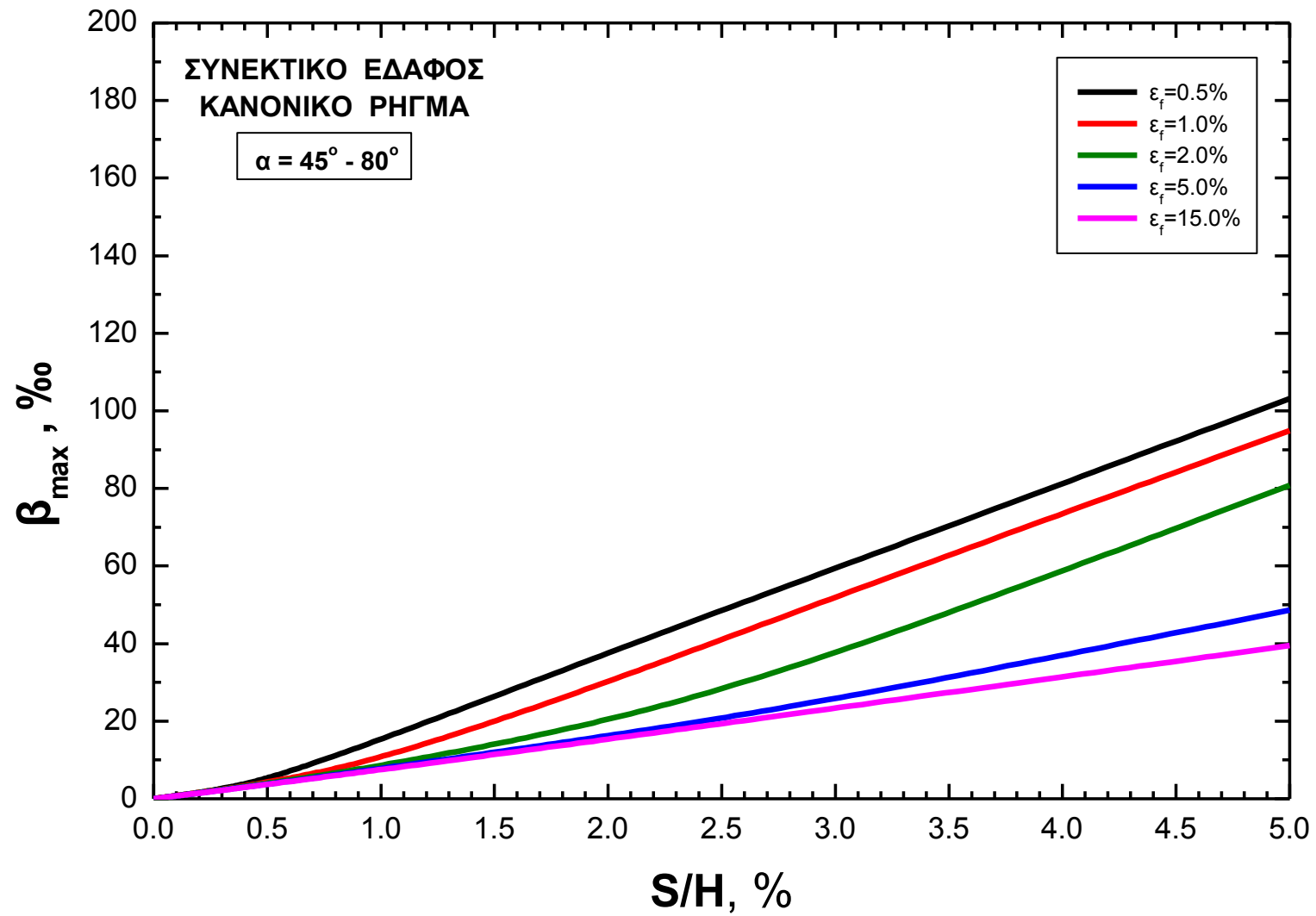


(α)

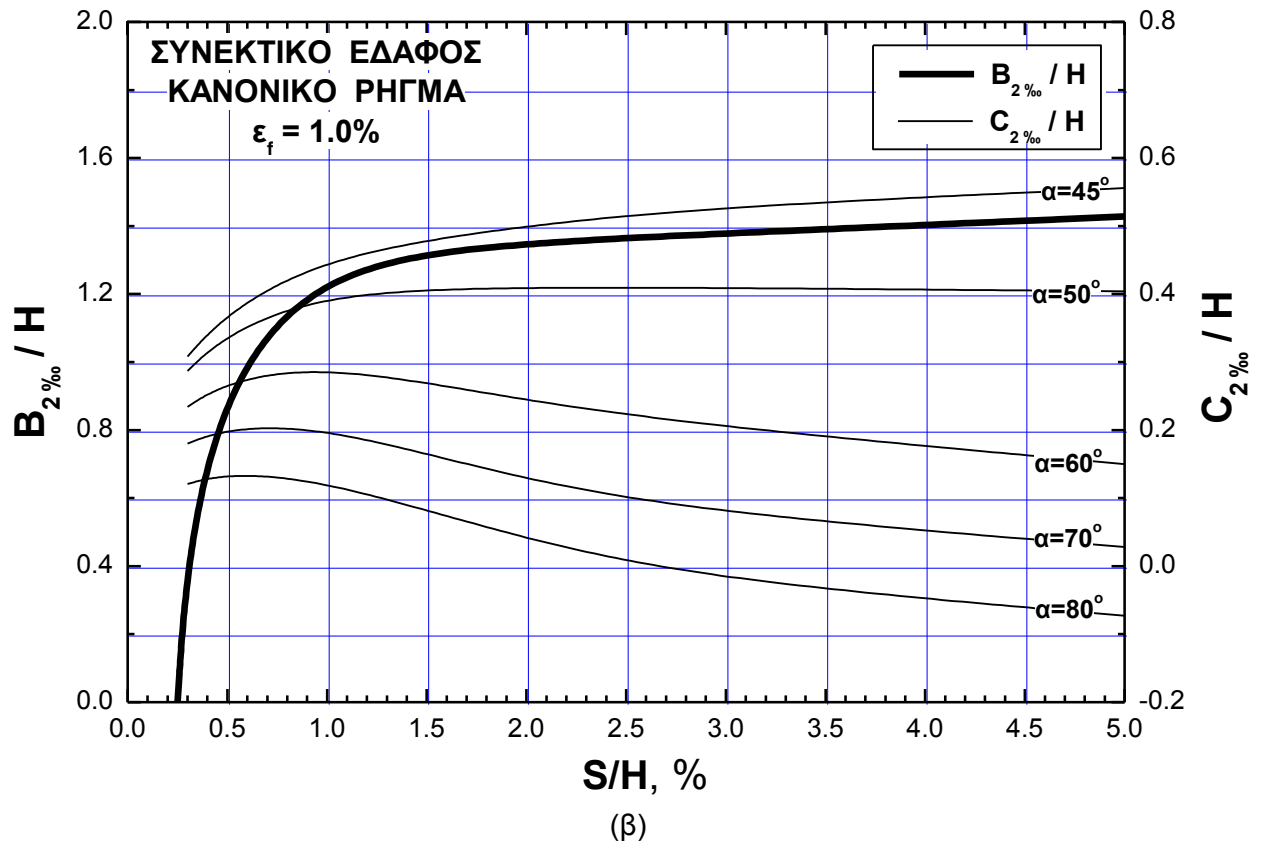
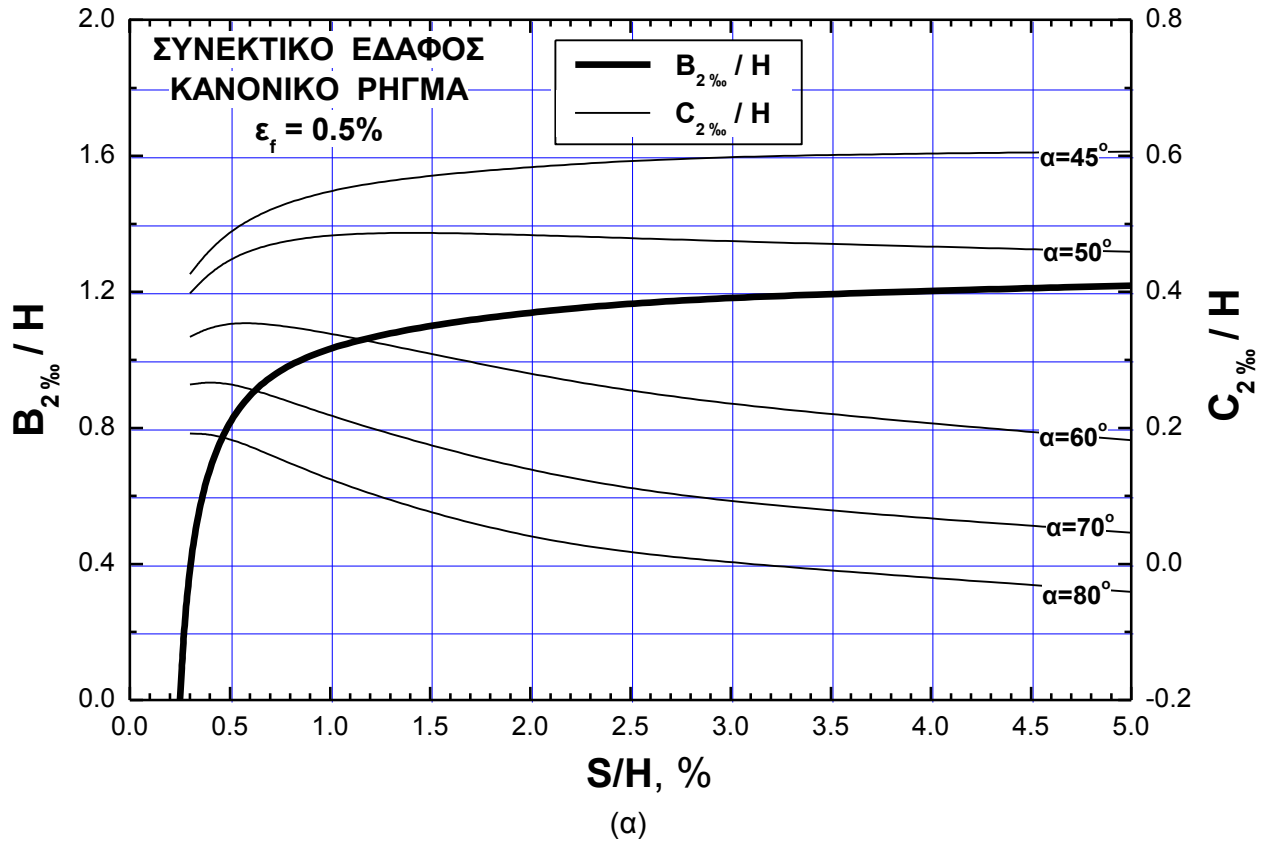


(β)

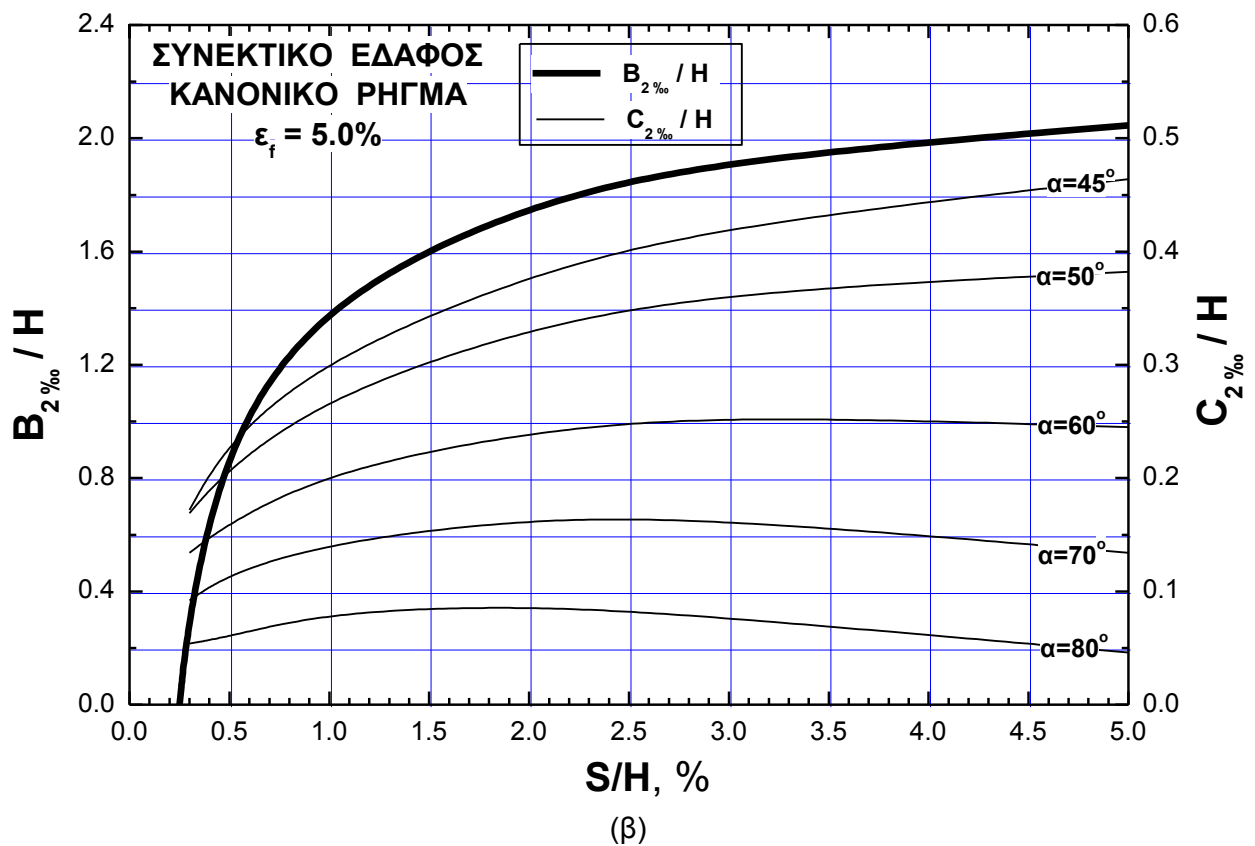
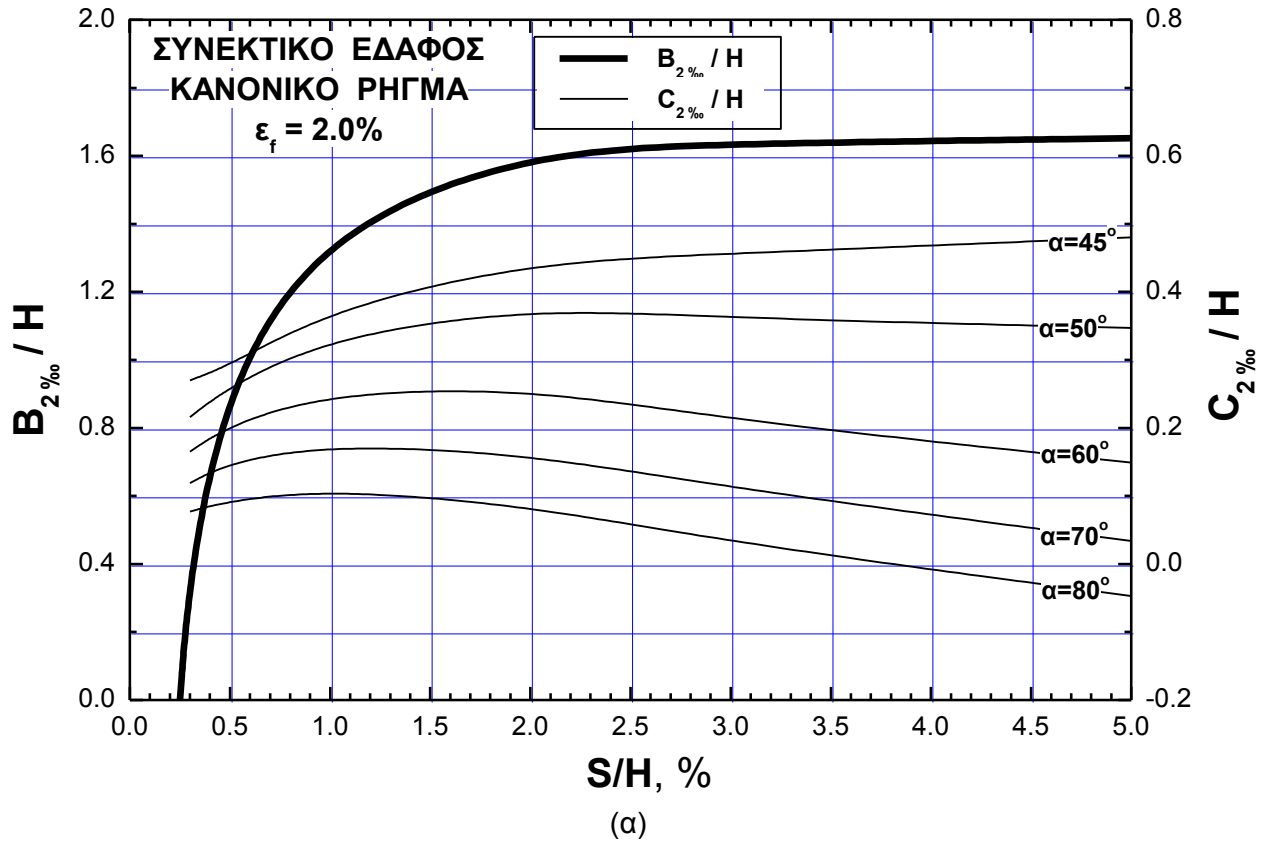
Σχήμα 7-19. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και τις παραμέτρους α και ϵ_f (κανονικό ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)



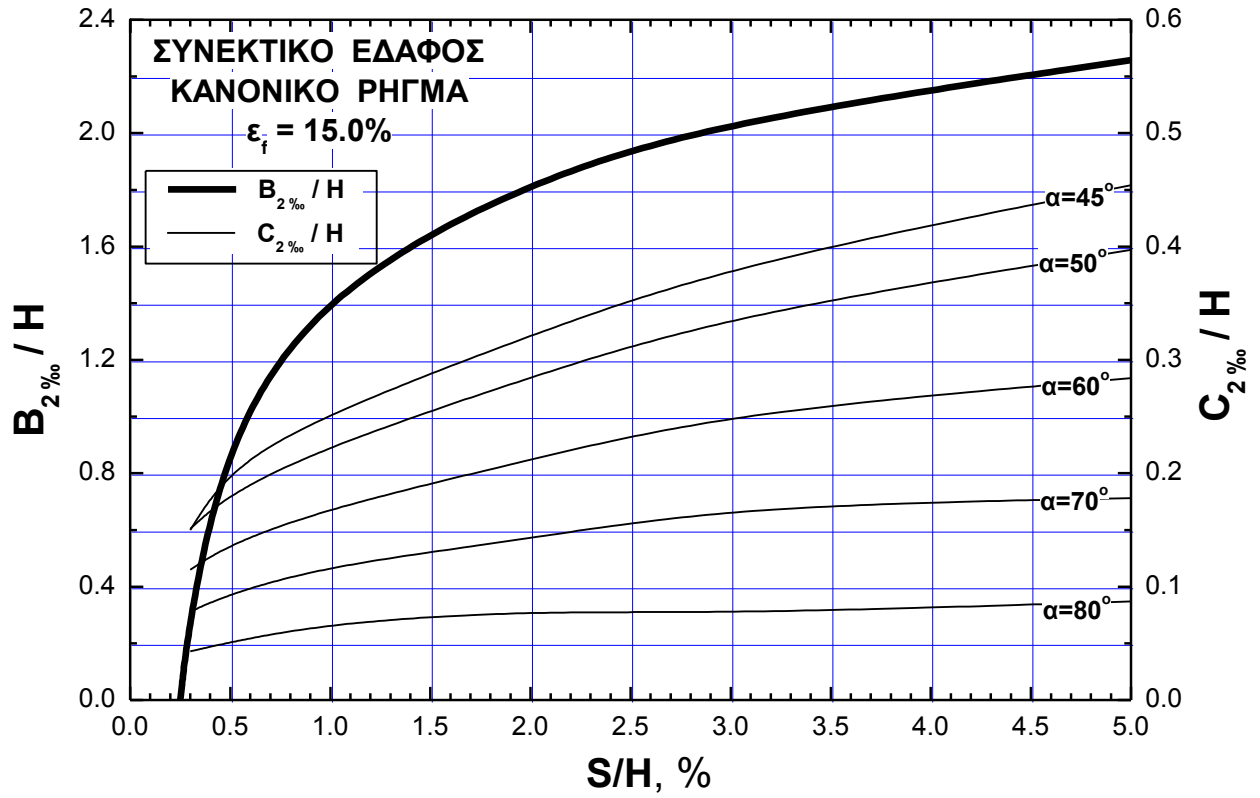
Σχήμα 7-20. Νομογράφημα προσδιορισμού της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος



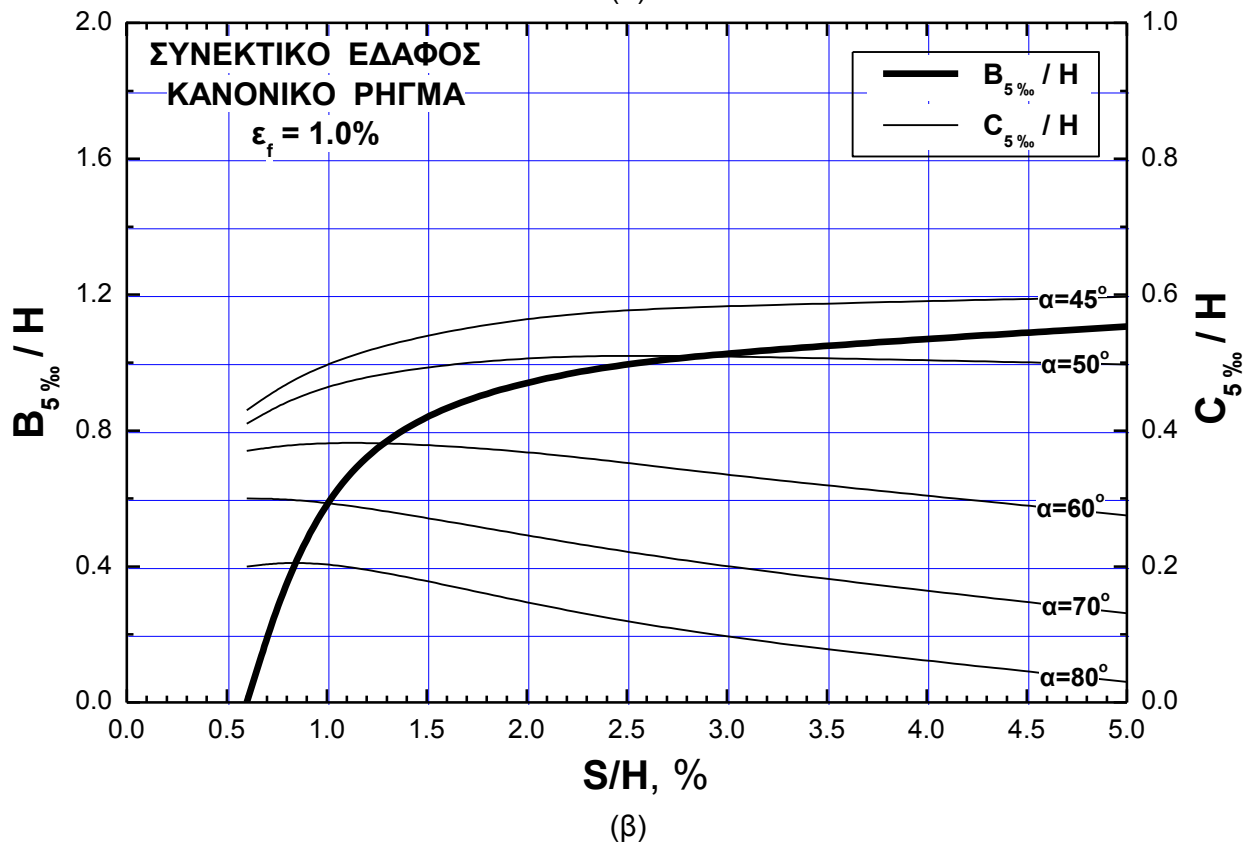
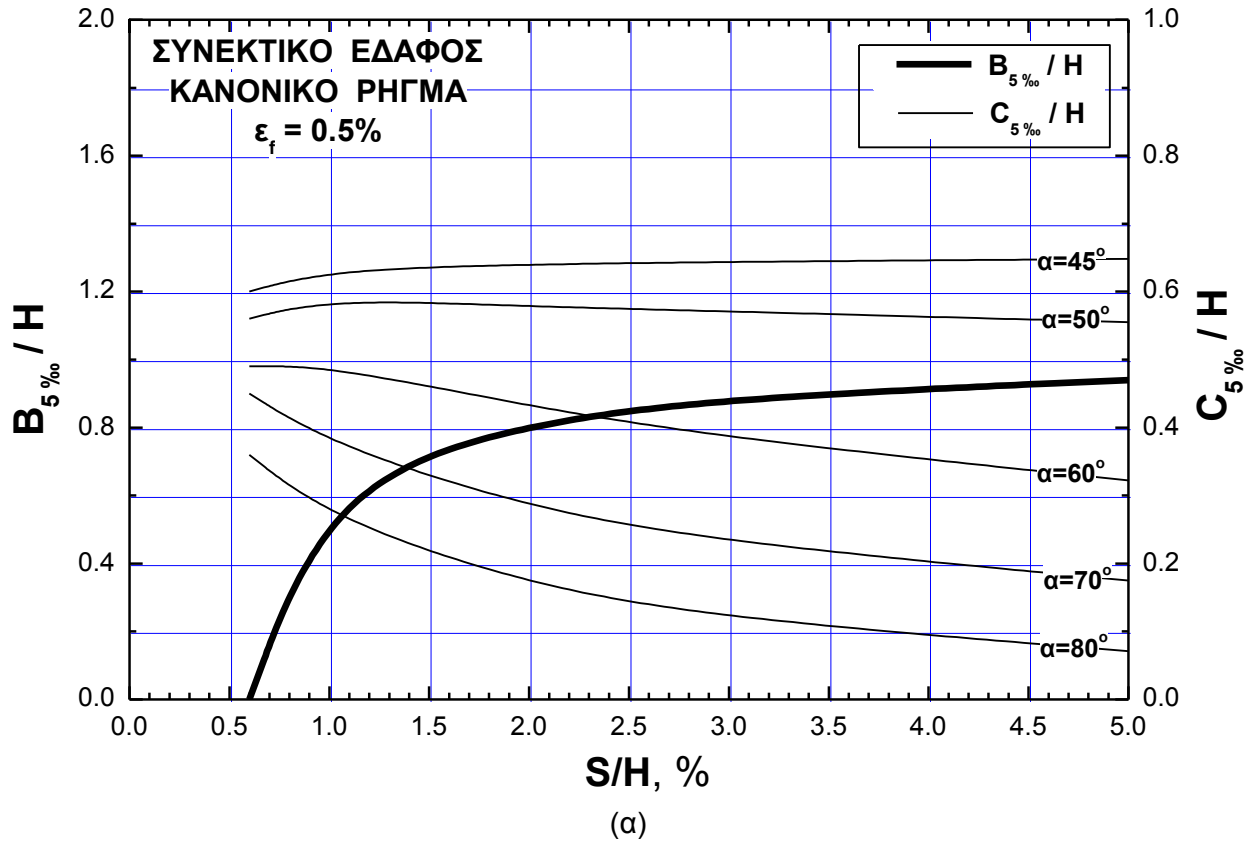
Σχήμα 7-21. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$



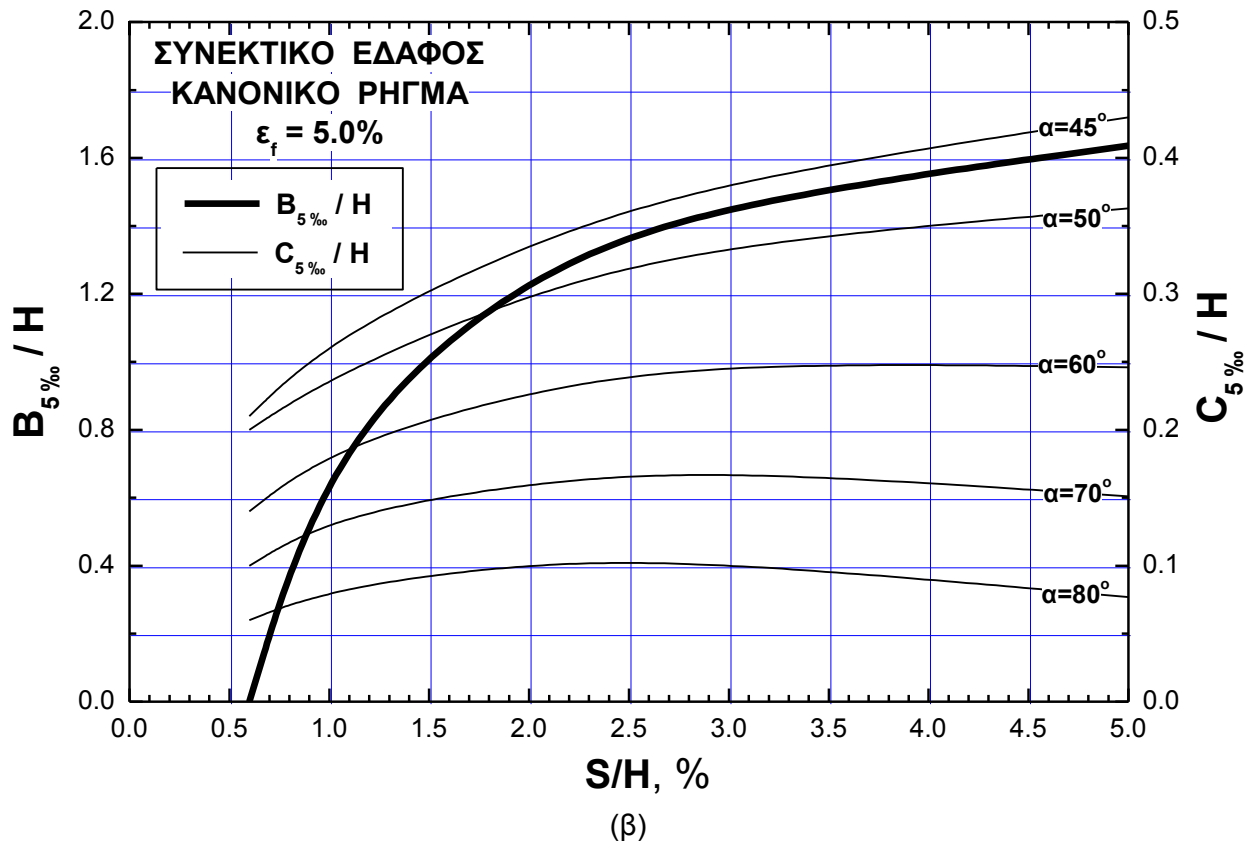
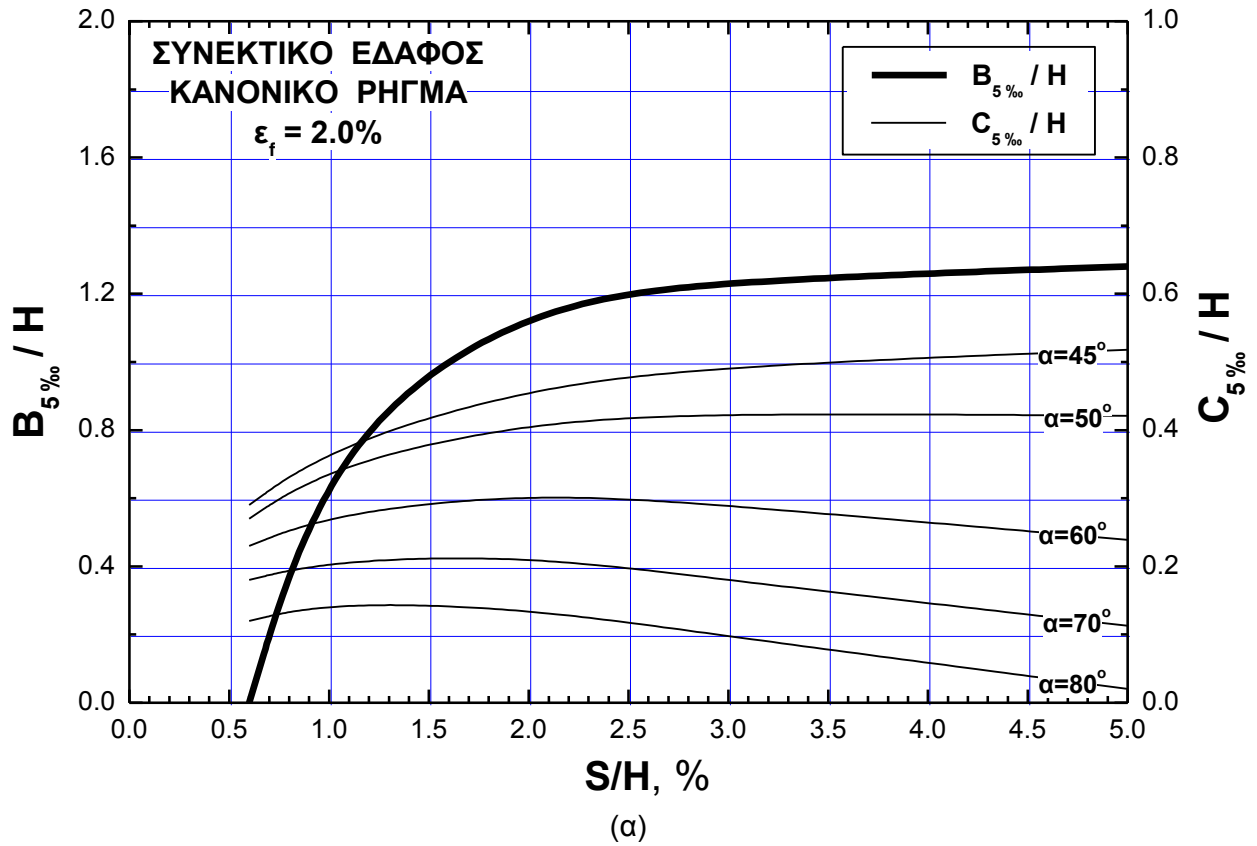
Σχήμα 7-22. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2‰}/H$ και $C_{2‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$



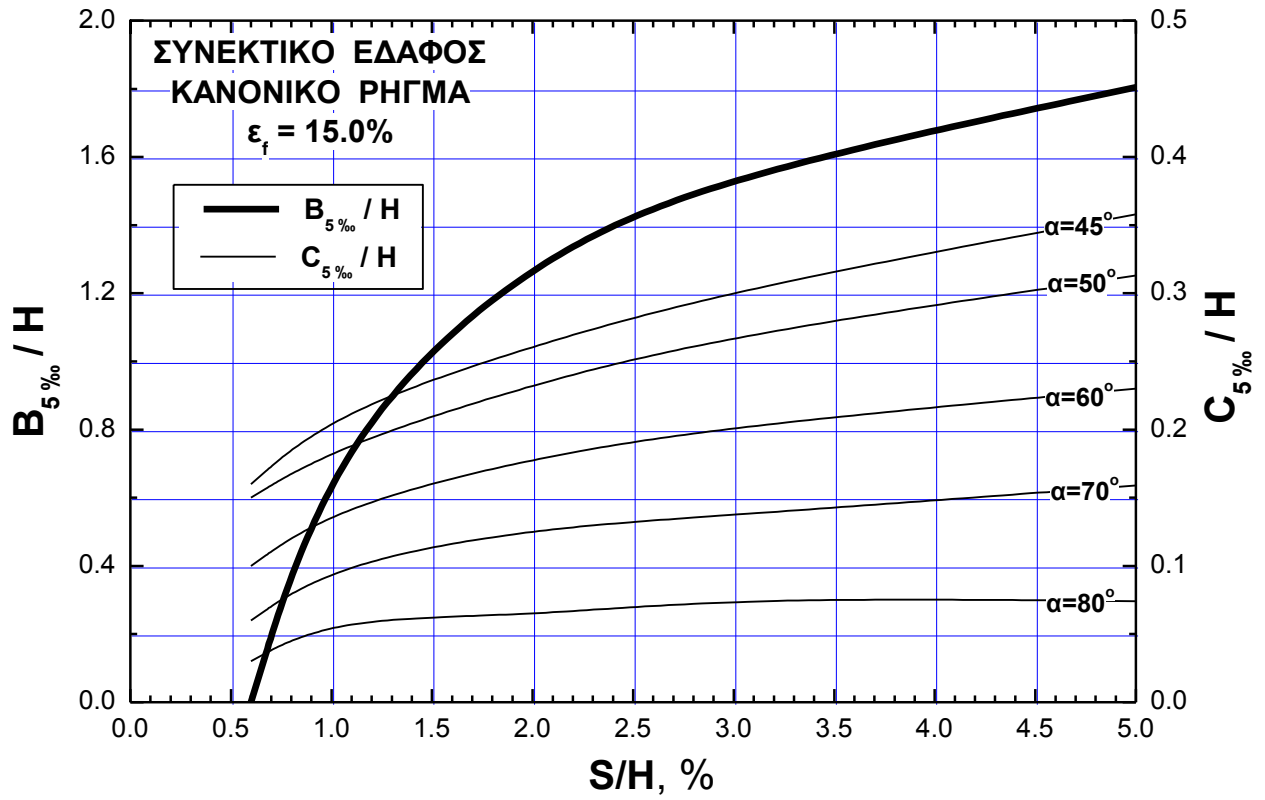
Σχήμα 7-23. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2‰}/H$ και $C_{2‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$



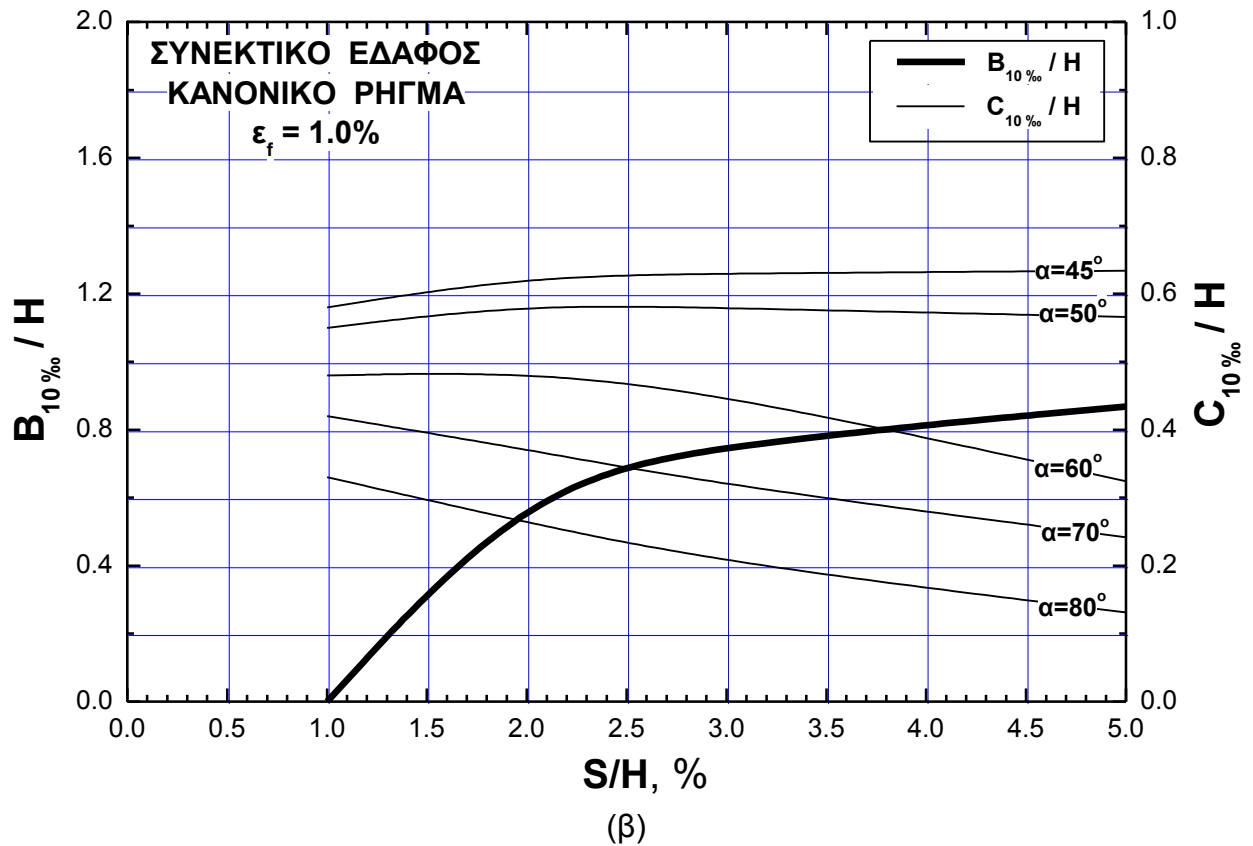
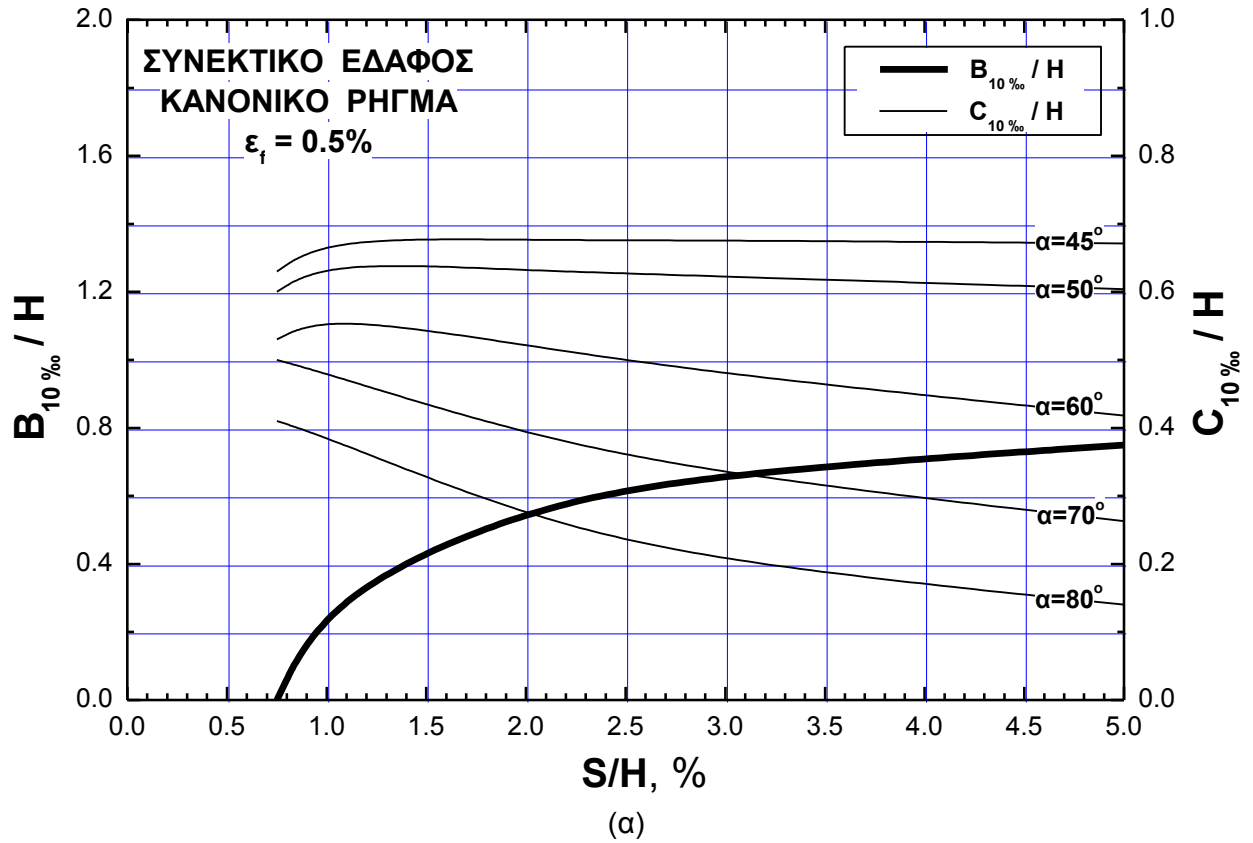
Σχήμα 7-24. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\text{‰}}/H$ και $C_{5\text{‰}}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$



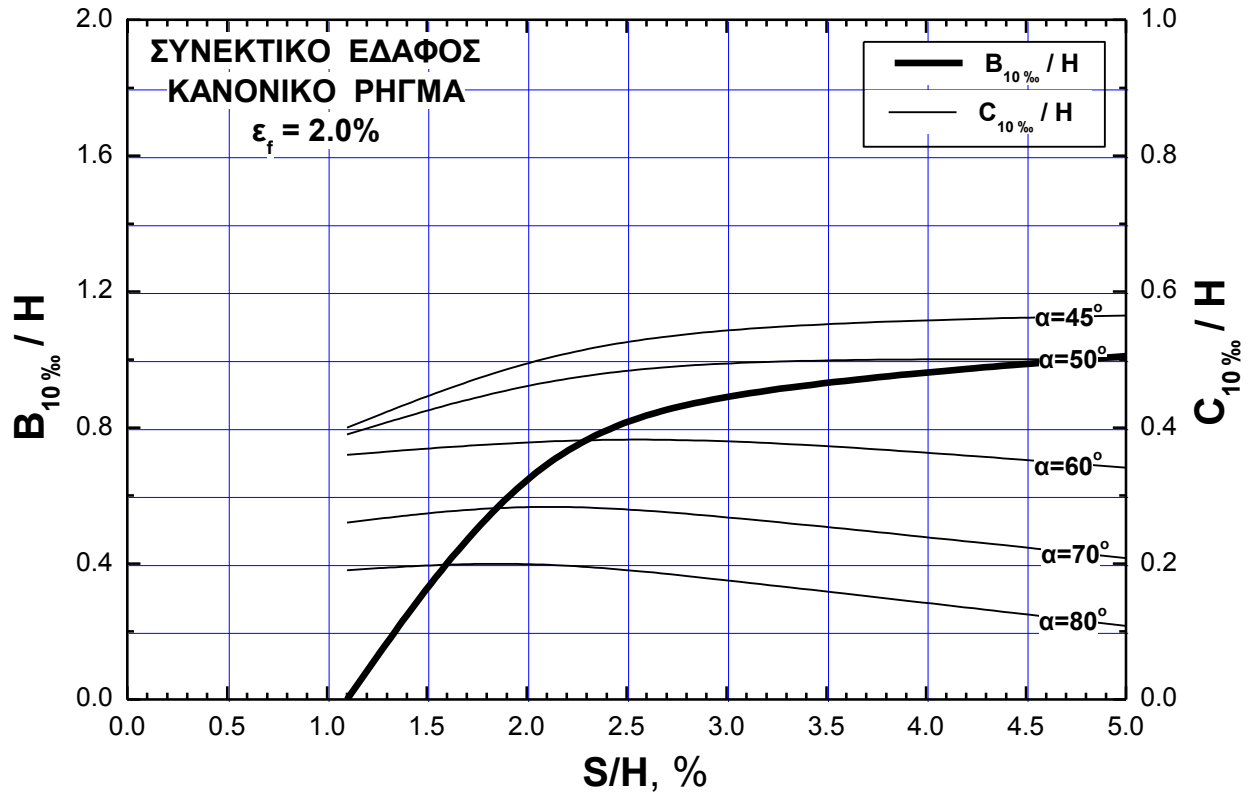
Σχήμα 7-25. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$



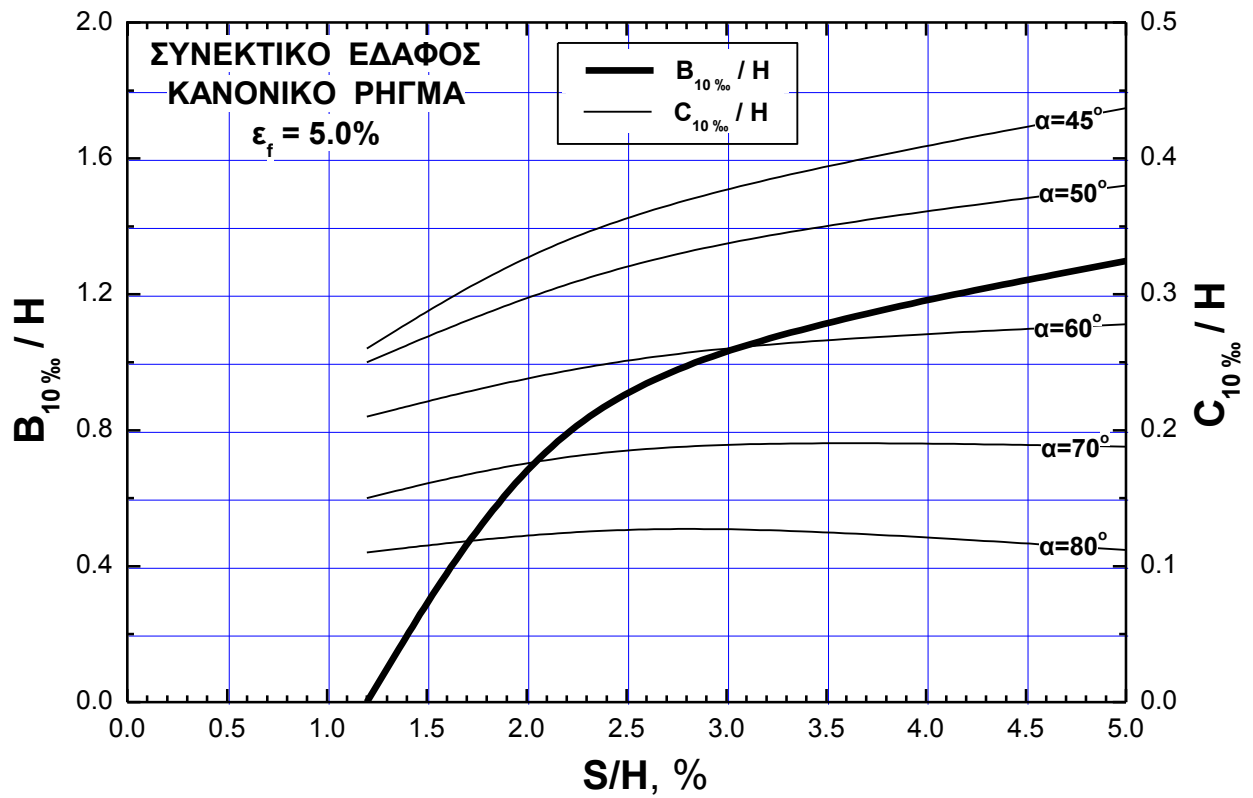
Σχήμα 7-26. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$



Σχήμα 7-27. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$

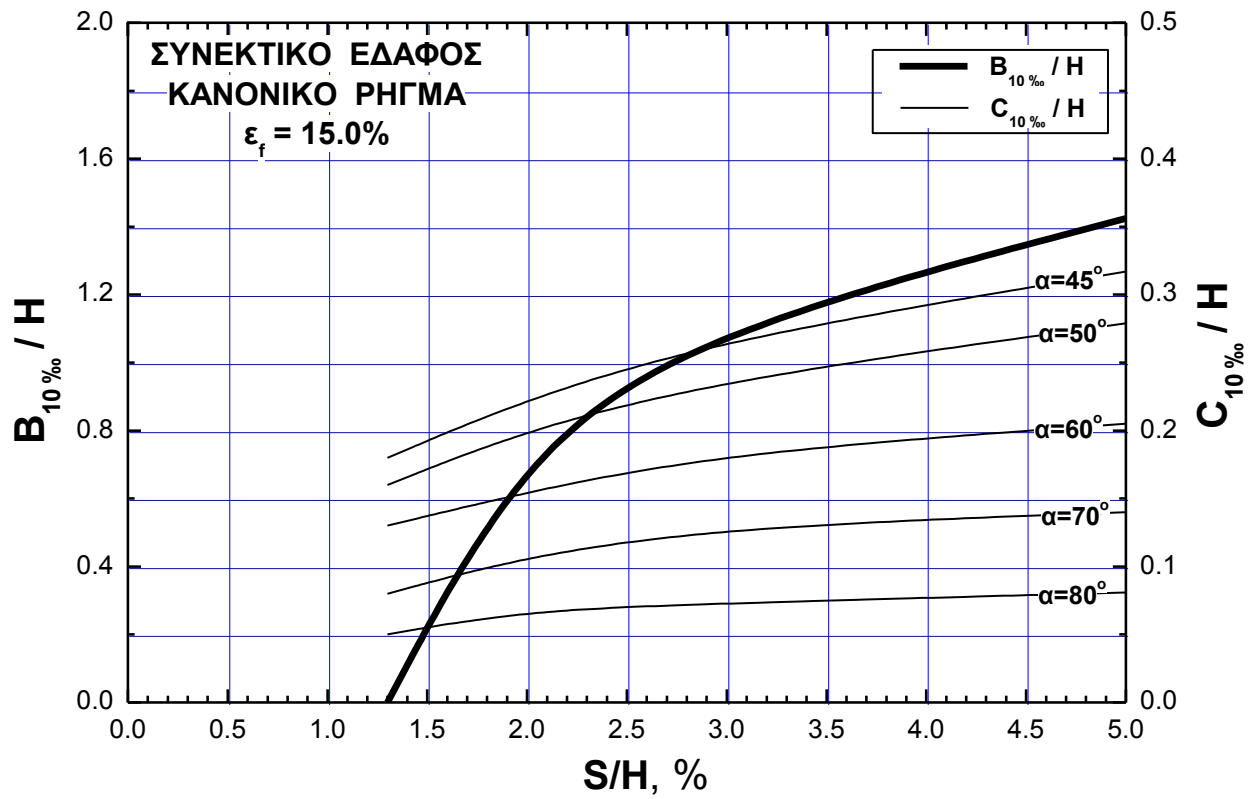


(α)

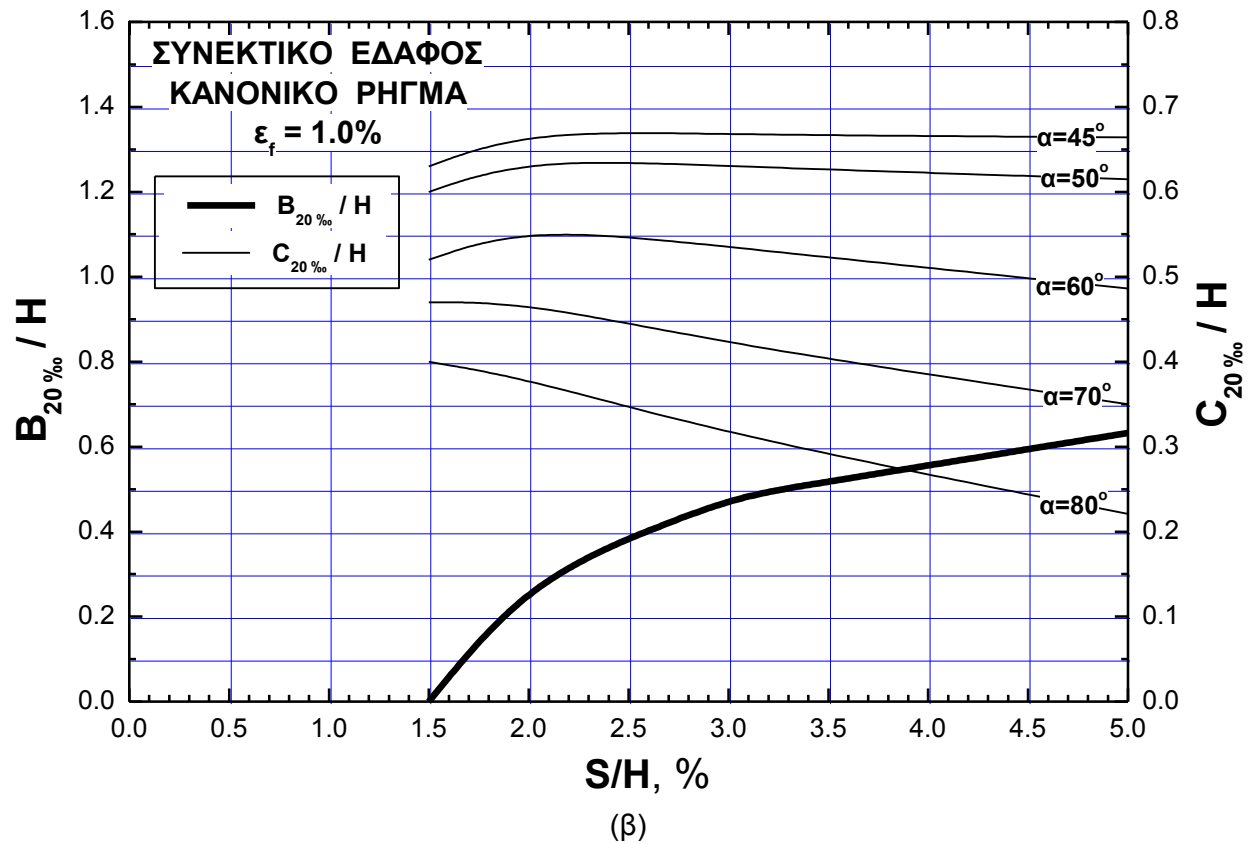
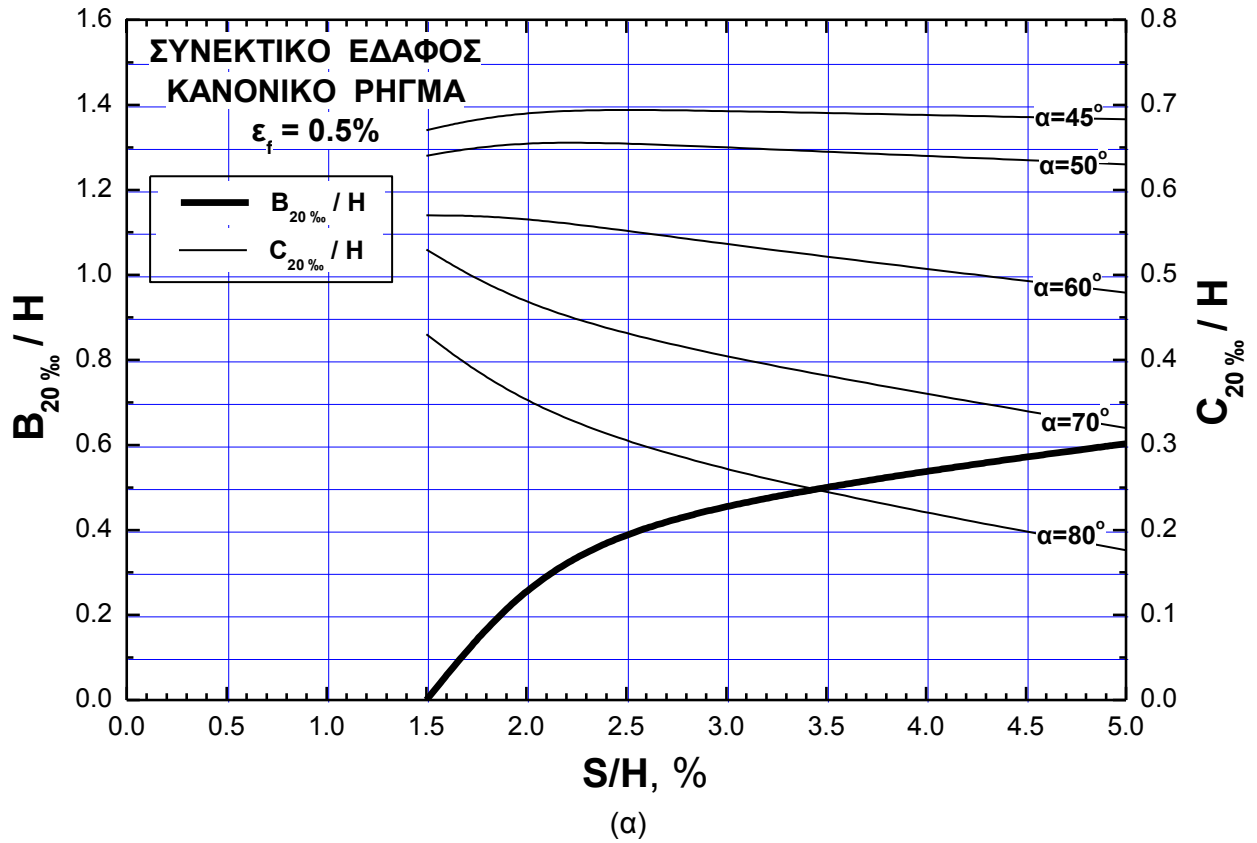


(β)

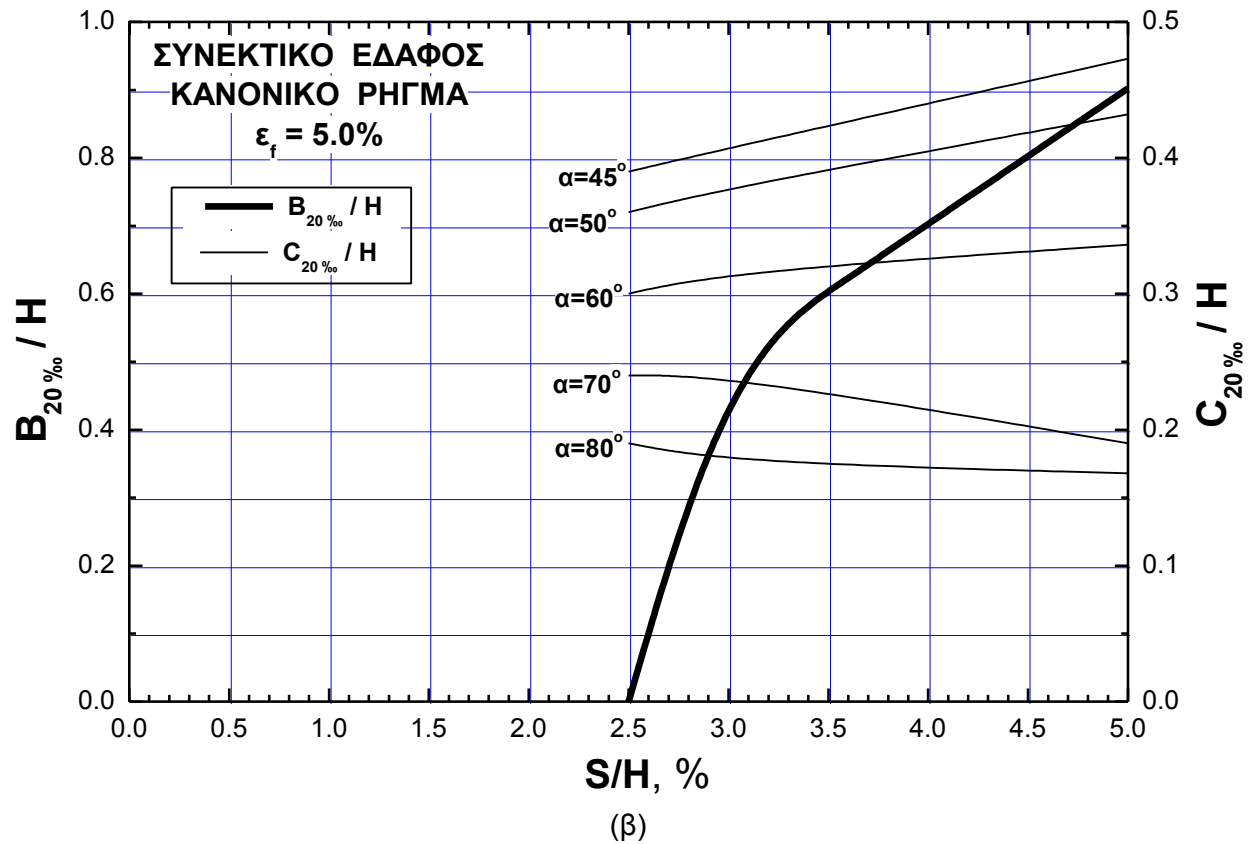
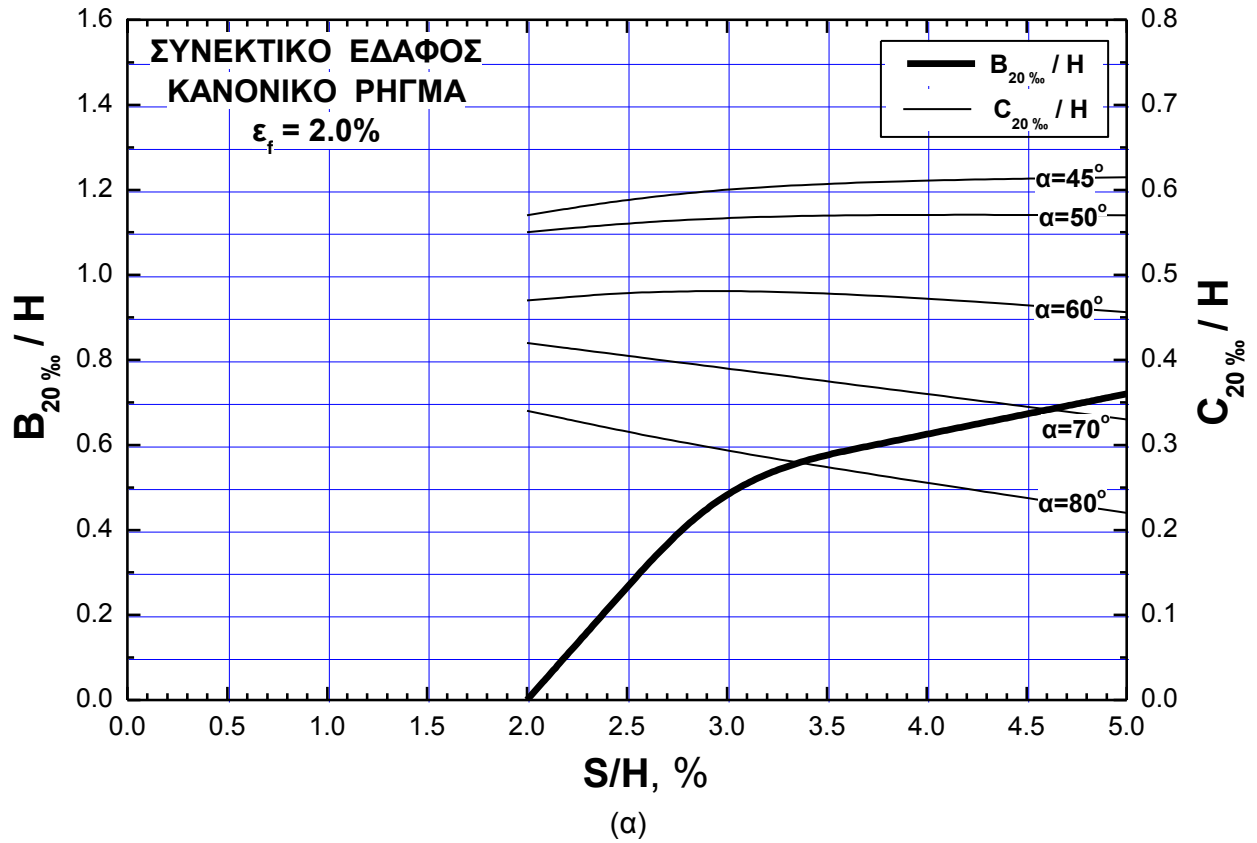
Σχήμα 7-28. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 2.0\%$ και β) $\varepsilon_f = 5.0\%$



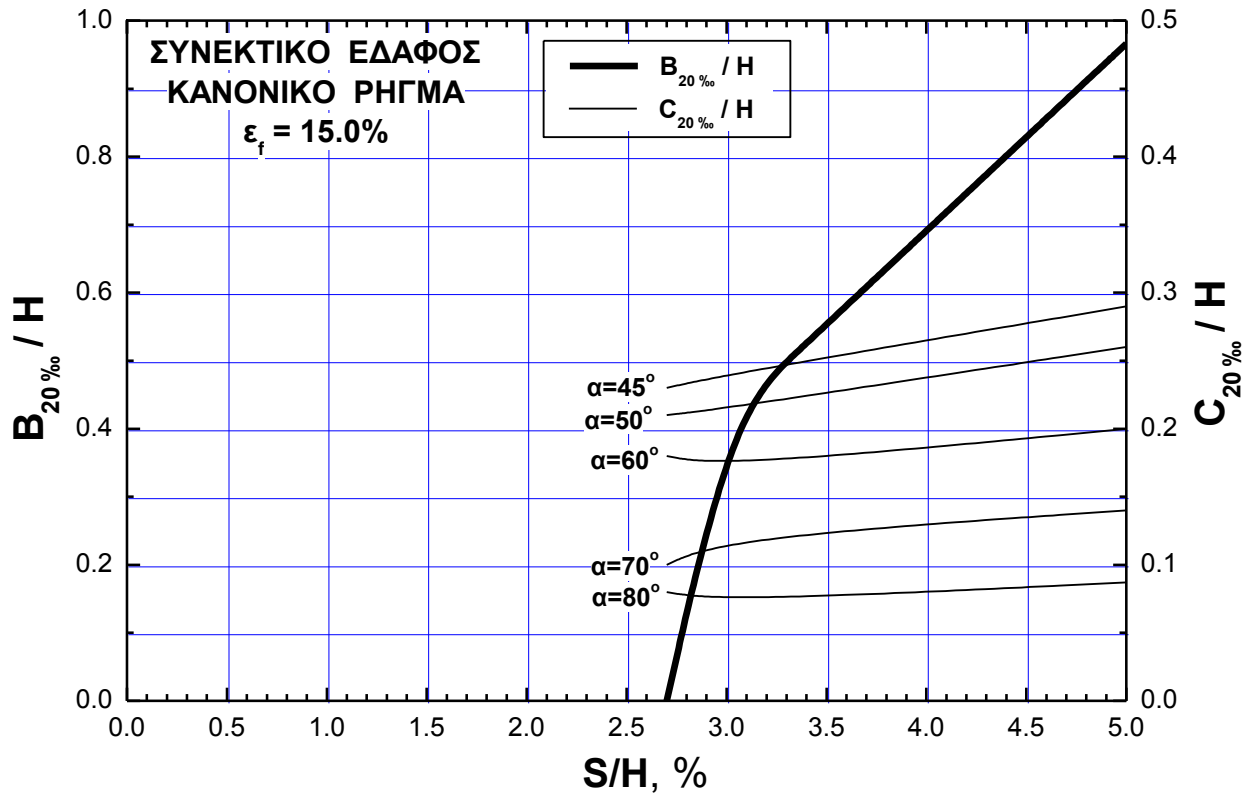
Σχήμα 7-29. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$



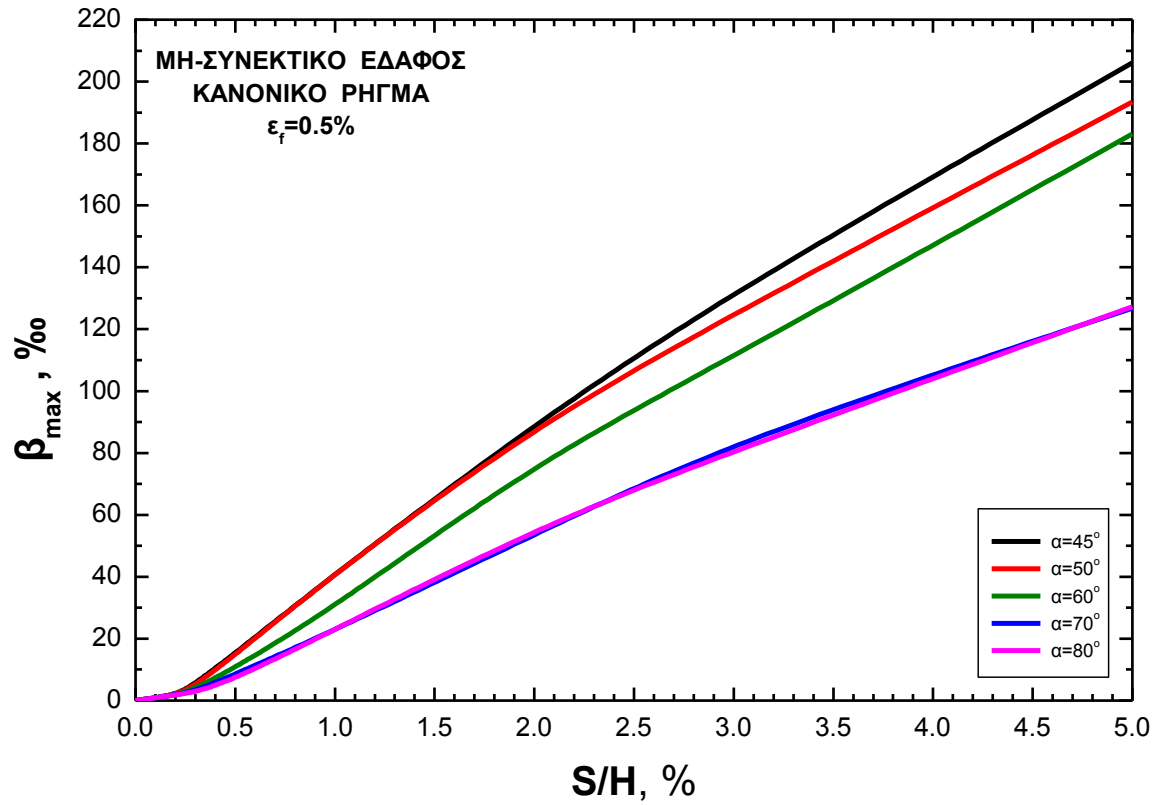
Σχήμα 7-30. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$



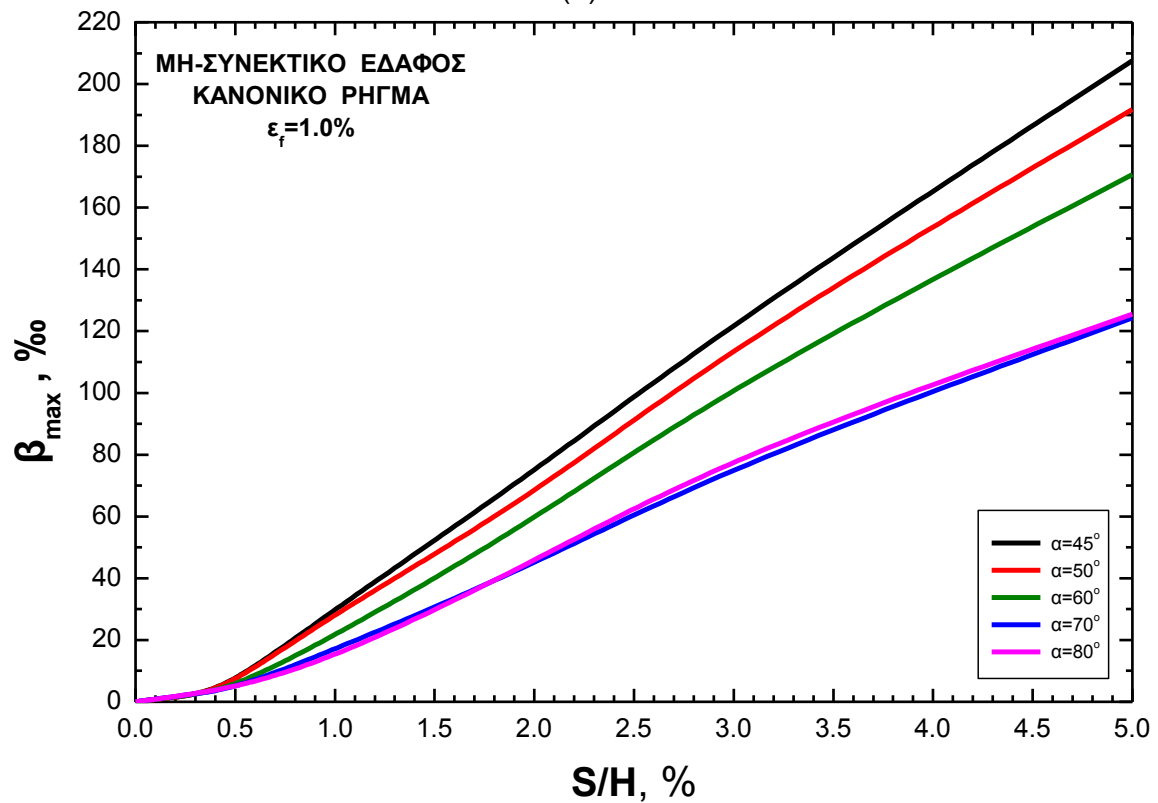
Σχήμα 7-31. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 2.0\%$ και β) $\varepsilon_f = 5.0\%$



Σχήμα 7-32. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$

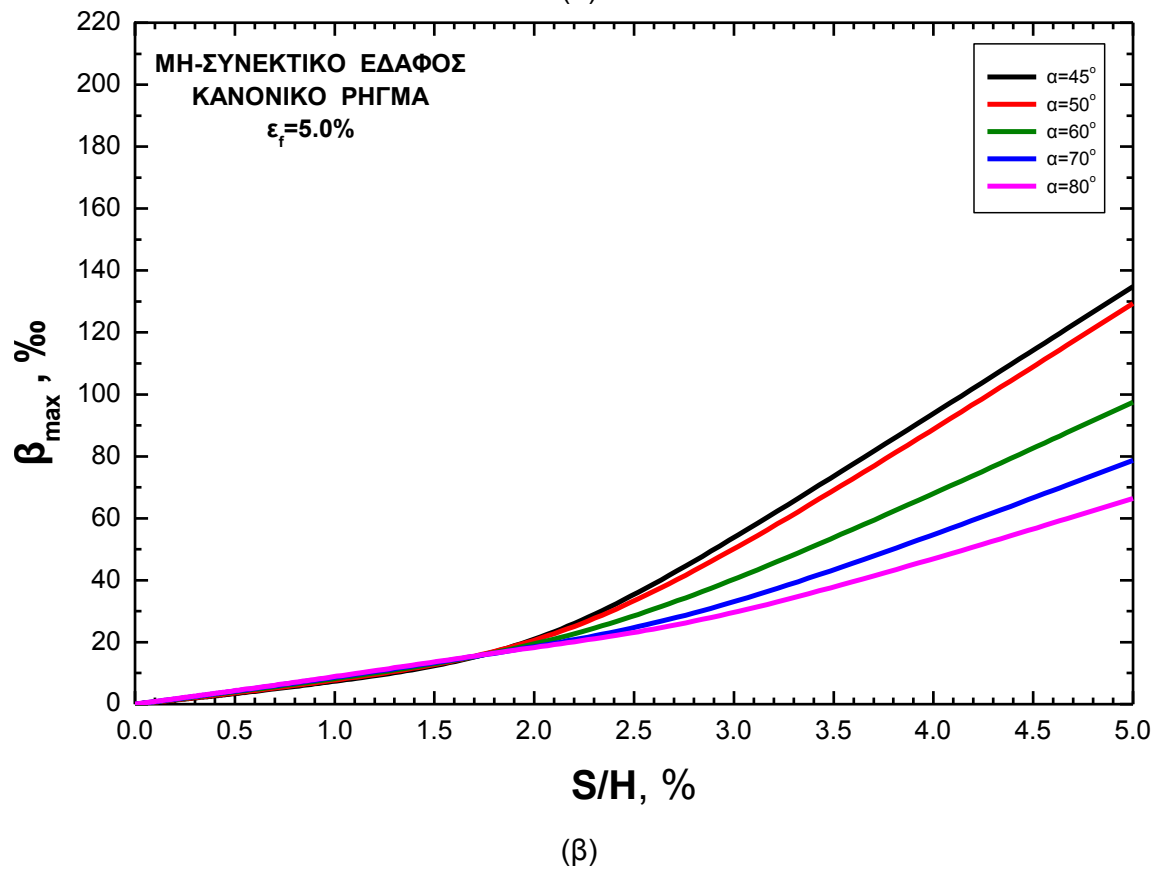
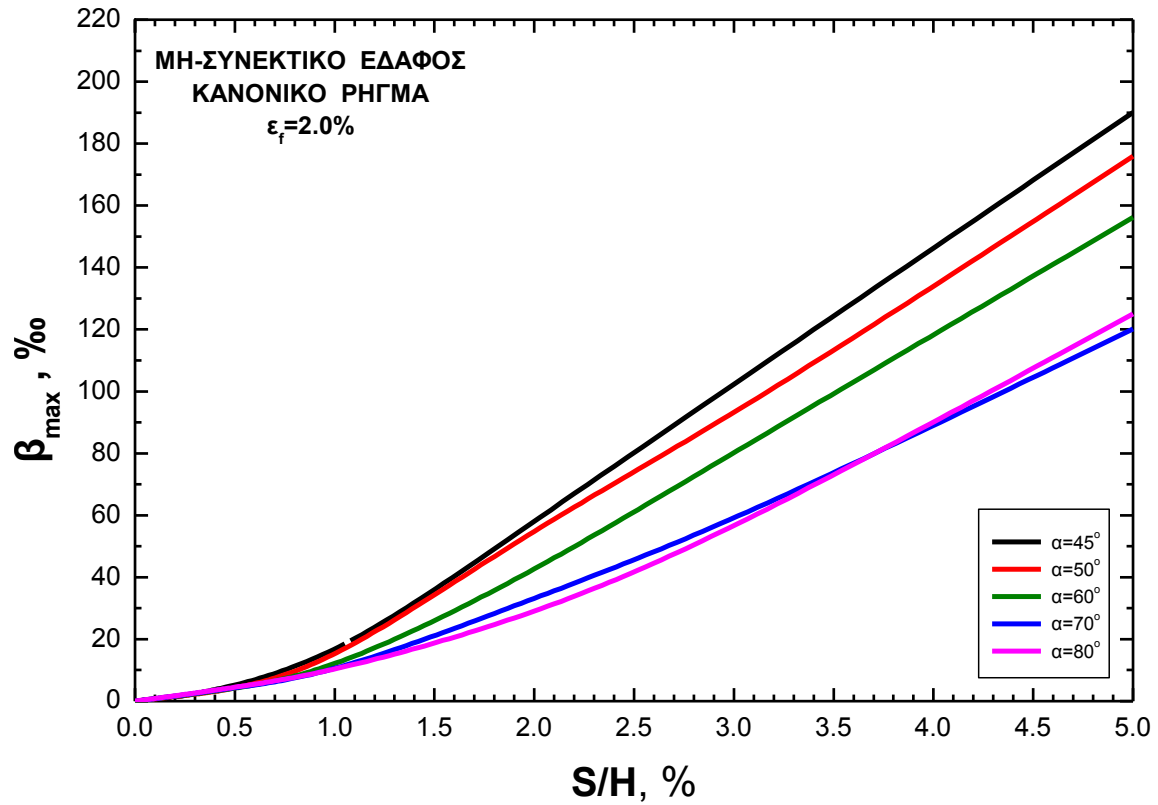


(α)

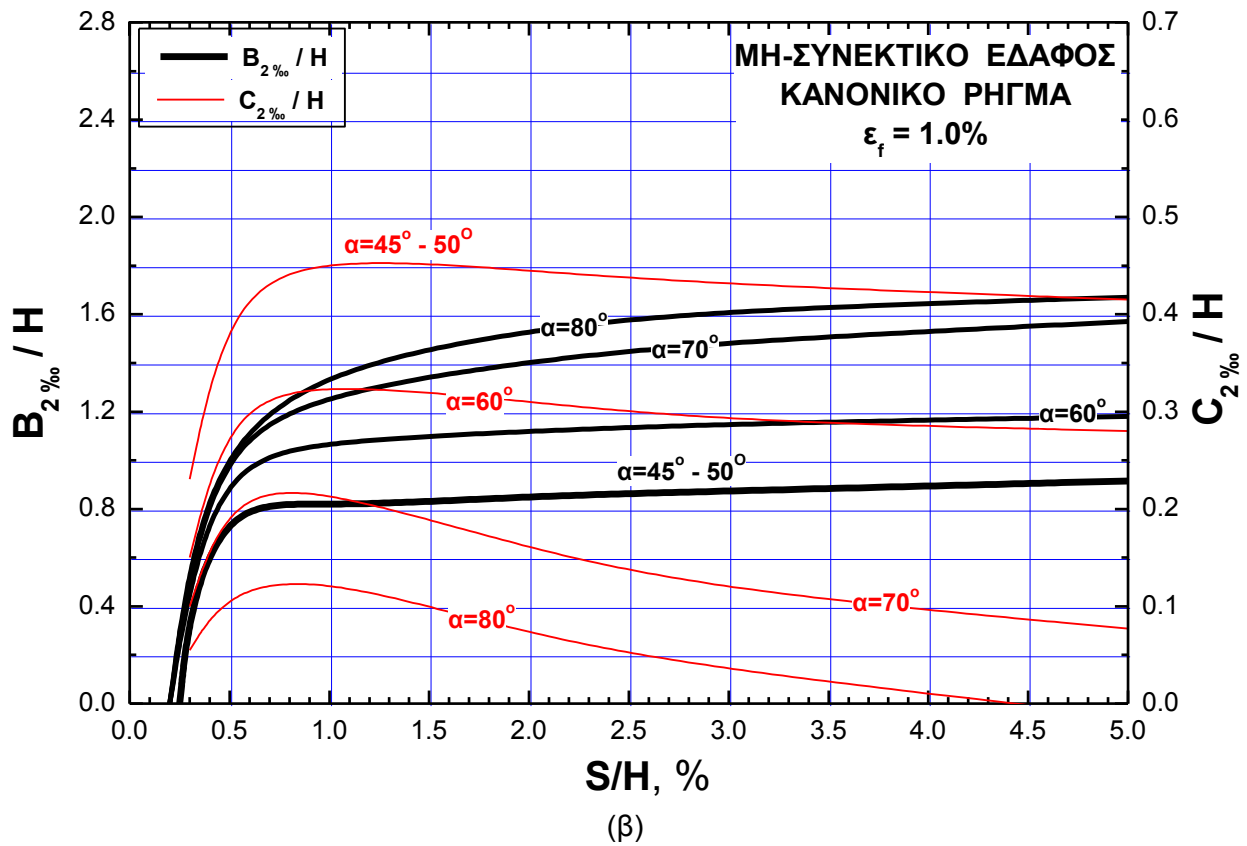
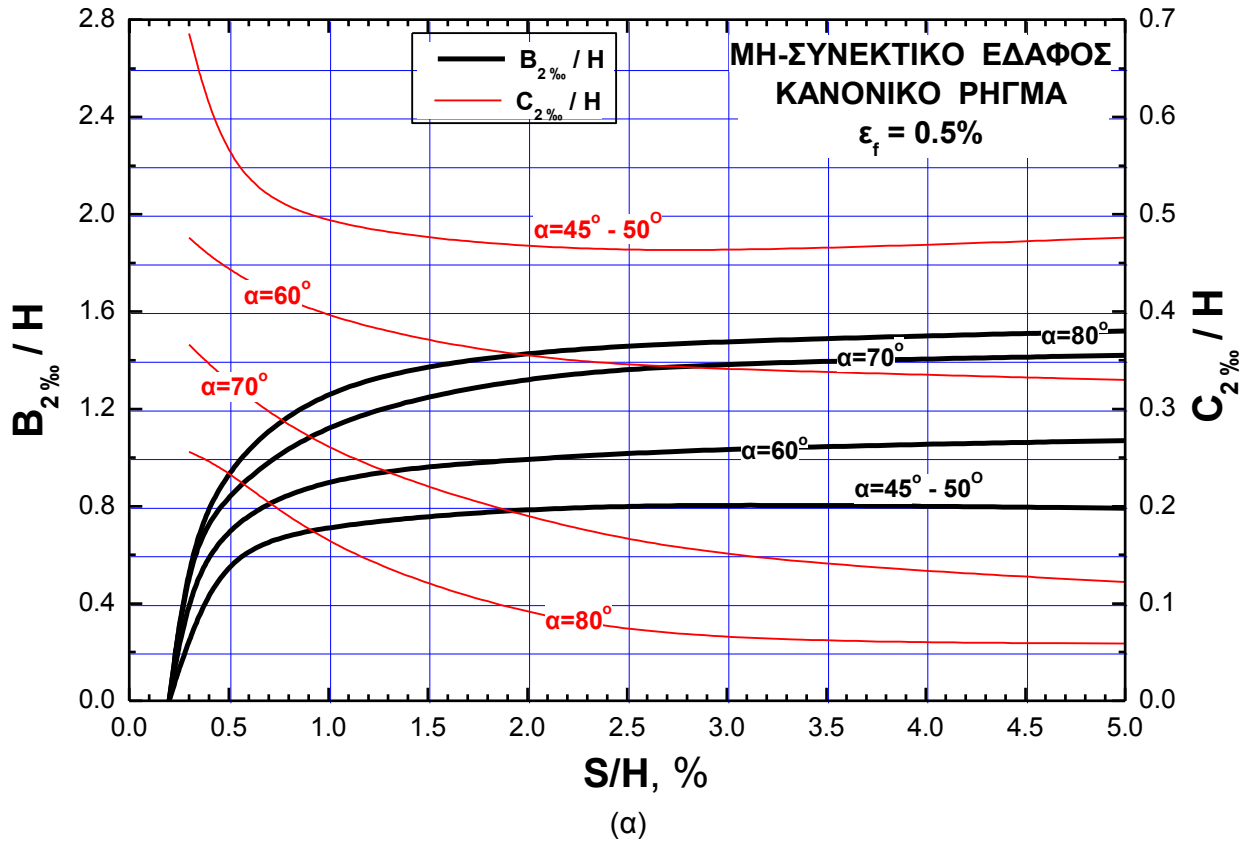


(β)

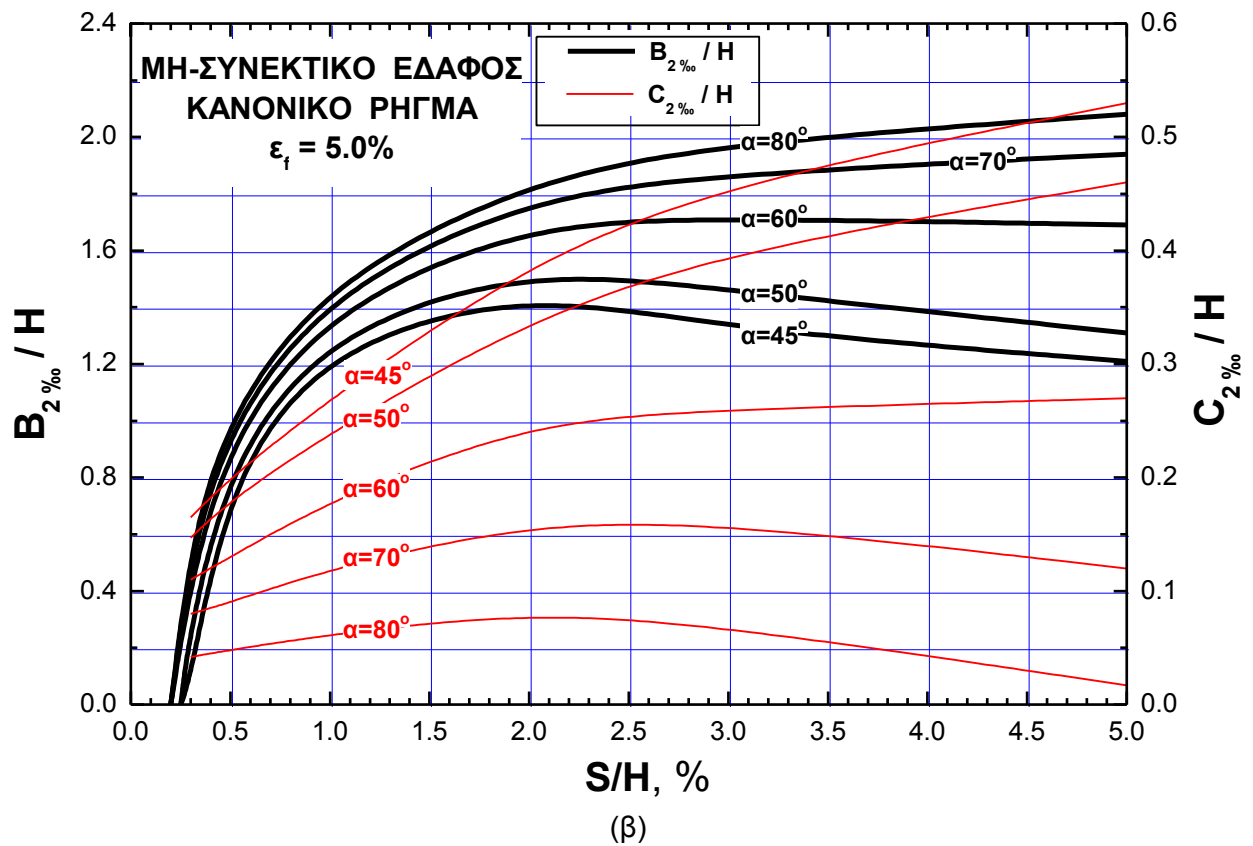
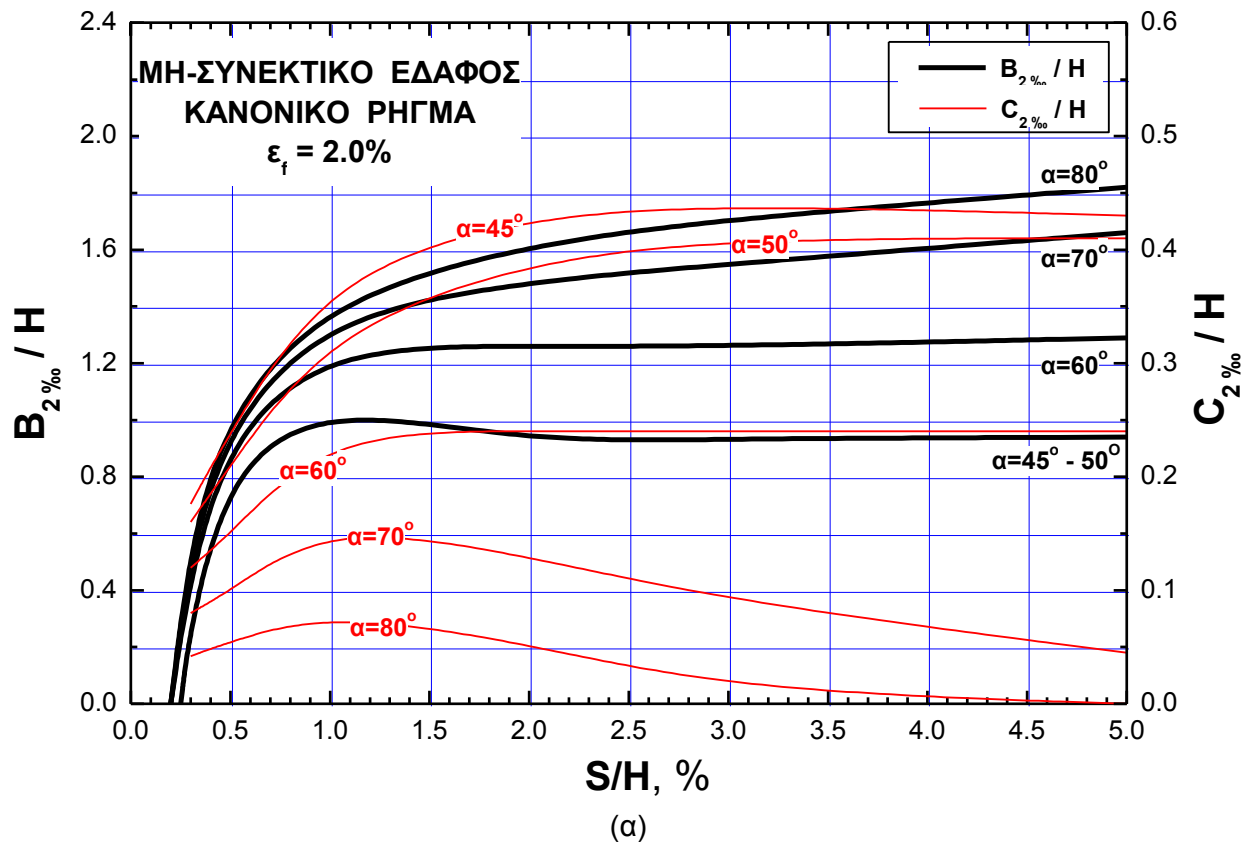
Σχήμα 7-33. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και την γωνία κλίσης α για τιμές της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$ (κανονικό ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)



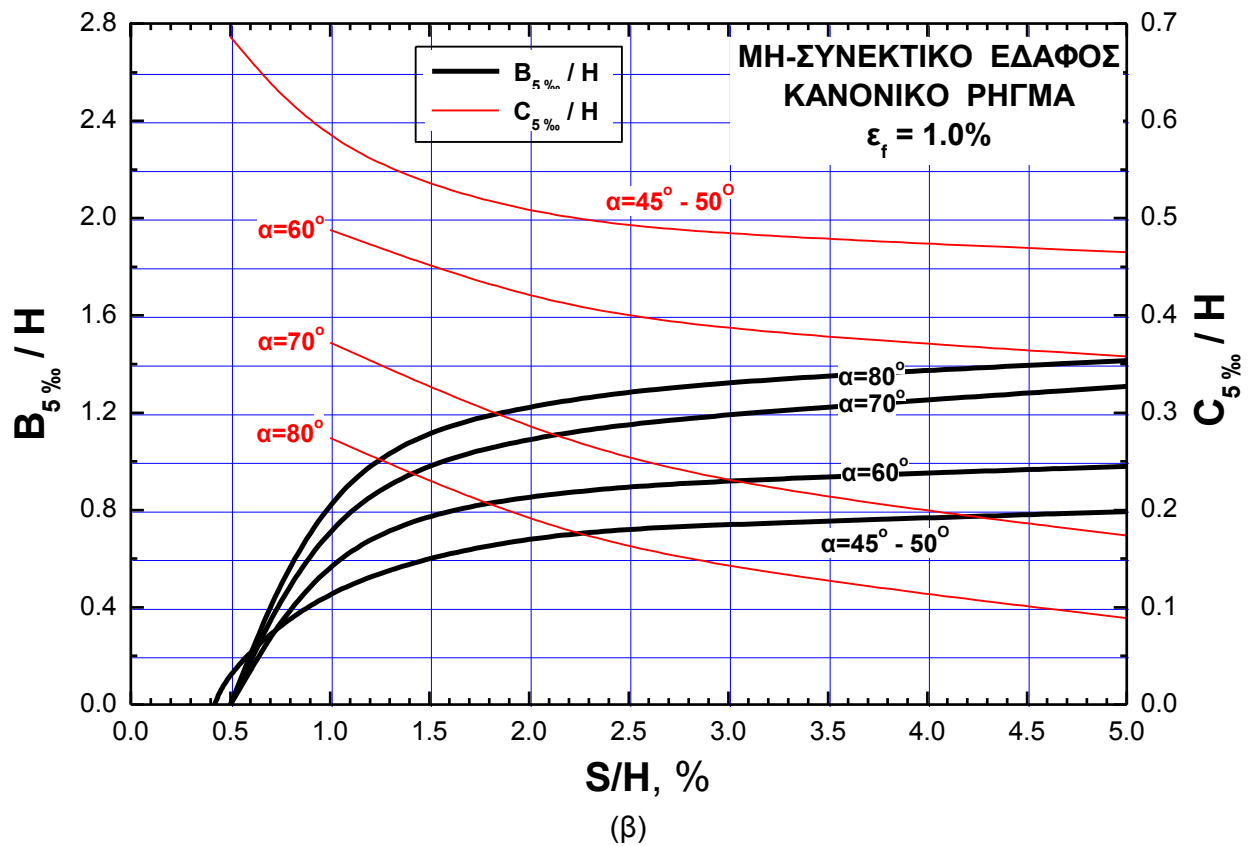
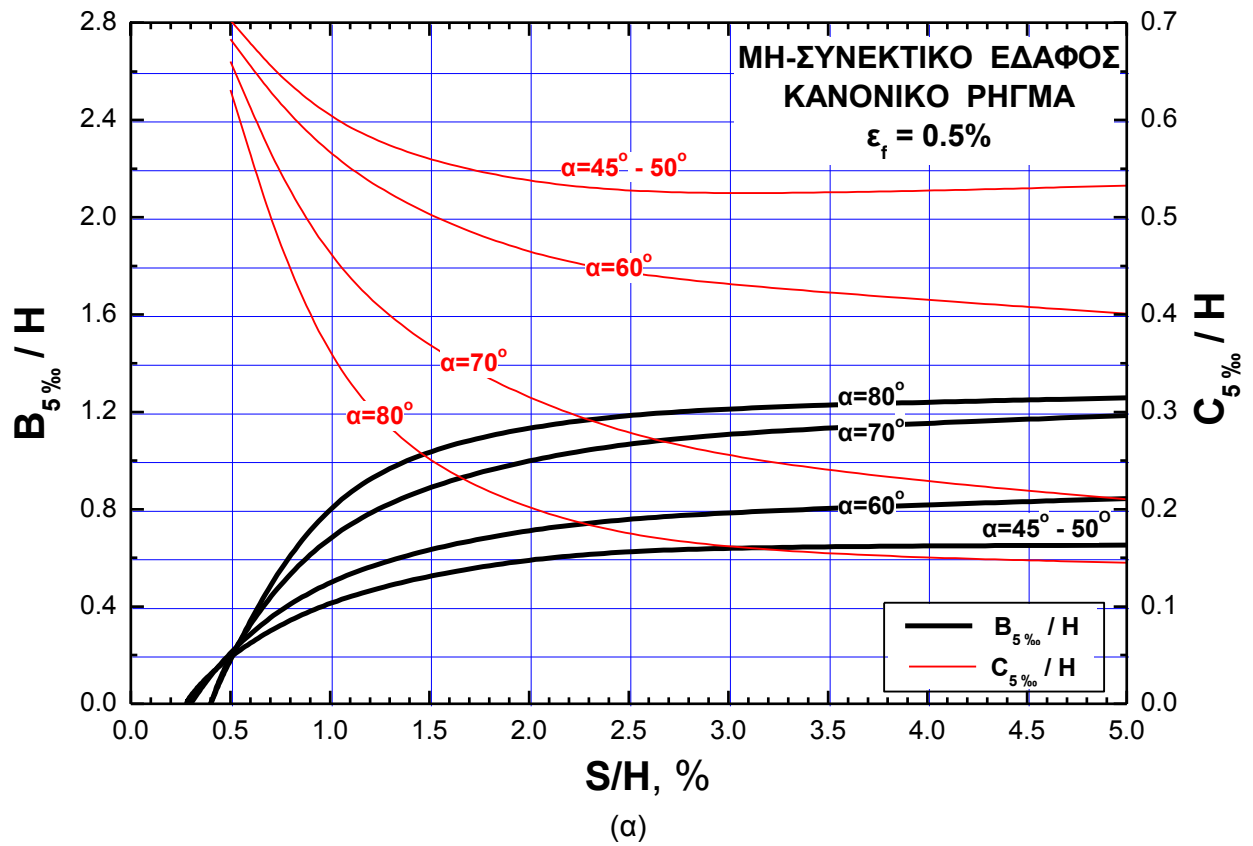
Σχήμα 7-34. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική σεισμική ολίσθηση (S/H) και την γωνία κλίσης α για τιμές της ορθής παραμόρφωσης α) $\varepsilon_f = 2.0\%$ και β) $\varepsilon_f = 5.0\%$ (κανονικό ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)



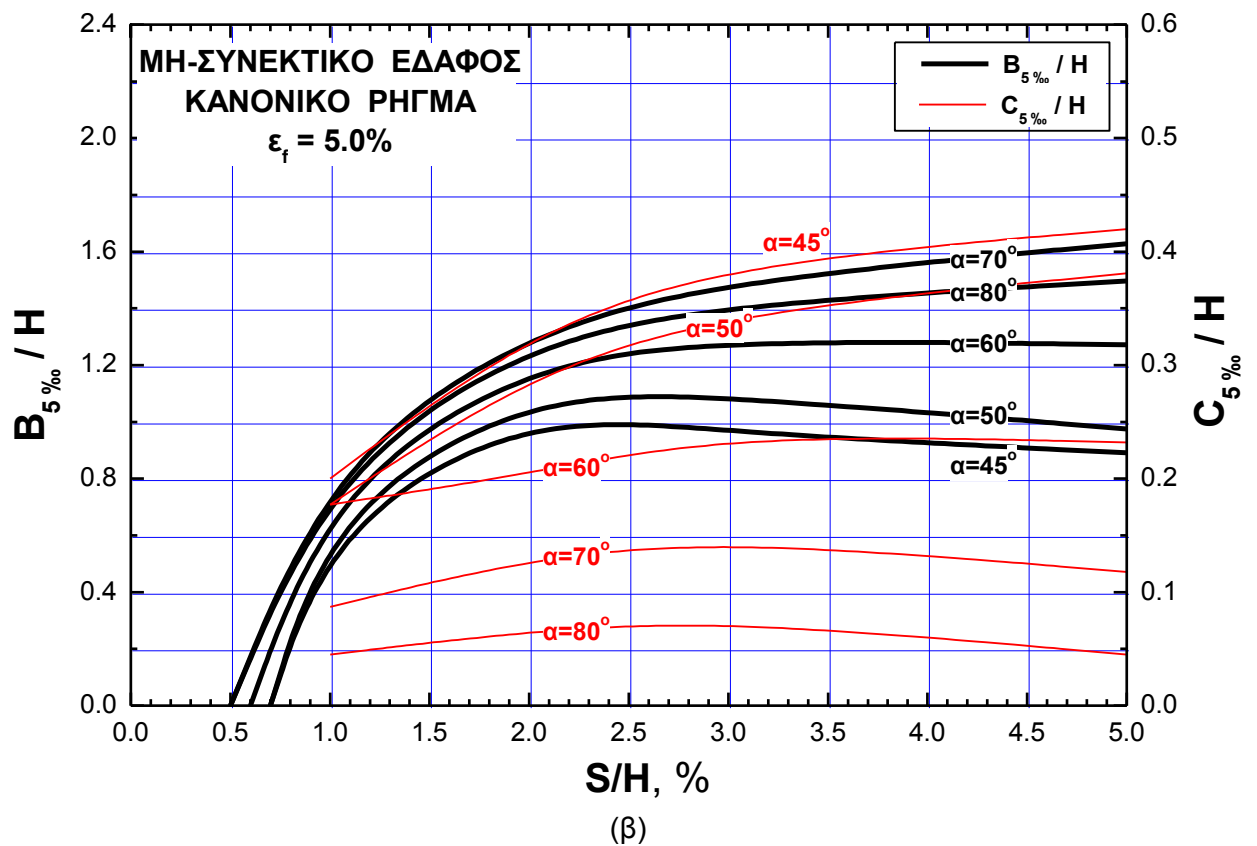
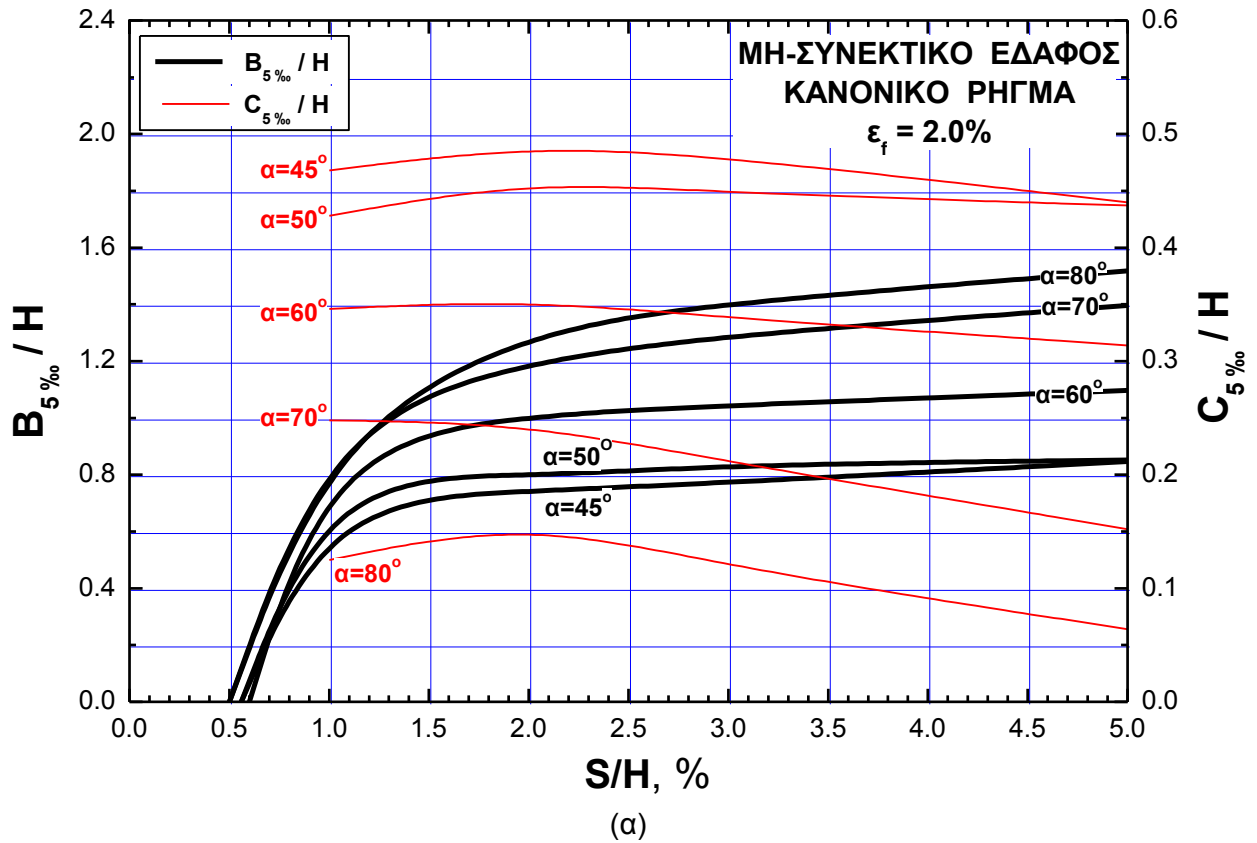
Σχήμα 7-35. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2‰}/H$ και $C_{2‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρηγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$



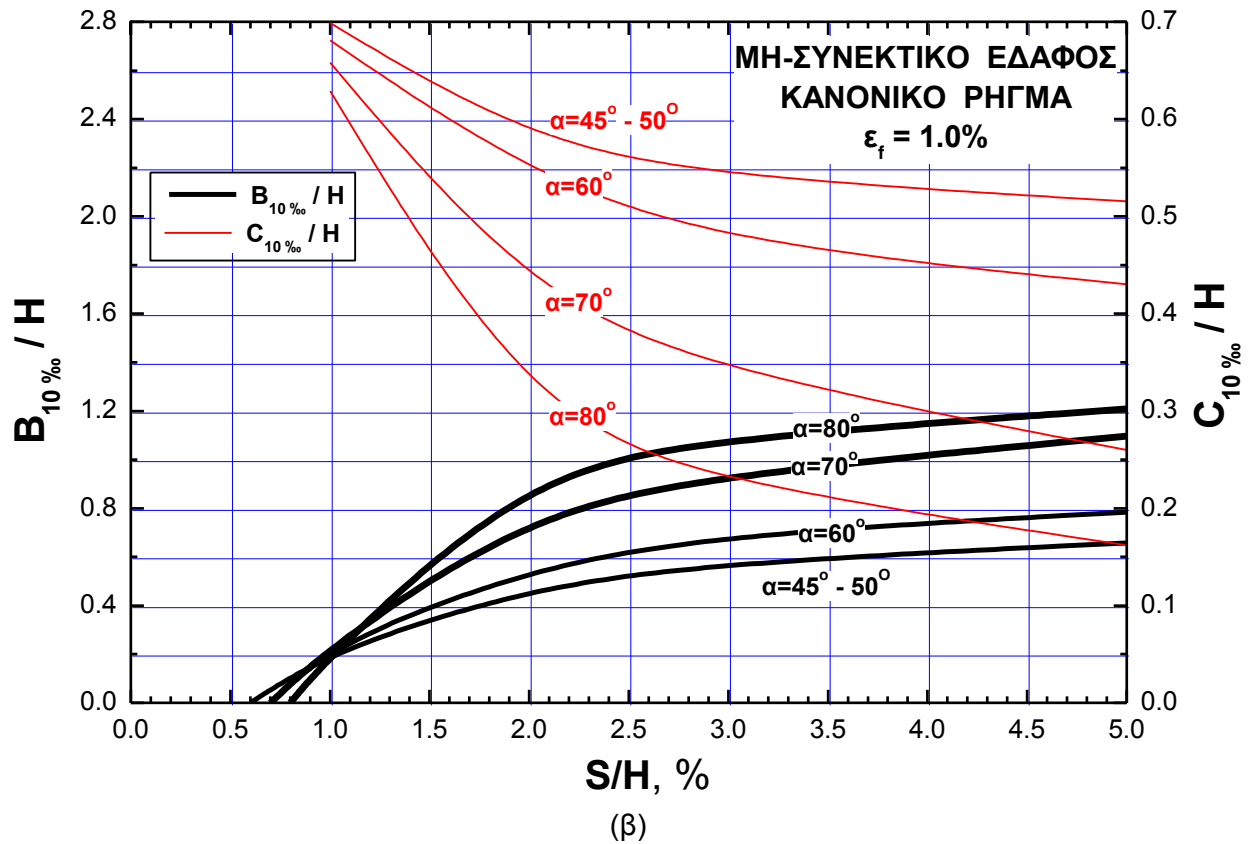
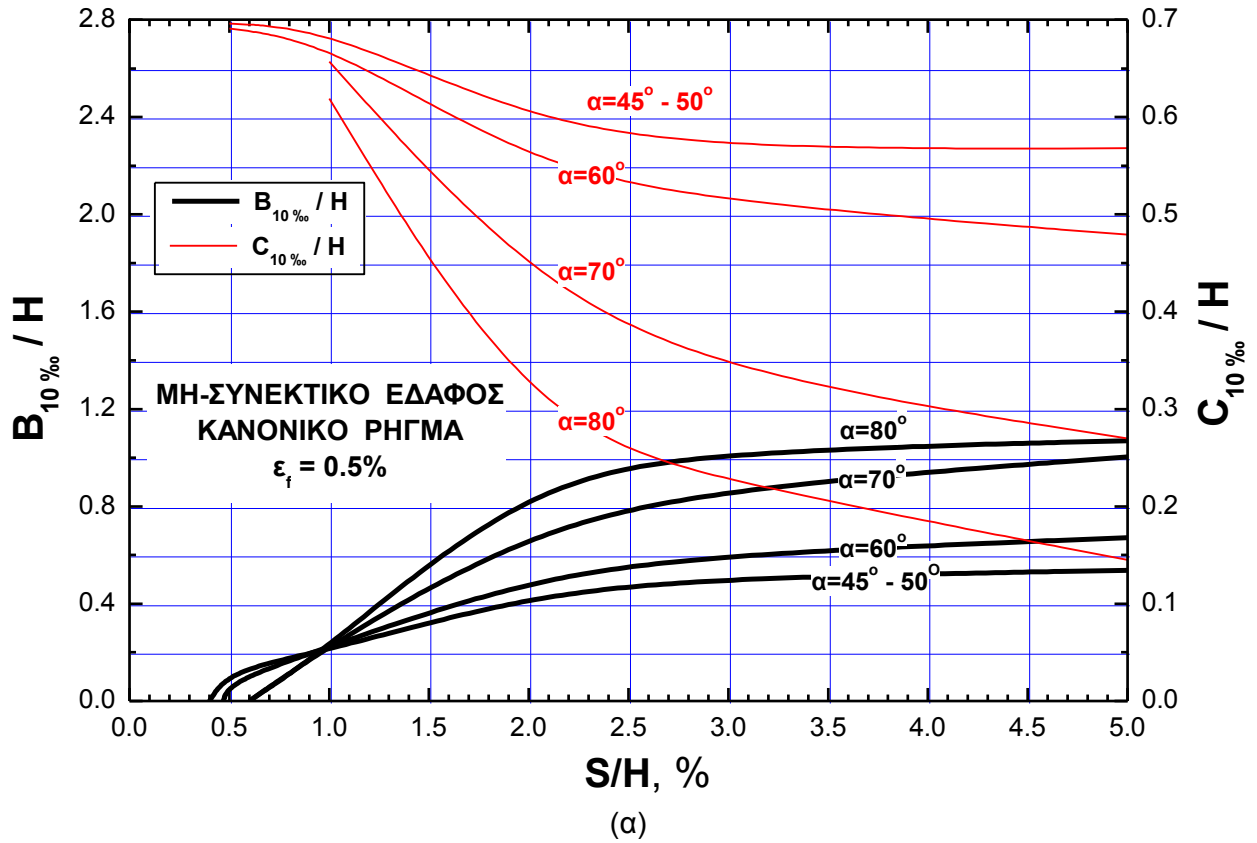
Σχήμα 7-36. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$



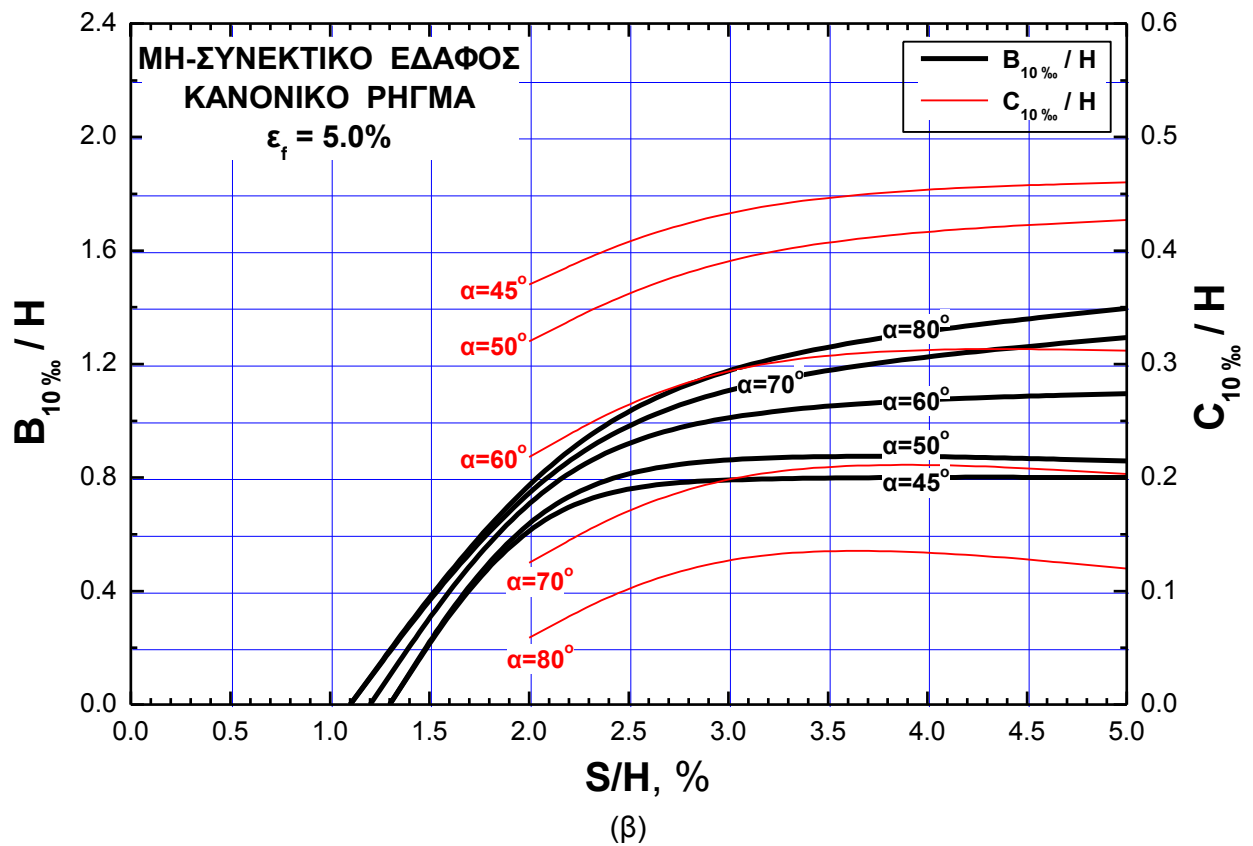
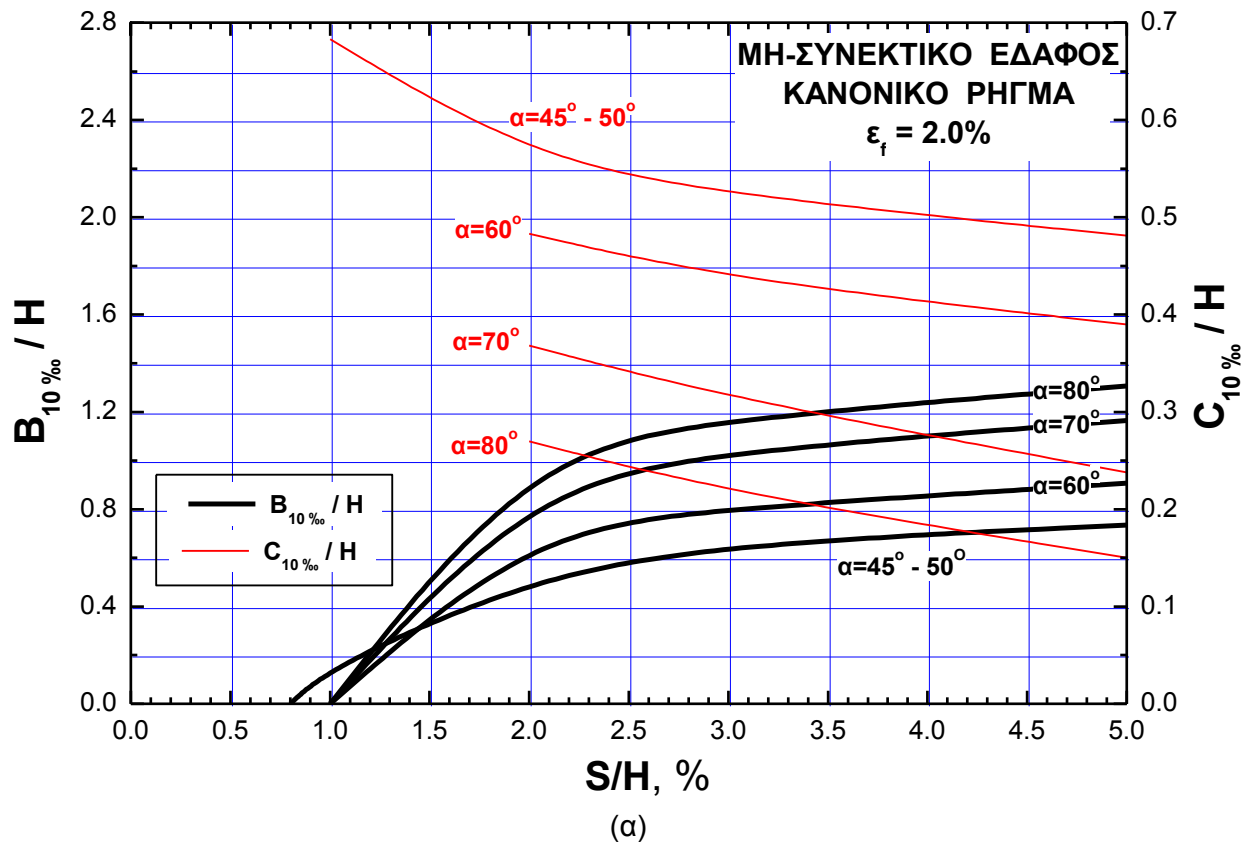
Σχήμα 7-37. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5‰}/H$ και $C_{5‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$



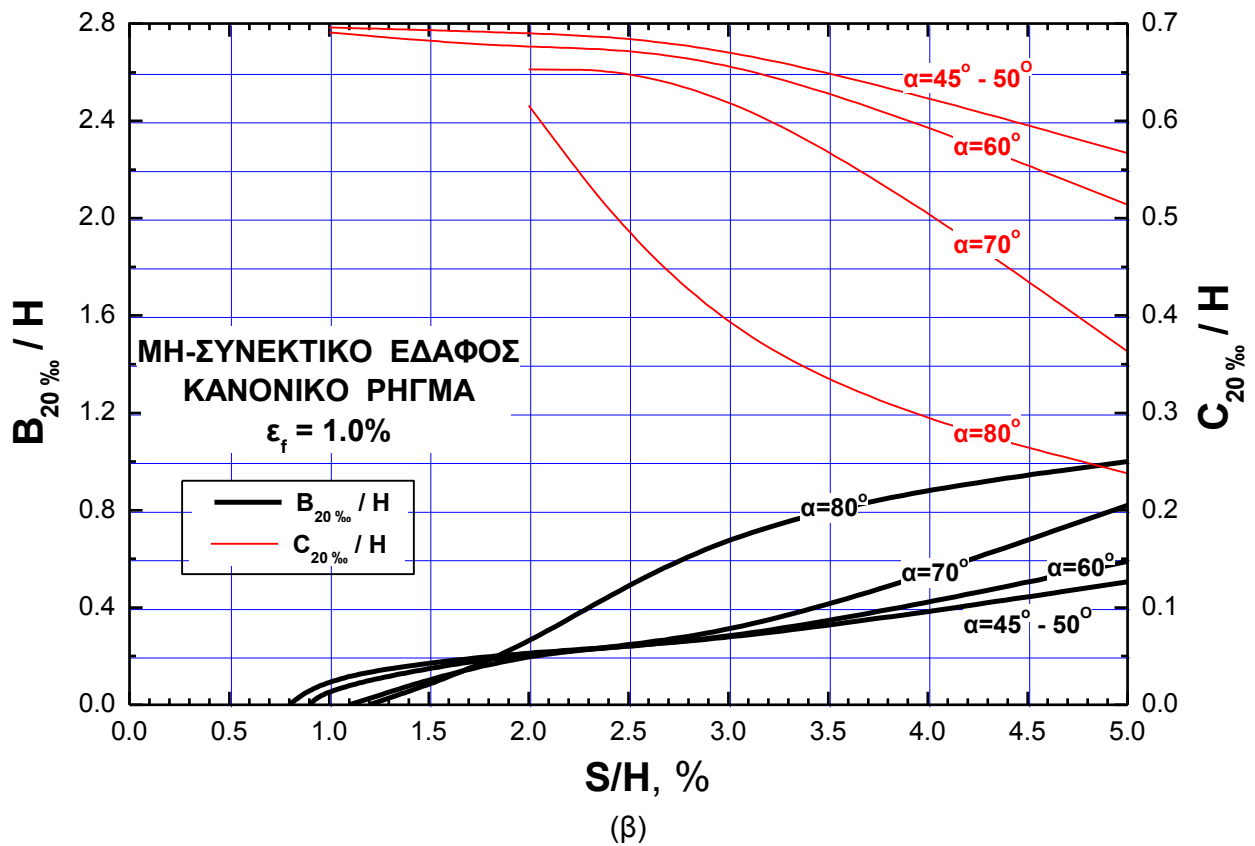
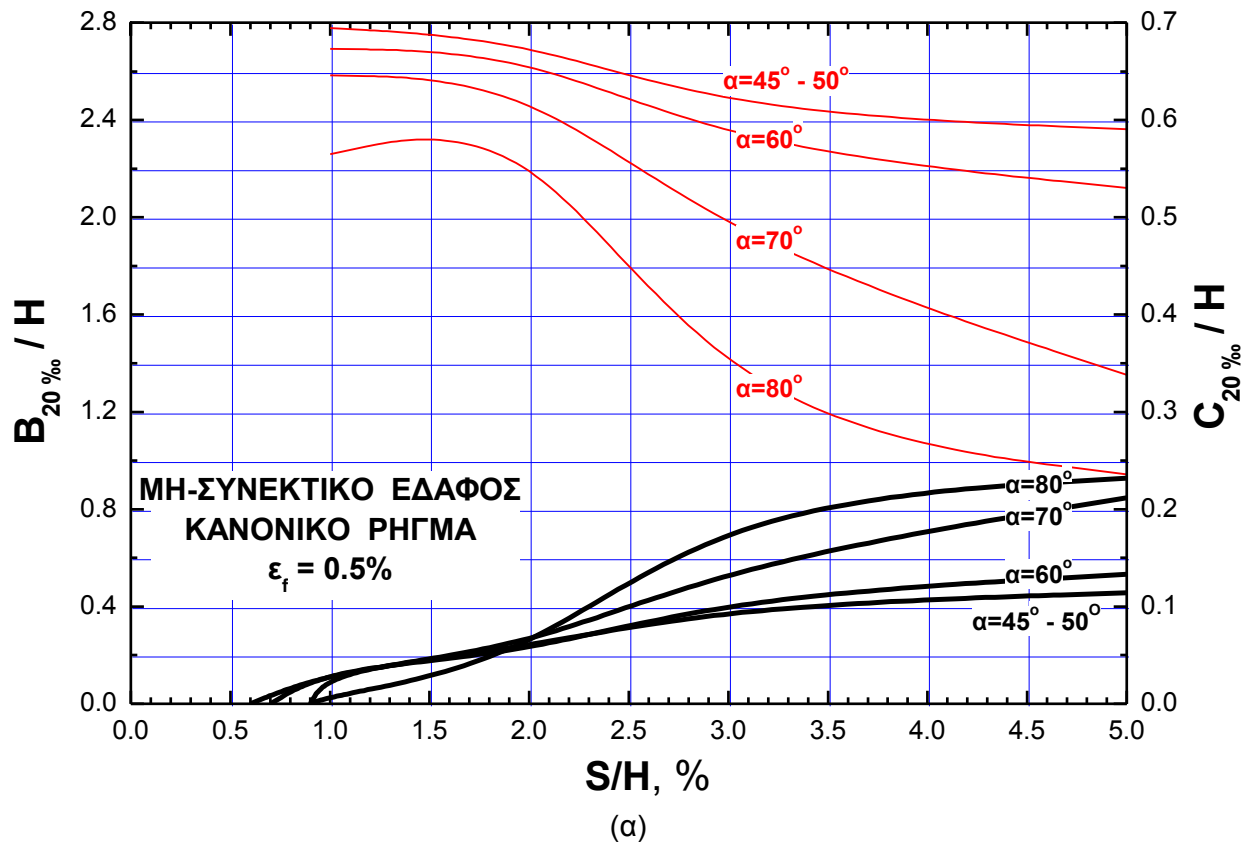
Σχήμα 7-38. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 2.0\%$ και β) $\epsilon_f = 5.0\%$



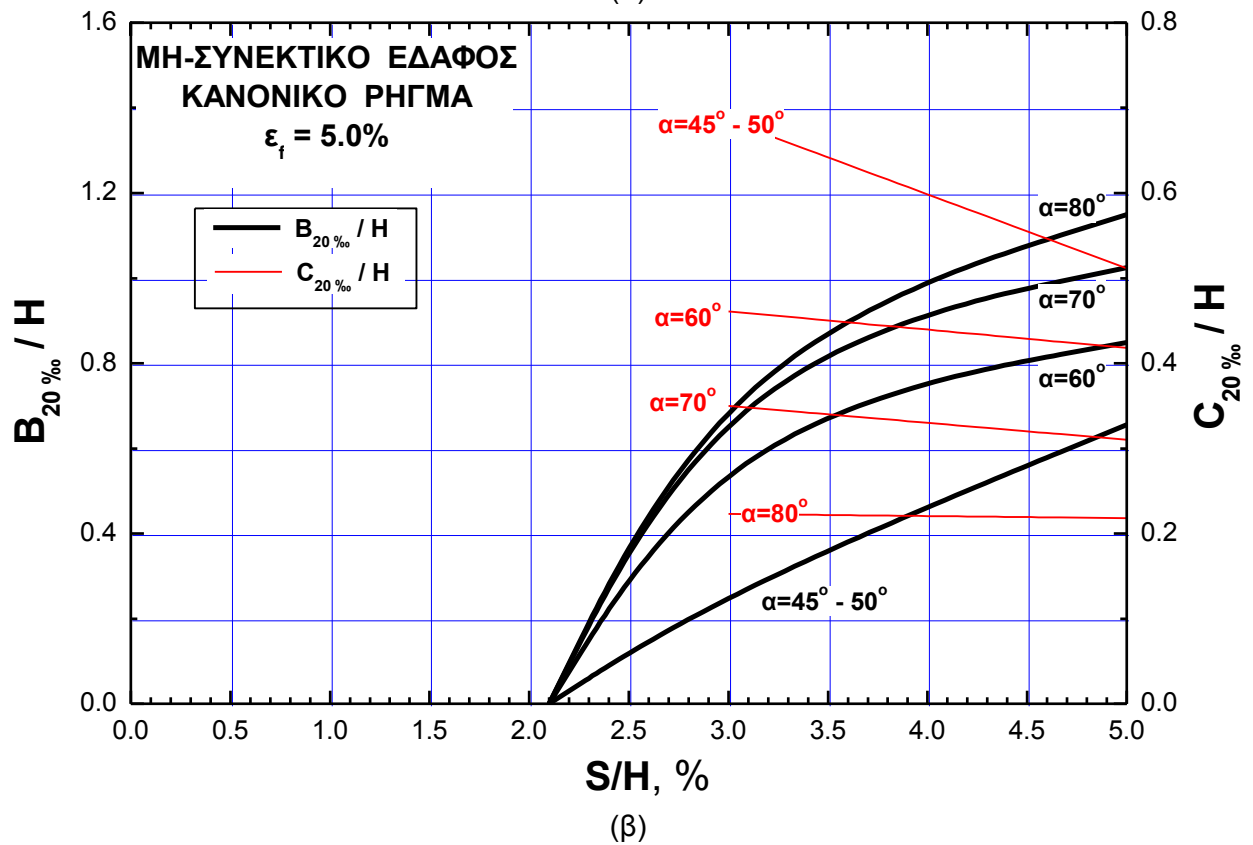
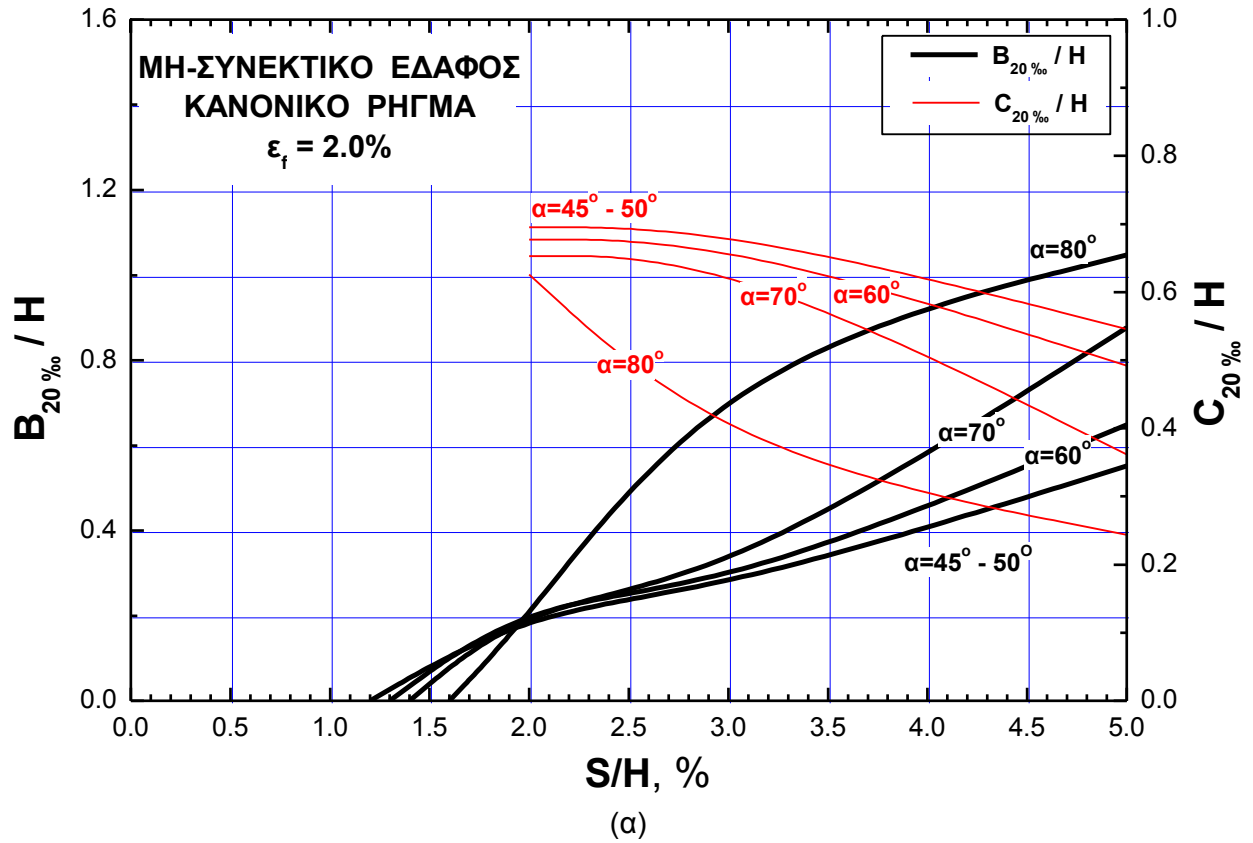
Σχήμα 7-39. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



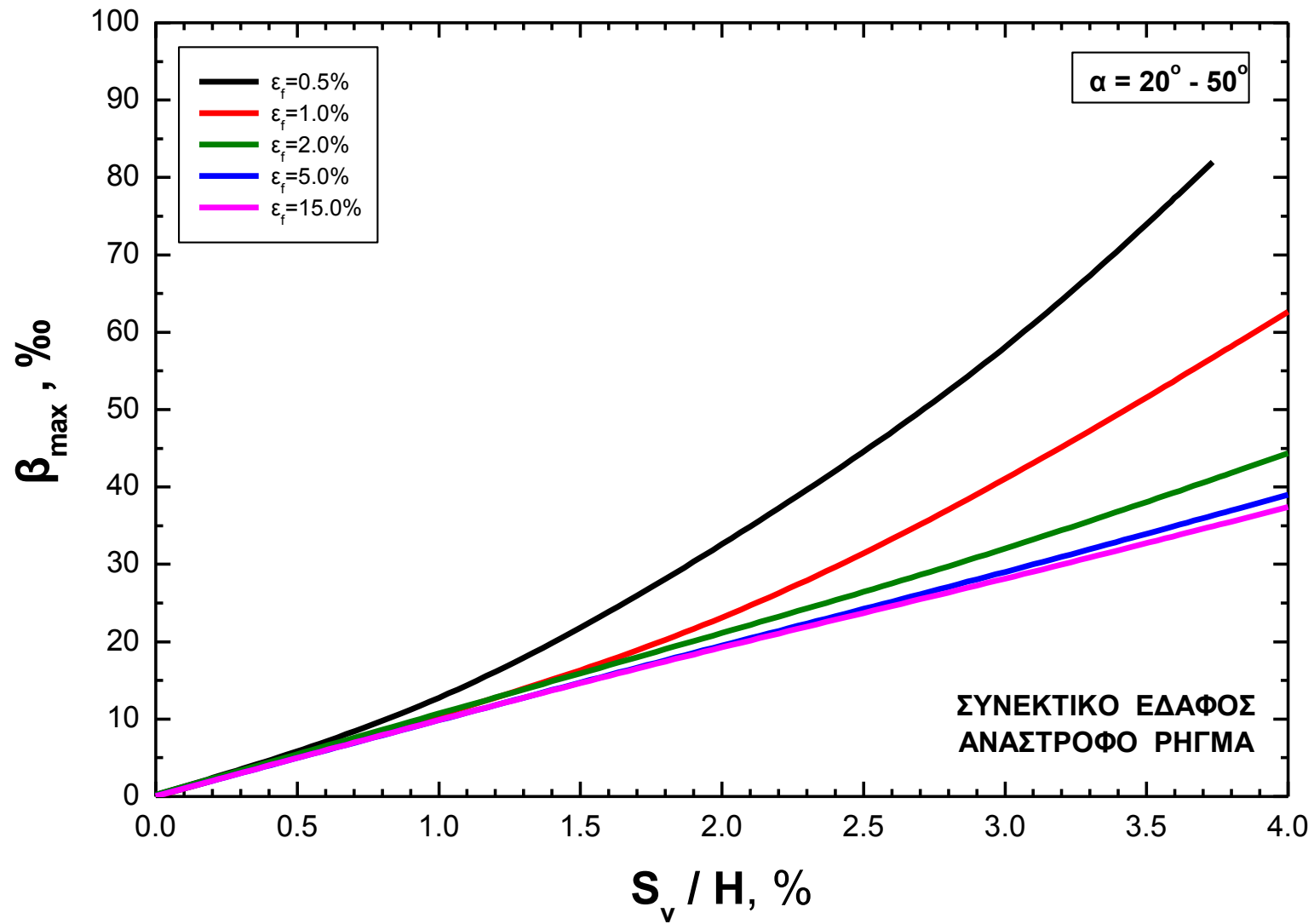
Σχήμα 7-40. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 2.0\%$ και β) $\varepsilon_f = 5.0\%$



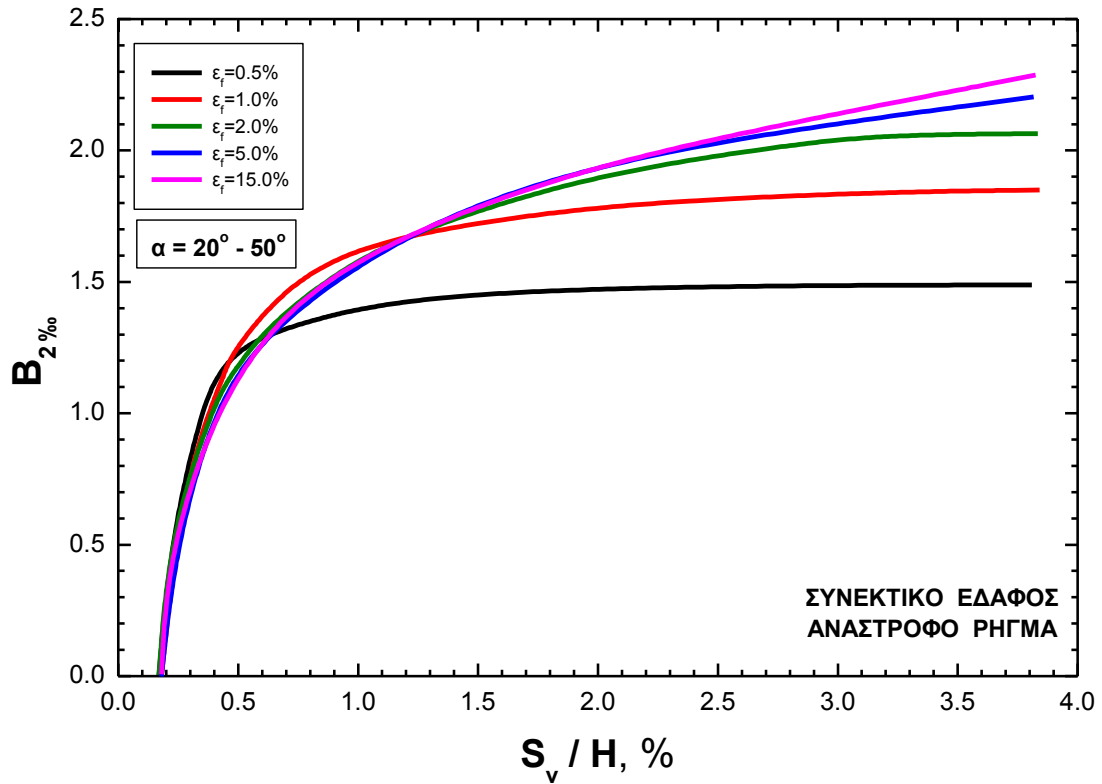
Σχήμα 7-41. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$



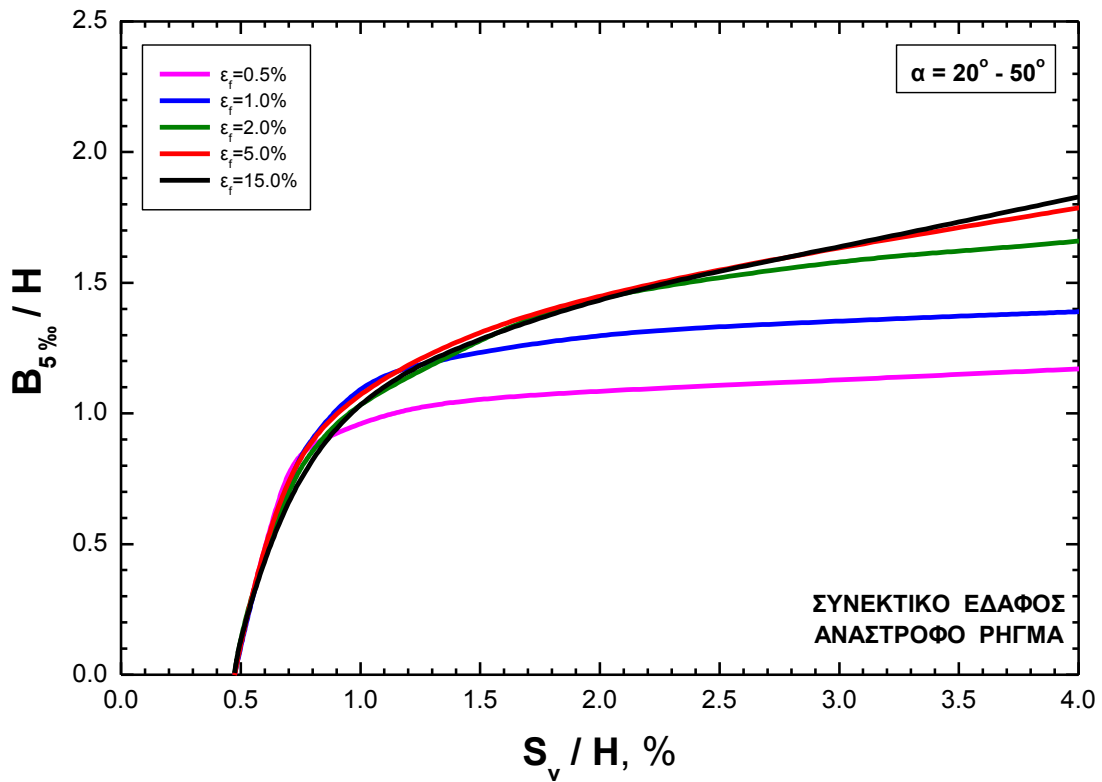
Σχήμα 7-42. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος σε μη-συνεκτικό έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$



Σχήμα 7-43. Εξάρτηση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)

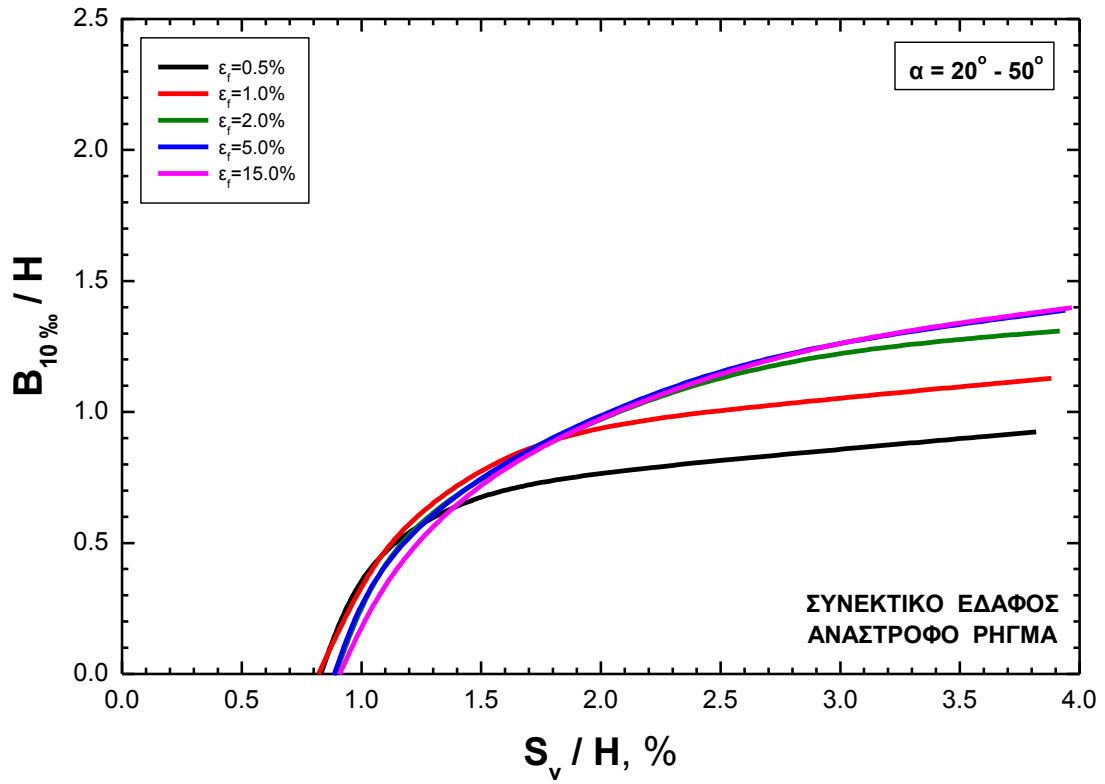


(α)

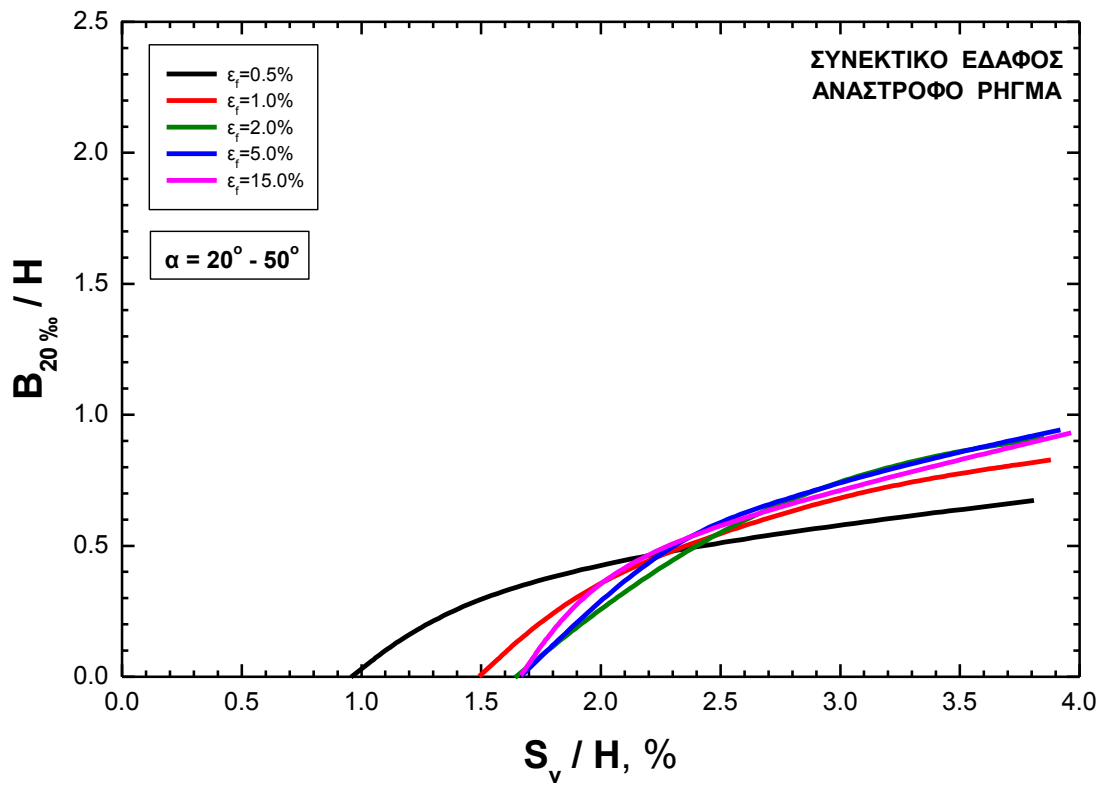


(β)

Σχήμα 7-44. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ϵ_f (ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)

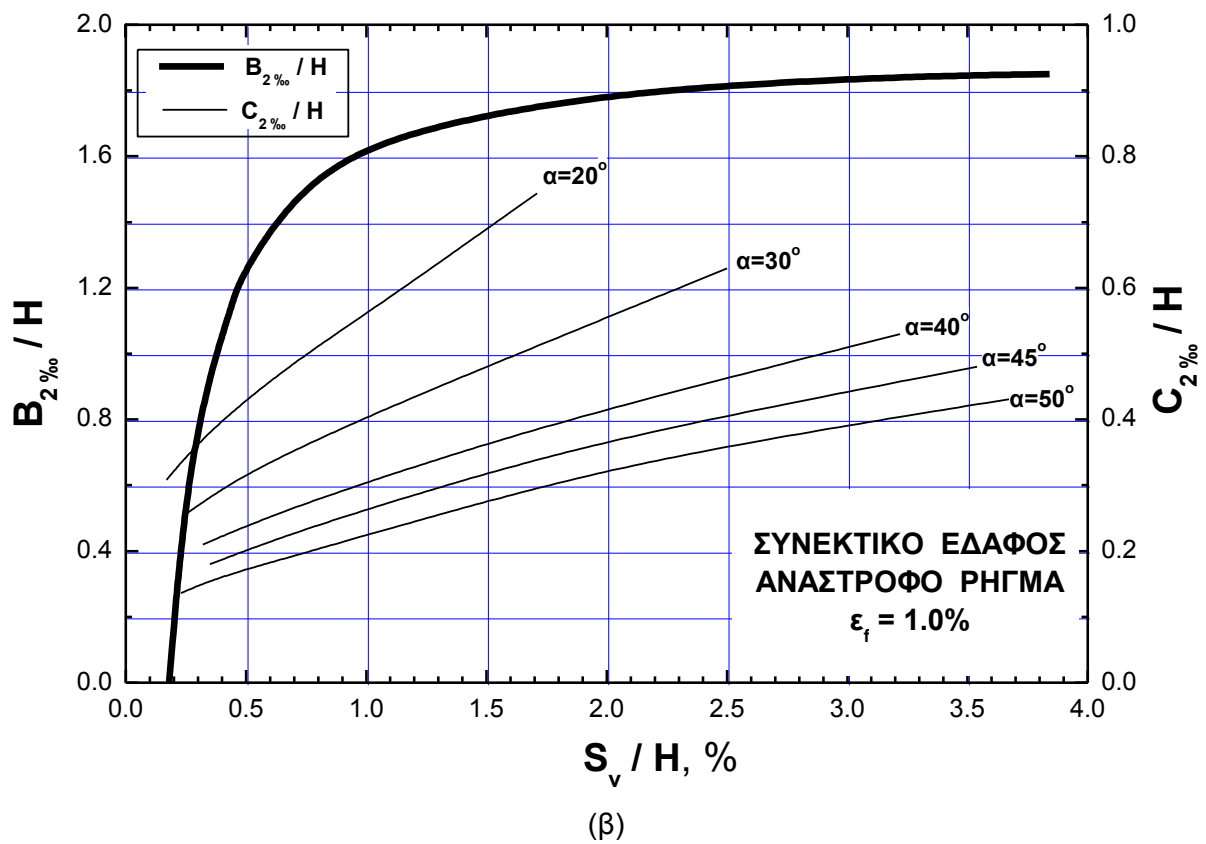
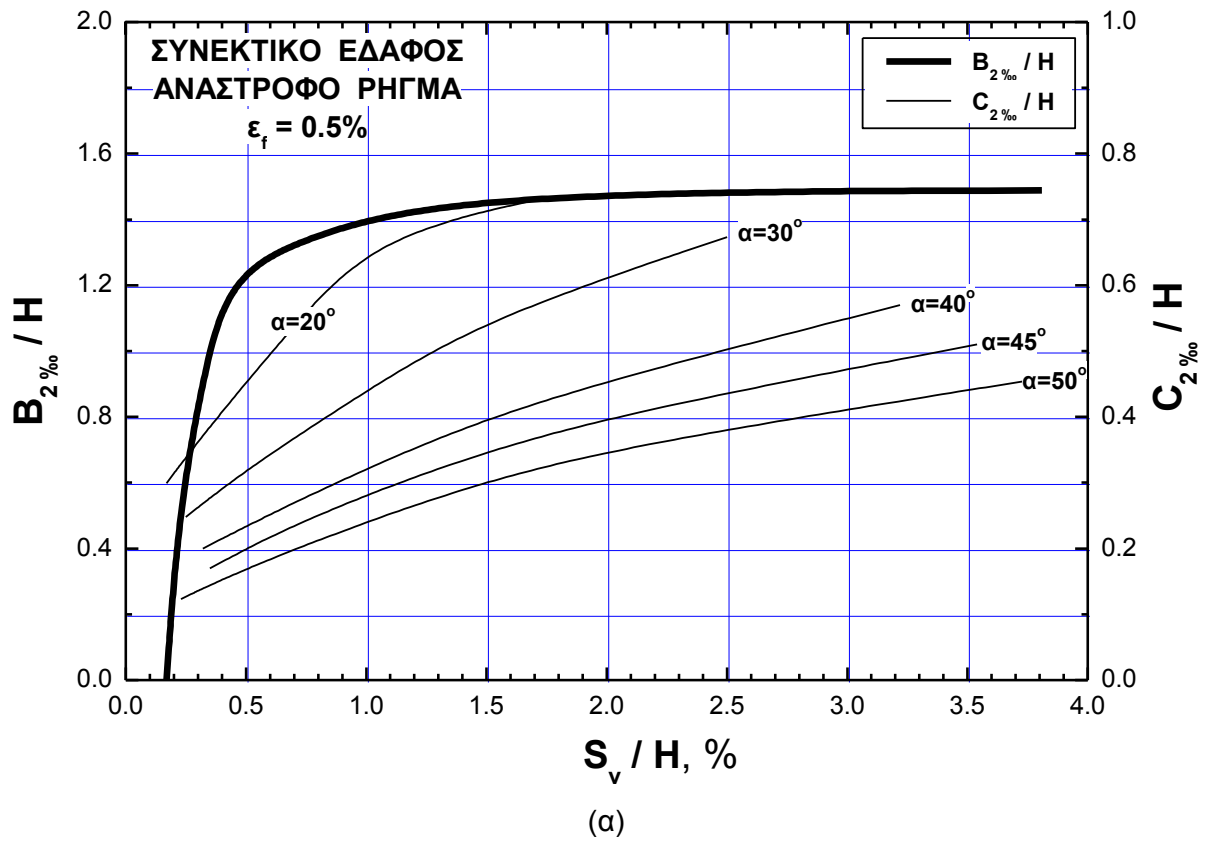


(α)

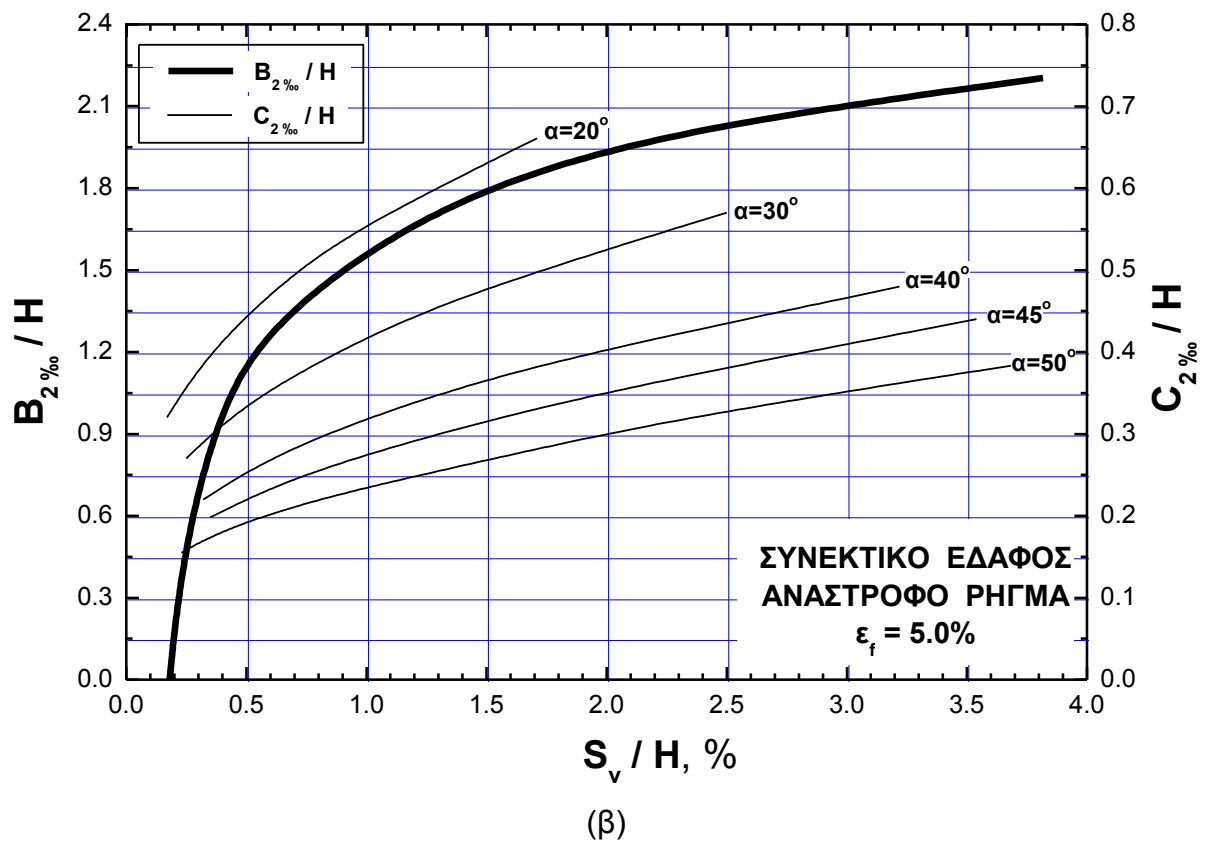
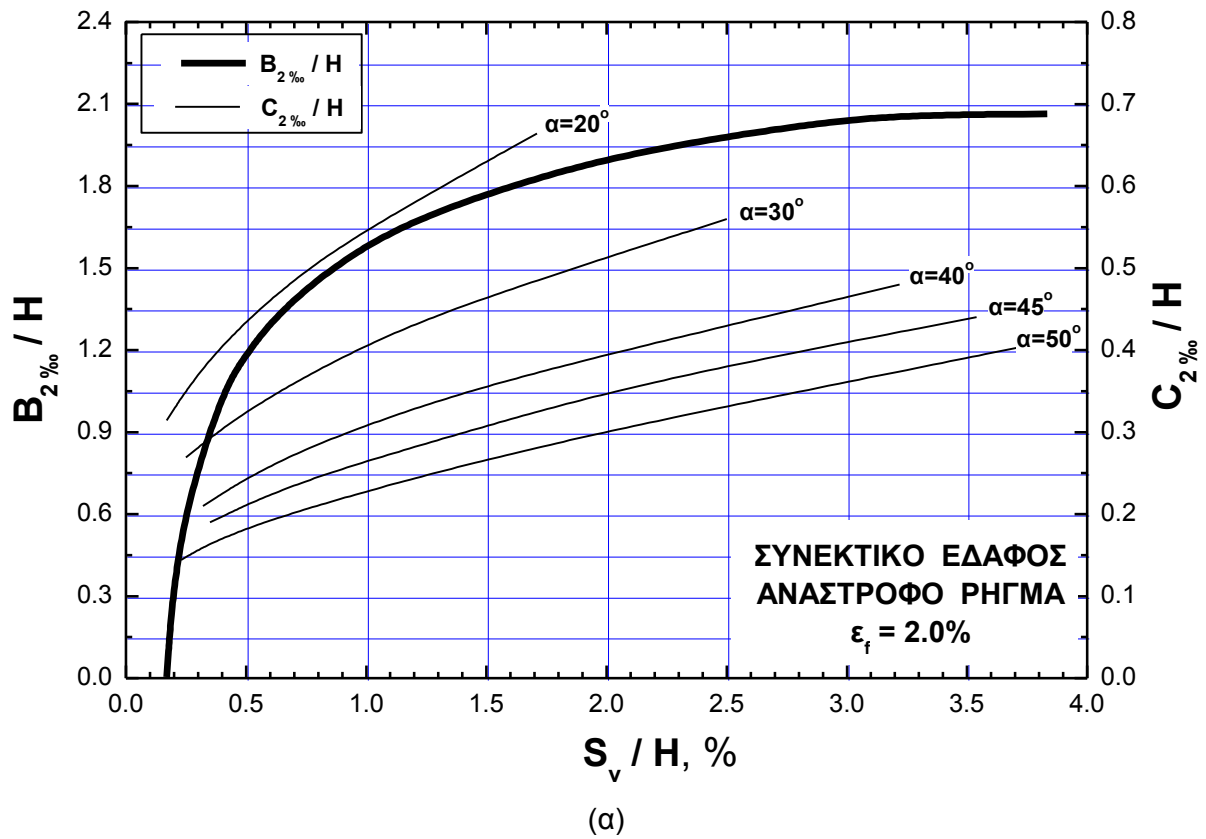


(β)

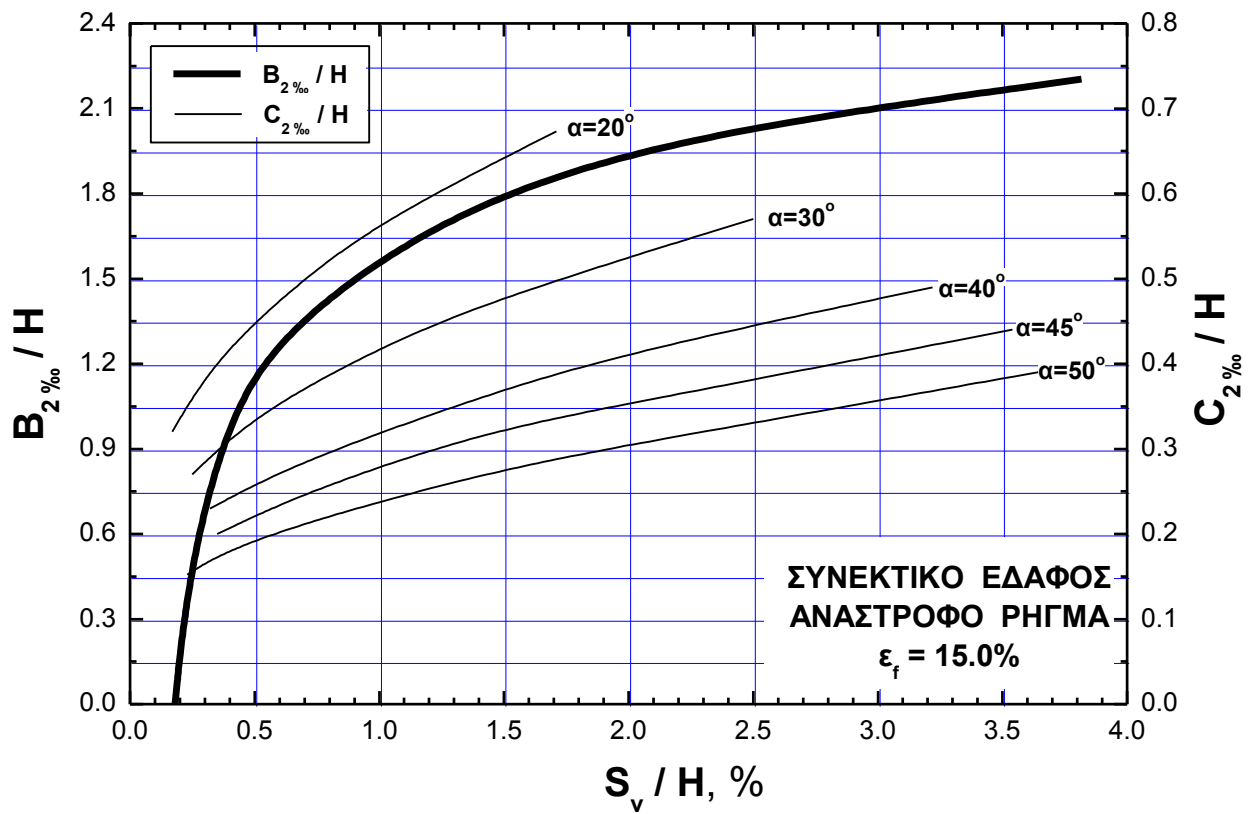
Σχήμα 7-45. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, συνεκτικό έδαφος)



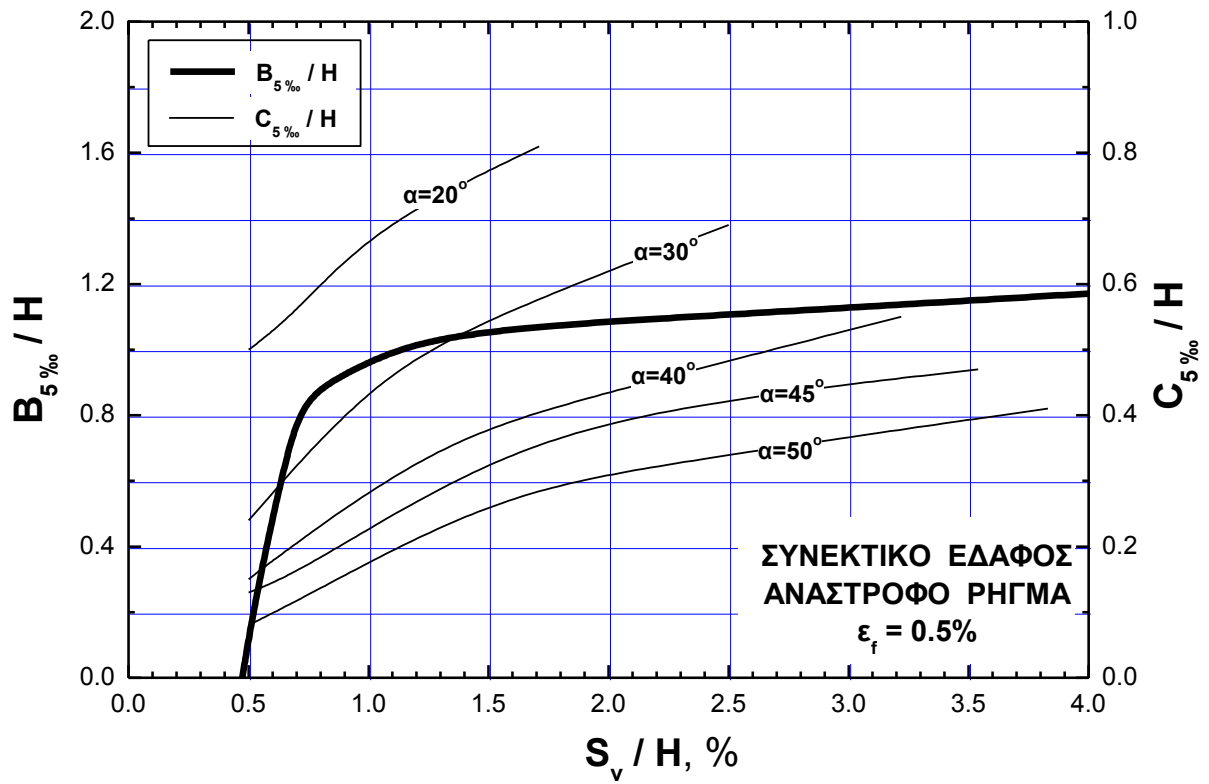
Σχήμα 7-46. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 0.5\%$ και β) $\varepsilon_f = 1.0\%$



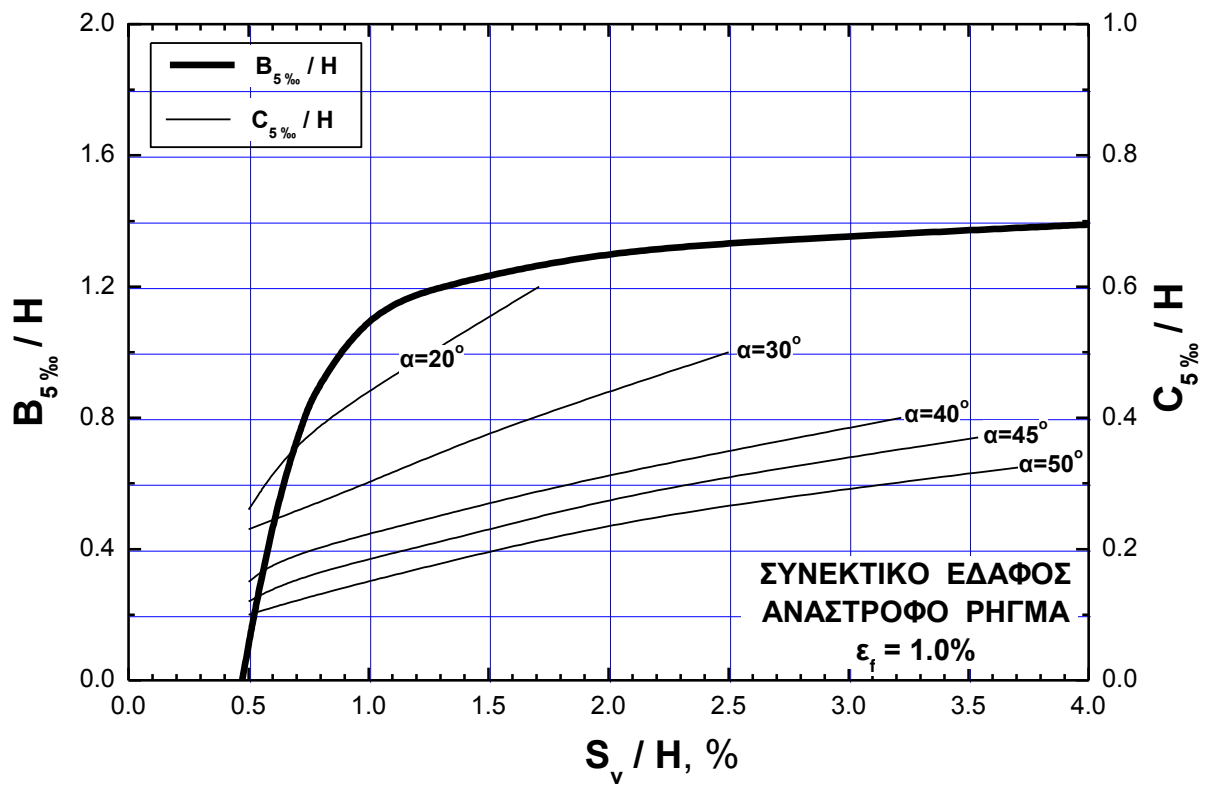
Σχήμα 7-47. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2‰}/H$ και $C_{2‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 2.0\%$ και β) $\epsilon_f = 5.0\%$



Σχήμα 7-48. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$

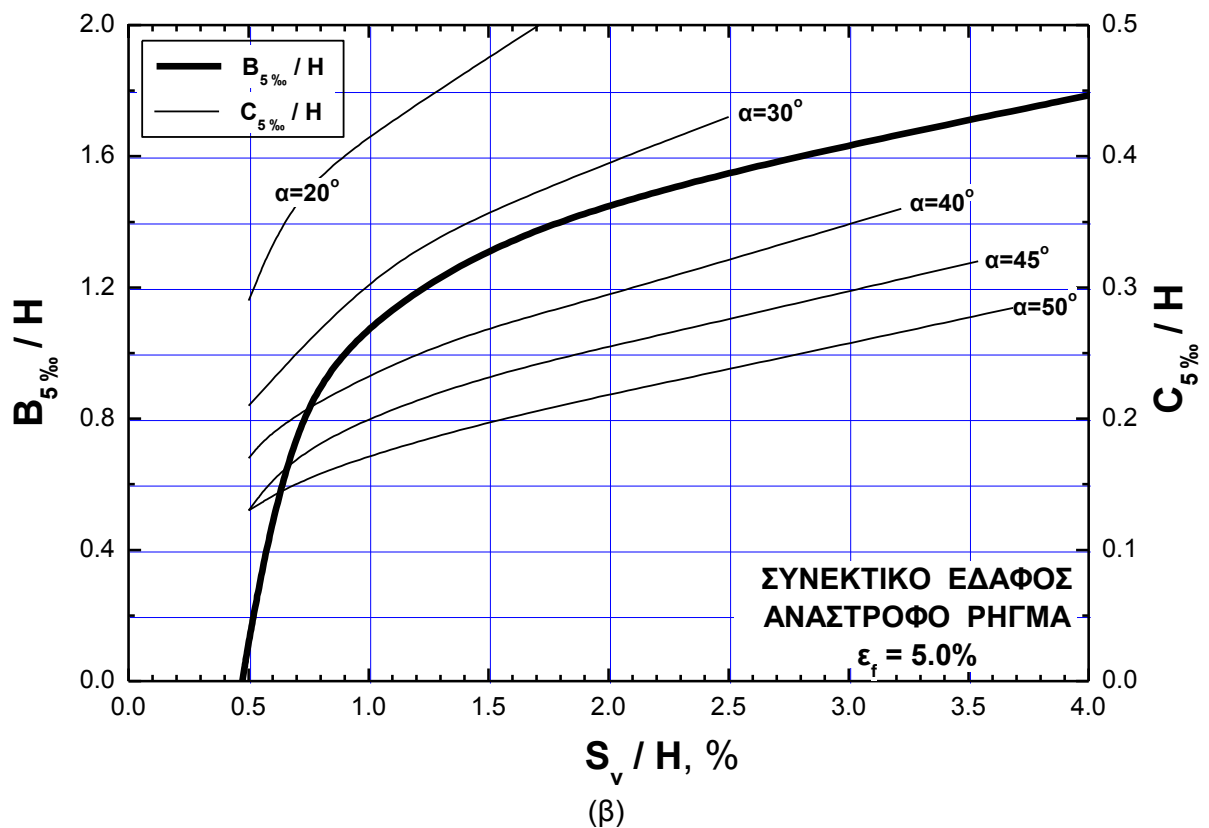
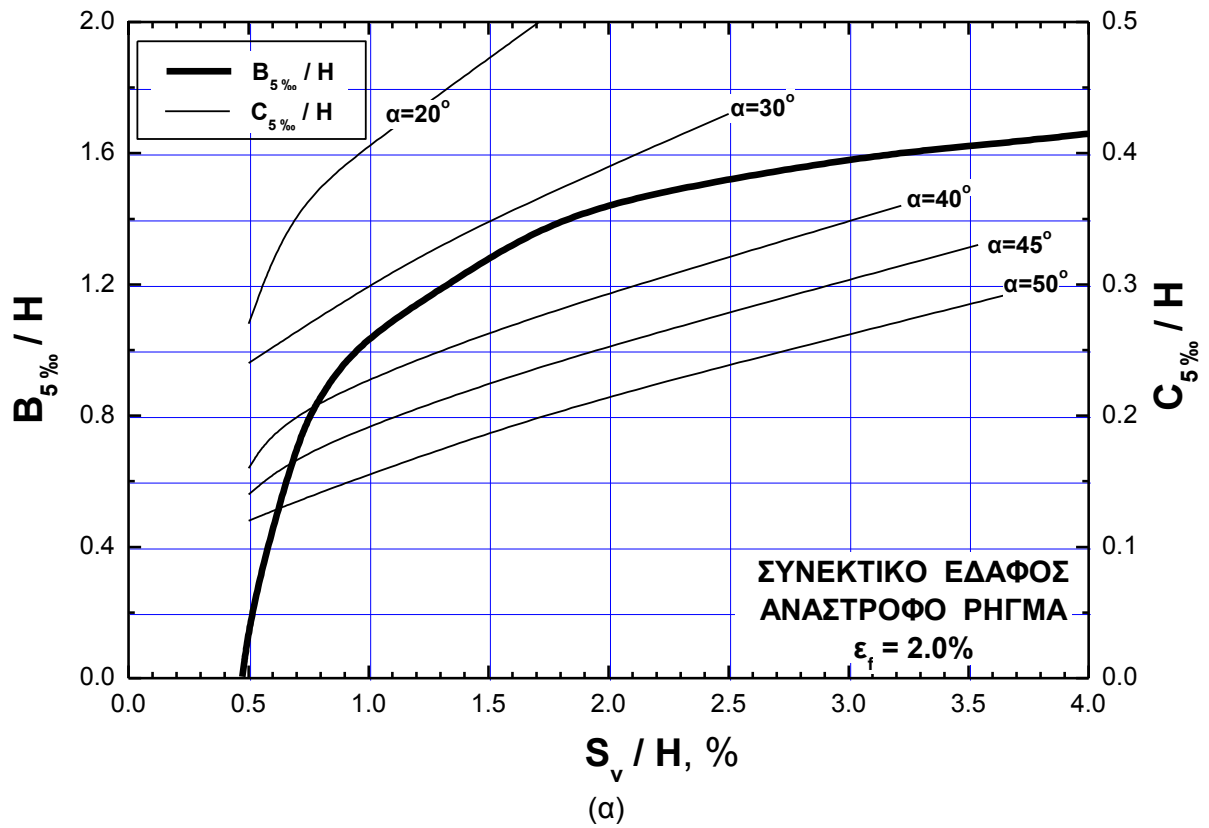


(α)

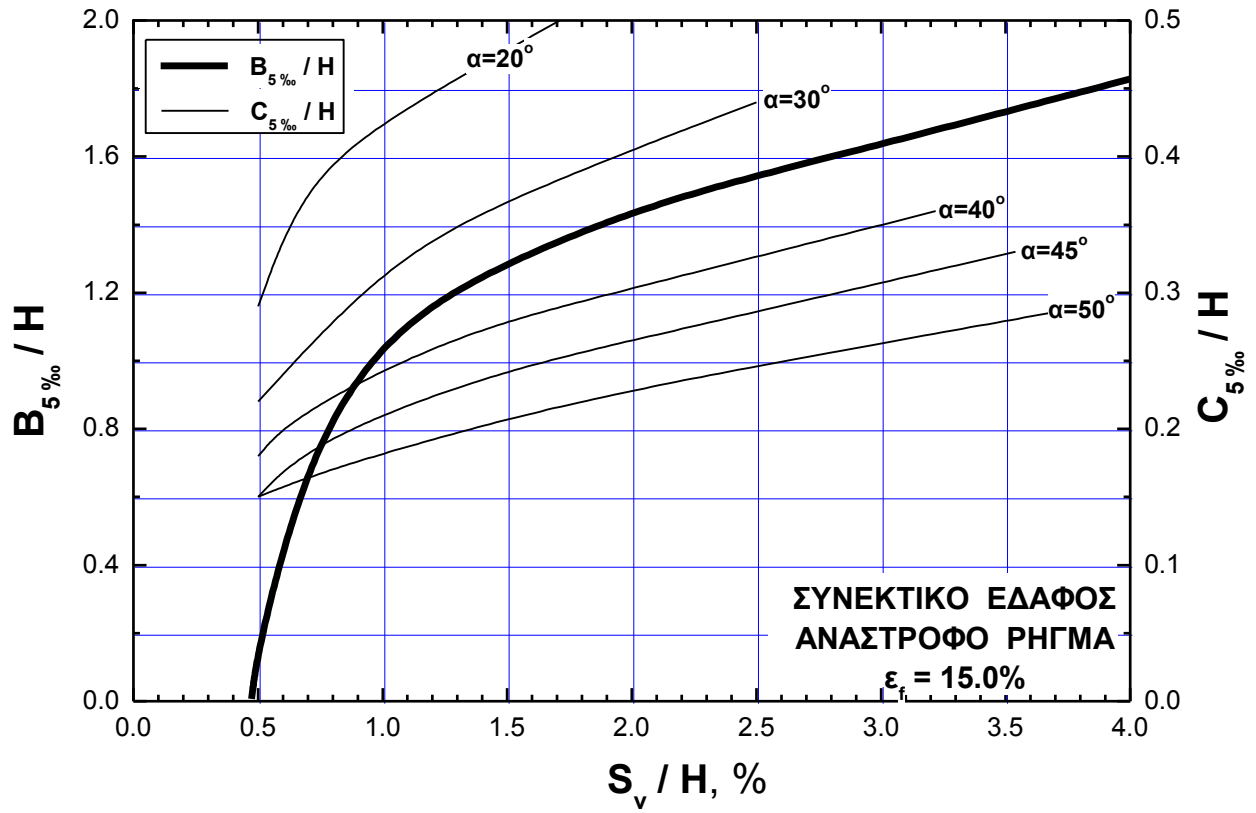


(β)

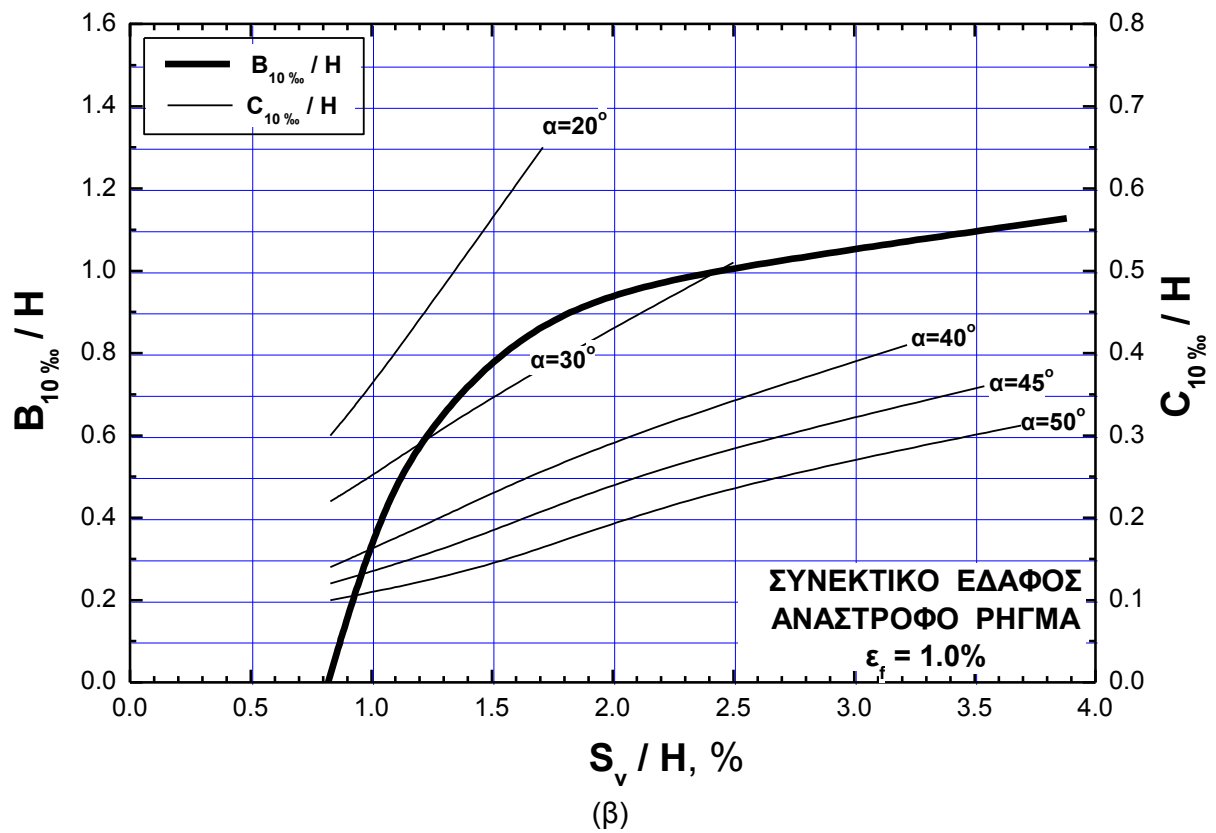
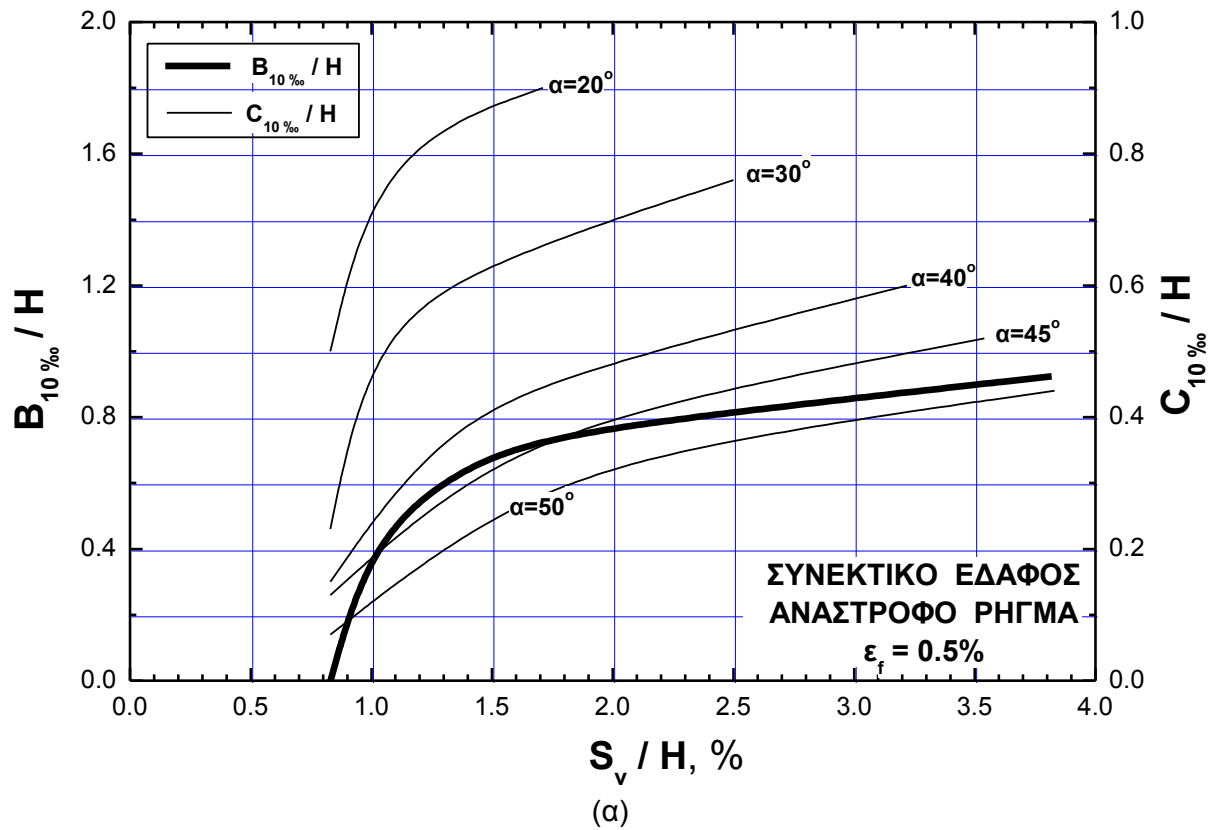
Σχήμα 7-49. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5‰}/H$ και $C_{5‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



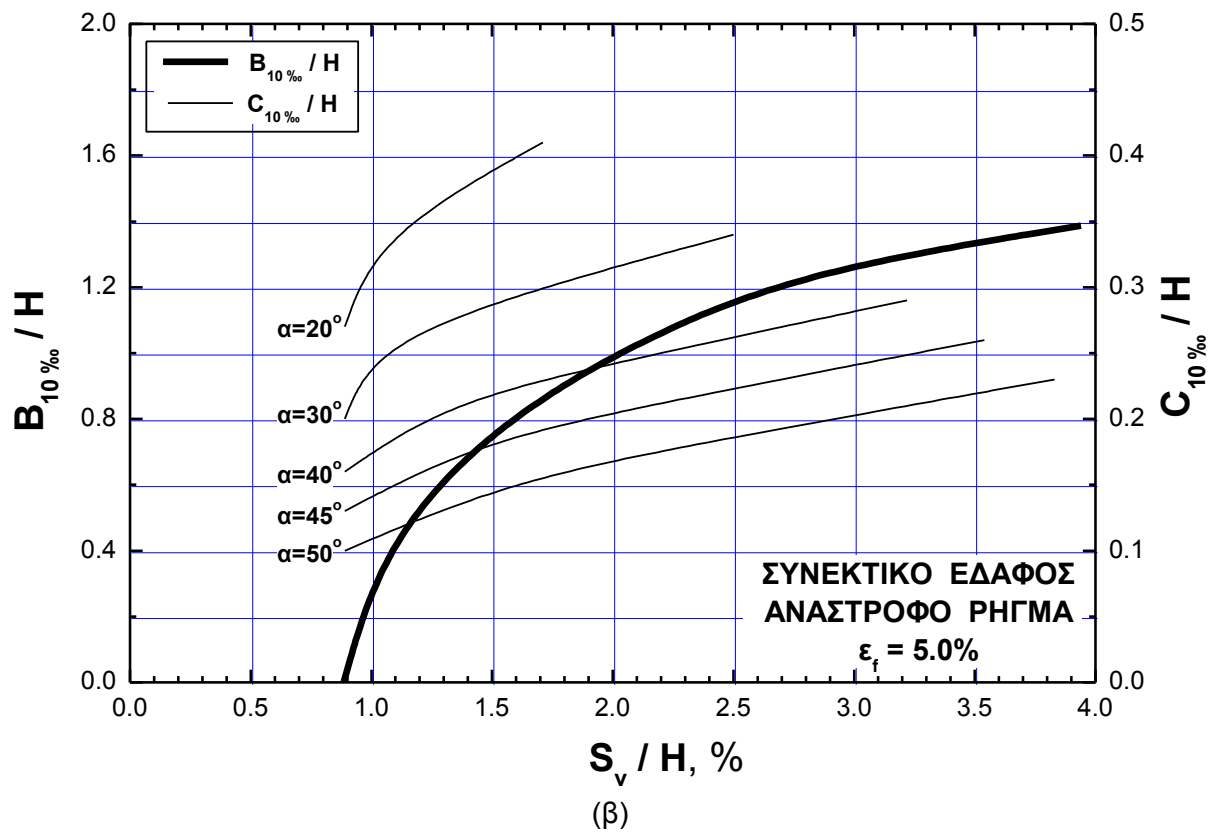
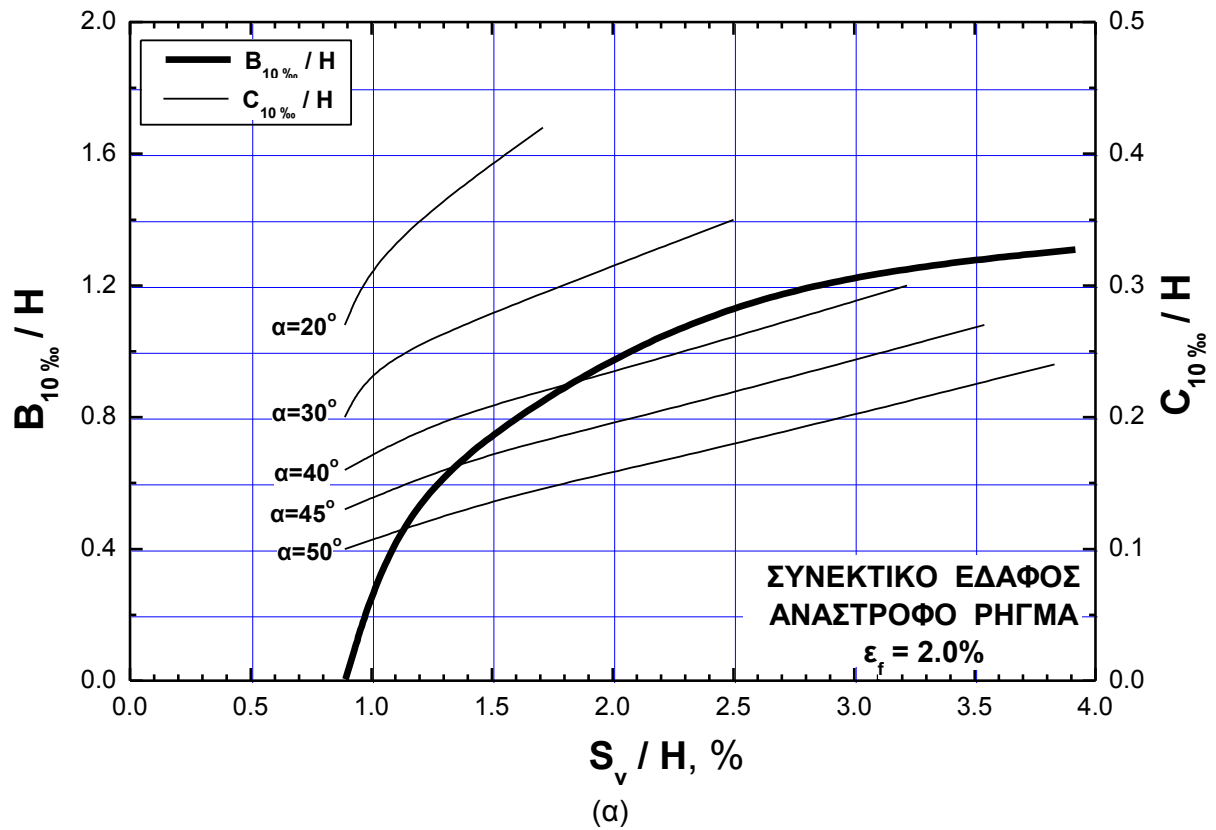
Σχήμα 7-50. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f=2.0\%$ και β) $\epsilon_f=5.0\%$



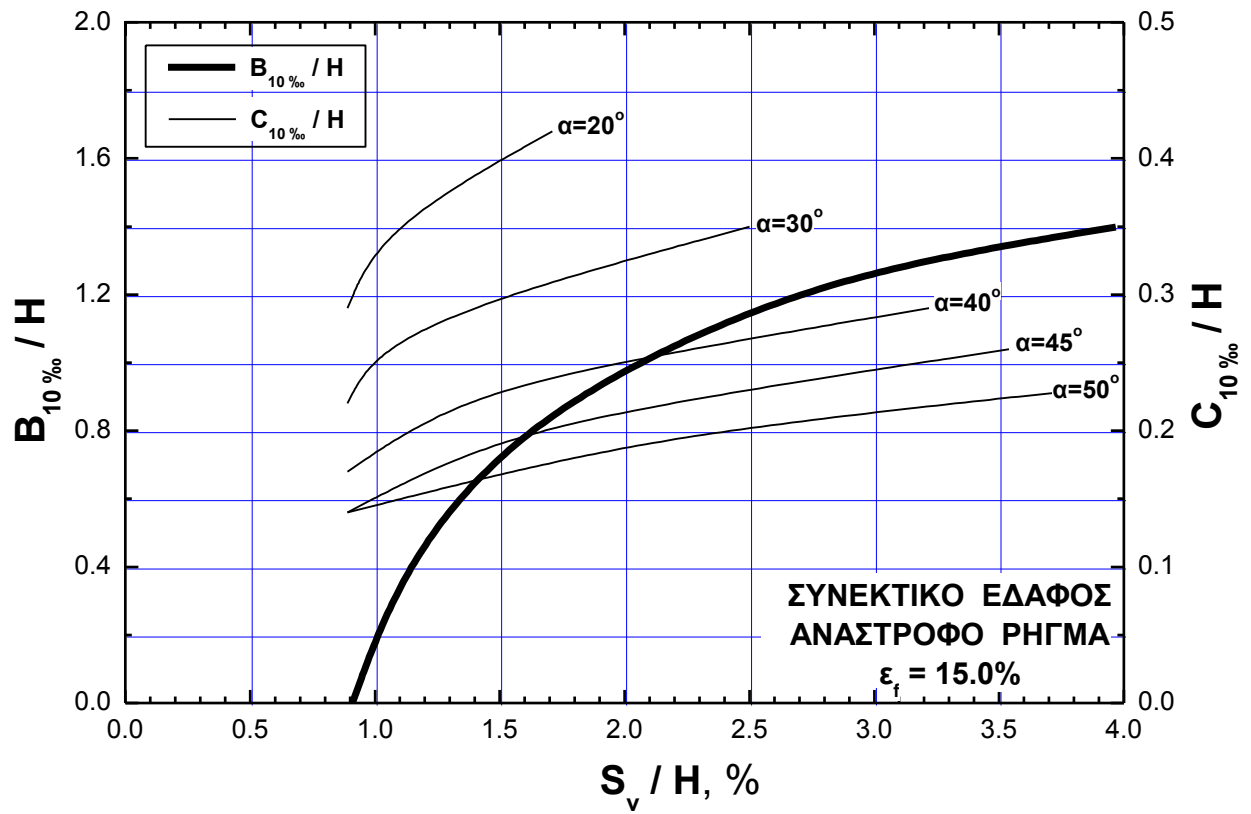
Σχήμα 7-51. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$



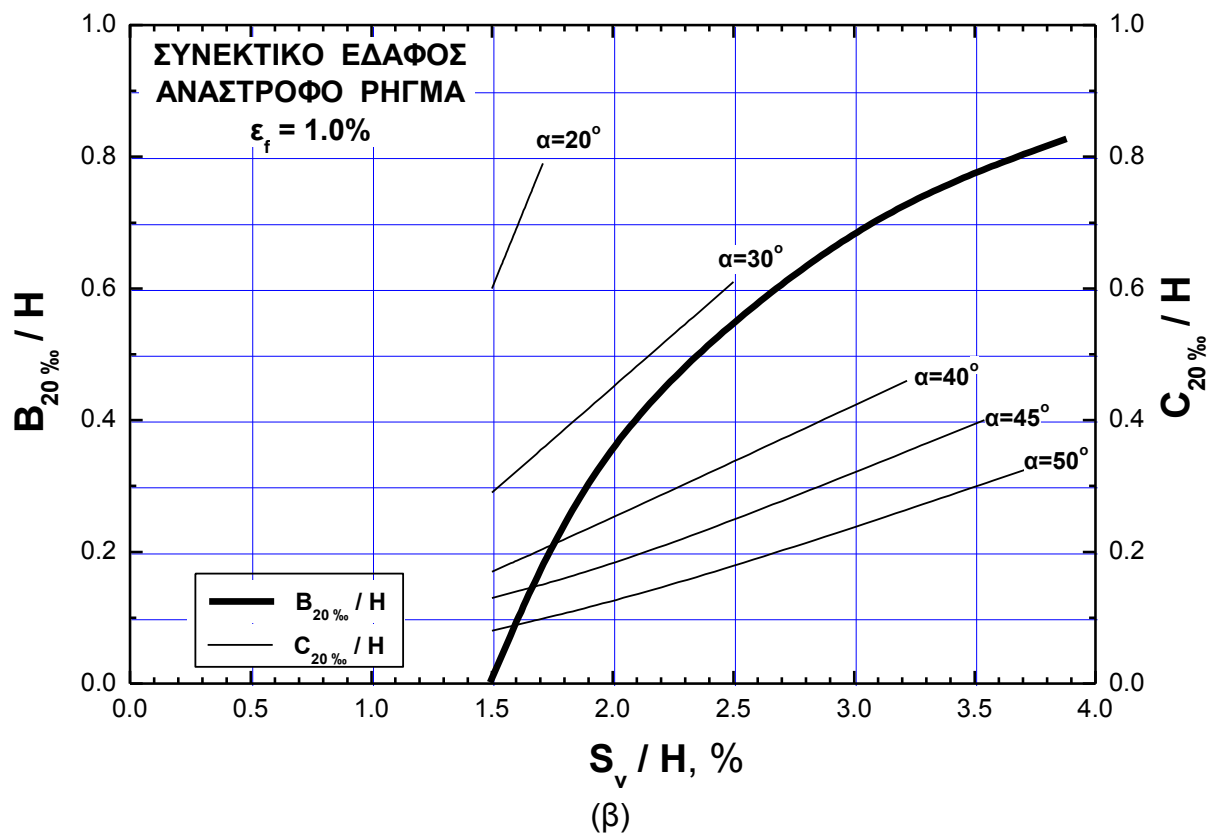
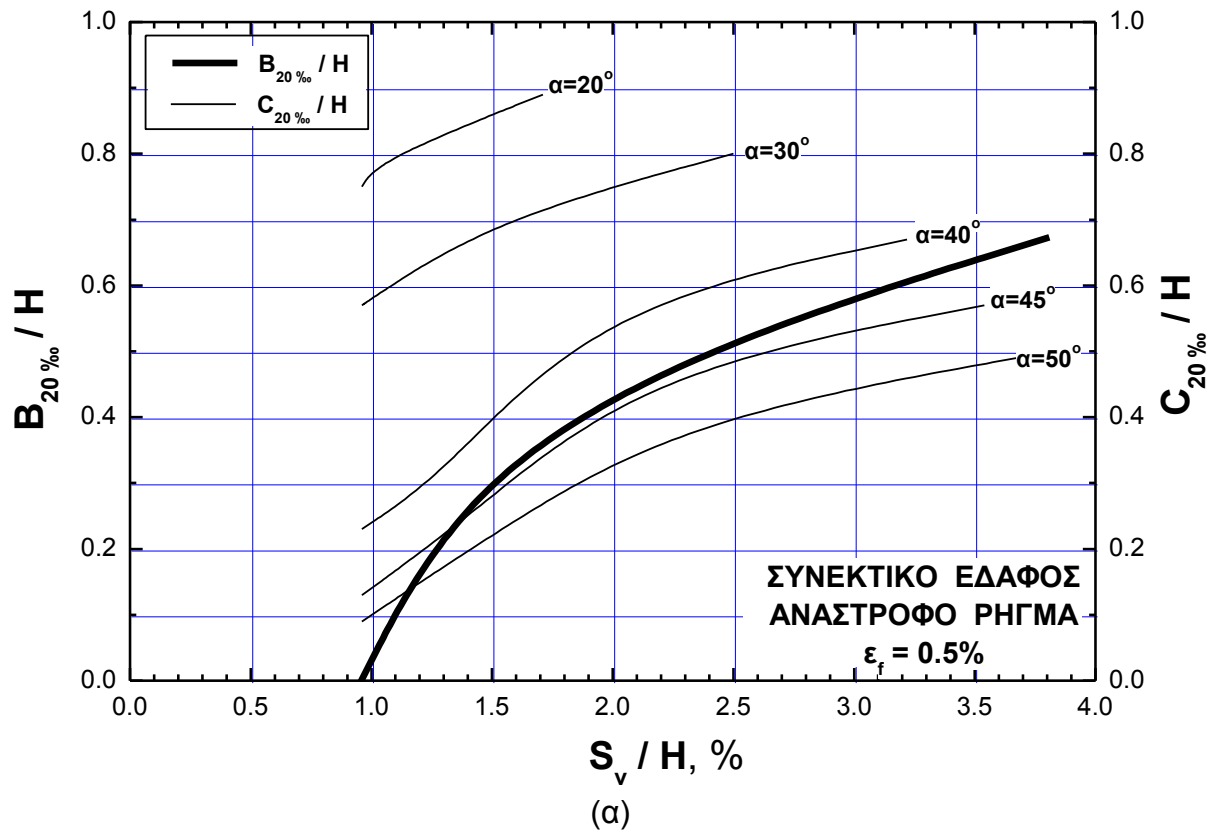
Σχήμα 7-52. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



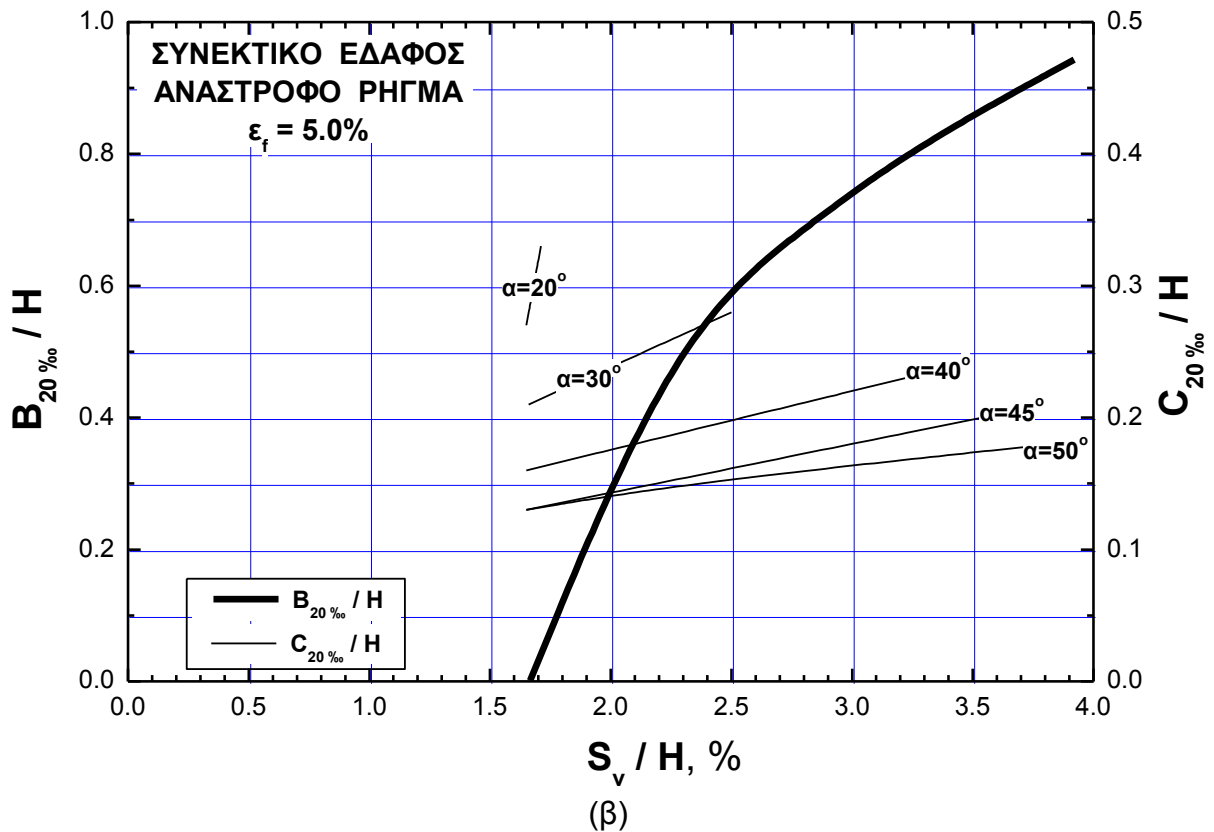
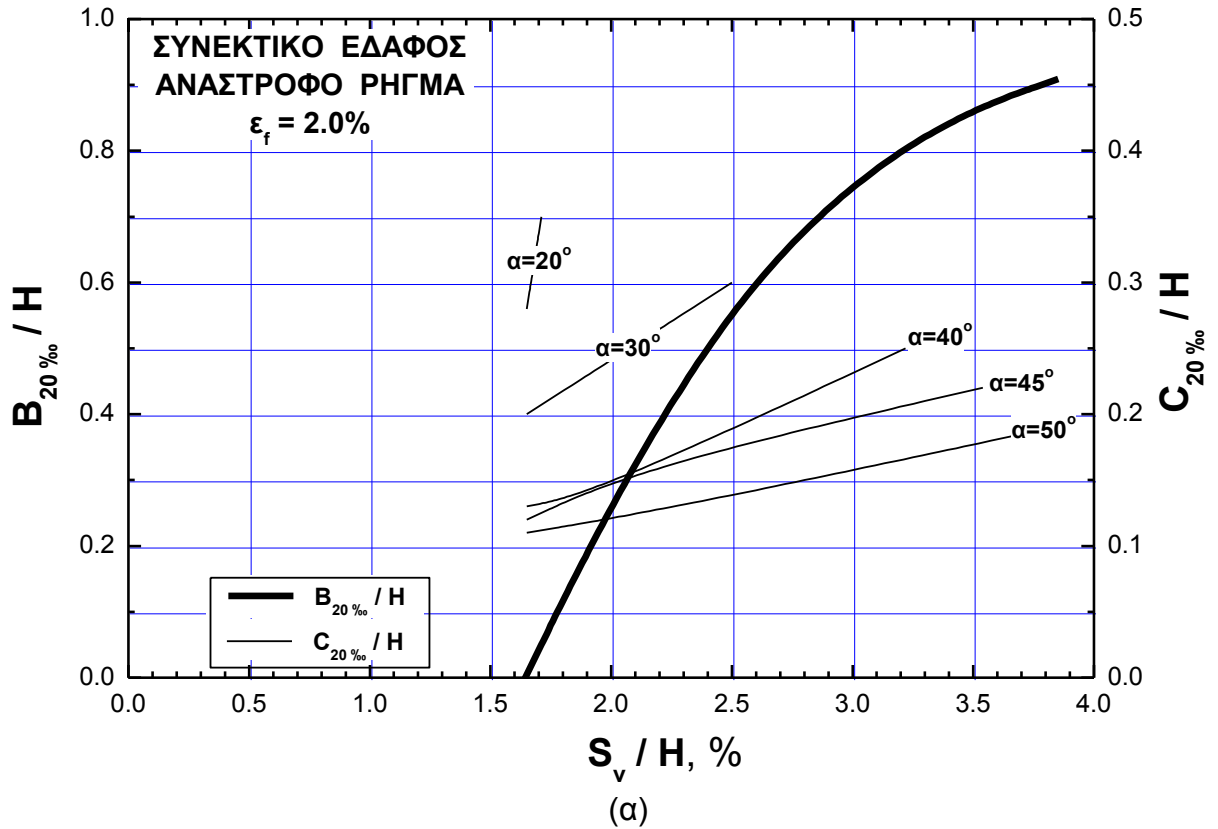
Σχήμα 7-53. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 2.0\%$ και β) $\epsilon_f = 5.0\%$



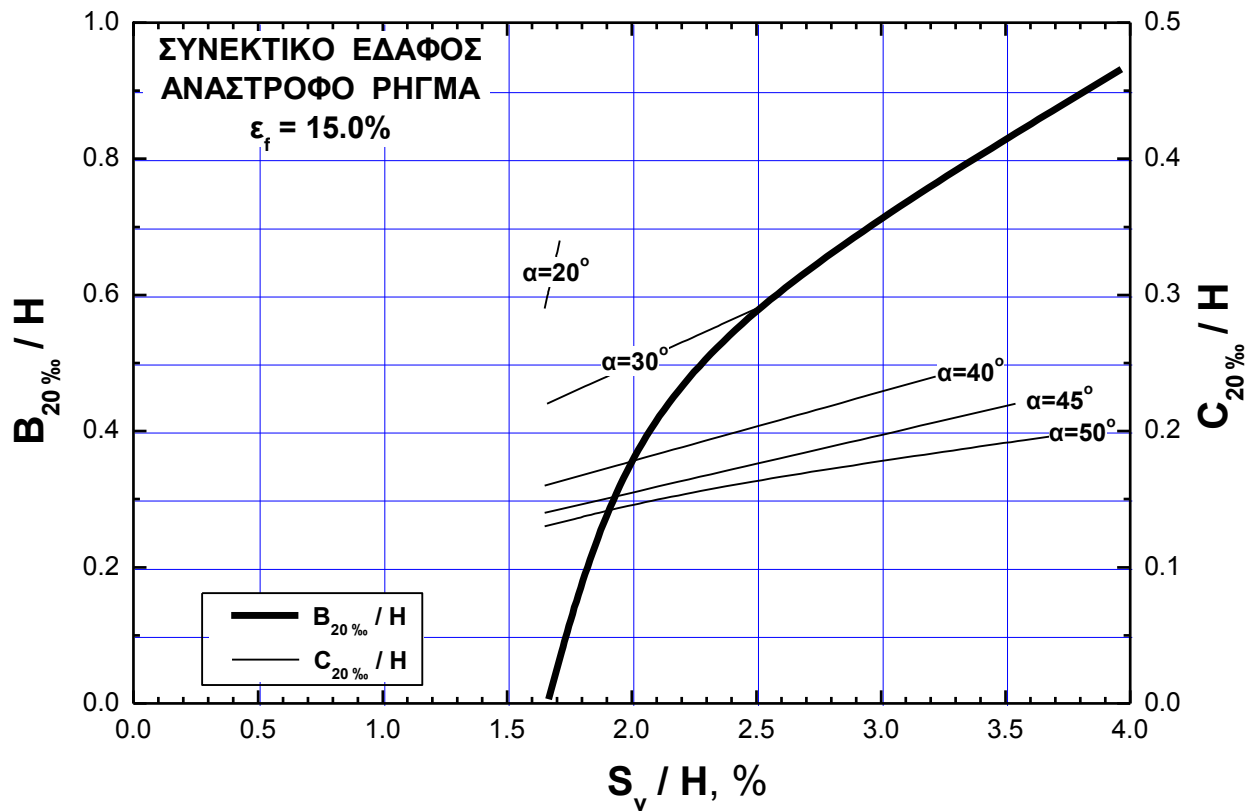
Σχήμα 7-54. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\epsilon_f=15.0\%$



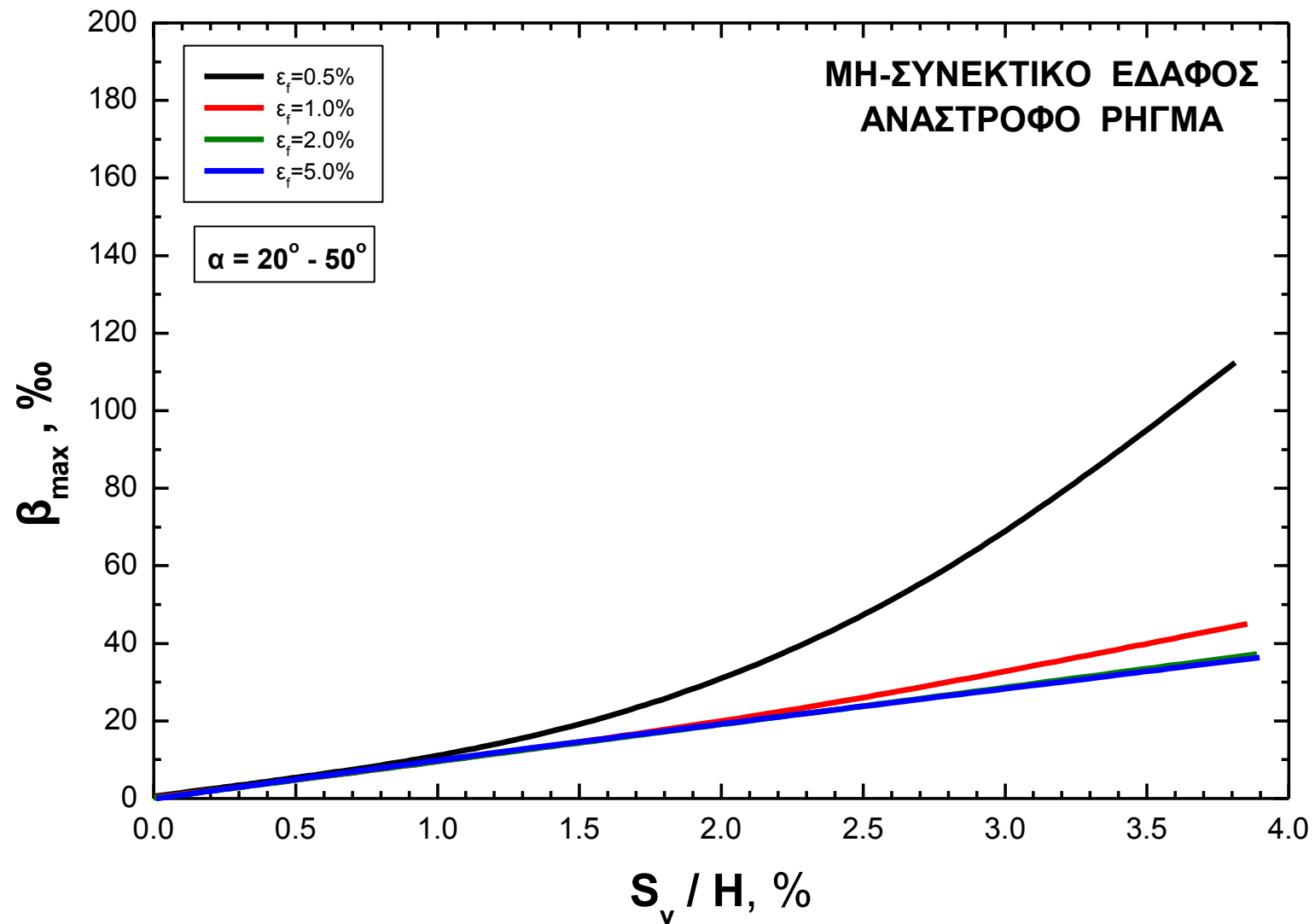
Σχήμα 7-55. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



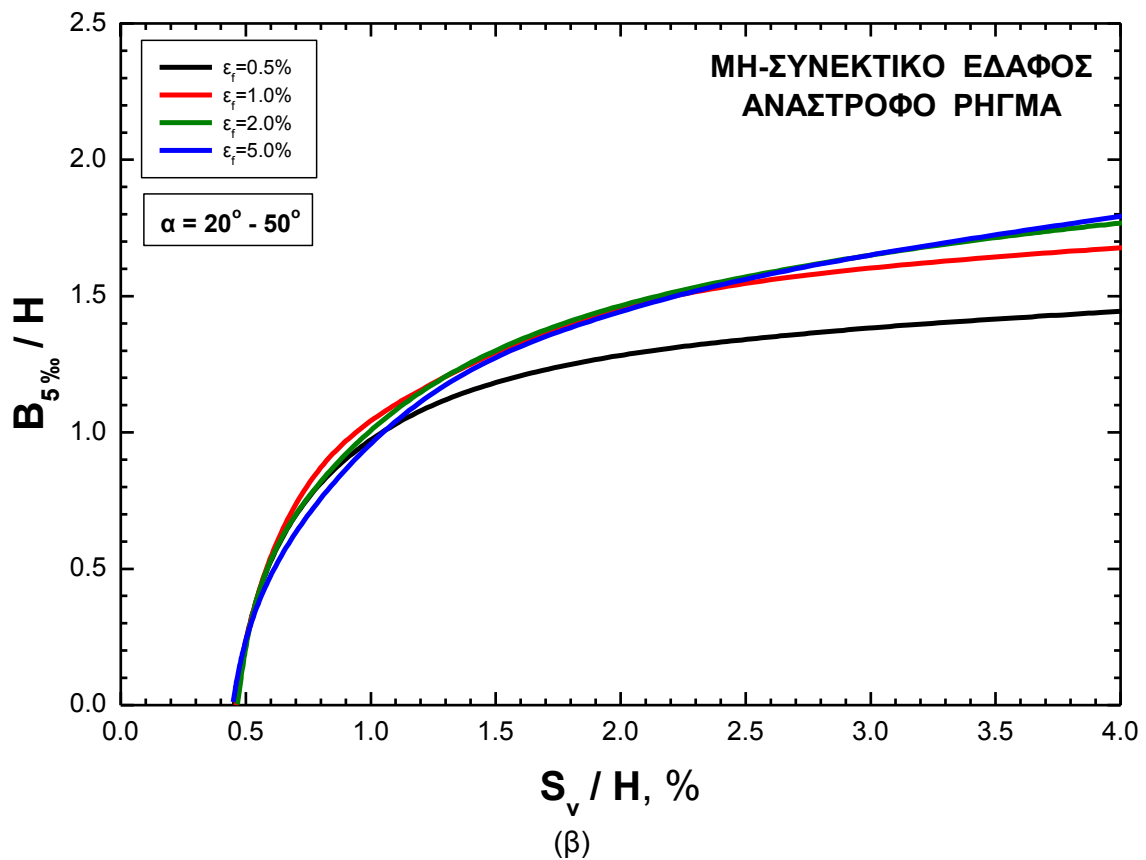
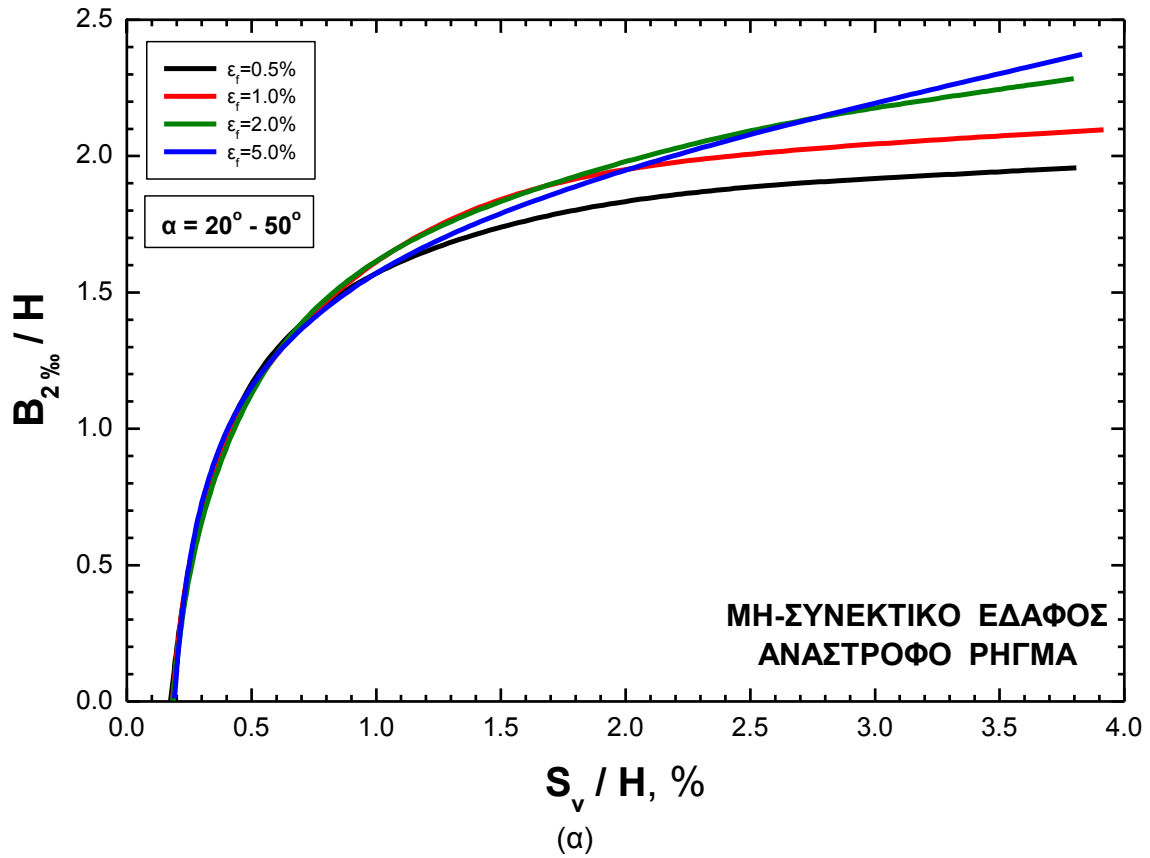
Σχήμα 7-56. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$



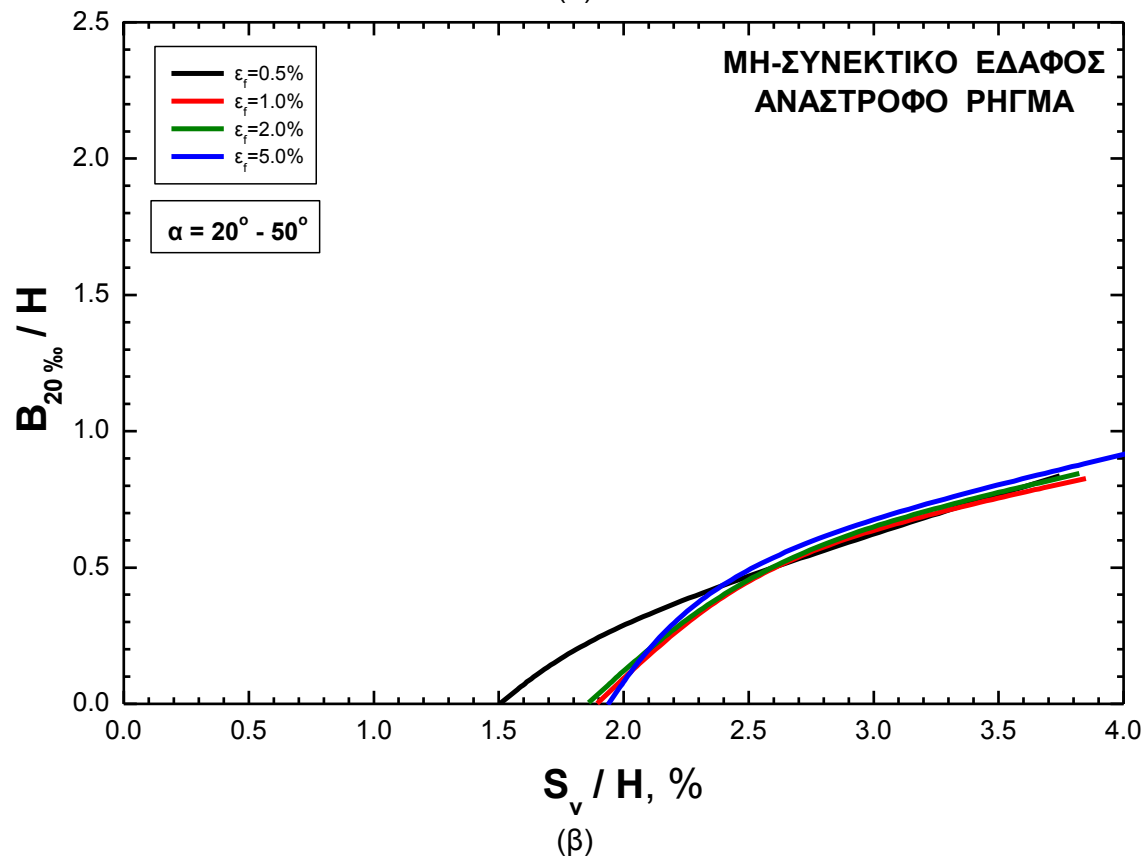
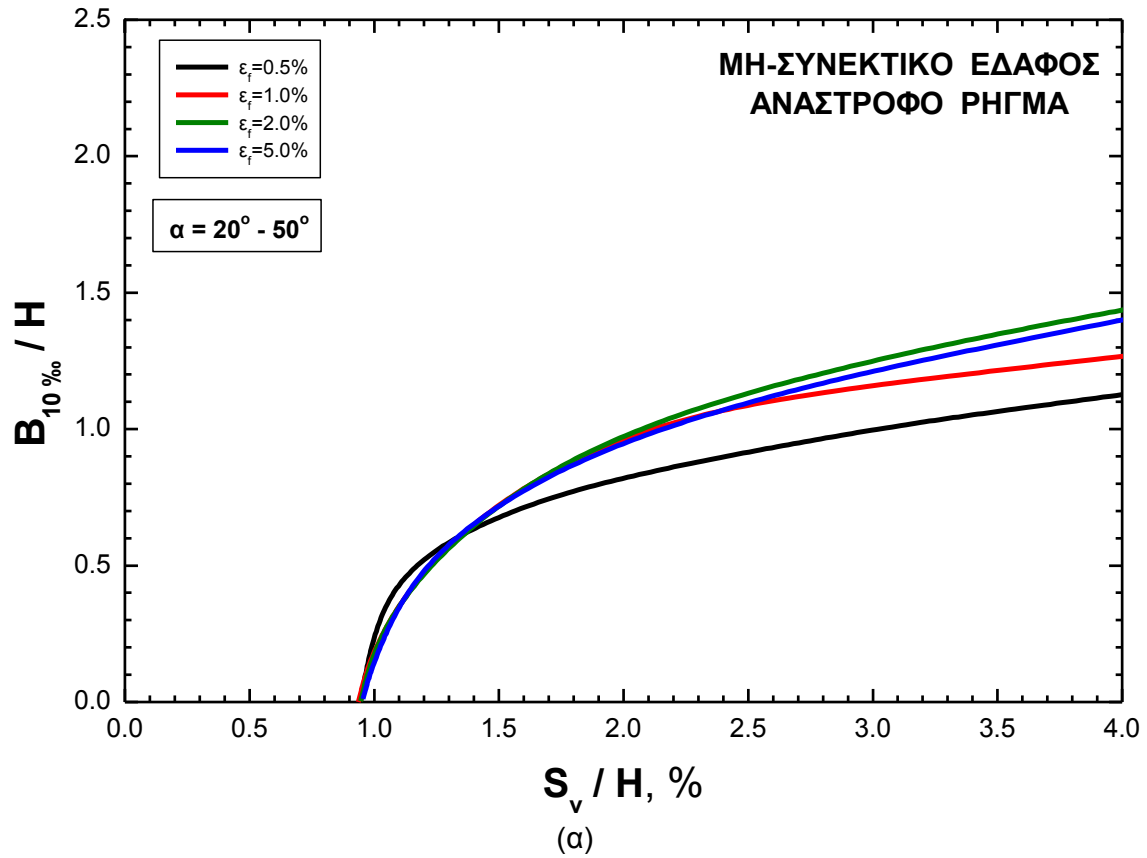
Σχήμα 7-57. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, $\varepsilon_f=15.0\%$



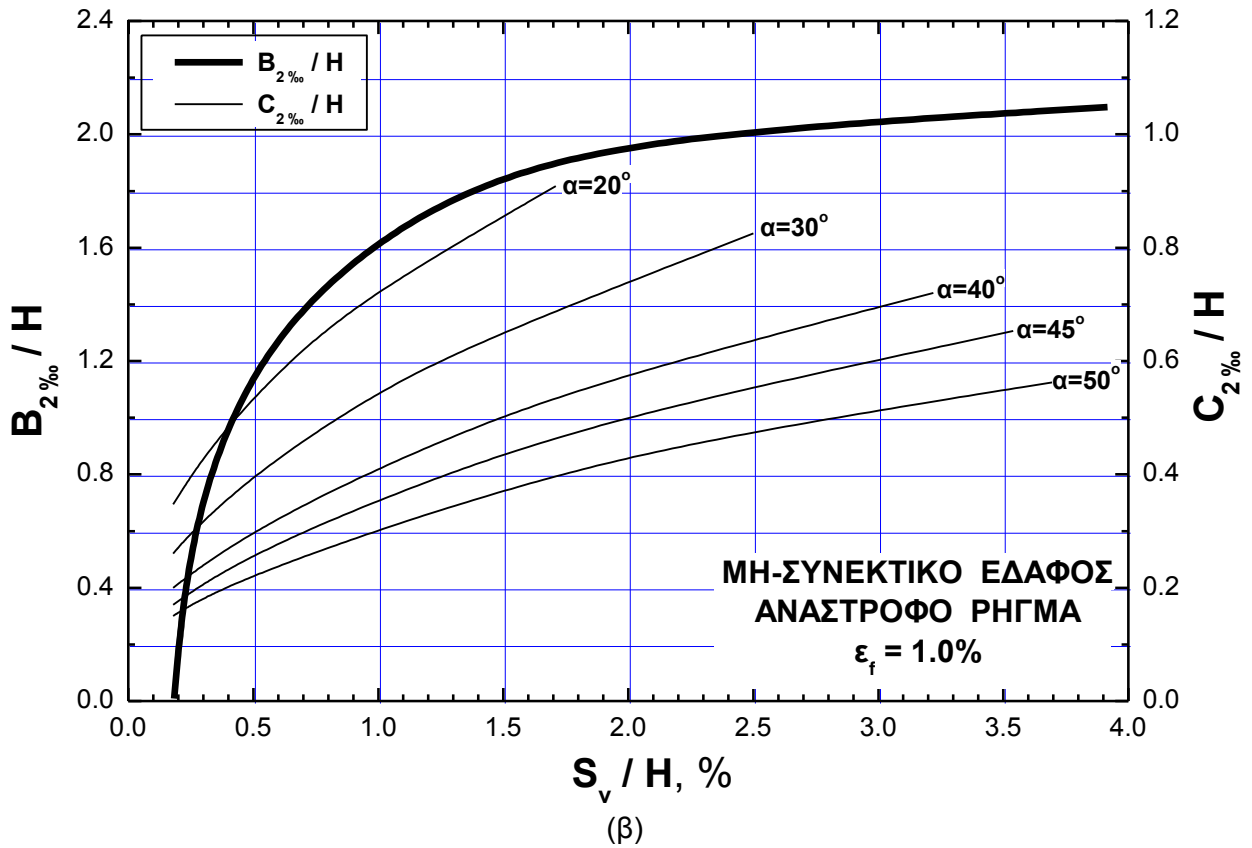
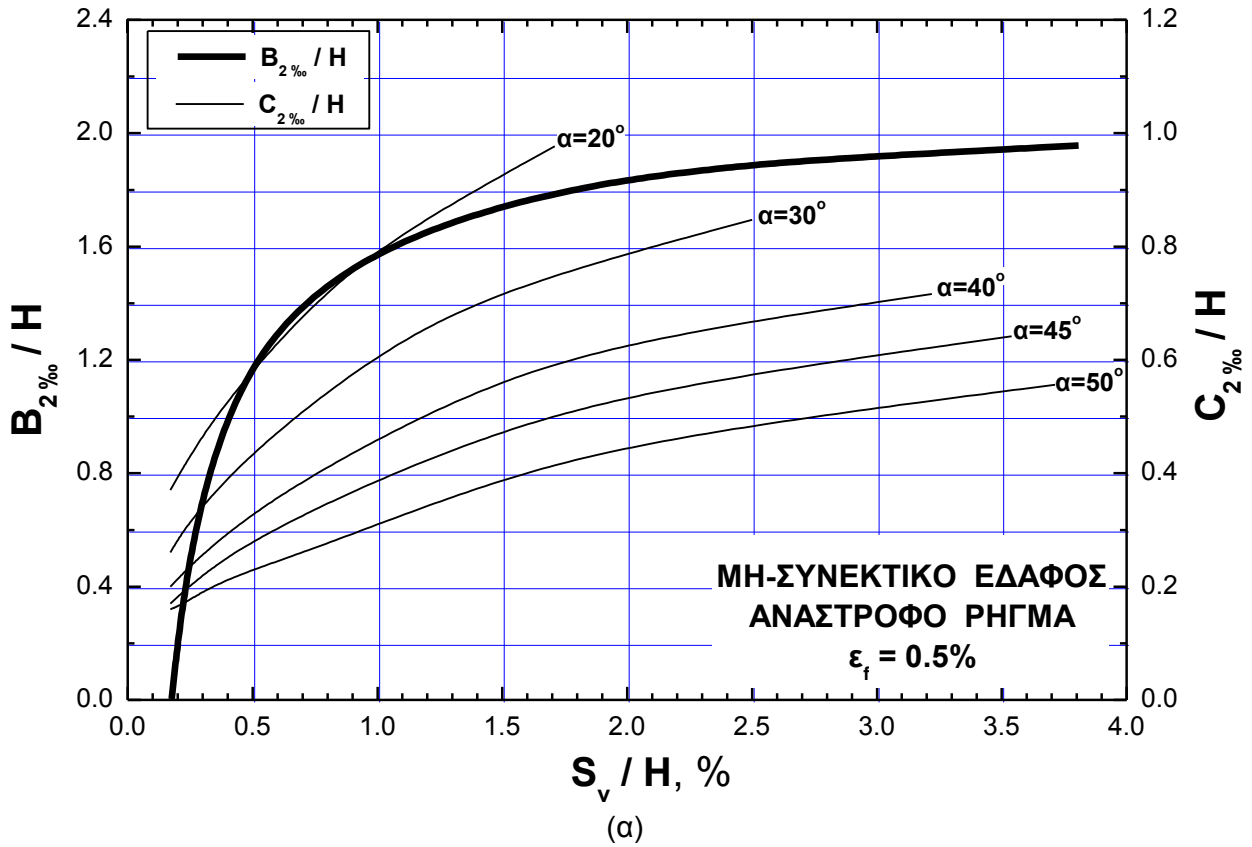
Σχήμα 7-58. Εξάρτηση της μέγιστη τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)



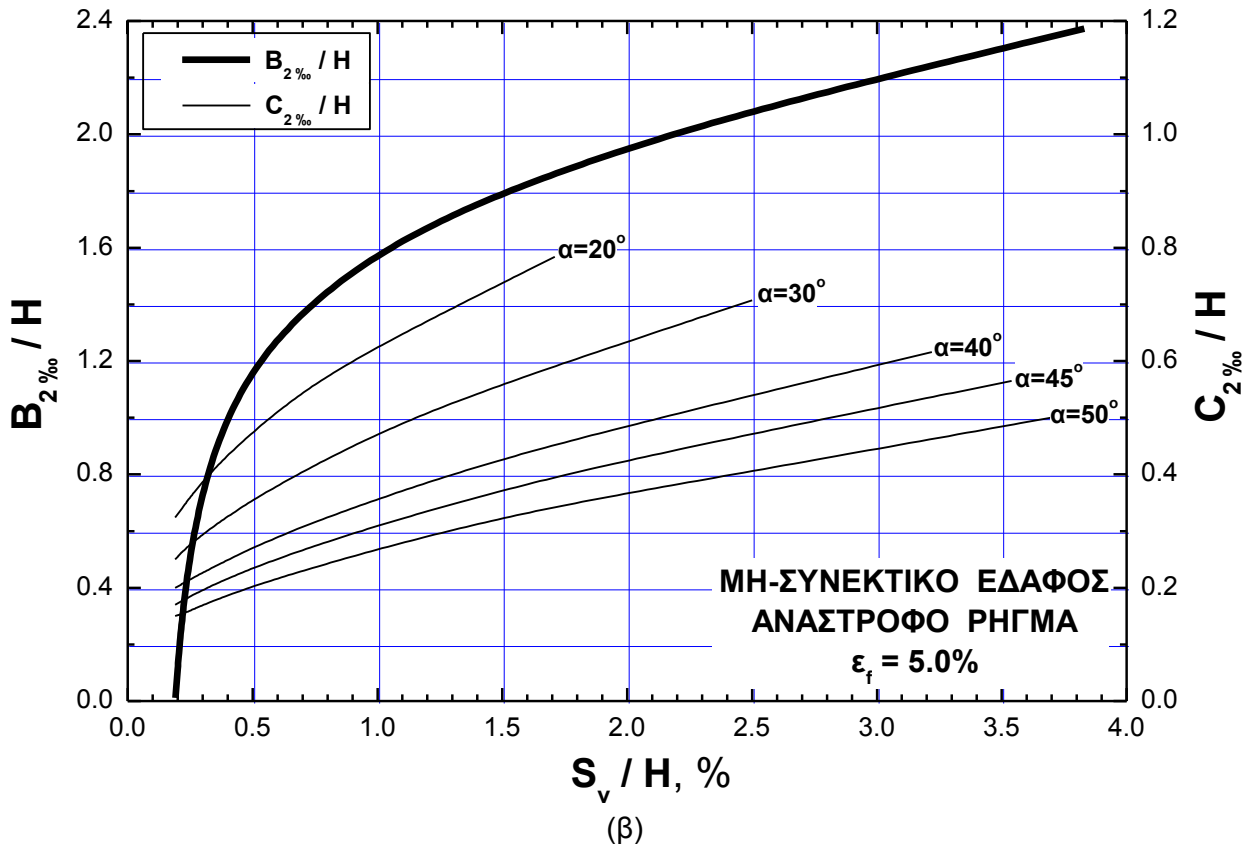
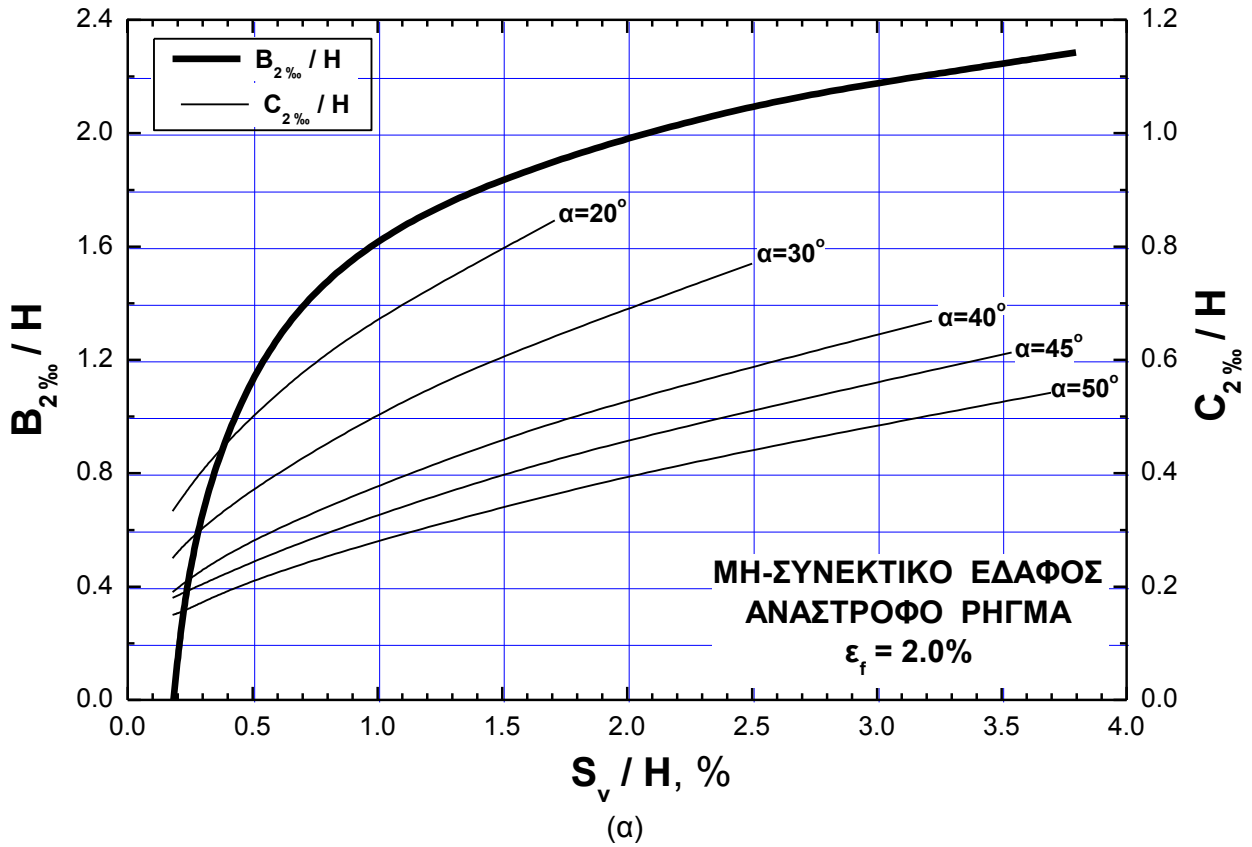
Σχήμα 7-59. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)



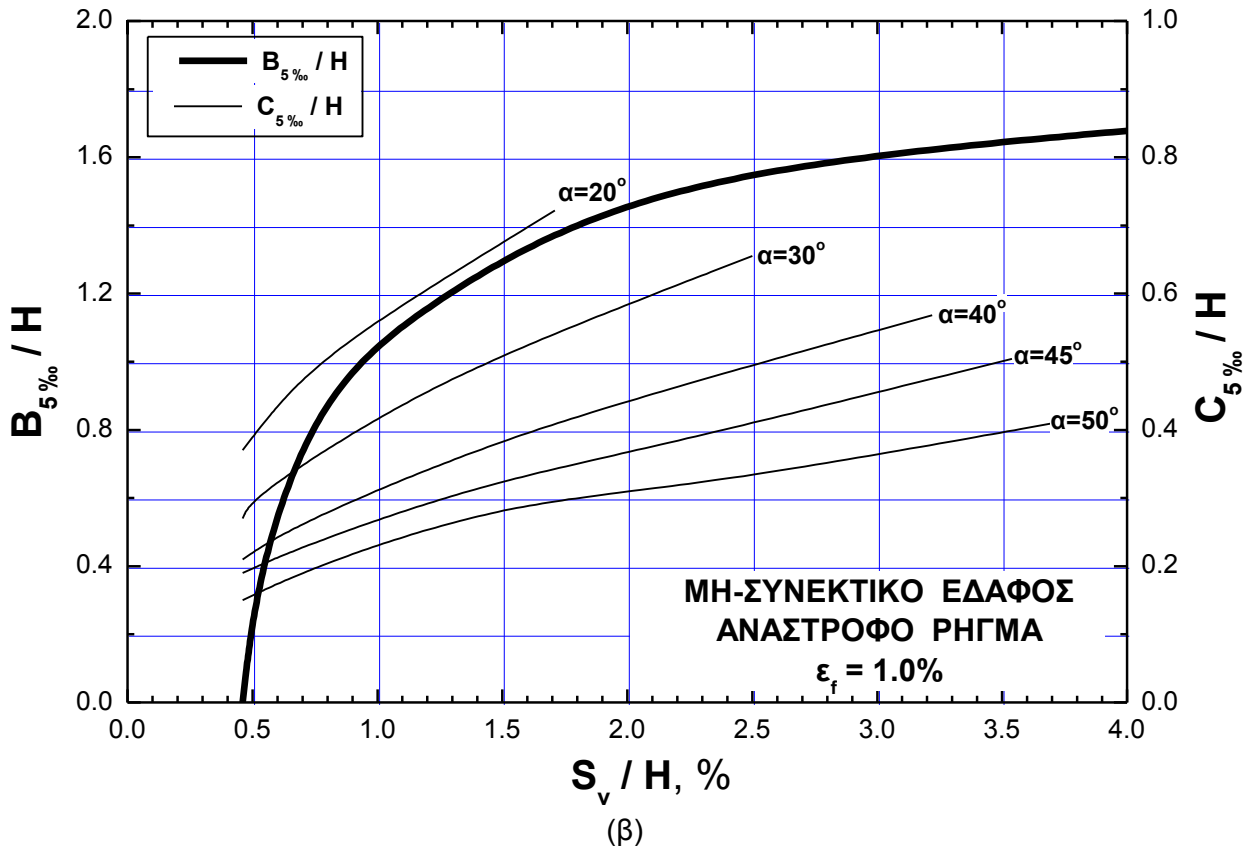
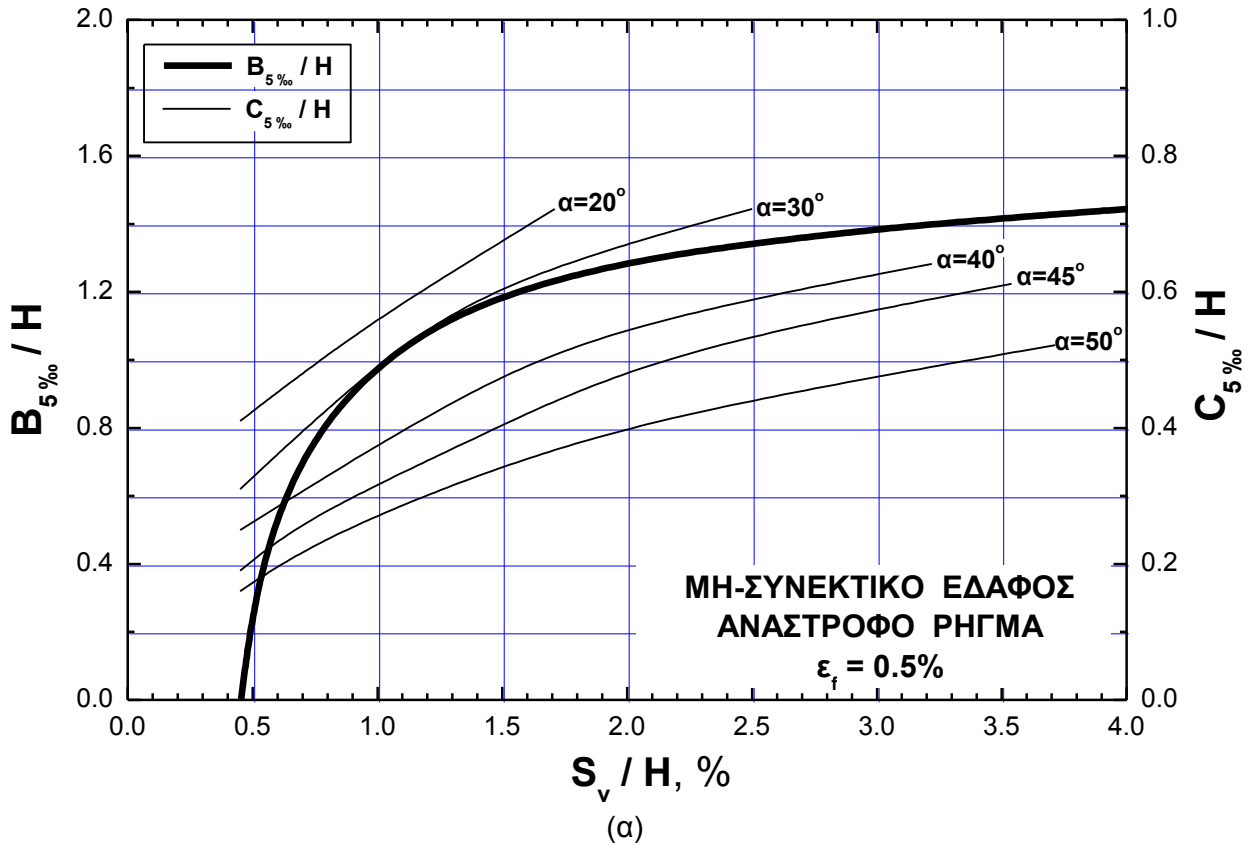
Σχήμα 7-60. Εξάρτηση της τιμής του σχετικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης (B/H) από τη σχετική κατακόρυφη σεισμική ολίσθηση (S_v/H) και τις παραμέτρους α και ε_f (ανάστροφο ρήγμα, μη-συνεκτικό έδαφος)



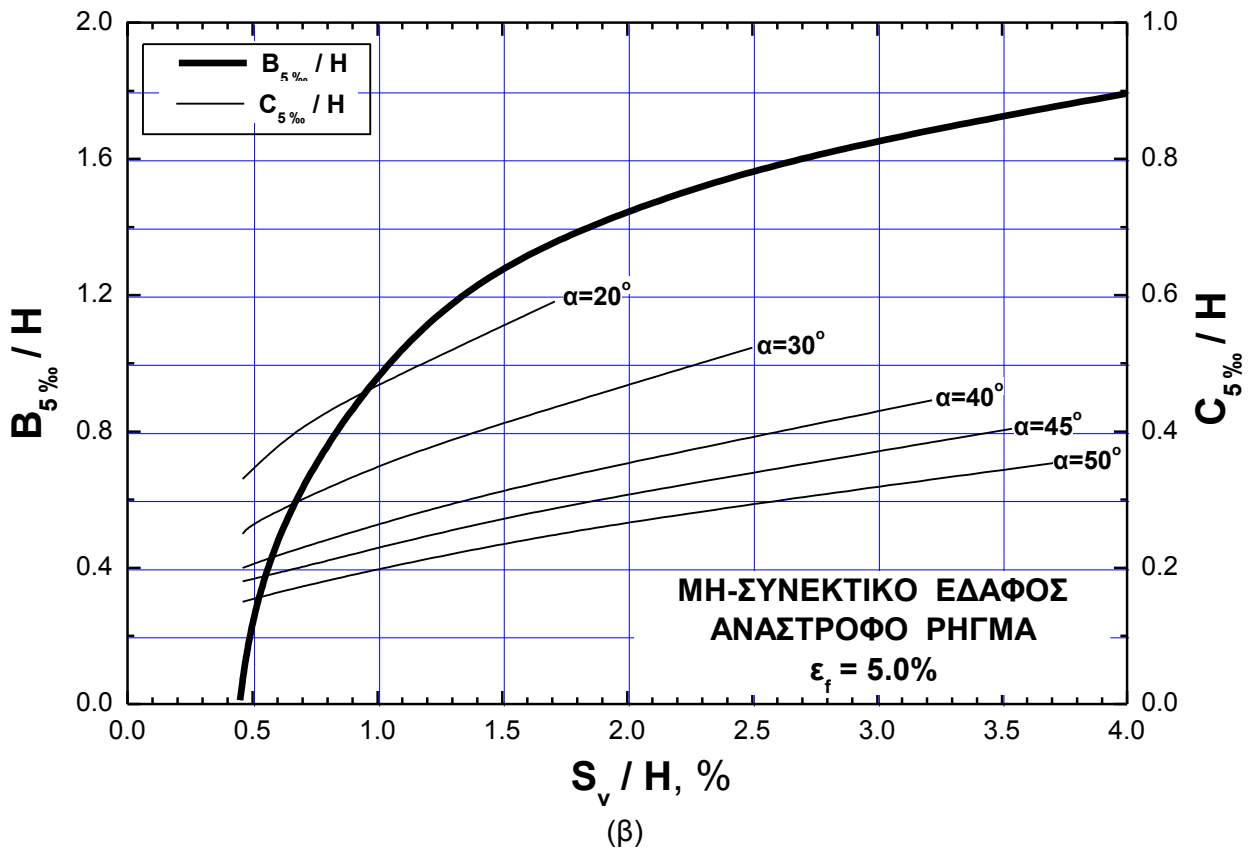
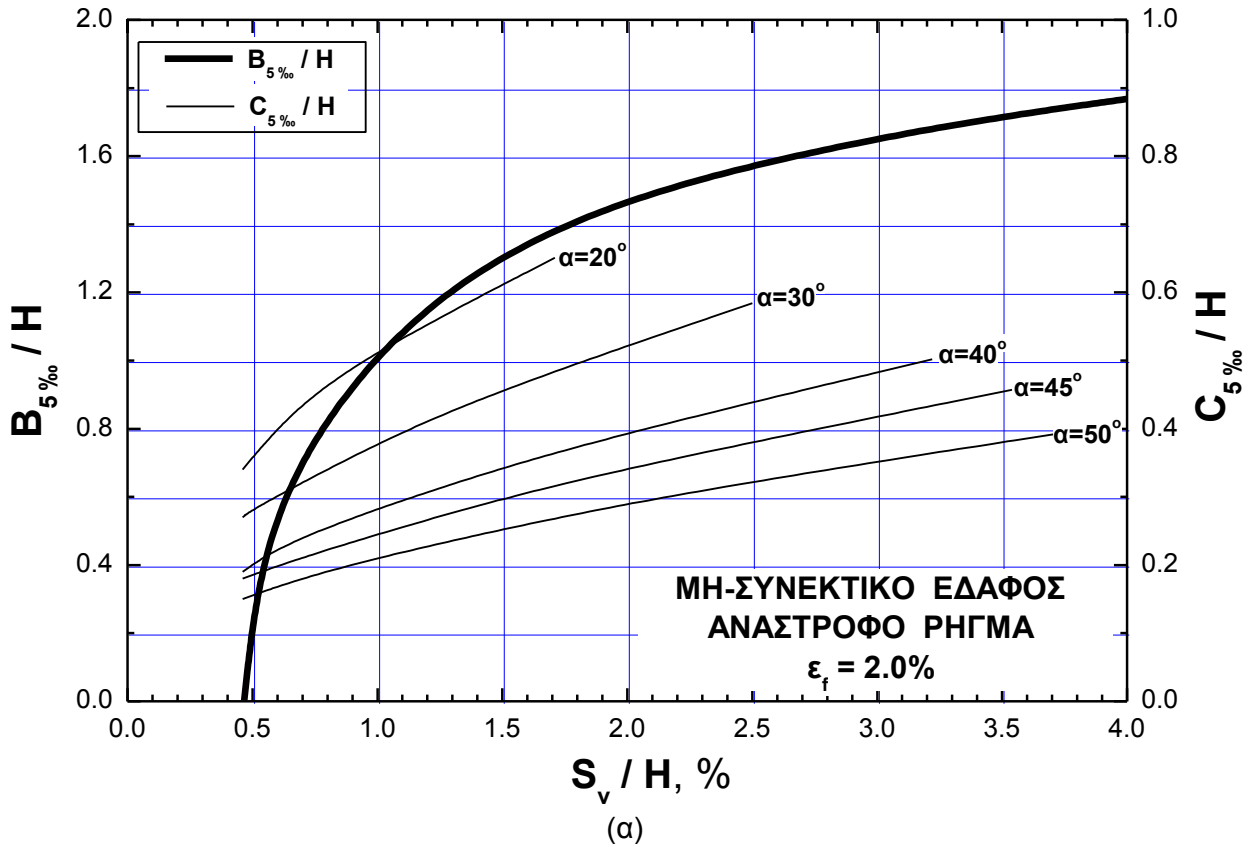
Σχήμα 7-61. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



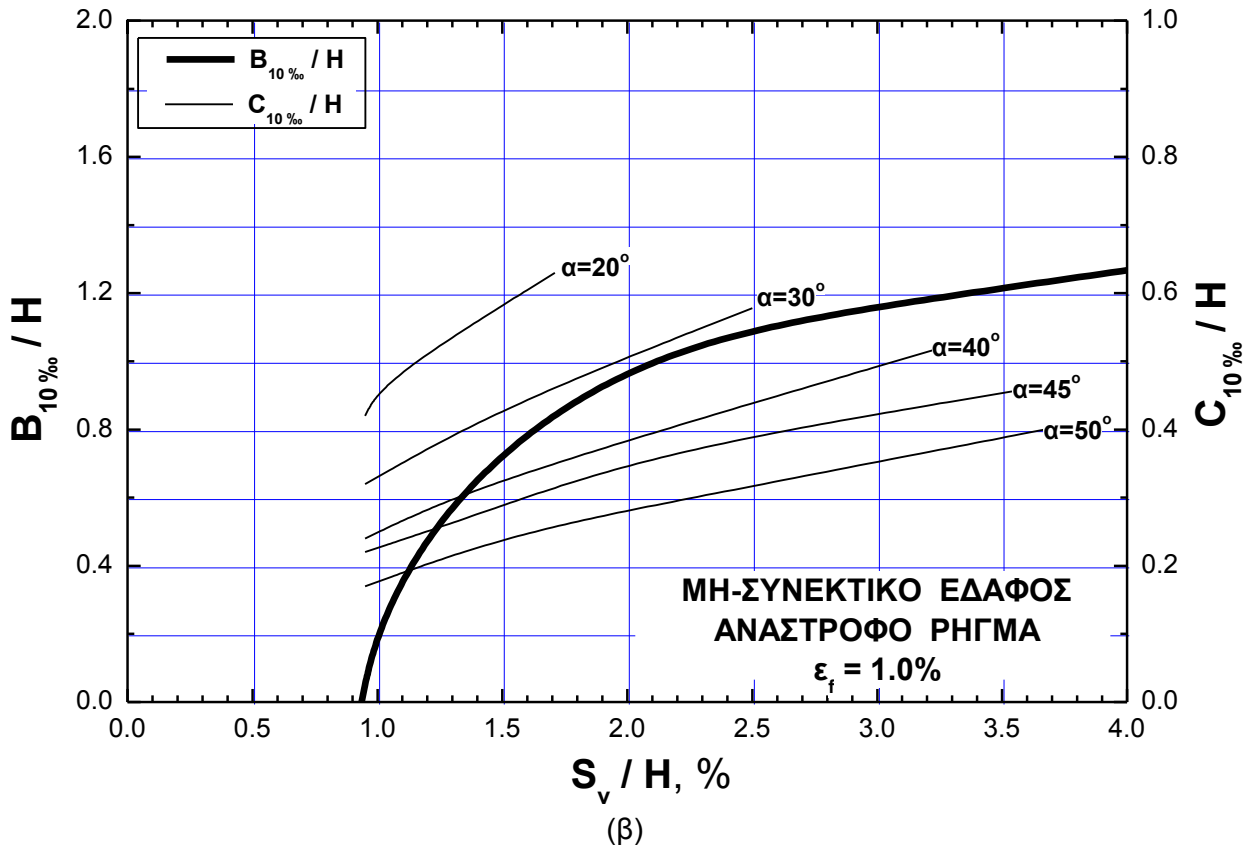
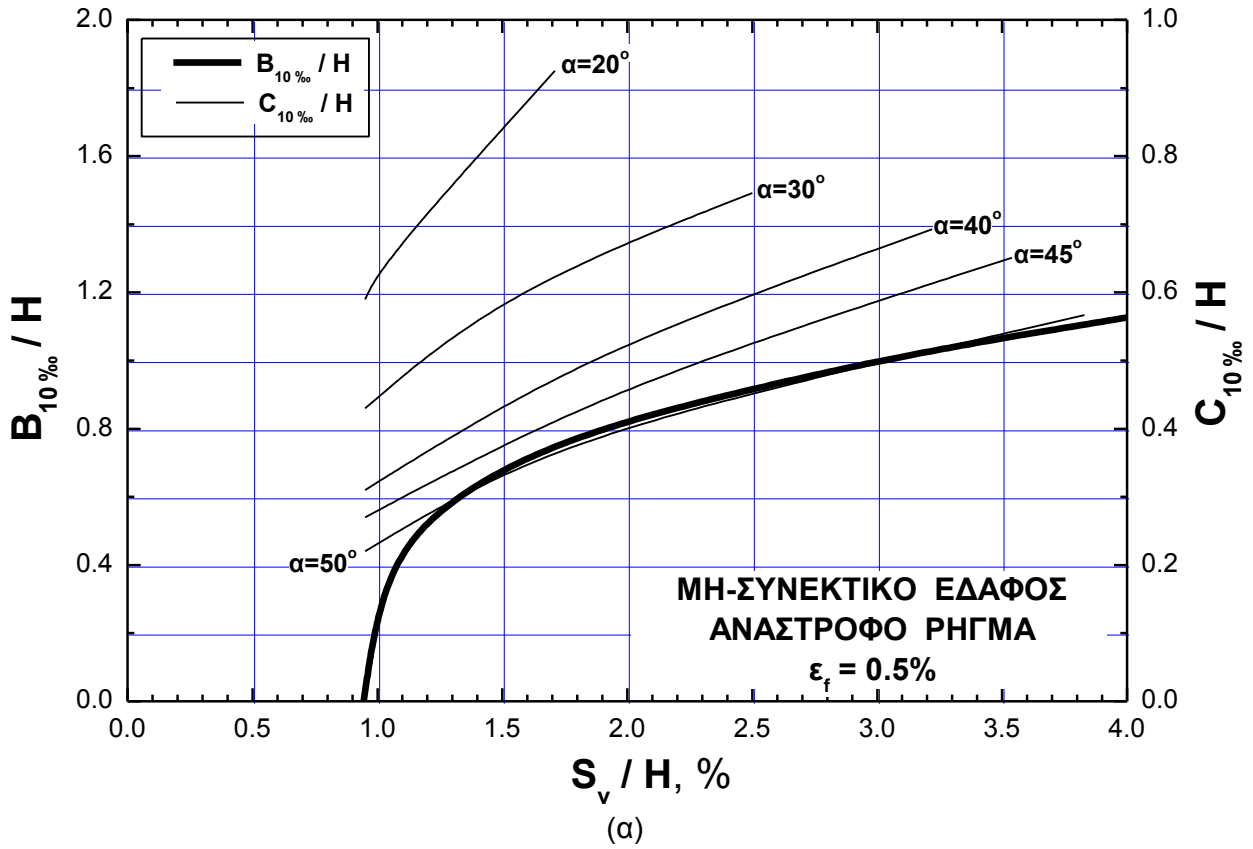
Σχήμα 7-62. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2‰}/H$ και $C_{2‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 2.0\%$ και β) $\epsilon_f = 5.0\%$



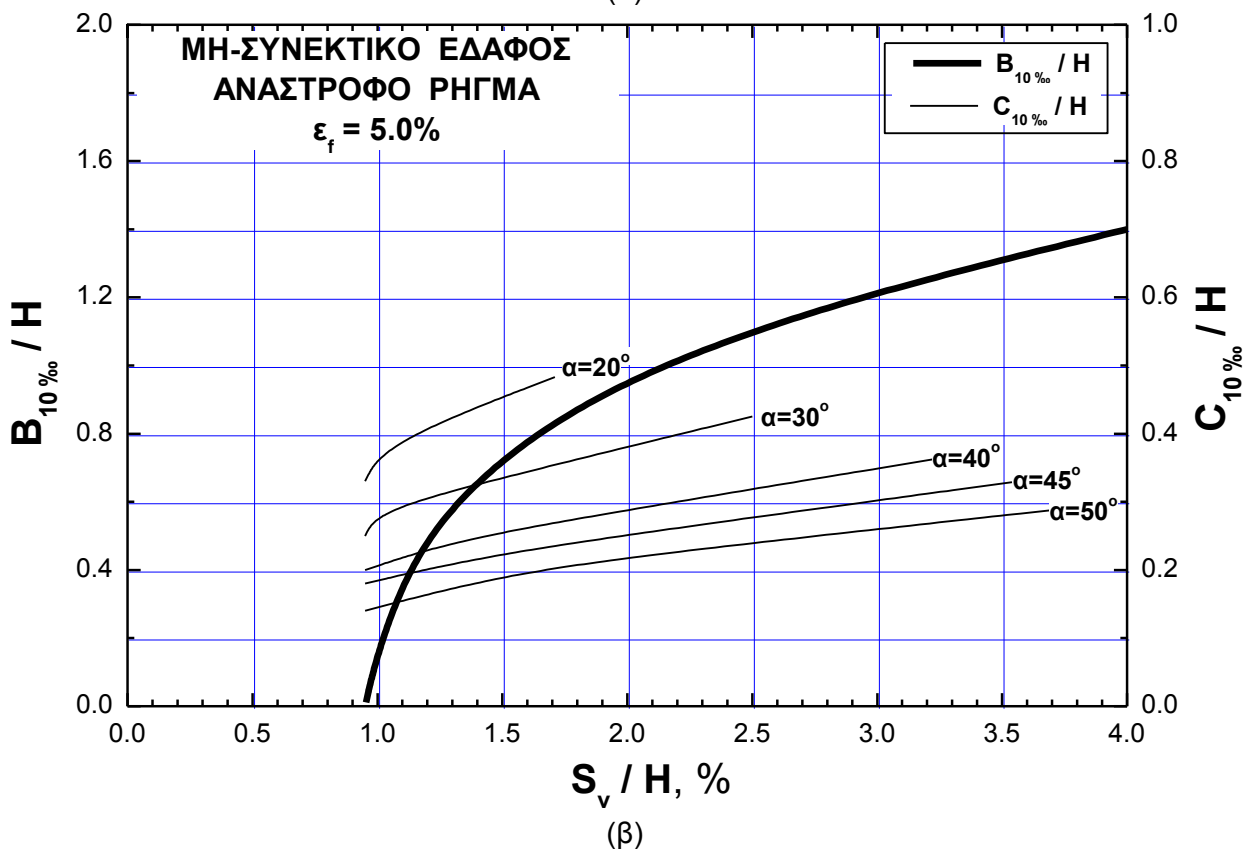
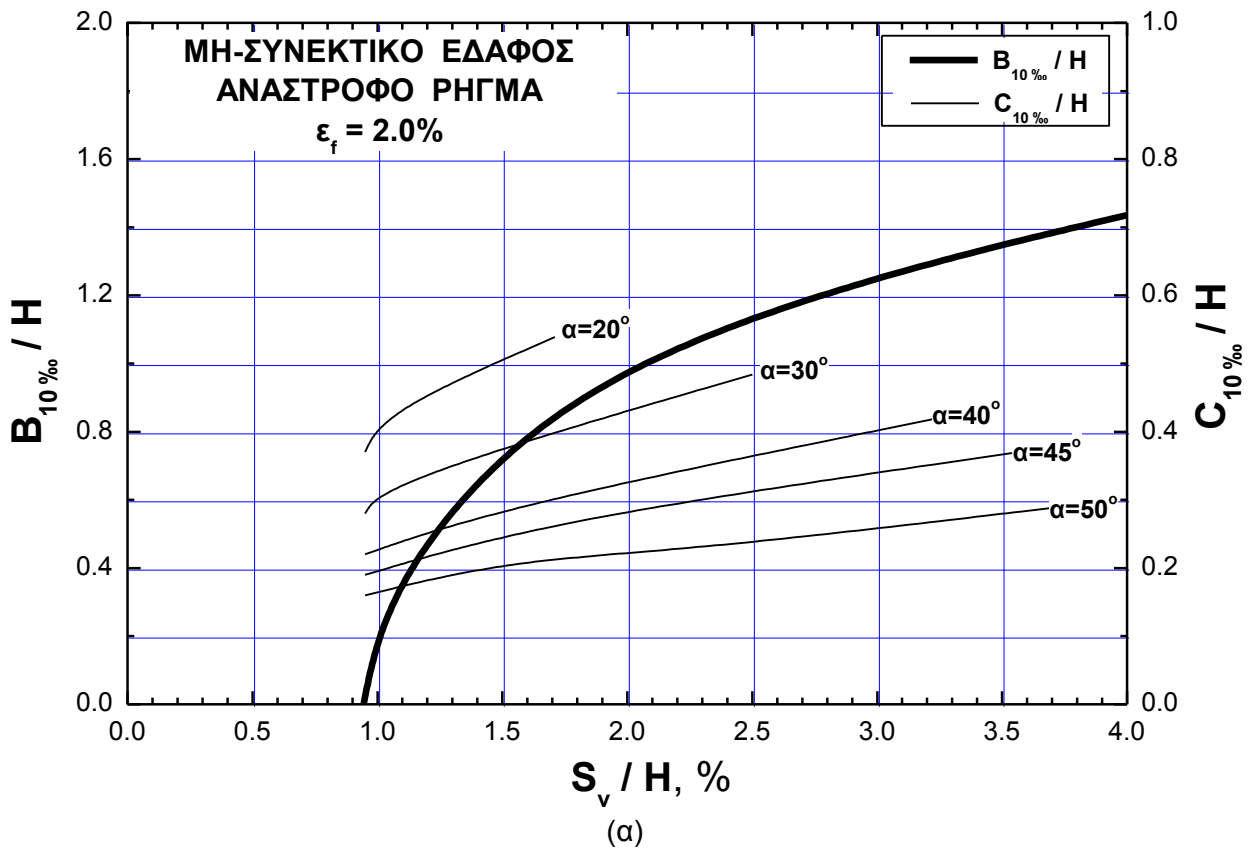
Σχήμα 7-63. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



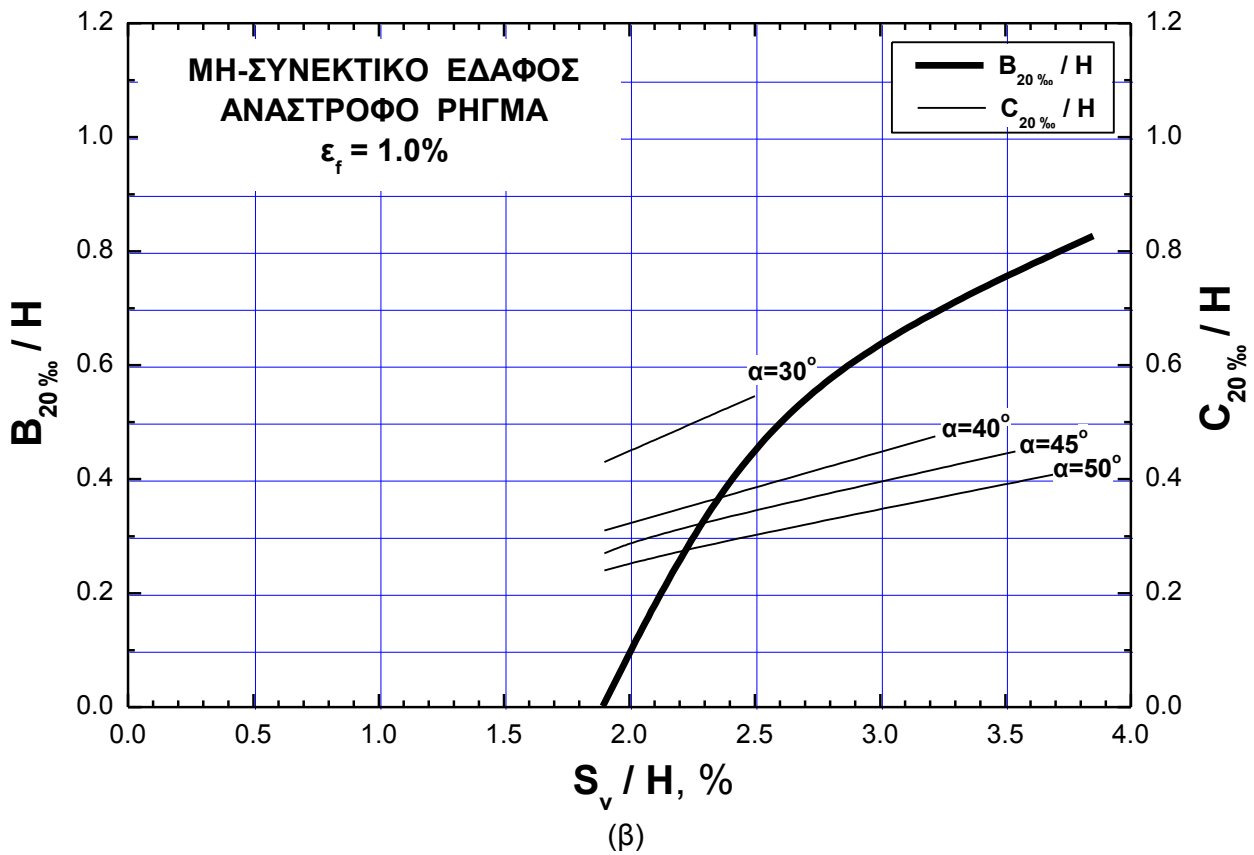
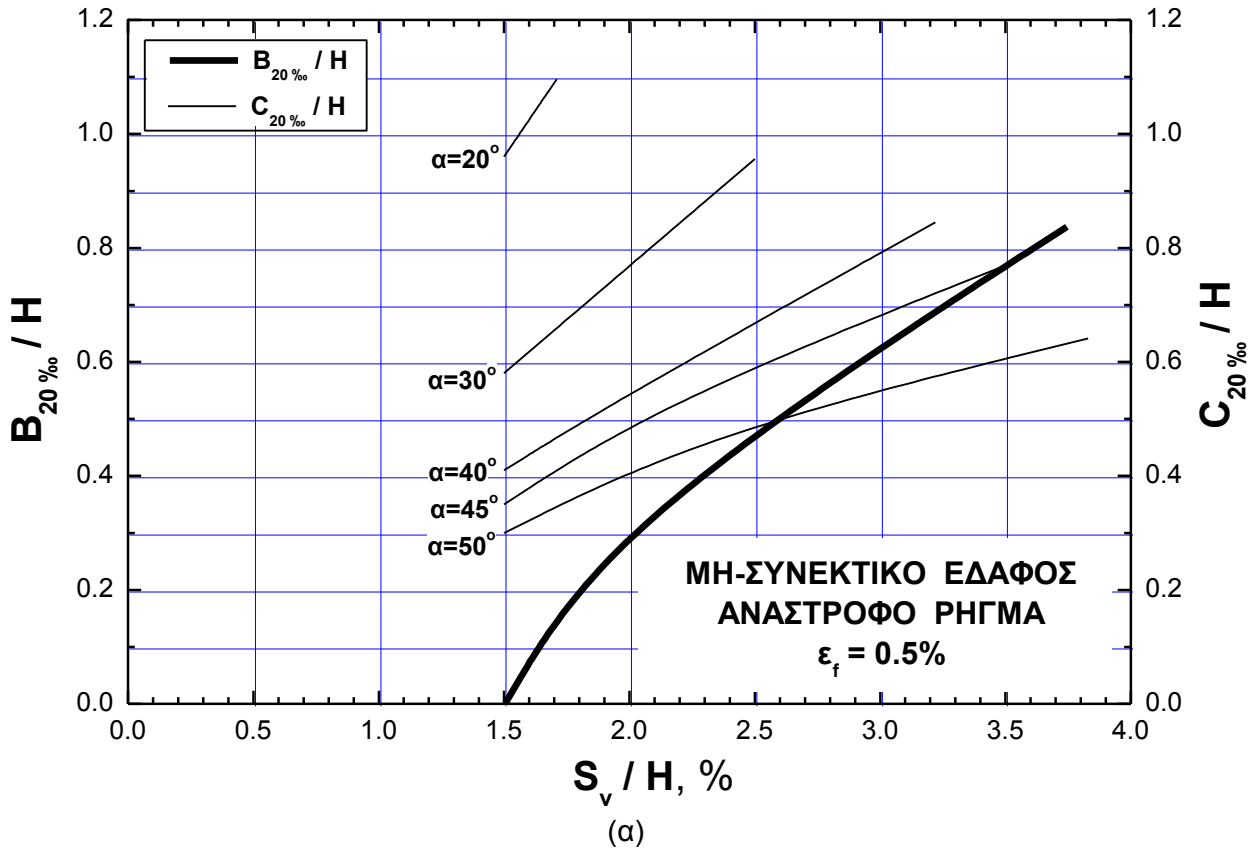
Σχήμα 7-64. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{5‰}/H$ και $C_{5‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 2.0\%$ και β) $\epsilon_f = 5.0\%$



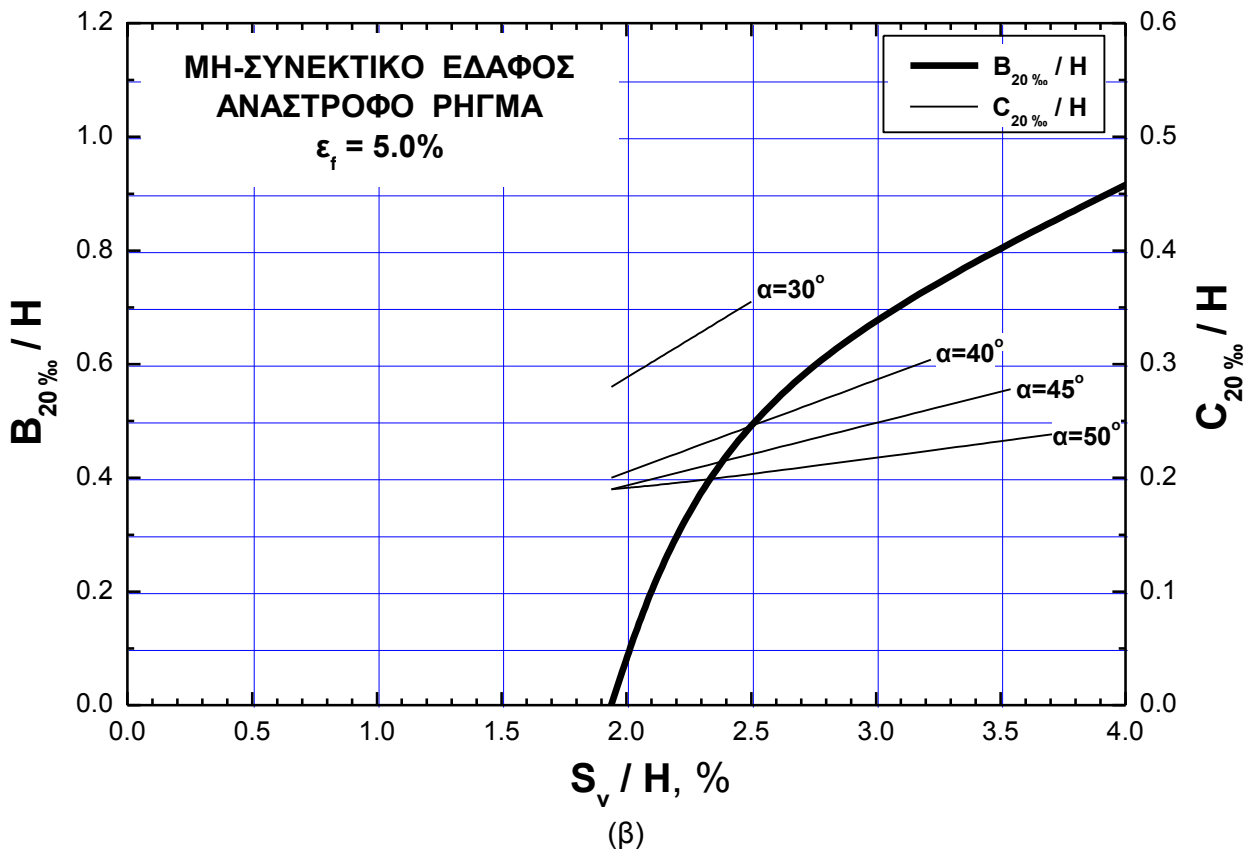
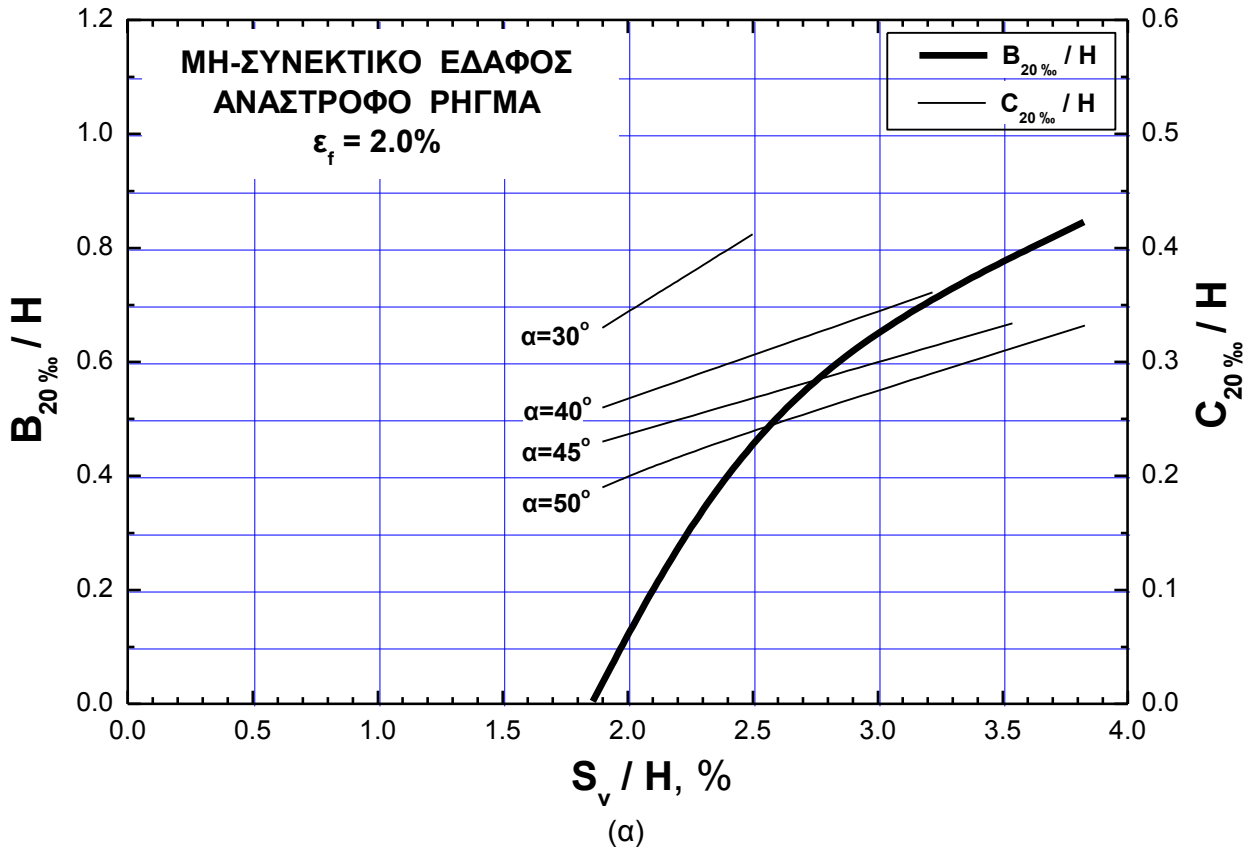
Σχήμα 7-65. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\epsilon_f = 0.5\%$ και β) $\epsilon_f = 1.0\%$



Σχήμα 7-66. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=2.0\%$ και β) $\varepsilon_f=5.0\%$



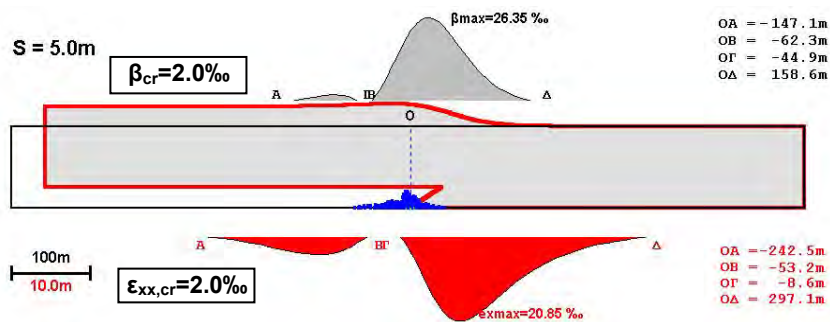
Σχήμα 7-67. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f=0.5\%$ και β) $\varepsilon_f=1.0\%$



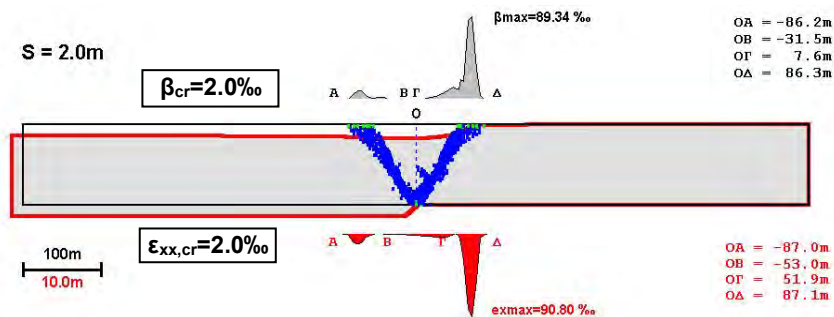
Σχήμα 7-68. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{20\%}/H$ και $C_{20\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος, για τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας: α) $\varepsilon_f = 2.0\%$ και β) $\varepsilon_f = 5.0\%$

7.5 Κατασκευή Νομογραφημάτων - Δευτερεύουσα Ζώνη Διάρρηξης

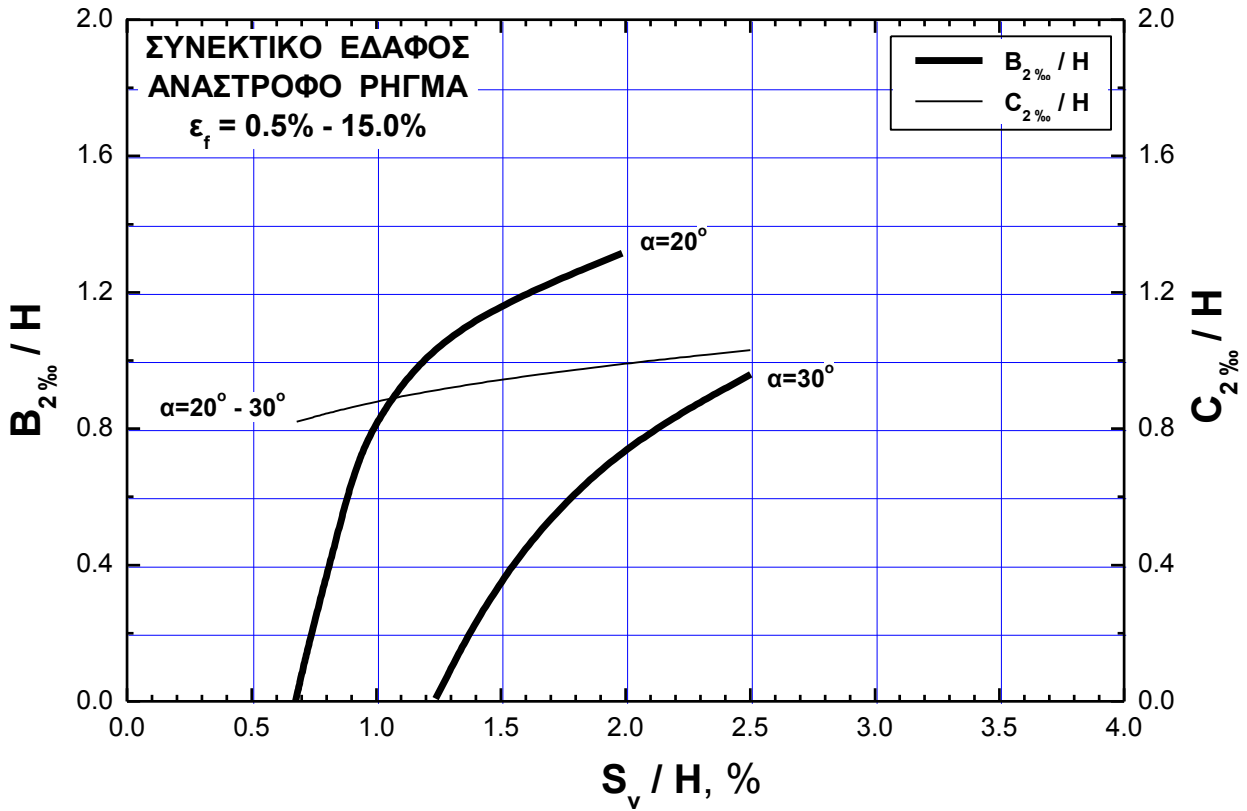
Αναφέρθηκε ήδη στα προηγούμενα κεφάλαια ότι στην περίπτωση διάρρηξης ανάστροφων ρηγμάτων υποβάθρου με γωνία κλίσης 20° έως 30° και $S/H \geq 3\%$, εμφανίζεται ζώνη δευτερεύουσας διάρρηξης (πλήρους ή μερικής ανάπτυξης) με διεύθυνση αντίθετη αυτή της κύριας διάρρηξης, τόσο στα συνεκτικά όσο και στα μη-συνεκτικά εδάφη, Σχ. 7-69. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και στην περίπτωση των συνεκτικών εδαφών για τη διάρρηξη κανονικών ρηγμάτων με γωνίες κλίσης 45° έως 50° , Σχ. 7-70. Η διάδοση της δευτερεύουσας αυτής διάρρηξης προκαλεί επιφανειακές παραμορφώσεις οι οποίες οδηγούν στην ανάπτυξη επικίνδυνων γωνιακών παραμορφώσεων. Θεωρήθηκε, επομένως, αναγκαία η οριοθέτηση και μιας “δευτερεύουσας” επικίνδυνης ζώνης, το εύρος και η θέση της οποίας προσδιορίζονται με τη βοήθεια των νομογραφημάτων των Σχ. 7-71 έως Σχ. 7-74. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σχετική απόσταση C/H στα νομογραφήματα αυτά μετράται από το σημείο O και κατά αντίθετη διεύθυνση σε σχέση με αυτή της “κύριας” επικίνδυνης ζώνης.



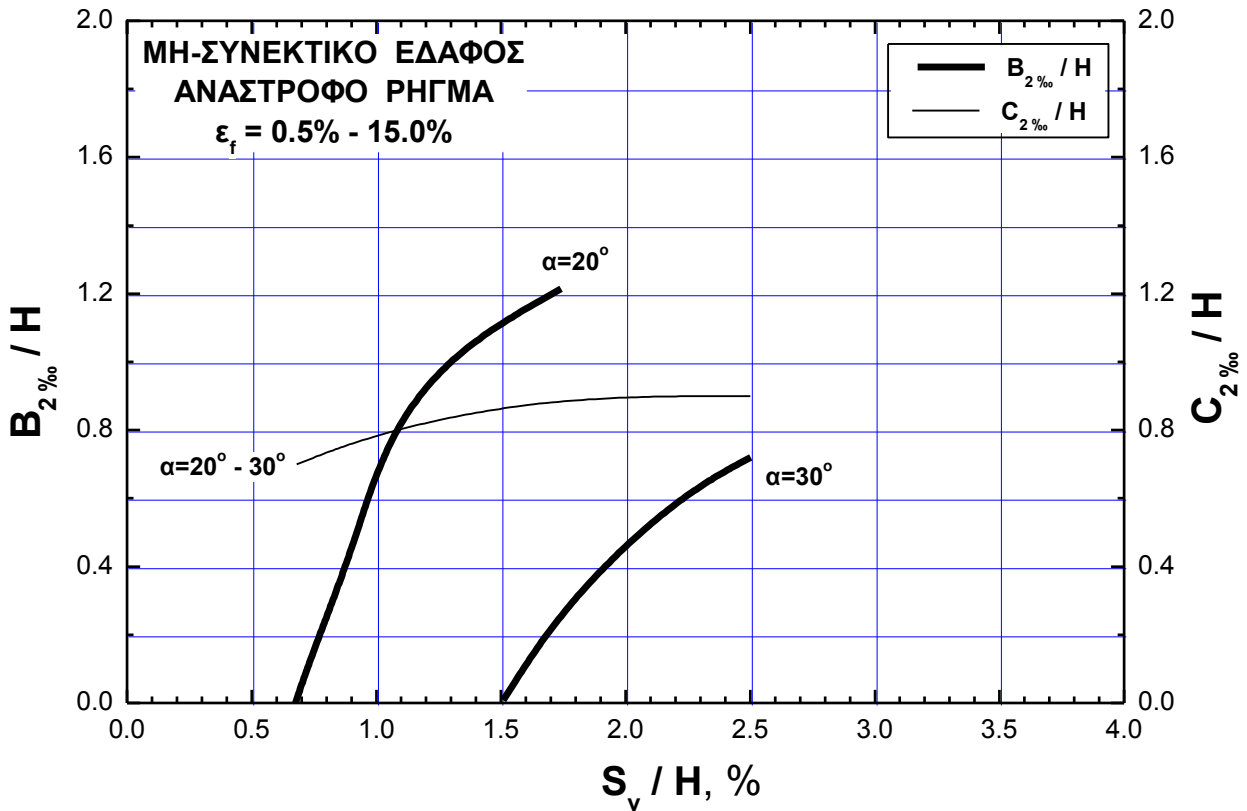
Σχήμα 7-69. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2‰), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=30^\circ$, $S/H=5.0\%$) σε **συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=5.0\%$)



Σχήμα 7-70. Κατανομή γωνιακών παραμορφώσεων, β και ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων, ϵ_{xx} , (μεγαλύτερων του 2‰), κατά μήκος της εδαφικής επιφάνειας για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος ($\alpha=45^\circ$, $S/H=2.0\%$) σε **μη-συνεκτικό** έδαφος ($\epsilon_f=0.5\%$)

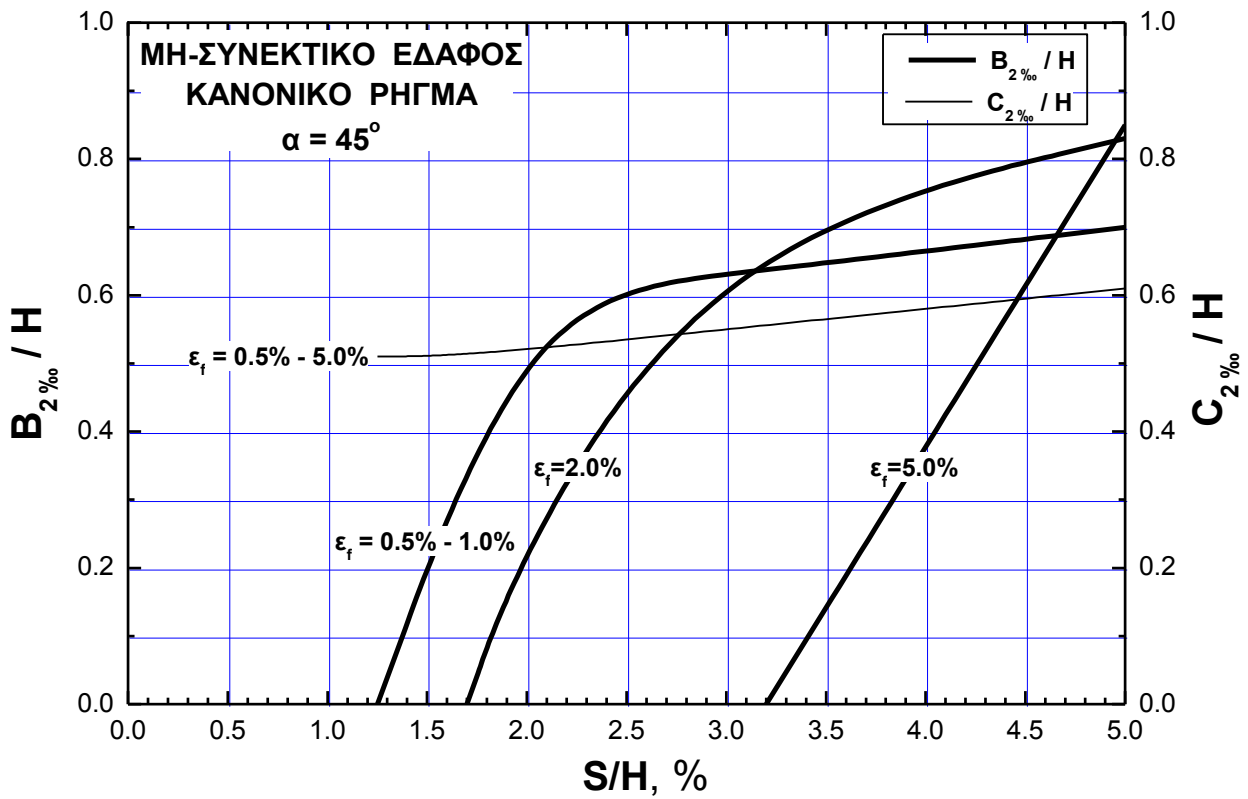


(α)

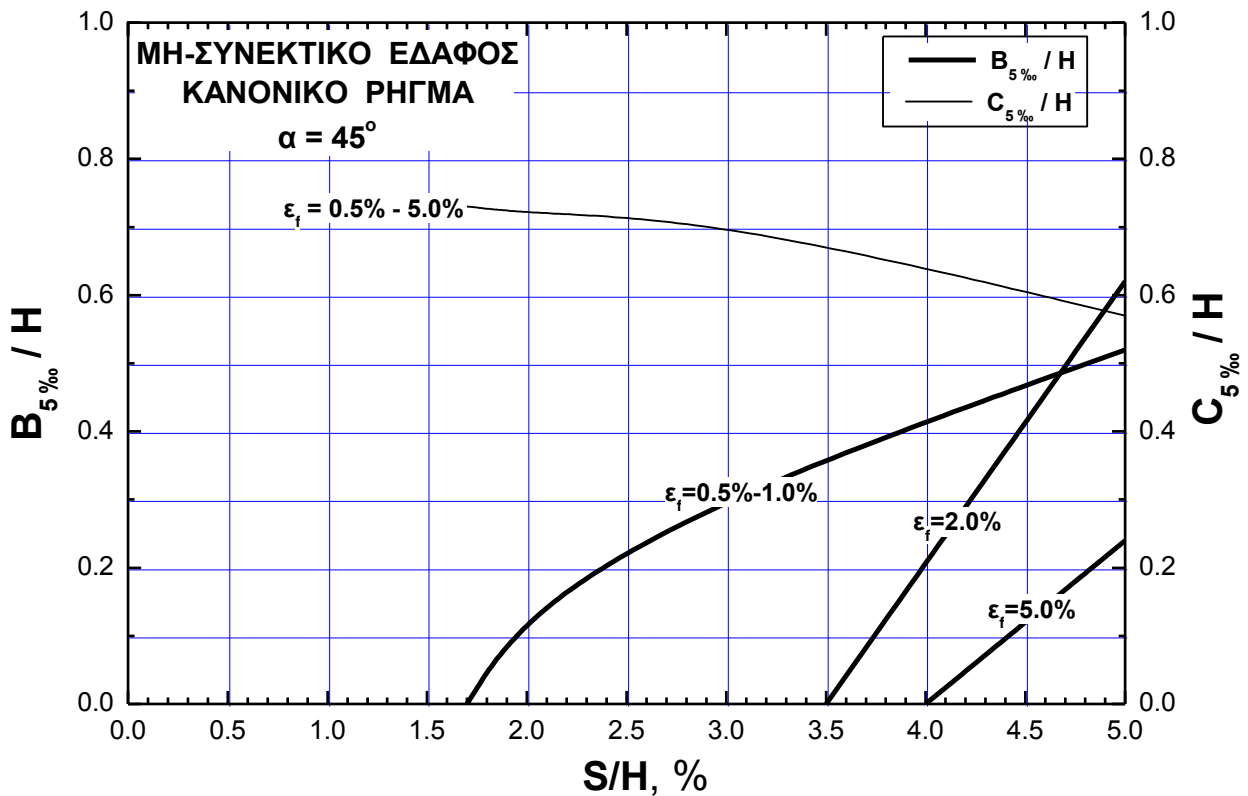


(β)

Σχήμα 7-71. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων $B_{2‰}/H$ και $C_{2‰}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **ανάστροφου** ρήγματος ($\alpha=20^\circ$, $\alpha=30^\circ$) σε α) **συνεκτικό** και β) **μη-συνεκτικό** έδαφος

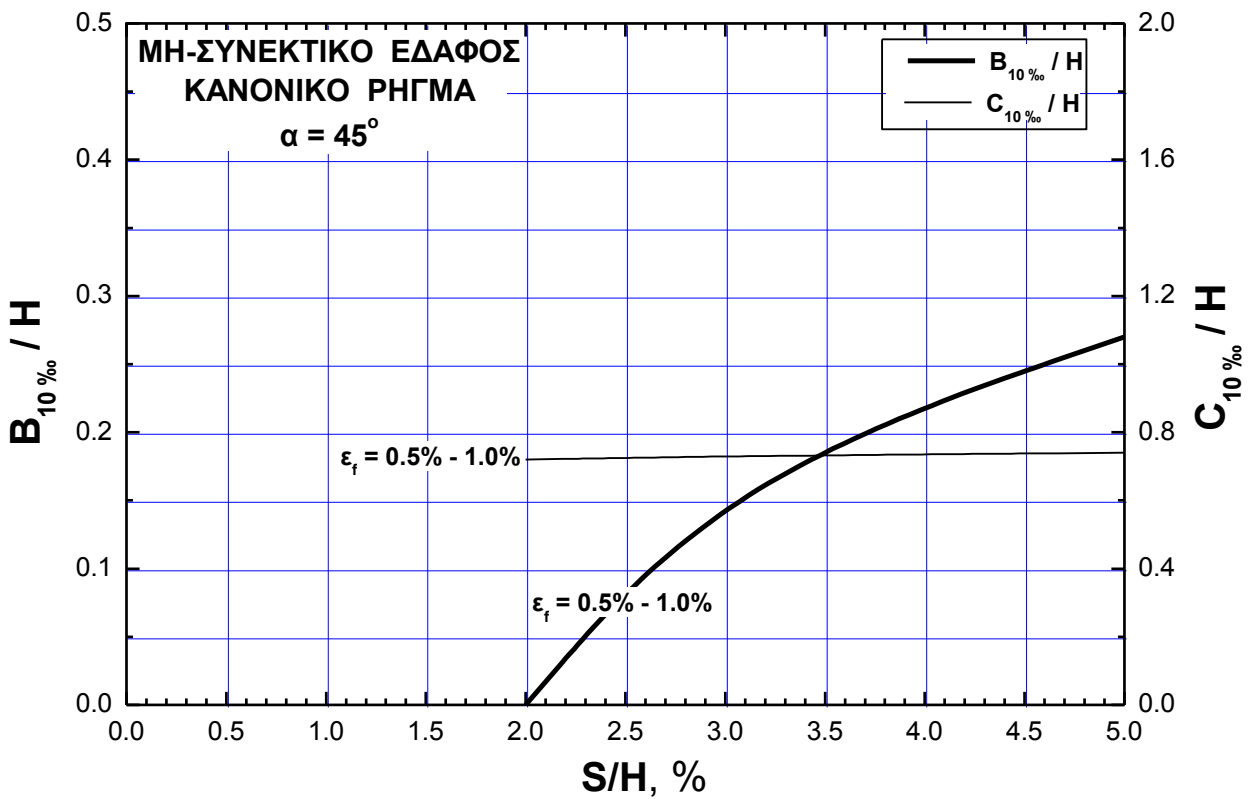


(α)



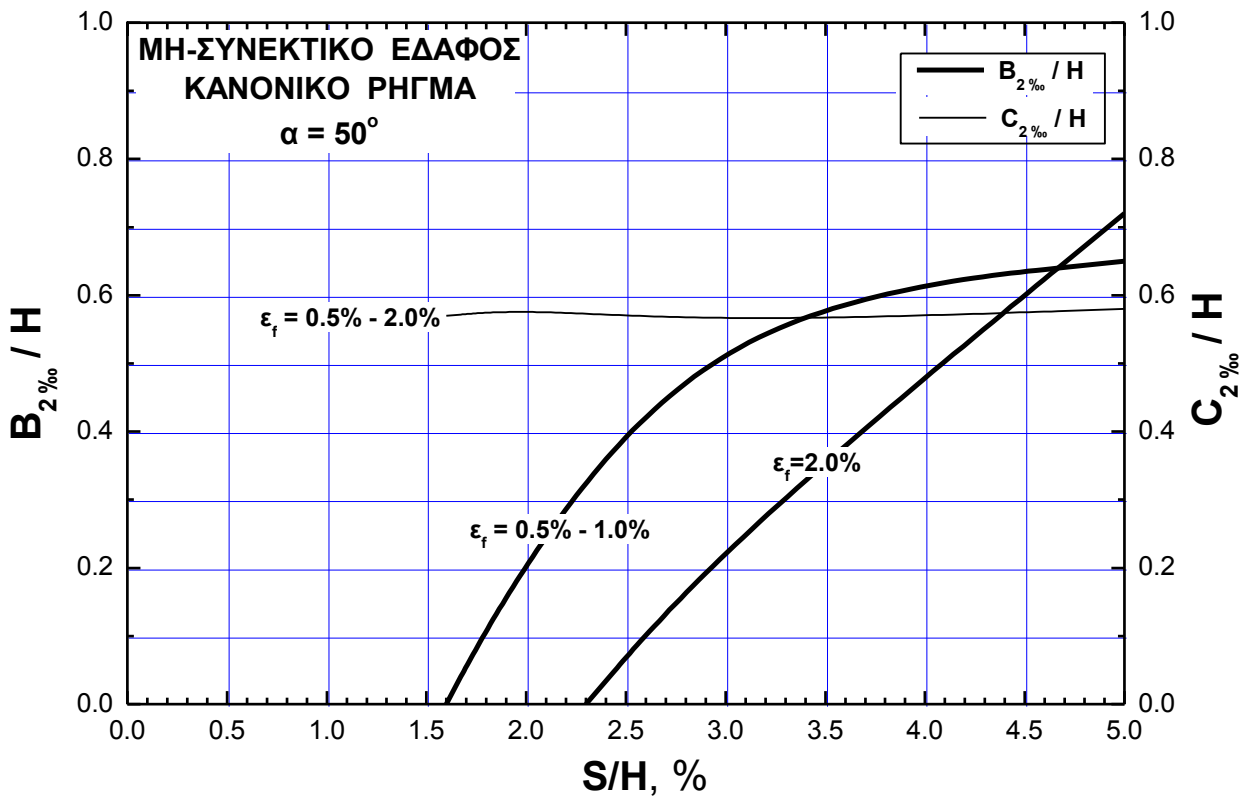
(β)

Σχήμα 7-72. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων α) $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ και β) $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος κλίσης $\alpha=45^\circ$ σε **μη-συνεκτικό** έδαφος

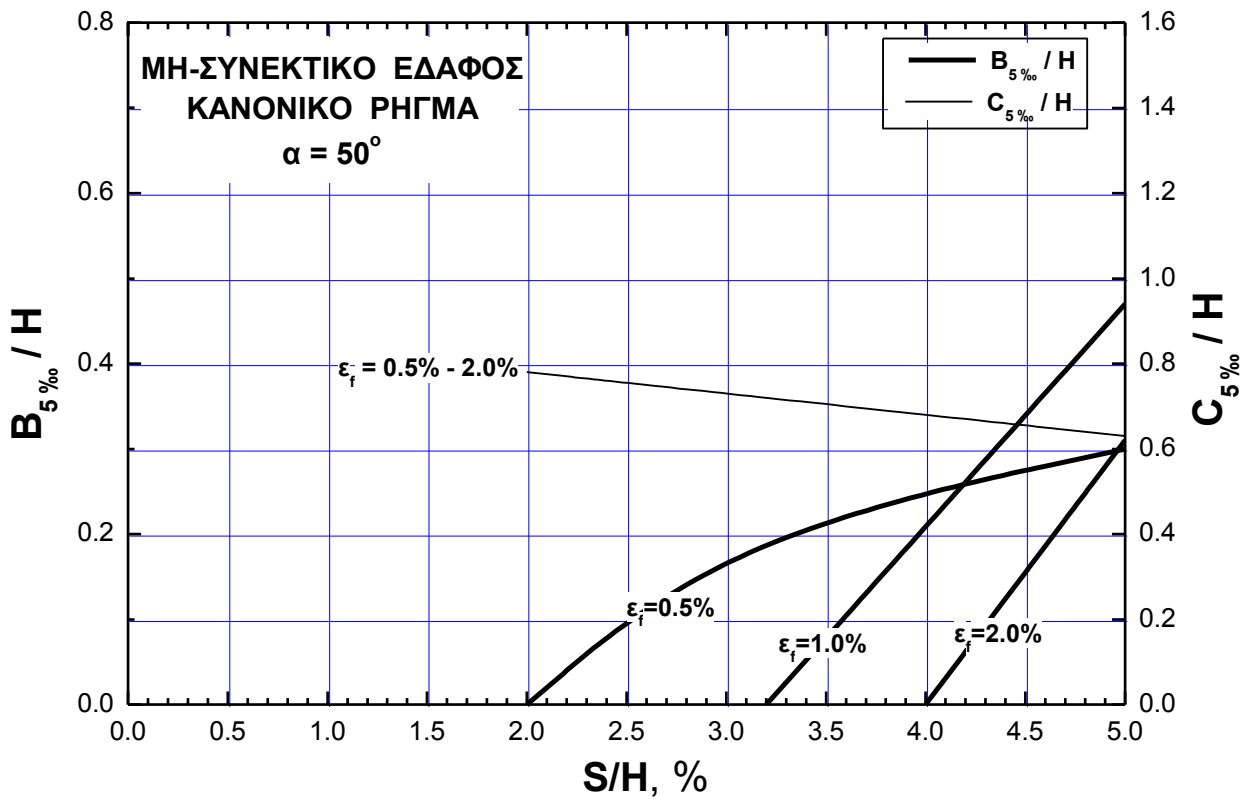


Σχήμα 7-73. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό του λόγου $B_{10\%}/H$ και $C_{10\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος κλίσης $\alpha=45^\circ$ σε **μη-συνεκτικό** έδαφος

Στις ανωτέρω περιπτώσεις ως συνολικό εύρος της επικίνδυνης ζώνης θεωρείται το άθροισμα των δύο επί-μέρους ευρών και συμπεριλαμβάνει και το διάστημα μεταξύ των δύο ζωνών (εφόσον υπάρχει). Τα νομογραφήματα της παρούσας ενότητας επιτρέπουν τον προσδιορισμό του εύρους και της θέσης της “δευτερεύουσας” επικίνδυνης ζώνης – στις περιπτώσεις που αυτή αναπτύσσεται- οπότε σε συνδυασμό με τα νομογραφήματα των προηγούμενων ενότητων καθορίζεται πλήρως η συνολική επικίνδυνη ζώνη στην επιφάνεια του εδάφους.



(α)



(β)

Σχήμα 7-74. Νομογράφημα για τον προσδιορισμό των λόγων α) $B_{2\%}/H$ και $C_{2\%}/H$ και β) $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ για την περίπτωση διάρρηξης **κανονικού** ρήγματος κλίσης $\alpha=50^\circ$ σε **μη-συνεκτικό** έδαφος

7.6 Εφαρμογή-Σύγκριση των Αποτελεσμάτων της Ερευνας με Δημοσιευμένα Αποτελέσματα

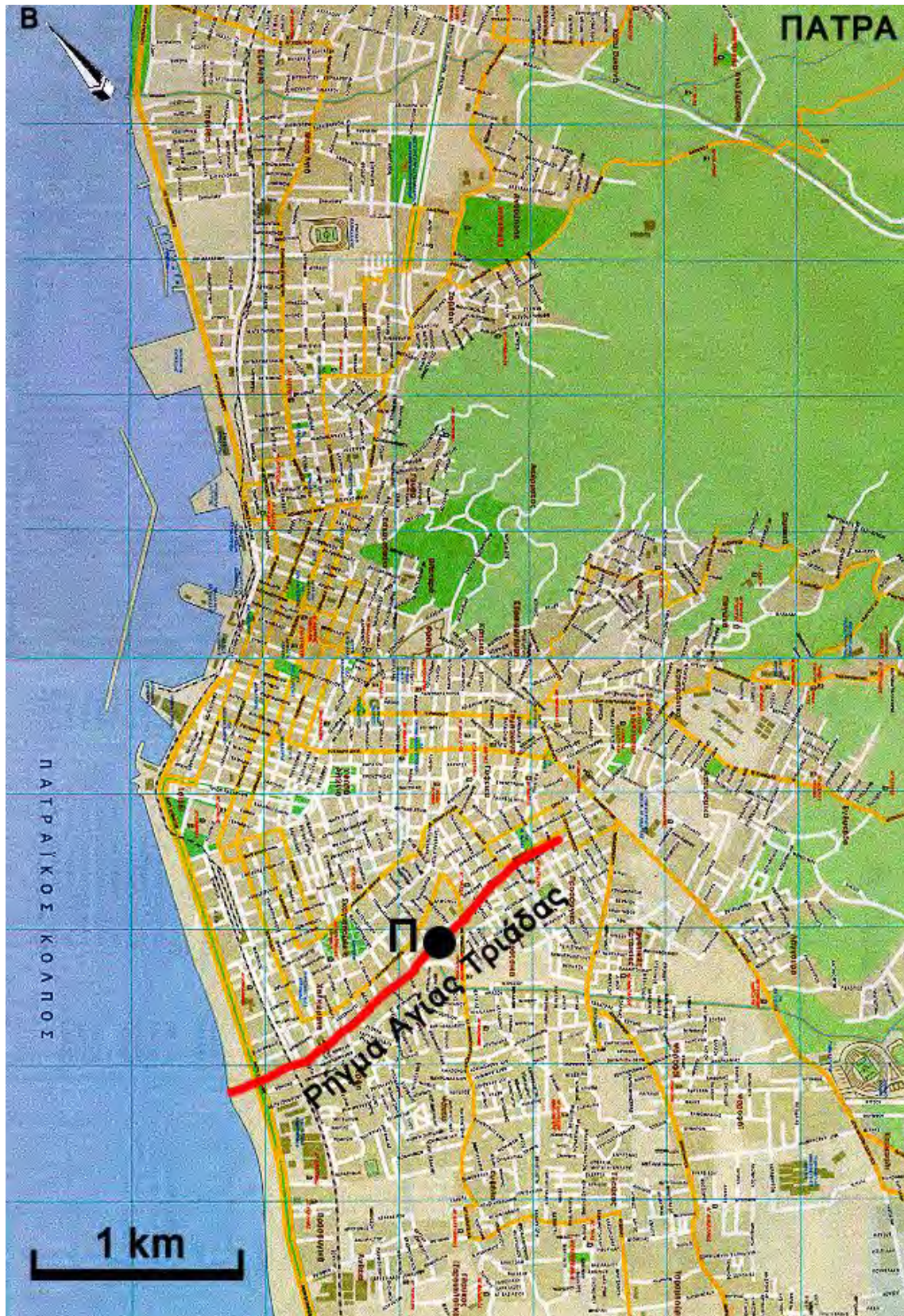
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ερευνητικού προγράμματος διαμέσου σύγκρισης με δημοσιευμένα αποτελέσματα που αφορούν παρατηρήσεις πεδίου, διεξαγωγή πειραμάτων ή αναλύσεις παρόμοιες με αυτές που έγιναν στην παρούσα έρευνα. Συγκεκριμένα, οι παρουσιαζόμενες συγκρίσεις αναφέρονται στις ακόλουθες περιπτώσεις: (α) την περίπτωση του ρήγματος της Αγίας Τριάδας, στην Πάτρα, (β) στα πειραματικά αποτελέσματα φυσικού ομοιώματος των Cole and Lade (1984) και (γ) στα αποτελέσματα των αναλύσεων του Bray (2001).

7.6.1 Το Ρήγμα της Αγ. Τριάδας στην Πάτρα

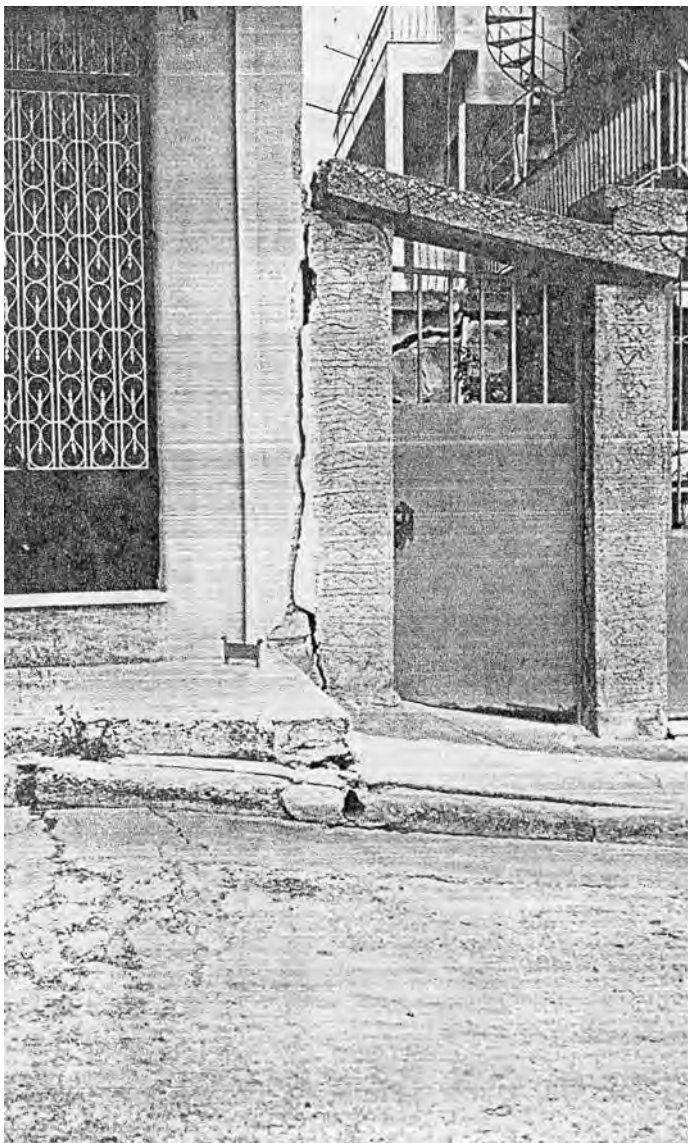
Το ρήγμα της Αγ. Τριάδας βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Πάτρας, με επιφανειακό ίχνος (εδαφική διάρρηξη μήκους περίπου 1500m) που εμφανίσθηκε κατά τη διάρκεια των σεισμικών γεγονότων ($M \approx 5$) του 1989-90, με διεύθυνση $B 70^\circ A$ (Kalteziotis et al., 1991, Αθανασόπουλος κ.α., 1998), Σχ. 7-75. Πρόκειται για κανονικό ρήγμα, με εκτιμώμενη γωνία κλίσης στους επιφανειακούς σχηματισμούς περίπου ίση με 75° και βύθιση του επικειμένου τεμάχους προς τη νότια-νοτιοανατολική διεύθυνση. Η ολίσθηση του ρήγματος της Αγ. Τριάδας θεωρείται ότι οφείλεται σε συμπαθητική δράση που εκδηλώθηκε ως αποτέλεσμα της σεισμικής ολίσθησης άλλου ρήγματος της περιοχής.

Αμέσως μετά τα σεισμικά γεγονότα της περιόδου 1989-90, η κατακόρυφη μετακίνηση κατά μήκος της επιφανειακής διάρρηξης ήταν της τάξης του 1.0cm ενώ το μέγιστο εύρος ρωγμής περίπου ίσο με 11.0cm (Χριστόπουλος, 1990). Τρία χρόνια μετά την εμφάνιση της διάρρηξης η μέγιστη καθίζηση του βυθιζόμενου τεμάχους ήταν της τάξης των 15.0cm (Μπαλοδήμος κ.α., 1995). Στην περιοχή της επιφανειακής διάρρηξης παρατηρήθηκαν αρκετές βλάβες οικοδομικών έργων με πλέον χαρακτηριστικό το παράδειγμα των δύο σε επαφή εξαόροφων πολυκατοικιών της οδού Αργυροκάστρου οι οποίες απομακρύνθηκαν η μία από την άλλη και υπέστησαν σοβαρές βλάβες. Στη φωτογραφία του Σχ. 7-76 διακρίνεται η έντονη παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους στην περιοχή των δύο αυτών πολυκατοικιών. Η εδαφική τομή στη θέση του ρήγματος παρουσιάσθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (Athanasopoulos and Leonidou, 1996).

Για την ανάλυση της περίπτωσης του ρήγματος της Αγ. Τριάδας χρησιμοποιούνται τα νομογραφήματα που παρουσιάσθηκαν στις προηγούμενες ενότητες σε συνδυασμό με τις ακόλουθες παραδοχές:



Σχήμα 7-75. Οριζοντιογραφία του ίχνους του ρήγματος της Αγίας Τριάδας στην Πάτρα και η θέση των πολυκατοικιών που υπέστησαν βλάβες (Αθανασόπουλος κ.α., 1998)

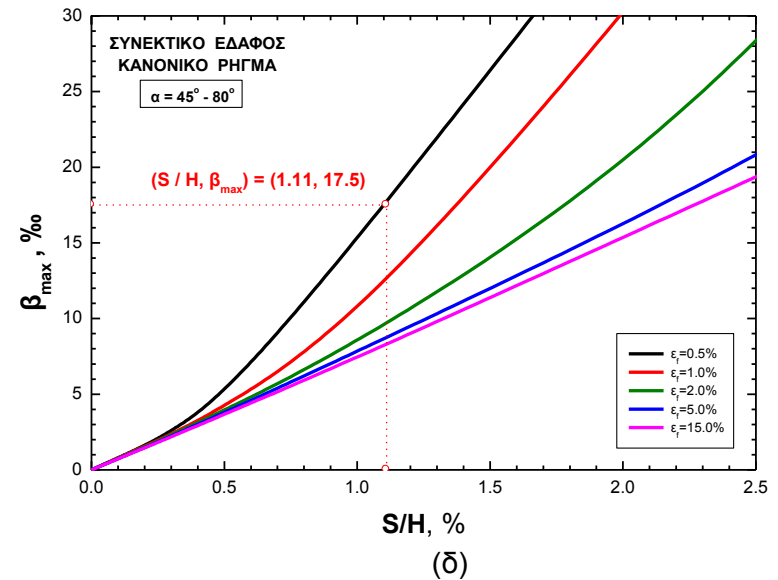
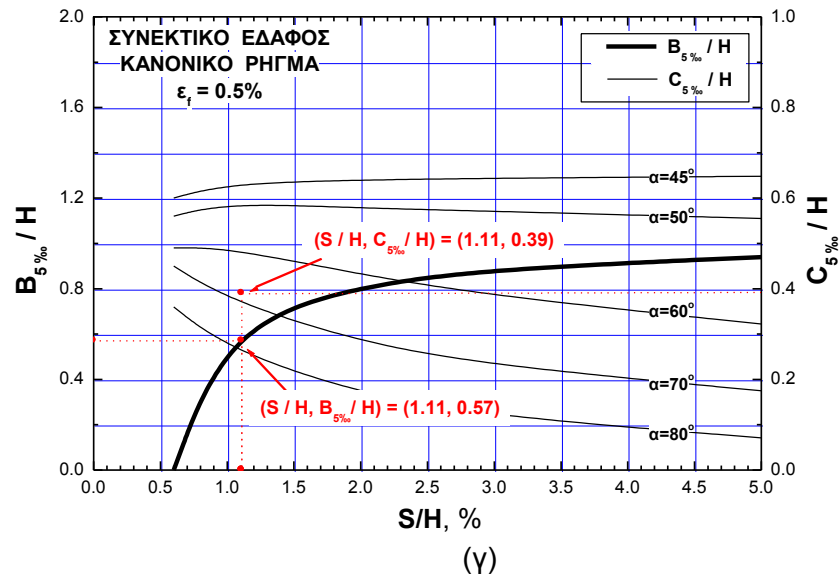
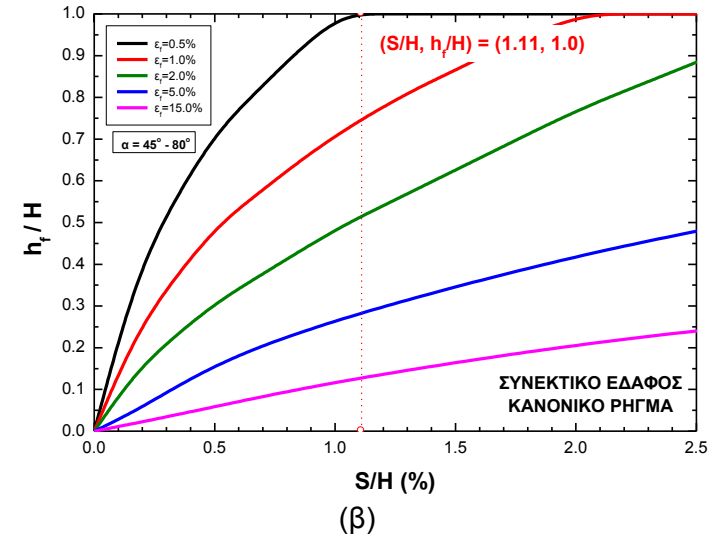
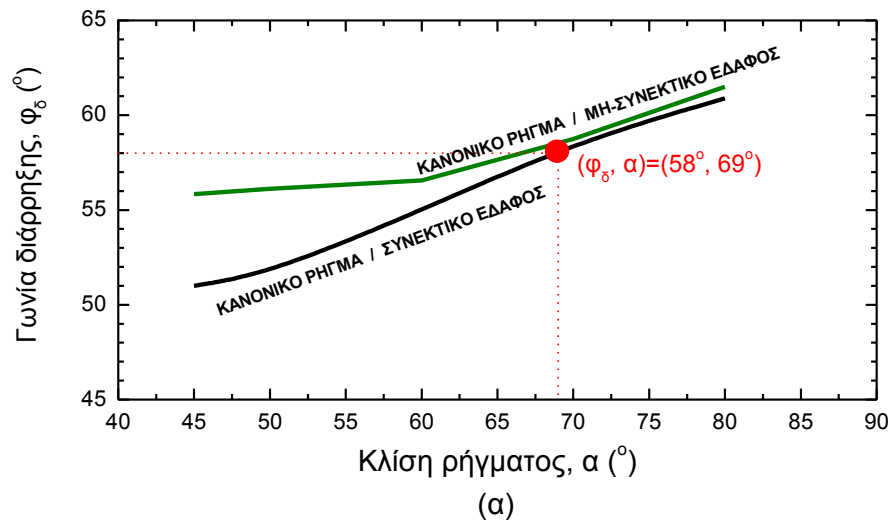


Σχήμα 7-76. Παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους και βλάβες των οικοδομών στην περιοχή της επιφανειακής διάρρηξης του ρήγματος της Αγ. Τριάδας

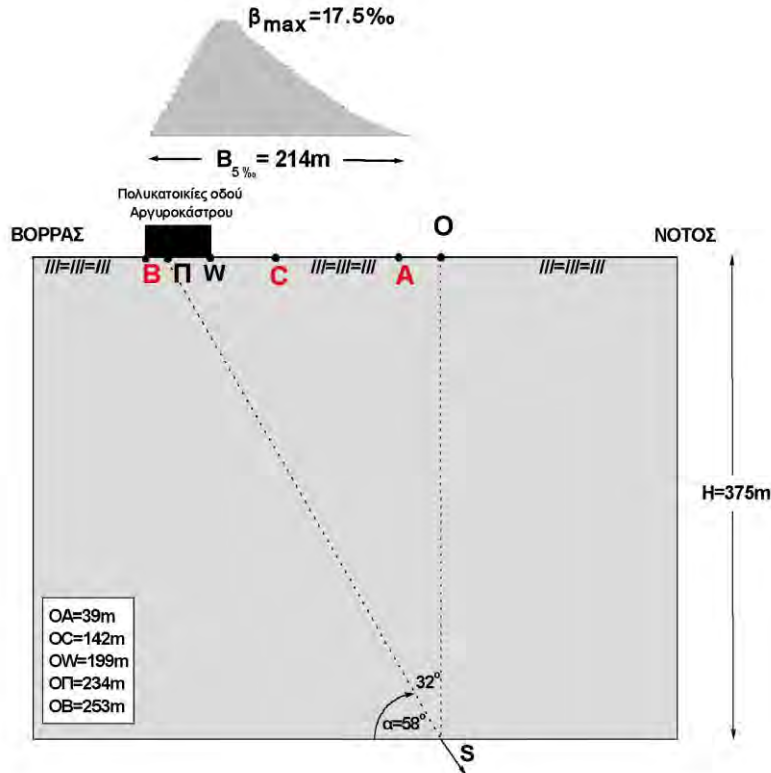
- 1) Το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής αστοχίας συμπίπτει με το πάχος του εδαφικού στρώματος, δηλ. $h_f/H=1.0$.
- 2) Το εδαφικό υλικό του στρώματος είναι κατά κύριο λόγο συνεκτικό (μάργα:300m + αμμοχάλικα με ενστρώσεις ιλύος: 75m).
- 3) Η συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών είναι ιδιαίτερα ψαθυρή, λόγω της πιθανής ύπαρξης προδιατμημένης (στο παρελθόν) επιφάνειας αστοχίας και χαρακτηρίζεται από ορθή παραμόρφωση αστοχίας $\varepsilon_f \leq 0.5\%$.

Με βάση τις ανωτέρω παραδοχές και με χρήση των κατάλληλων νομογραφημάτων προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- (α) Δεδομένου ότι η γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου δεν είναι γνωστή, χρησιμοποιείται η τιμή της γωνίας διάρρηξης $\phi_\delta=58^\circ$ από το νομογράφημα του Σχ. 7-4, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται μεγενθυμένο στο Σχ. 7-77(α). Η τιμή αυτή της γωνίας ϕ_δ αντιστοιχεί στο σημείο όπου οι καμπύλες για συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος σχεδόν συμπίπτουν και οδηγεί σε τιμή της γωνίας κλίσης του ρήγματος υποβάθρου $\alpha \approx 69^\circ$.
- (β) Από το νομογράφημα του Σχ. 7-3(α), τμήμα του οποίου παρουσιάζεται μεγενθυμένο στο Σχ. 7-77(β), για $h_f/H=1.0$ και $\varepsilon_f=0.5\%$, προκύπτει ότι $S/H=1.11\%$.
- (γ) Από το νομογράφημα του Σχ. 7-24(α), τμήμα του οποίου παρουσιάζεται μεγενθυμένο στο Σχ. 7-77(γ), για $S/H=1.11\%$, $\varepsilon_f=0.5\%$ και $\alpha=69^\circ$ προκύπτει ότι $B_{5\%}/H=0.57$ και $C_{5\%}/H=0.39$.
- (δ) Από το νομογράφημα του Σχ. 7-20, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται μεγενθυμένο στο Σχ. 7-77(δ), για $S/H=1.11\%$ και $\varepsilon_f=0.5\%$ προκύπτει ότι $\beta_{\max}=17.5\%$. Η θέση εμφάνισης της τιμής της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης από το σημείο αναφοράς O υπολογίζεται από το πρόγραμμα FAULT ίση με $W/H=0.53$.
- (ε) Λαμβάνοντας πάχος εδαφικού στρώματος $H=375\text{m}$ (βλ. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, σελ. Σχ. 2-28(α)) προκύπτει ότι η απόσταση του σημείου αναφοράς O από το ίχνος της επιφανειακής διάρρηξης είναι 234m. Στο Σχ. 7-78 παρουσιάζεται η θέση του ίχνους της επιφανειακής διάρρηξης και των δύο πολυκατοικιών καθώς και της επικίνδυνης ζώνης εύρους $B_{5\%}=0.57 \times 375=214\text{m}$. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται και η κατανομή των τιμών των γωνιακών παραμορφώσεων στην επικίνδυνη ζώνη, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων του κώδικα PLAXIS ver. 7.2 με το πρόγραμμα μετεπεξεργασίας FAULT. Η απόσταση του σημείου



Σχήμα 7-77. Νομογραφήματα προσδιορισμού (α) κλίσης ρήγματος, α (β) σχετικής σεισμικής ολίσθησης S/H για $h_f/H=1.0$ γ) λόγω $B_{5\%}/H$ και $C_{5\%}/H$ και δ) τιμής μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max}



Σχήμα 7-78. Θέση του ίχνους της επιφανειακής διάρρηξης του ρήγματος της Αγ. Τριάδας και των δύο πολυκατοικιών καθώς και η κατανομή των τιμών των γωνιακών παραμορφώσεων στην επικίνδυνη ζώνη εύρους $B_{5\%}$.

εμφάνισης της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης από το σημείο αναφοράς Ο ($\beta_{max}=17.5\text{‰}$) υπολογίζεται ίση με $W=0.53 \times 375=199\text{m}$.

Παρατηρείται ότι τόσο το ίχνος της επιφανειακής διάρρηξης όσο και η θέση των πολυκατοικιών που υπέστησαν βλάβες βρίσκονται στο εσωτερικό της επικίνδυνης ζώνης που προσδιορίστηκε με τη βοήθεια των νομογραφημάτων της παρούσας έρευνας. Αξιο ιδιαίτερης παρατήρησης είναι το γεγονός ότι η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης ($\beta_{max}=17.5\text{‰}$) εμφανίζεται σε απόσταση μόλις 35m από το σημείο επαφής των δύο πολυκατοικιών. Η τιμή αυτή της υπολογιζόμενης γωνιακής παραμόρφωσης ελευθέρου πεδίου, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, αναμένεται να αντιστοιχεί σε τιμή γωνιακής παραμόρφωσης θεμελίωσης ίση περίπου με $\beta_{max}=(0.5 \times 17.5\text{‰})=8.75\text{‰}=1/114$. Αυτή η πολύ υψηλή υπολογιζόμενη τιμή δικαιολογεί πλήρως τις παρατηρηθείσες σοβαρές βλάβες των δύο εξαόροφων πολυκατοικιών (Μπαλοδήμος κ.α., 1995).

Συμπεραίνεται επομένως ότι η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρέχουν τη δυνατότητα

αξιόπιστης οριοθέτησης της επικίνδυνης επιφανειακής ζώνης σε περιπτώσεις ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

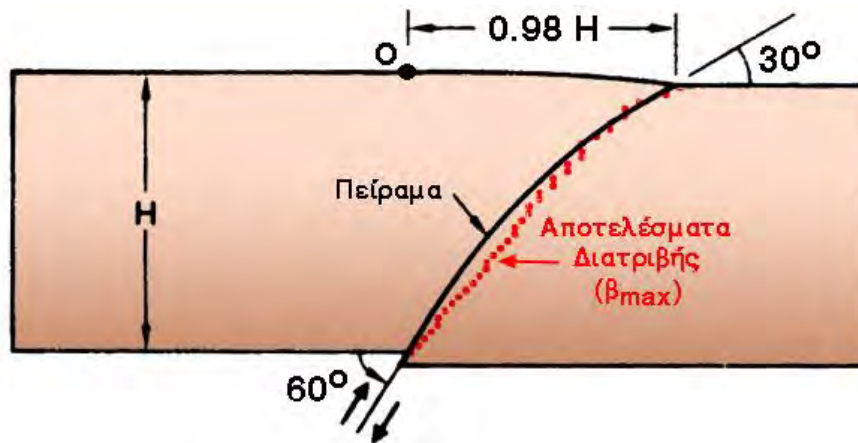
7.6.2 Μετρήσεις σε Φυσικό Ομοίωμα Μικρής Κλίμακας

Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 παρουσιάστηκαν τα πειραματικά αποτελέσματα των Cole and Lade (1984) που προέκυψαν με χρήση φυσικού ομοιώματος μικρών διαστάσεων και τα οποία αφορούν τη διάδοση της διάρρηξης ανάστροφου και κανονικού ρήγματος υποβάθρου σε αμμώδες έδαφος με $\phi=58^\circ$ και $\psi=30^\circ$. Υπενθυμίζεται ότι στην παρούσα έρευνα για την περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών οι αναλύσεις διεξήχθησαν για τιμές της γωνίας διασταλτικότητας ψ κυμαινόμενες από 0° έως 10° . Επομένως δεν είναι διαθέσιμα διαγράμματα ή νομογραφήματα για $\psi=30^\circ$ και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν ιδιαίτερες αναλύσεις χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη τιμή της γωνίας διασταλτικότητας τα αποτελέσματα των οποίων συγκρίνονται με τα πειραματικά αποτελέσματα των Cole and Lade (1984). Η σύγκριση παρουσιάζεται πρώτα για την περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος και ακολουθεί η περίπτωση του κανονικού ρήγματος.

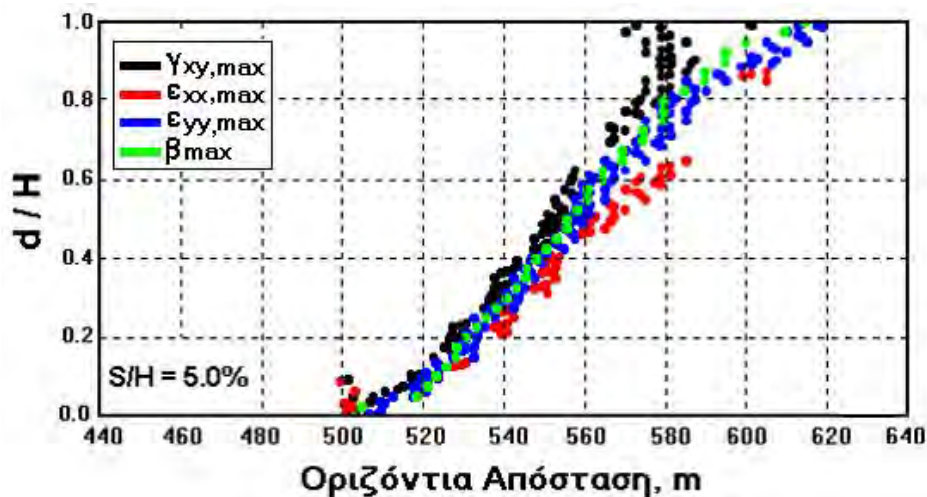
Περίπτωση Διάρρηξης Ανάστροφου Ρήγματος

Τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψαν για ύψος εδαφικού στρώματος $H=45\text{cm}$, σεισμική ολίσθηση $S_v=2.4\text{cm}$ και γωνία κλίσης ρήγματος υποβάθρου $\alpha=60^\circ$. Η εδαφική διάρρηξη για την περίπτωση αυτή έφθασε στην επιφάνεια του εδάφους ακολουθώντας την καμπύλη που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχ. 7-79. Παρατηρείται ότι το σημείο εμφάνισης της επιφανειακής διάρρηξης απέχει από το σημείο αναφοράς O απόσταση ίση με H . Η επιφάνεια διάρρηξης (συνεχής μαύρη γραμμή) είναι ελαφρώς καμπυλομένη με τα κοίλα στραμμένα προς το υποκείμενο τέμαχος του ρήγματος.

Στο διάγραμμα του Σχ. 7-80 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναλύσεων που διεξήχθησαν με τον κώδικα PLAXIS ver. 7.2 προσομοιώνοντας αριθμητικά το φυσικό ομοίωμα των Cole and Lade (1984). Πρόκειται συγκεκριμένα, για αποτελέσματα που παρήχθησαν από το πρόγραμμα FAULT και παρουσιάζουν τις καμπύλες διάδοσης των μεγίστων τιμών των ορθών και διατμητικών παραμορφώσεων καθώς και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης της διάρρηξης του ρήγματος υποβάθρου για τιμή του $\varepsilon_f=0.5\%$. Παρατηρείται ότι η καμπύλη της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , προσεγγίζει κατά τον καλύτερο τρόπο την καμπύλη των πειραματικών αποτελεσμάτων των Cole and Lade (1984) (βλ. υπέρθεση των δύο καμπυλών στο διάγραμμα του Σχ. 7-79). Επιβεβαιώνονται επομένως οι παρατηρήσεις που διατυπώθηκαν στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



Σχήμα 7-79. Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικής ανάλυσης των Cole and Lade (1994) με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος κλίσης, $\alpha=60^\circ$



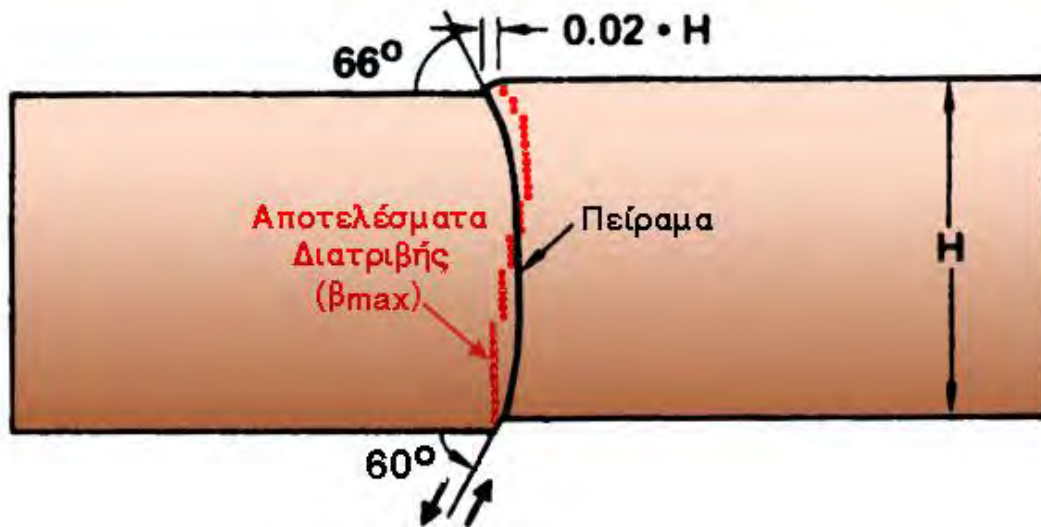
Σχήμα 7-80. Καμπύλες διάδοσης των μεγίστων τιμών των ορθών και διατμητικών παραμορφώσεων καθώς και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης όπως υπολογίζονται από τον κώδικα PLAXIS για την περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος του φυσικού ομοιώματος των Cole and Lade (1984)

και ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 σχετικά με τη δυνατότητα της καμπύλης β_{\max} να περιγράφει τη διάδοση της εδαφικής διάρρηξης σε εδαφικούς σχηματισμούς υπερκείμενους του βραχώδους υποβάθρου.

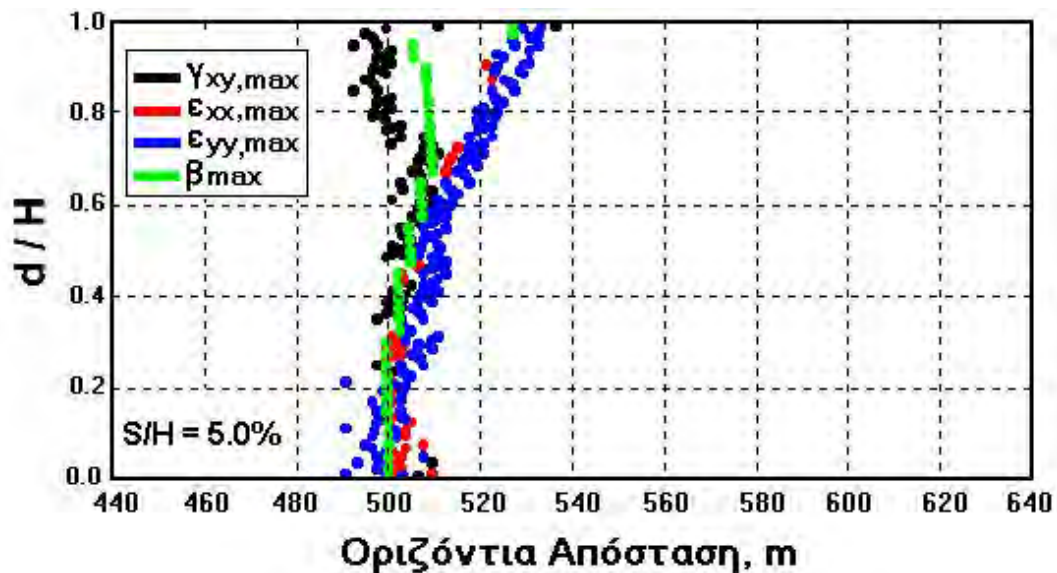
Περίπτωση Διάρρηξης Κανονικού Ρήγματος

Για την περίπτωση αυτή τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψαν για μέγεθος σεισμικής ολίσθησης $S=1.8\text{cm}$ και γωνία κλίσης ρήγματος υποβάθρου $\alpha=60^\circ$. Η εδαφική διάρρηξη για την περίπτωση αυτή έφθασε στην επιφάνεια του εδάφους ακολουθώντας την καμπύλη που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχ. 7-81. Παρατηρείται ότι το σημείο εμφάνισης της επιφανειακής διάρρηξης στην περίπτωση αυτή συμπίπτει σχεδόν

με το σημείο αναφοράς Ο. Η διαφοροποίηση αυτή σε σχέση με την περίπτωση του ανάστροφου ρήγματος είναι εντυπωσιακή και επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τον κώδικα PLAXIS ver. 7.2. Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα του Σχ. 7-82 παρουσιάζονται οι τιμές των διαφόρων ειδών ανηγμένων παραμορφώσεων ($\gamma_{xy,max}$, $\epsilon_{xx,max}$, $\epsilon_{yy,max}$, β_{max}). Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται και πάλι ότι η καμπύλη διάδοσης της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , προσεγγίζει πολύ ικανοποιητικά την πειραματική καμπύλη που προέκυψε από τις μετρήσεις του φυσικού ομοιώματος (βλ. υπέρθεση των δύο καμπυλών στο διάγραμμα του Σχ. 7-81).



Σχήμα 7-81. Σύγκριση αποτελεσμάτων πειραματικής ανάλυσης των Cole and Lade (1994) με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας για την περίπτωση κανονικού ρήγματος κλίσης, $\alpha=60^\circ$



Σχήμα 7-82. Καμπύλες διάδοσης των μεγίστων τιμών των ορθών και διατμητικών παραμορφώσεων καθώς και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης όπως υπολογίζονται από τον κώδικα PLAXIS για την περίπτωση του κανονικού ρήγματος του φυσικού ομοιώματος των Cole and Lade (1984)

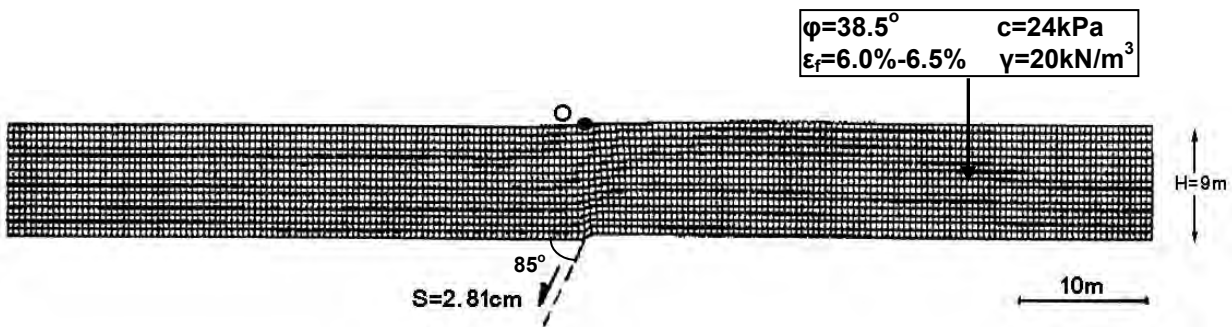
Με βάση τα ανωτέρω συμπεραίνεται ότι η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα παράγει αποτελέσματα τα οποία βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα μετρήσεων της διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης σε φυσικά προσομοιώματα μικρής κλίμακας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συμφωνία των πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων επεκτείνεται και στην περίπτωση της τιμής του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f . Συγκεκριμένα, όπως ήδη αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, τα πειραματικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι απαιτείται μετακίνηση ρήγματος τουλάχιστον ίση με 4.0% του πάχους του υπερκειμένου εδαφικού στρώματος ώστε η εδαφική διάρρηξη να φθάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τον κώδικα PLAXIS υποδεικνύουν ότι η αντίστοιχη τιμή της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, S/H , είναι περίπου ίση με 5.0%.

7.6.3 Πρόσφατα Δημοσιευμένα Αποτελέσματα Αναλύσεων

Η εφαρμογή μεθοδολογίας παρόμοιας με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα για τη μελέτη της διάδοσης της διάρρηξης ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενο εδαφικό σχηματισμό, παρουσιάσθηκε πρόσφατα από τον Bray (2001). Πρόκειται για περιπτώσεις τόσο κανονικού όσο και ανάστροφου ρήγματος, στη Νότια Καλιφόρνια των ΗΠΑ, στην περιοχή των οποίων είναι γνωστό το πάχος του υπερκείμενου εδαφικού στρώματος καθώς και το μέγεθος της αναμενόμενης σεισμικής ολίσθησης. Στα επόμενα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του Bray (2001) για κάθε είδος ρήγματος και γίνεται σύγκριση με τα αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τα νομογραφήματα της Τελικής Τεχνικής Εκθεσης.

Περίπτωση Κανονικού Ρήγματος

Στο διάγραμμα του Σχ. 7-83 παρουσιάζεται το δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων (σε παραμορφωμένη κατάσταση) που χρησιμοποιήθηκε από τον Bray (2001) για την ανάλυση της διάρρηξης κανονικού ρήγματος υποβάθρου με γωνία κλίσης $\alpha=85^\circ$ και μέγεθος σεισμικής ολίσθησης $S=2.81\text{cm}$. Στο σχήμα παρουσιάζονται επίσης στοιχεία για το εδαφικό υλικό του επιφανειακού στρώματος (πάχους 9.0m) το οποίο χαρακτηρίζεται ως ολοκαινικές αλουβιακές αποθέσεις, με τιμές παραμέτρων διατμητικής αντοχής $c=24\text{kPa}$, $\phi=38.5^\circ$, $\epsilon_f=6.0\%-6.5\%$ και $\gamma=20\text{kN/m}^3$. Οι αριθμητικές αναλύσεις διεξήχθησαν με χρήση του υπερβολικού ποσομοιώματος εδάφους του Duncan et al. (1980) που παρουσιάσθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υπέδειξαν ότι το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης προκύπτει ίσο με $h_f=0.60\text{m}$, ενώ η μέγιστη τιμή επιφανειακής γωνιακής παραμόρφωσης ελευθέρου πεδίου $\beta_{\max}=2.7\text{‰}=1/370$. Δεν αναφέρεται όμως ούτε το σημείο εμφάνισης της μέγιστης παραμόρφωσης ούτε το εύρος της επικίνδυνης ζώνης.



Σχήμα 7-83. Δίκτυο πετρερασμένων στοιχείων (παραμορφωμένο) που χρησιμοποιήθηκε από το Bray (2001) για την ανάλυση της διάδοσης της διάρρηξης κανονικού ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενο στρώμα εδάφους

Με σκοπό τη σύγκριση των ανωτέρω αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα που προκύπτουν με χρήση των νομογραφημάτων της παρούσας Τεχνικής Εκθεσης, στα διαγράμματα του Σχ. 7-84(α),(β),(γ),(δ) παρουσιάζονται σε μεγέθυνση τμήματα των διαγραμμάτων των Σχ. 7-3(α), Σχ. 7-20, Σχ. 7-3(β) και Σχ. 7-34(β), αντίστοιχα. Χρησιμοποιούνται τα νομογραφήματα τόσο του συνεκτικού όσο και του μη-συνεκτικού εδάφους, δεδομένου ότι το εδαφικό υλικό του εδαφικού στρώματος που υπέρκειται του βραχώδους υποβάθρου διαθέτει τόσο συνοχή όσο και γωνία εσωτερικής τριβής. Για την περίπτωση του συνεκτικού εδάφους από το διάγραμμα του Σχ. 7-84(α) προκύπτει ότι για τη σχετική τιμή της σεισμικής ολίσθησης $S/H=0.281/9.0=0.31\%$ και $\epsilon_f \approx 5.0\%$, το ύψος της εδαφικής διάρρηξης είναι ίσο με $h_f=0.093 \times 9.0=0.84\text{m}$. Στη συνέχεια από το διάγραμμα του Σχ. 7-84(β) προκύπτει ότι για $S/H=0.31\%$ η τιμή της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης που αντιστοιχεί σε ορθή παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_f \approx 5.0\%$ είναι $\beta_{\max}=2.83\text{‰}=1/357$. Αντίστοιχοι υπολογισμοί για την περίπτωση μη-συνεκτικού εδάφους (διαγράμματα Σχ. 7-84(γ) και Σχ. 7-84(δ)) οδηγούν στις τιμές: $h_f=0.49\text{m}$ και $\beta_{\max}=2.80\text{‰}=1/352$.

Η σύγκριση των ανωτέρω αποτελεσμάτων οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες τιμές από τα νομογραφήματα της παρούσας Τεχνικής Εκθεσης (ανεξάρτητα από την κατηγορία εδάφους) προκύπτει ότι:

		<u>h_f, m</u>	<u>β_{\max}, ‰</u>
Bray (2001)	:	0.60	2.7‰ (ή 1/370)
Παρούσα έρευνα	:	0.84	2.8‰ (ή 1/352)

Παρόμοια σύγκριση, χρησιμοποιώντας όμως τις μέσες τιμές των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας για συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος, οδηγεί στις ακόλουθες τιμές:

		<u>h_f, m</u>	<u>β_{max}, %</u>
Bray (2001)	:	0.60	2.70‰ (ή 1/370)
Παρούσα έρευνα	:	0.66 [(0.84+0.49)/2]	2.75‰ (ή 1/364) [(1/357+1/352)/2]

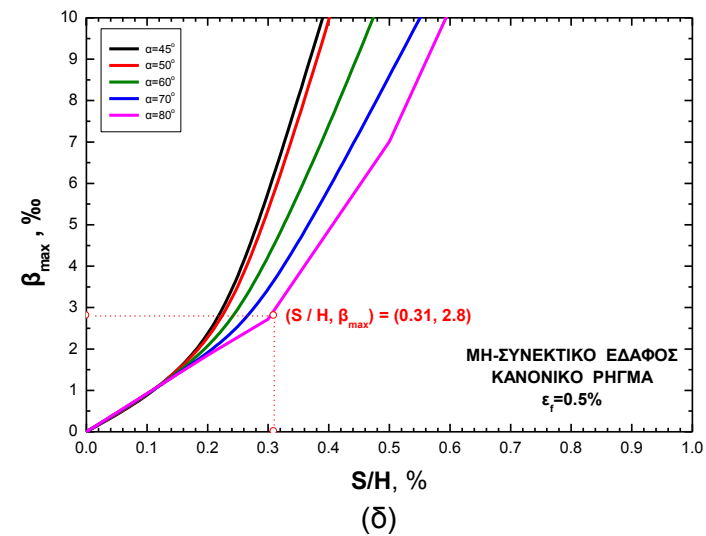
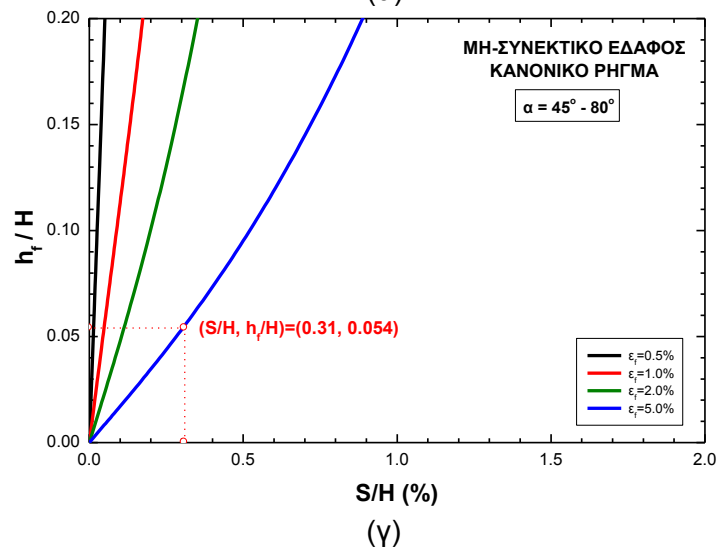
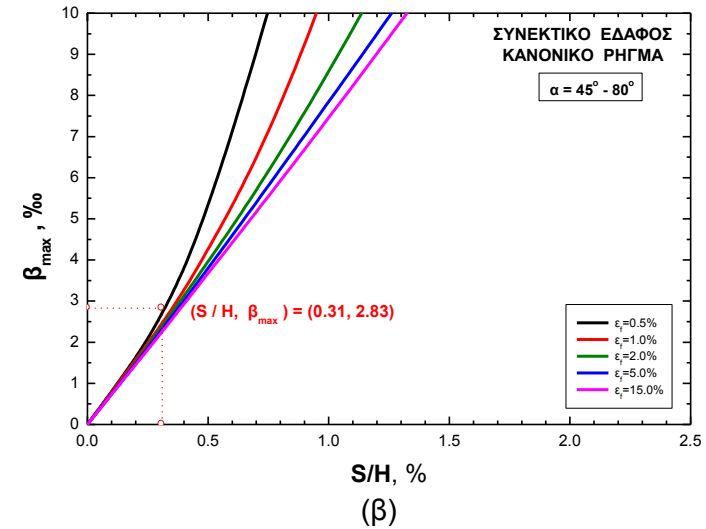
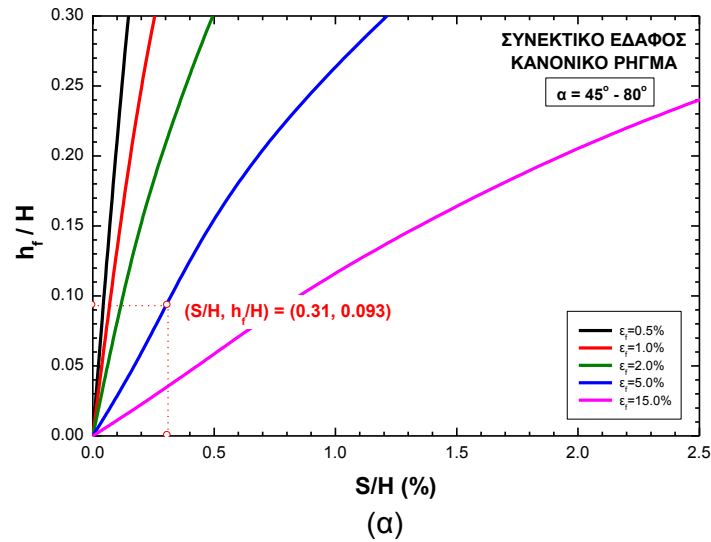
Τα αποτελέσματα των ανωτέρω συγκρίσεων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα νομογραφήματα της παρούσας Εκθεσης βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα των αναλύσεων του Bray (2001), ιδιαίτερα στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές που προκύπτουν για συνεκτικά και μη-συνεκτικά εδάφη.

Περίπτωση Ανάστροφου Ρήγματος

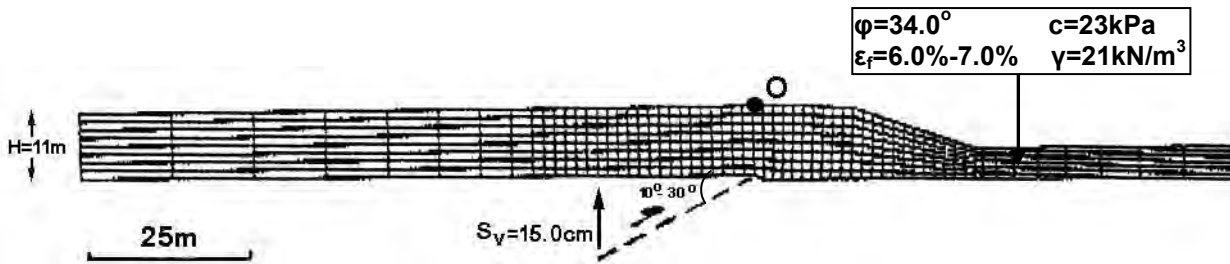
Στο διάγραμμα του Σχ. 7-85 παρουσιάζεται το παραμορφωμένο δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε από τον Bray (2001) για την ανάλυση της διάδοσης της διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενο εδαφικό σχηματισμό. Για τη γωνία κλίσης του ρήγματος αναφέρεται το εύρος των τιμών που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις (10° έως 30°) και όχι συγκεκριμένη τιμή. Θα πρέπει να επισημανθεί επίσης ότι στην περίπτωση αυτή η επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή του ρήγματος δεν είναι οριζόντια αλλά περιλαμβάνει πρανές με κλίση 3.3(οριζ.):1.0 (κατακ.). Το πάχος του υπερκείμενου εδαφικού στρώματος στην περίπτωση αυτή είναι 11.0m ενώ οι τιμές των παραμέτρων του εδάφους (που χαρακτηρίζεται ως παλαιότερες αλουβιακές αποθέσεις) είναι $\phi=34^\circ$, $c=23\text{kPa}$, $e_f=6.0\%$ έως 6.5% και $\gamma=21\text{kN/m}^3$. Το μέγεθος της κατακόρυφης συνιστώσας της σεισμικής ολίσθησης είναι $S_v=15\text{cm}$. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι το ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης προκύπτει ίσο με $h_f=1.5\text{m}$, το εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}\approx 18.0\text{m}$, ενώ η απόσταση του κέντρου της ζώνης από το σημείο αναφοράς O, $C_{2\%}\approx 9.0\text{m}$. Τέλος, η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης προέκυψε ίση με $\beta_{max}\approx 2.7\%$ (1/370).

Με σκοπό τη σύγκριση των ανωτέρω αποτελεσμάτων με αυτά που προκύπτουν από τα νομογραφήματα της παρούσας Εκθεσης, στα Σχ. 7-86(α),(β),(γ) και Σχ. 7-87(α),(β),(γ) παρουσιάζονται σε μεγέθυνση τμήματα των νομογραφημάτων των Σχ. 7-3(γ), Σχ. 7-43, Σχ. 7-47(β) και Σχ. 7-3(δ), Σχ. 7-58, Σχ. 7-62(β), αντίστοιχα, που αναφέρονται στην περίπτωση των ανάστροφων ρηγμάτων. Ο προσδιορισμός των ζητούμενων μεγεθών γίνεται τόσο για συνεκτικό όσο και μη-συνεκτικό έδαφος, θεωρώντας μια μέση τιμή για τη γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου $\alpha=20^\circ$.

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες τιμές από τα νομογραφήματα (ανεξάρτητα της κατηγορίας εδάφους) προκύπτει ότι:



Σχήμα 7-84. Χρήση νομογραφημάτων για τον προσδιορισμό του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{\max} , για την περίπτωση **κανονικού** ρήγματος σε **συνεκτικό** (α, β) και σε **μη-συνεκτικό** έδαφος (γ, δ)



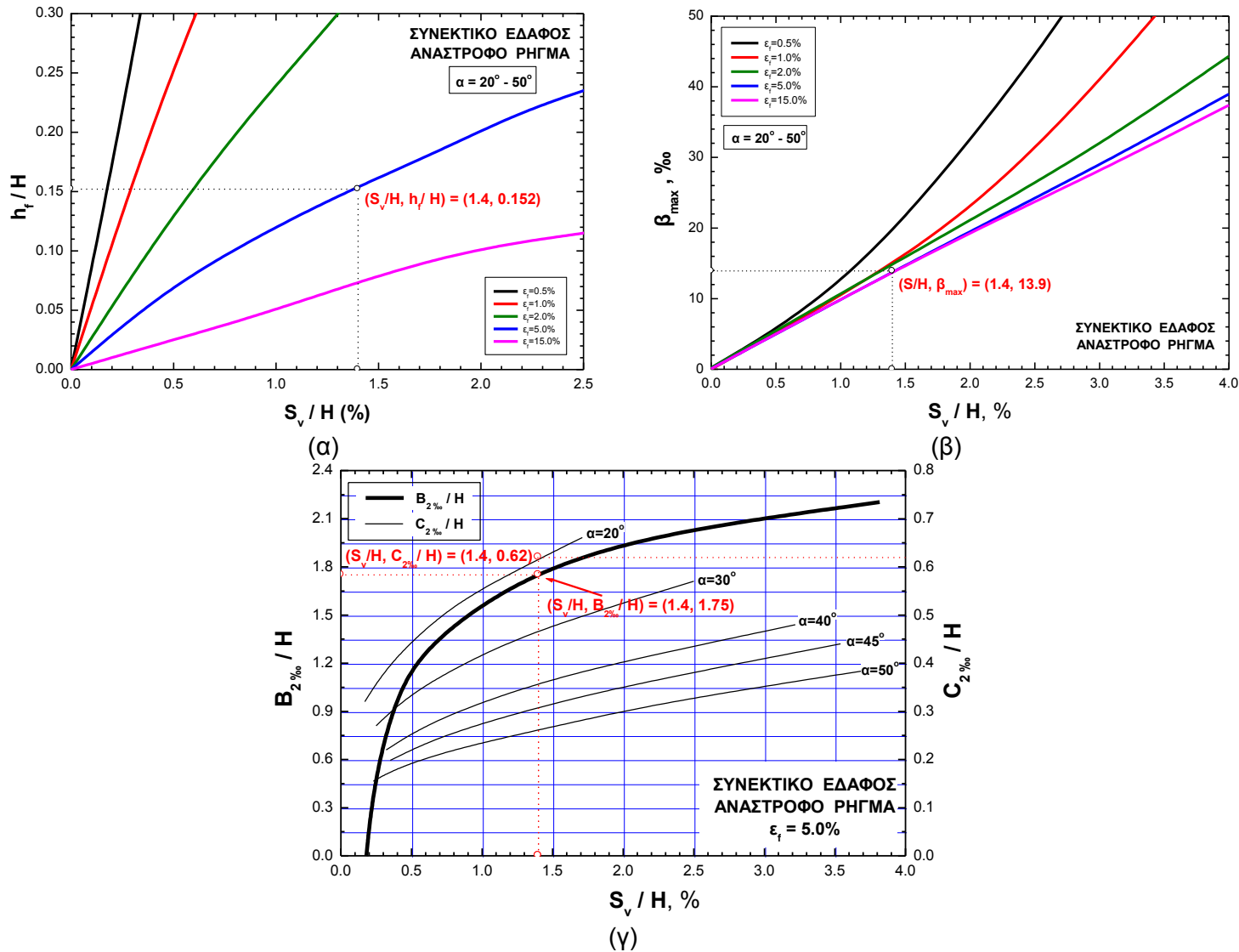
Σχήμα 7-85. Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων (παραμορφωμένο) που χρησιμοποιήθηκε από το Bray (2001) για την ανάλυση της διάδοσης της διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου σε υπερκείμενο στρώμα εδάφους

		<u>h_f (m)</u>	<u>$B_{2\%}$ (m)</u>	<u>$C_{2\%}$ (m)</u>	<u>β_{max} (‰)</u>
Bray (2001)	:	1.50	18.0	9.0	2.7 (ή 1/370)
Παρούσα Έρευνα	:	1.70	19.2	7.80	13.9 (ή 1/72)

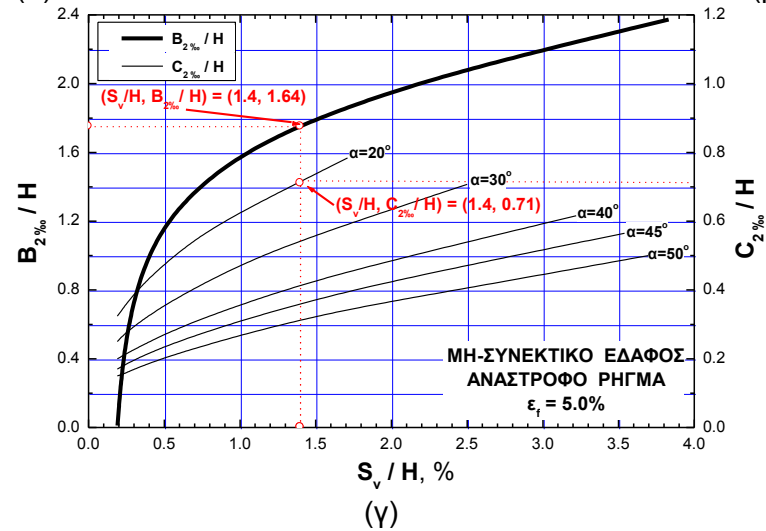
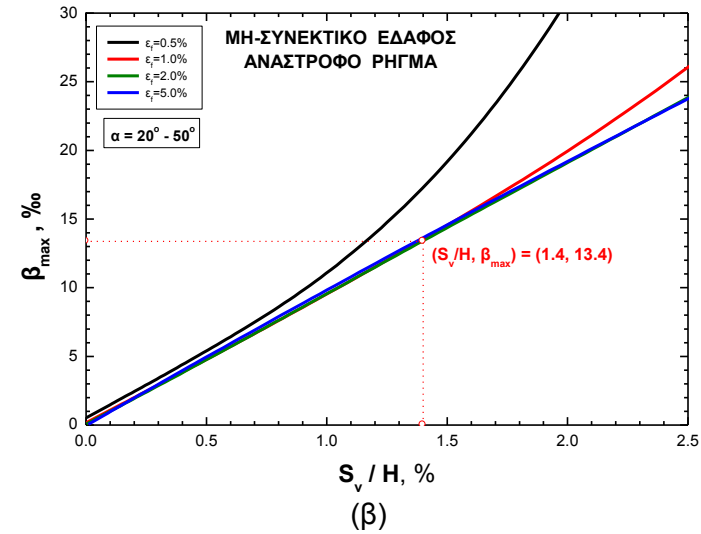
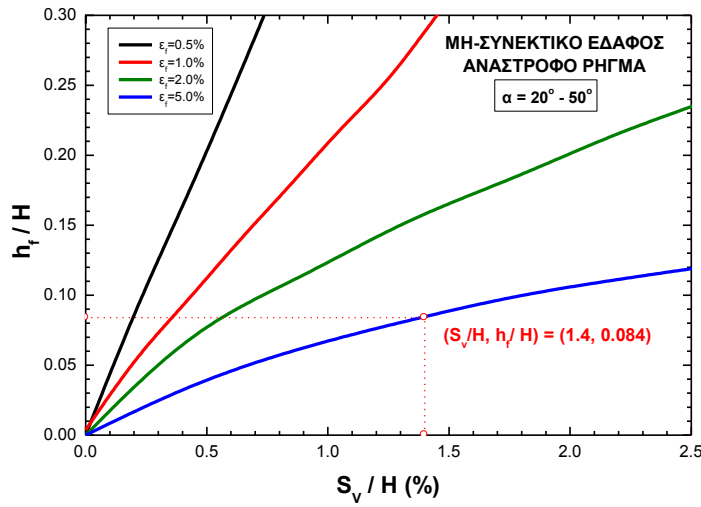
Με παρόμοιο τρόπο συγκρίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με χρήση των μέσων τιμών που προκύπτουν από τα νομογραφήματα της παρούσας Τεχνικής Εκθεσης για συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος:

		<u>h_f (m)</u>	<u>$B_{2\%}$ (m)</u>	<u>$C_{2\%}$ (m)</u>	<u>β_{max} (‰)</u>
Bray (2001)	:	1.50	18.0	9.0	2.7 – 1/370
Παρούσα Έρευνα	:	1.30	18.6	7.30	13.6 – 1/74
		$[(1.7+0.90)]/2$	$[(19.2+18.0)/2]$	$[(6.80+7.80)/2]$	$[(13.6+13.9)/2]$

Αν και τα νομογραφήματα της παρούσας έρευνας έχουν προκύψει για οριζόντια επιφάνεια εδάφους, παρατηρείται και πάλι καλή συμφωνία των σχετικών αποτελεσμάτων με αυτά του Bray (2001), με εξαίρεση την περίπτωση της μέγιστης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης, η οποία προκύπτει 5 φορές, περίπου, μεγαλύτερη με χρήση του σχετικού νομογραφήματος της παρούσας Εκθεσης. Η διαφοροποίηση αυτή εκτιμάται ότι οφείλεται στην παρουσία του επιφανειακού πρηνούς στην περιοχή της διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος, το οποίο λαμβάνεται υπόψη στις αναλύσεις του Bray (2001) όχι όμως και στην περίπτωση των νομογραφημάτων της παρούσας έρευνας.



Σχήμα 7-86. Χρήση νομογραφημάτων για τον προσδιορισμό α) του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , β) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , και γ) του εύρους, B , και της θέσης, C , της επικίνδυνης ζώνης για $\beta_{cr}=2\%$ για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος σε **συνεκτικό** έδαφος



Σχήμα 7-87. Χρήση νομογραφημάτων για τον προσδιορισμό α) του ύψους ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης, h_f , β) της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης, β_{max} , και γ) του εύρους, B , και της θέσης, C , της επικίνδυνης ζώνης για $\beta_{cr}=2\text{‰}$ για την περίπτωση **ανάστροφου** ρήγματος σε **μη-συνεκτικό** έδαφος

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος διερευνήθηκε η διάδοση της διάρρηξης ρηγμάτων κλίσης (κανονικά και ανάστροφα) του βραχώδους υποβάθρου μιας περιοχής στους υπερκείμενους εδαφικούς σχηματισμούς. Ο σκοπός της διερεύνησης είχε πρακτικό και εφαρμοσμένο χαρακτήρα δηλαδή την παραγωγή αποτελεσμάτων τα οποία να βοηθούν στην αποτροπή ή μετριασμό της επικινδυνότητας πρόκλησης βλαβών στις κατασκευές που εδράζονται στην περιοχή του ρήγματος και σε μικρή απόσταση από αυτό. Οι διερευνήσεις διεξήχθησαν με εφαρμογή της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων υπό συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης, με βάση ένα εξιδανικευμένο προσομοίωμα του φυσικού προβλήματος (οριζόντια εδαφική στρώση εδραζόμενη σε οριζόντιο βραχώδες υπόβαθρο). Για την ποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας πρόκλησης βλαβών σε οικοδομικά ή άλλα τεχνικά έργα εδραζόμενα στην περιοχή του ρήγματος χρησιμοποιήθηκε η τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης (angular distortion) της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους.

Οι επι-μέρους στόχοι της διερεύνησης αφορούσαν την αναγνώριση των σημαντικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στο πρόβλημα, τη διεξαγωγή κατάλληλων παραμετρικών διερευνήσεων και τον καθορισμό του τρόπου παρουσίασης των αποτελεσμάτων ώστε να είναι πρακτικά αξιοποιήσιμα. Τέλος, επι-μέρους στόχο αποτέλεσε και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των διερευνήσεων με τα ελάχιστα δημοσιευμένα παρόμοια αποτελέσματα.

Για την περιγραφή του είδους του εδάφους αποφασίσθηκε ο διαχωρισμός σε δύο κατηγορίες: συνεκτικό και μη-συνεκτικό έδαφος. Και για τις δύο κατηγορίες εδάφους η διατμητική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας E αυξάνεται γραμμικά με το βάθος (στα συνεκτικά εδάφη με ρυθμό $c=k \cdot p'=0.2p'$, ενώ η τιμή του E_H στη βάση του εδαφικού στρώματος γίνεται δεκτό ότι είναι διπλάσια της αντίστοιχης τιμής στην επιφάνεια, E_0). Για την περιγραφή της μηχανικής συμπεριφοράς χρησιμοποιείται μόνο μία παράμετρος,

δηλαδή η ορθή παραμόρφωση αστοχίας, ϵ_f (από τριαξονική δοκιμή) και η τιμή της παραμέτρου αυτής θεωρείται ως αντιπροσωπευτική για ολόκληρο το πάχος του εδαφικού στρώματος. Μικρές τιμές της παραμόρφωσης αστοχίας (0.5%, 1.0%) χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ψαθυρή συμπεριφορά ενώ οι μεγαλύτερες τιμές (10%, 15%) αντιπροσωπεύουν πλαστική συμπεριφορά εδάφους.

Με βάση τα αποτελέσματα των διερευνήσεων είναι δυνατό να διατυπωθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Οι κύριες παράμετροι που υπεισέρχονται στο πρόβλημα είναι το είδος του ρήγματος (κανονικό ή ανάστροφο), το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης στη βάση του εδαφικού στρώματος, S , η γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου, α , το είδος του εδάφους (συνεκτικό ή μη-συνεκτικό) και ο βαθμός της ψαθυρότητας ή πλαστιμότητας του εδαφικού υλικού. Αντίθετα, το πάχος του υπερκειμένου εδαφικού στρώματος, H , δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα των αναλύσεων και γι' αυτό όλα τα μεγέθη μηκών που υπεισέρχονται στο πρόβλημα (μέγεθος σεισμικής ολίσθησης, εύρος επικίνδυνης ζώνης, απόσταση κέντρου C της επικίνδυνης ζώνης και ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης) κανονικοποιήθηκαν και παρουσιάζονται ως σχετικά μεγέθη διαιρούμενα με το πάχος του στρώματος. Διαπιστώθηκε επίσης ότι τα αποτελέσματα των αναλύσεων δεν επηρεάστηκαν από τον τρόπο προσομοίωσης της διάρρηξης του ρήγματος υποβάθρου δηλαδή από την επιβολή εξαναγκασμένης μετακίνησης μόνο στο ένα ή και τα δύο τεμάχια του ρήγματος.
2. Η διάδοση της διάρρηξης στο εδαφικό στρώμα (οριζόμενη προσεγγιστικά με τη βοήθεια της ζώνης πλαστικοποίησης του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων και λεπτομερέστερα με τις θέσεις των σημείων μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και της μέγιστης γωνιακής παραμόρφωσης) βρέθηκε ότι βρίσκεται σε καλή συμφωνία με τις παρατηρήσεις πεδίου αλλά και με δημοσιευμένα πειραματικά αποτελέσματα. Στα συνεκτικά εδάφη για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος υποβάθρου μικρής κλίσης, είναι πιθανή η ανάπτυξη εκτός από την κύρια και δευτερεύουσα εδαφική διάρρηξη κατά διεύθυνση αντίθετη με αυτή της κύριας διάρρηξης. Παρόμοιο φαινόμενο εμφανίζεται και για μη-συνεκτικά εδάφη για την περίπτωση τόσο κανονικών όσο και ανάστροφων ρηγμάτων υποβάθρου με μικρή τιμή της γωνίας κλίσης α .
3. Η επικίνδυνη ζώνη εύρους, $B_{\beta_{cr}}$, που καθορίζεται με βάση την επιτρεπόμενη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης, β_{cr} , εμπεριέχει την επικίνδυνη ζώνη $B_{\epsilon_{xx,cr}}$, που ορίζεται με βάση την επιτρεπόμενη τιμή της οριζόντιας ορθής παραμόρφωσης, $\epsilon_{xx,cr}$. Αρκεί επομένως η οριοθέτηση μόνον της πρώτης ζώνης ($B_{\beta_{cr}}$) για την εξασφάλιση

έναντι του κινδύνου από τη συνδυασμένη δράση των γωνιακών παραμορφώσεων και των ορθών οριζοντίων παραμορφώσεων.

4. Το σχετικό ύψος ανάπτυξης της εδαφικής διάρρηξης των κανονικών όσο και των ανάστροφων ρηγμάτων εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης και την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας. Η παραμόρφωση αστοχίας αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική παράμετρο και παρατηρήθηκε ότι για μικρές τιμές της παραμέτρου αυτής, η διάρρηξη διαδίδεται με ευχέρεια προς την επιφάνεια του εδάφους, ενώ για μεγαλύτερες τιμές τερματίζεται στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος, ακόμα και για πολύ μεγάλες τιμές της σχετικής σεισμικής ολίσθησης. Στην περίπτωση κανονικού ρήγματος απαιτείται σχετική σεισμική ολίσθηση τουλάχιστον ίση με 1.1% για συνεκτικό έδαφος και 0.38% για μη-συνεκτικό έδαφος ώστε η εδαφική διάρρηξη να φθάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περίπτωση ανάστροφου ρήγματος τα αντίστοιχα μεγέθη είναι 1.5% και 2.1%.
5. Η γωνία διάδοσης της εδαφικής διάρρηξης (δεχόμενοι ότι η επιφάνεια αστοχίας είναι επίπεδη) για την περίπτωση κανονικού ρήγματος δεν επηρεάζεται αισθητά από την κατηγορία του εδάφους και την κλίση του ρήγματος του υποβάθρου και η τιμή της μπορεί να θεωρηθεί και ίση με $\phi \approx 55^\circ$ για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις. Για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος η τιμή της είναι μεγαλύτερη για συνεκτικό έδαφος και αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας α .
6. Η μέγιστη τιμή της γωνιακής παραμόρφωσης β_{\max} στην επιφάνεια του εδάφους του ελευθέρου πεδίου αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης και εξαρτάται από την ψαθυρότητα του εδάφους. Η διάρρηξη κανονικού ρήγματος δημιουργεί σχετικά μεγαλύτερες τιμές β_{\max} σε σχέση με ανάστροφο ρήγμα στα συνεκτικά εδάφη, Για την περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών η ανωτέρω διαφοροποίηση γίνεται εντονότατη. Τα νομογραφήματα των Σχ. 7-20, Σχ. 7-33 έως Σχ. 7-34, Σχ. 7-43 και Σχ. 7-58 μπορούν να χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό τιμών της β_{\max} όταν είναι γνωστό το μέγεθος της σχετικής σεισμικής ολίσθησης, S/H και της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας, ϵ_f .
7. Η δυσκαμψία της θεμελίωσης μιας κατασκευής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης των στοιχείων της θεμελίωσης σε σχέση με τις τιμές του ελευθέρου πεδίου. Με βάση τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής διερεύνησης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος, η ανωτέρω μείωση φθάνει το 40% έως 50%. Για την πρακτική αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της έρευνας συνιστάται επομένως η χρησιμοποίηση επιτρεπόμενης τιμής της γωνιακής παραμόρφωσης ελευθέρου πεδίου για συνήθη οικοδομικά έργα $\beta_{cr}=5\%$. Για

ιδιαίτερα ευαίσθητα οικοδομικά έργα (μνημεία ή διατηρητέα κτίρια) προτείνεται η τιμή $\beta_{cr}=2\%$ ενώ για τεχνικά έργα αυξημένης δυσκαμψίας μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τιμές $\beta_{cr}=10\%$ έως 20% .

8. Το σχετικό εύρος της επικίνδυνης ζώνης, $B_{\beta_{cr}}/H$, για κανονικά και ανάστροφα ρήγματα αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος της σεισμικής ολίσθησης μέχρι την τιμή $S/H \approx 1.5\%$ έως 2.0% χωρίς να εξαρτάται από την κατηγορία και την ψαθυρότητα του εδάφους καθώς και τη γωνία κλίσης του ρήγματος υποβάθρου. Για μεγαλύτερες, εν τούτοις, τιμές της σεισμικής ολίσθησης σταματάει η εξάρτηση από το S/H και παραμένει μόνο η εξάρτηση από την τιμή της ορθής παραμόρφωσης αστοχίας. Στην περίπτωση αυτή το εύρος της επικίνδυνης ζώνης για διάρρηξη ανάστροφου ρήγματος είναι αυξημένο σε σχέση με τη διάρρηξη κανονικού ρήγματος και μάλιστα ιδιαίτερα στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών. Τα νομογραφήματα των Σχ. 7-21 έως Σχ. 7-32, Σχ. 7-35 έως 7-42, Σχ. 7-46 έως 7-57 και Σχ. 7-59 έως 7-68 μπορούν να χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του σχετικού εύρους $B_{2\%}/H$, $B_{5\%}/H$, $B_{10\%}/H$ και $B_{20\%}/H$ όταν είναι γνωστές οι τιμές S/H και ε_f . Το καθοριζόμενο με αυτόν τον τρόπο εύρος επικίνδυνης ζώνης, παρέχει ασφάλεια και έναντι των επιπτώσεων από την ανάπτυξη ορθών οριζόντιων παραμορφώσεων.

Στις περιπτώσεις ανάπτυξης και δευτερεύουσας ζώνης διάρρηξης για τον προσδιορισμό του συνολικού εύρους της επικίνδυνης ζώνης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το εύρος της δευτερεύουσας επικίνδυνης ζώνης από τα νομογραφήματα των Σχ. 7-71 έως Σχ. 7-74. Στις περιπτώσεις αυτές το συνολικό εύρος της επικίνδυνης ζώνης μπορεί να γίνει ιδιαίτερα μεγάλο. Για παράδειγμα για την περίπτωση ανάστροφου ρήγματος ($\alpha=20^\circ$ και $S/H=3.0\%$) σε συνεκτικό έδαφος ($\varepsilon_f=15.0\%$) το εύρος της επικίνδυνης ζώνης $B_{2\%}$ προκύπτει ίσο με 256m.

9. Η επικίνδυνη ζώνη λόγω διάρρηξης ανάστροφου ρήγματος για συνεκτικό έδαφος με ψαθυρή συμπεριφορά βρίσκεται πλησιέστερα στο σημείο αναφοράς Ο σε σχέση με την περίπτωση διάρρηξης κανονικού ρήγματος. Για την περίπτωση μη-συνεκτικού εδάφους η συμπεριφορά διαφοροποιείται εκατέρωθεν της τιμής $S/H \approx 2.2\%$.
10. Η εισαγωγή τιμών της γωνίας διασταλτικότητας μέχρι $\psi=10^\circ$, στην περίπτωση των μη-συνεκτικών εδαφών, δεν επηρέασε αισθητά το αποτέλεσμα των αναλύσεων της παρούσας έρευνας. Παρατηρήθηκε, εν τούτοις, μία ελαφρά τάση μείωσης των τιμών της γωνιακής παραμόρφωσης, αύξηση του εύρους της επικίνδυνης ζώνης και παρεμπόδιση ανάπτυξης της δευτερεύουσας εδαφικής διάρρηξης.

11. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας με δημοσιευμένα αποτελέσματα παρατηρήσεων πεδίου, πειραματικά αποτελέσματα και αποτελέσματα άλλων αναλύσεων έδειξε γενικά πολύ καλή συμφωνία. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας ανάλυσης και υποδεικνύει τη δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής των αποτελεσμάτων της ερευνητικής προσπάθειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασόπουλος, Γ.Α., (1992), “Μαθήματα Θεμελιώσεων”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 326 σελ.
- Αθανασόπουλος, Γ.Α., (1994), “Προσδιορισμός των Παραμέτρων Σχεδιασμού Εργων του Νέου Λιμένα Πατρών. Τεύχος 6: Αναμενόμενες Εδαφικές Μετατοπίσεις στη Θέση του Ρήγματος Αγίας Τριάδος”, *Τεχνική Έκθεση προς το Λιμενικό Ταμείο Πατρών*, Πάτρα, 1994, 17 σελ.
- Αθανασόπουλος, Γ.Α. και Λεωνίδου, Ε.Α., (1997), "Προσδιορισμός των Παραμέτρων Σεισμικού Σχεδιασμού των Εργων του Νέου Λιμένα Πατρών", *Πανελλήνιο Συνέδριο Λιμενικών Εργων*, 24-27 Νοεμβρίου 1997, Αθήνα, σελ. 89-94.
- Αθανασόπουλος, Γ.Α., Πελέκης, Π.Κ. και Λεωνίδου, Ε.Α., (1998), “Επίδραση των Τοπικών Εδαφικών Συνθηκών στην Εδαφική Απόκριση της Πόλης των Πατρών, Τεχνική Έκθεση προς τον ΟΑΣΠ, Ιούνιος 1998, 109 σελ.
- Δούτσος, Θ., (2000), “Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές”, Εκδόσεις Leader Books Α.Ε.
- Δράκος, Α.Γ. (2001), “Αντιστροφή Γεωδαιτικών Στοιχείων της Επικεντρικής Περιοχής του Σεισμού του Αλμυρού (1980) και Προσομοίωση του Σεισμικού Ρήγματος”, Διατριβή για Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης (ΜΔΕ), στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, Ιανουάριος 2001, 67 σελ.
- Κουκουβέλας, Ι. (1998), “Τεκτονική Γεωλογία”, Εκδόσεις Leader Books Α.Ε.
- Λεωνίδου, Ε.Α., (2000), “Αναλυτική Διερεύνηση της Διάδοσης της Διάρρηξης Σεισμικών Ρηγμάτων σε Υπερκείμενους Εδαφικούς Σχηματισμούς και Εκτίμηση των Επιπτώσεων σε Γειτονικές Κατασκευές”, Διατριβή για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (ΜΔΕ) σε Εργα Υποδομής Πολιτικού Μηχανικού, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ιούνιος 2000, 186 σελ.
- Μπαλοδήμος Δ.Δ. κ.α., (1995), “Προσδιορισμός Μικρομετακινήσεων στην Περιοχή του Ρήγματος Αγ. Τριάδας Πατρών”, Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, Ι, Τεύχ. 1-3, σελ. 111-123.
- Παπαζάχος, Β.Κ. κ.α., (2001), “Τα Ρήγματα που Προκάλεσαν τους Γνωστούς Ισχυρούς Σεισμούς στην Ελλάδα και τη Γύρω Περιοχή από τον 5^ο Αιώνα π.Χ. Μέχρι Σήμερα”, *Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας*, Τόμος Α, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2001, σελ. 17-26.

- Παπαντωνόπουλος, Κ.Ι., (2000), "Υπολογιστική Γεωτεχνική Μηχανική με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων", Πανεπιστήμιο Πατρών, 112 σελ.
- Παυλίδης, Σ., Σοκούτης, Δ. και Τσαλαμπάση, Α., (1998), "Ο Σχηματισμός της Λεκάνης Σερβιών-Κοζάνης - Εσωτερική Δομή από Μοντέλα Πειραματικής Τεκτονικής", *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, τόμος XXXII/1, σελ. 137-144.
- Χριστόπουλος, Κ.Χ., (1990), "Μελέτη του Εδαφολογικού Φαινομένου (μετατόπιση εδάφους) στην Περιοχή Αγ. Τριάδος Πατρών", Μελέτη Ομάδας Εργασίας προς ΤΕΕ/Τμήμα Δυτικής Ελλάδος, Μαΐος, 1990.
- Athanasopoulos, G.A. and Leonidou, E.A., (1996), "Effects of Earthquake Fault Rupture Propagation on Nearby Structures", *Proceedings of First International Symposium on Earthquake Resistant Engineering Structures*, ERES 96, Thessaloniki, Greece, G.D. Manolis, D.E., Beskos, D.E. and C.A. Brebbia (Eds.), CPM, pp. 89-100.
- Bard, P.-Y. and Riepl-Thomas, J. (2000), "Wave Propagation in Complex Geological Structures and their Effects on Strong Ground Motion", Chapter 2 in: *Wave Motion in Earthquake Engineering*, (E. Kqusel and G. Manolis, Eds.) WIT Press, UK.
- Bjerrum, L., (1963), "Discussion session IV", *Proceedings of the European Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*, Wiesbaden, Germany, II, pp. 135-137.
- Bonilla M.G., (1970), "Surface Faulting and Related Effects", Chapter 3 in "Earthquake Engineering", (R.L Wiegel, Ed.), Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Bonini, M., Sokoutis, D., Mulugeta, G., Katrivanos, E., (2000), "Modelling Hanging Wall Accommodation Above Rigid Thrust Ramps", *Journal of Structural Geology*, 22, pp. 1165-1179.
- Boone, S.J., (1996), "Ground-Movement-Related Building Damage", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 122(11), pp. 886-896.
- Boscardin, M.D. and Cording, E.J. (1989), "Building Response to Excavation-Induced Settlement", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 115(1), pp. 1-21.
- Bray, J.D., (1990), "The Effects of Tectonic Movements on Stresses and Deformations in Earth Embankments" Dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering Civil Engineering in the Graduate Division of the University of California at Berkeley, 414p.
- Bray, J.D., (2001), "Developing Mitigation Measures for the Hazards Associated with Earthquake Surface Fault Rupture", *Workshop on Seismic Fault Induced Failures, Possible Remedies for Damage to Urban Facilities*, Japan Society for the Promotion of Science, Japan, January 11-12, 2001, pp. 55-79.
- Bray, J.D., Ashmawy, A., Mukhopadhyay, G. and Gath, E.M., (1993), "Use of Geosynthetics to Mitigate Earthquake Fault Rupture Propagation Through Compacted Fill", *Proceedings of Geosynthetics '93*, Vol. 1, pp. 379-392.
- Bray, J.D., Seed, R.B. and Seed, H.B., (1994a), "Analysis of Earthquake Fault Rupture Propagation Through Cohesive Soil", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 120(3), pp. 543-561.

- Bray, J.D., Seed, R.B., Cluff, L.S. and Seed, H.B., (1994b), "Earthquake Fault Rupture Propagation Through Soil", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 120(3), pp. 562-580.
- Civil Engineering, (1999), "Blind Fault System Found Beneath Los Angeles", *ASCE*, May 1999, pp. 19.
- Clough, G.W. and O'Rourke, T.D. (1990), "Construction Induced Movements of Insitu Walls", *Geotechnical Special Publication, ASCE*, No. 25, pp. 439-470.
- Coduto, D.P., (2001), "Foundation Design – Principles and Practices", Prentice Hall, N.J., 883p.
- Cole, D.A. and Lade P.V., (1984) "Influence Zones in Alluvium Over Dip-Slip Faults", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 110(5), pp. 599-615.
- Cowie, P.A. and Scholz, Ch.H. (1992), "Displacement-length Scaling Relationship for Faults: Data Synthesis and Discussion", *Journal of Structural Geology*, Vol. 14, No. 10, pp. 1149-1156.
- DePolo, C. and Anderson, J. (2000), "Estimating the Slip Rates of Normal Faults in the Great Basin, USA", *Basin Research*, Vol. 12, pp. 227-240.
- Desmond, T.P., Power, M.S., Taylor, C.L. and Lau, R.W., (1995), "Behavior of Large-Diameter Pipelines at Fault Crossings", *Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering*, Monograph No. 6, August, ASCE, pp. 296-303.
- Doutsos, T. and Koukouvelas, I., (1998), "Fractal Analysis of Normal Faults in Northwestern Aegean Area, Greece", *Journal of Geodynamics*, Vol. 26, No. 2-4, pp. 197-216.
- Duncan, J.M. and Lefebvre, G.A., (1973), "Earth Pressures on Structures Due to Fault Movement", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, SM12, December, 1973, pp. 1153-1163.
- Emmons, R.C., (1969), "Strike-Slip Rupture Patterns in Sand Models", *Tectonophysics*, Vol. 7(1), pp. 71-87.
- Faccioli, E., (2002), "Complex Site Effects in Earthquake Ground Motion, Including Topography", *12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, Sept 2002, (in CD form).
- Feigl, K.L. and Dupré, E. (1999), "RNGCHN: A Program to Calculate Displacement Components from Dislocations in an Elastic Half-space with Applications for Modeling Geodetic Measurements of Crustal Deformation", *Computers & Geosciences*, 25(1999), pp. 695-704.
- Finn, W.D.L., (2000), "State-of-the art of Geotechnical Earthquake Engineering Practice", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 20, pp. 1-15.
- Ghaly, A.M., (1996), Discussion of "Earthquake Fault Rupture Propagation Through Soil", by Jonathan D. Bray, Raymond B. Seed, Lloyd S. Cluff and H. Bolton Seed, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 122(1), pp. 79.
- Gheng, L. and Nuguid, L.D., (1996), "Seismic Design Issues of Water Pipelines at the Hayward Fault Crossing", *Proceedings of the Specialty Conference "Pipeline Crossings 1996"*, ASCE, June, pp. 147-154.

- Kalteziotis et al., (1991), "Structural Damage in a Populated Area due to an Active Fault", *Proceedings of the Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, March 11-15, St. Louis, Missouri, No. LP28, pp. 1079-1716.
- Koukouvelas, I., Asimakopoulos, M. and Doutsos, T., (1999), "Fractal Characteristics of Active Normal Faults: an Example of the Eastern Gulf of Corinth, Greece", *Tectonophysics*, Vol. 308, pp. 263-274.
- Kramer, S.L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 653p.
- Lade P.V., Cole, D.A. and Cummings D., (1984), "Multiple Failure Surfaces Over Dip-Slip Faults", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 110(5), pp. 616-627.
- Lau, R.W., Lee, D.D., Pratt D.L. and Miller M.L., (1996), "Evaluation and Upgrade of Major Transmission Lines Crossing Active Faults", *Proceedings of the Specialty Conference "Pipeline Crossings 1996"*, June, ASCE, pp. 418-425.
- Lazarte, C.A. and Bray, J.D. (1995), "Observed Surface Breakage due to Strike-Slip Faulting" *Proceedings of Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, April 1995, St. Louis, Missouri, Vol. II, pp. 870-878.
- Leonidou, E.A. and Athanasopoulos G.A., (2000), "Fault Rupture Propagation and Surface Distortion in Cohesive Soils: Finite Element Analyses and Parameter Effects", *Young Geotechnical Engineers Conference*, 8-13 Σεπτεμβρίου 2000.
- Liang, J-W, (1995), "3-D Seismic Response of Buried Pipelines Laid Through Fault", *Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE*, Monograph No. 6, August, pp. 200-207.
- Loukidis, D. and Bouckovalas G. (2001), "Numerical Simulation of Active Fault Rupture Propagation Through Dry Soil", *Proceedings of Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor W.D. Liam Finn*, March 2001, San Diego, California, Paper No 3.04, pp. 1-6.
- Nicol, A., Walsh, J., Watterson, J. and Underhill, J. (1997), "Displacement Rates of Normal Faults", *Nature*, Vol. 390, pp. 157-159.
- Okada, Y., (1985), "Surface Deformation due to Shear and Tensile Faults in Half-space", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 75, No 4, pp. 1135-1154, August 1985.
- Olden, J.M., (1996), "Crossing Fault Lines with Large Diameter Water Pipelines in the Houston Area", *Proceedings of the Specialty Conference "Pipeline Crossings 1996"*, June, ASCE, pp. 155-162.
- Pavlidis, S.B., (1993), "Active Faulting in Multi-fractured Seismogenic Areas; Examples from Greece", *Z. Geomorph. N.F.*, pp. 57-72, Gebrüder Borntraeger, D-14129 Berlin.

- Pavlidis, S., Caputo, R. and Chatzipetros A. (2000), "Empirical Relationships Among Earthquake Magnitude, Surface Ruptures and Maximum Displacement in the Broader Aegean Region", *Proceedings of the Third International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean*, Panayides, I. and Xenophontos, C. (eds), pp. 1-10.
- PLAXIS, A Finite Element Code for Soil and Rock Analyses, Edited by P.A. Vermeer and R.B. Brinkgreve, version 6.31, Balkema, Rotterdam, 1995.
- PS.86, Regles Parasismiques, (1986), "Regles relatives aux ouvrages a realiser dans les regions sujettes aux seismes", Document Technique unifie, 107p.
- Roth et al., (1981), "Centrifuge Modeling of Fault Propagation Through Alluvial Soils", *Geophysical Research Letters*, Vol. 8, No 6, pp. 561-564.
- Sanchez-Sesma, F.J., (1997), "Strong Ground Motion and Site Effects", Chapter 4 in: *Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures – A Handbook*, (D.E. Beskos and S.A. Anagnostopoulos, Eds.) Computational Mechanics Publications, Great Britain, pp. 201-239.
- Sanford, A.R., (1959), "Analytical and Experimental Study of Simple Geologic Structures" *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 70, pp. 19-52.
- Scholz, C.H., (1990), "The Mechanics of Earthquakes and Faulting", Cambridge University Press.
- Skepton, A.W. and MacDonald, D.H., (1956), "The Allowable Settlements of Buildings", *Proceedings, Institution of Civil Engineers*, Part III, The Institution of Civil Engineers, London, England, 5, pp. 727-768.
- Scott, R.F. and Schoustra, J.J., (1974), "Nuclear Power Plant Siting on Deep Alluvium", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, GT4, pp. 449-459
- Tani, K., Ueta, K. and Onizuka, N. (1996), Discussion of "Earthquake Fault Rupture Propagation Through Soil" by Jonathan D. Bray, Raymond B. See, Lloyd S., Cluff and H. Bolton Seed, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 122(1), pp. 80-82.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Tutkun, Z., Pavlidis, S. and Dogan B., (2001), "Small Scale Structure Pattern Along the Surface Rupture Traces of the Izmit-Kocaeli (Turkey) 1999 Earthquake", *Proceedings of 4th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Isparta, Turkey, 21-25 May, 2001, pp. 21-31.
- Vallejo, E.L. and Shettima M. (1991), "Fault Induced Ground Deformations and Their Effects on Structures" *Proceedings of Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, March 1991, St. Louis, Missouri, Vol. II., pp. 1275-1280.
- Vasalakis, A., Sokoutis, D. and Pavlidis, S., (2003), "The Role of Indentation Geometry in Ramp-Flat Thrust Orogenic Systems - An Analogue Model Interpretation", *Bulletin of the Geological Society of Greece*, (in press).

- Walsh, J. and Watterson J., (1988), "Analysis of the Relationship between Displacements and Dimensions of Faults", *Journal of Structural Geology*, Vol. 10, No. 3, pp. 239-247.
- Wahls, H.E., (1981), "Tolerable Settlement of Buildings", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Proceedings of ASCE, Vol. 107, No. GT11, Nov. 1981, pp. 1489-1504.
- Wahls, H.E., (1994), "Tolerable Deformations", *Geotechnical Special Publication No. 40*, ASCE, Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, (A.T. Yeung and G.Y. Felio, Eds), Vol. 2, pp. 1611-1628.
- Wang, L-J and Wang L.R.L., (1995), "Buried Pipelines in Large Fault Movements", *Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering*, Monograph No. 6, August, ASCE, pp. 152-159.
- Wang, R., Martin, F.R. and Roth, F., (2003), "Computation of Deformation Induced by Earthquakes in a Multi-Layered Elastic Crust-FORTRAN Program: EDGRN/EDCMP", *Computers & Geosciences*, 29(2003), pp. 195-207.
- Wells, D. and Coppersmith, K., (1994), "New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacements", *Seism. Soc. Am. Bull.*, 84(4).
- Yeats, R.S., Sieh, K. and Allen, C.R., (1997), "The Geology of Earthquakes", Oxford University Press, Inc.
- <http://nisee.berkeley.edu>, "EQIIs Image Database"
- <http://www.corinth-rift-lab.org>

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ
ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΣΕ
ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ
ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΙΤΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

**Τελική Εκθεση
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ)**

Προς τον

**ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
(ΟΑΣΠ)**

**Γ.Α. ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ
Ε.Α. ΛΕΩΝΙΔΟΥ**

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2003

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

**Διάδοση της εδαφικής διάρρηξης και επικίνδυνη επιφανειακή ζώνη
για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις**

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 2\%$ **Error! Bookmark not defined.**

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 5\%$ **Error! Bookmark not defined.**

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 10\%$... **Error! Bookmark not defined.**

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 20\%$... **Error! Bookmark not defined.**

ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 2\%$. **Error! Bookmark not defined.**

ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 5\%$. **Error! Bookmark not defined.**

ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 10\%$ **Error! Bookmark not defined.**

ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ - $\beta_c = \varepsilon_{xx, c} = 20\%$ **Error! Bookmark not defined.**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Κατανομή των μεγίστων τιμών των εδαφικών παραμορφώσεων (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} και β) κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ **Error! Bookmark not defined.**

ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ - ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ **Error! Bookmark not defined.**

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΓΜΑ - ΜΗ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ **Error! Bookmark not defined.**

ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ - ΜΗ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ..... **Error! Bookmark not defined.**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Αποτελέσματα όλων των συγκρίσεων του ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7

Κανονικό – ανάστροφο ρήγμα (συνεκτικό έδαφος).....	Error! Bookmark not defined.
Κανονικό – ανάστροφο ρήγμα (μη-συνεκτικό έδαφος).....	Error! Bookmark not defined.
Συνεκτικό – μη-συνεκτικό έδαφος (κανονικό ρήγμα).....	Error! Bookmark not defined.
Μη-συνεκτικό έδαφος – κανονικό ρήγμα ($\psi=0^\circ$ και $\psi=5^\circ$).....	Error! Bookmark not defined.
Μη-συνεκτικό έδαφος–ανάστροφο ρήγμα ($\psi=0^\circ$ και $\psi=5^\circ$).....	Error! Bookmark not defined.