

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ – ΣΥΝΟΨΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ

7.1 Σύνοψη

Η παρούσα διατριβή είχε ως στόχο τη μελέτη του φαινομένου της ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου και τη δημιουργία νέων εμπειρικών σχέσεων με τη βοήθεια των οποίων θα ήταν δυνατή η εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης μιας περιοχής. Επιπλέον, διερευνήθηκε η δυνατότητα εκτίμησης της συμπεριφοράς μιας εδαφικής στήλης ως προς την πιθανότητα επιφανειακής εκδήλωσης του φαινομένου.

Για την επίτευξη των στόχων της έρευνας χρειάστηκε να δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων ιστορικών εμφανίσεων ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου και μία βάση γεωτεχνικών τομών σε θέσεις εμφάνισης ή μη εμφάνισης ρευστοποίησης για τον πρώτο και το δεύτερο στόχο αντίστοιχα.

Στην πρώτη βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε, καταχωρήθηκαν στοιχεία τα οποία αναφέρονται στη σεισμική δόνηση η οποία προκάλεσε τη ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών καθώς επίσης και πληροφορίες για την τοποθεσία στην οποία εμφανίστηκαν τα φαινόμενα ρευστοποίησης. Η συλλογή αυτών των δεδομένων πραγματοποιήθηκε έπειτα από συστηματική αναζήτηση και αξιολόγηση, σε σεισμικούς καταλόγους και σε πρωτογενείς πηγές, περιγραφών εμφανίσεων ρευστοποίησης. Οι θέσεις ιστορικών εμφανίσεων ρευστοποίησης προβλήθηκαν σε χάρτη και συντάχθηκε ένας πρόδρομος χάρτης επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση περιοχών της Ελλάδος. Έπειτα από στατιστική επεξεργασία των παραμέτρων του επιφανειακού μεγέθους των καταχωρημένων σεισμών, οι οποίοι προκάλεσαν τη ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών, και της απόστασης των θέσεων εκδήλωσης του φαινομένου από το επίκεντρο της δόνησης και από την επιφανειακή εκδήλωση του αντίστοιχου σεισμογόνου ρήγματος, προτείνονται νέες εμπειρικές σχέσεις μεγέθους-απόστασης τόσο για την Ελλάδα όσο και για την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.

Οι τομές επί τόπου δοκιμών SPT, οι οποίες συνιστούν τη δεύτερη βάση δεδομένων, ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες, A-B-C, ανάλογα με την πληρότητα των

πληροφοριών που παρείχαν ως προς τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών και την πορεία εκτέλεσης της δοκιμής. Οι καταχωρημένες γεωτεχνικές τομές αναφέρονται σε θέσεις εμφάνισης ή μη εμφάνισης ρευστοποίησης έπειτα από σεισμικές δονήσεις στην Ιαπωνία, στην Τουρκία, στην Ταϊwan, στις Η.Π.Α και στην Ελλάδα. Για κάθε τομή υπολογίστηκε η τιμή του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης και εκτιμήθηκε το πάχος του μη ρευστοποιήσιμου επιφανειακού στρώματος. Στόχος της έρευνας ήταν ο συσχετισμός αυτών των δύο παραμέτρων με την επιφανειακή εκδήλωση φαινομένων ρευστοποίησης.

Η στατιστική επεξεργασία των ανεξάρτητων παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με βάση τις μεθόδους της λογιστικής παλινδρόμησης και της διακριτικής ανάλυσης τόσο για τα δεδομένα των κατηγοριών A και C, ως μία ενιαία ομάδα, όσο και για τα δεδομένα της κατηγορίας A. Επιπλέον, με βάση τη μέθοδο των θηκογραμμάτων επιχειρήθηκε να συσχετιστεί η τιμή του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης μιας εδαφικής στήλης με τη μορφή των φαινομένων ρευστοποίησης στο γειτονικό περιβάλλον αυτής.

7.2 Αποτελέσματα

Η έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διατριβής είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία νέων εμπειρικών σχέσεων οι οποίες επιτρέπουν τόσο την εκτίμηση του κινδύνου ρευστοποίησης μιας θέσης ανάλογα με το μέγεθος της σεισμικής δόνησης όσο και την πρόγνωση επιφανειακών εκδηλώσεων ρευστοποίησης. Τα βασικά σημεία των επί μέρους αποτελεσμάτων, τα οποία προέκυψαν από την έρευνα, δίδονται στη συνέχεια:

- Κατάλογος ιστορικών εμφανίσεων φαινομένων ρευστοποίησης για την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου. Συνολικά 88 σεισμικές δονήσεις από το 1509 έως σήμερα καταχωρήθηκαν στον αντίστοιχο πίνακα. Τα επίκεντρα των 55 σεισμών τοποθετούνται στο χώρο της ελληνικής επικράτειας και τα υπόλοιπα 33 στις γειτονικές χώρες (Αλβανία, ΠΓΔΜ, Βουλγαρία, Τουρκία και Μαυροβούνιο) δηλαδή στην ευρύτερη περιοχή του ενιαίου γεωδυναμικού χώρου του Αιγαίου.
- Νέες εμπειρικές σχέσεις συσχέτισης του μεγέθους σεισμού με την μέγιστη επικεντρική απόσταση της θέσης εμφάνισης ρευστοποίησης για την ευρύτερη

περιοχή του Αιγαίου και την Ελλάδα αντίστοιχα. Αυτές οι σχέσεις βασίστηκαν στα πλέον αξιόπιστα δεδομένα, 50 σεισμών συνολικά, οι οποίοι σημειώθηκαν μετά το 1900, 33 εκ των οποίων στην Ελλάδα, ενώ για την εκτίμηση της μέσης επικεντρικής απόστασης χρησιμοποιήθηκαν 151 σημεία εκδήλωσης ρευστοποίησης.

$$M_s = 4.742 + 4.655 \cdot 10^{-3} R_{e\max} + 0.8097 \cdot \log(R_{e\max}), \quad R_{e\max} \text{ σε km και}$$

$$M_s = 5.3225 e^{0.0046 R_{e\max}} \quad R_{e\max} \text{ σε km (για την περιοχή της Ελλάδας) και}$$

$$M_s = 0.01 \cdot R_e + 6.463 \pm 0.46 \quad R_{e\max} \text{ σε km (μέση τιμή)}$$

- Νέα εμπειρική σχέση συσχέτισης μεγέθους σεισμού με την απόσταση της θέσης εμφάνισης ρευστοποίησης από το σεισμογόνο ρήγμα για την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου στηριζόμενη σε επεξεργασία 27 σεισμικών δονήσεων, οι οποίες σημειώθηκαν μετά το 1900 στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου

$$M_s = 5.224 + 7.34 \cdot 10^{-3} R_{f\max} + 0.488 \cdot \log(R_{f\max}) \quad (R_{f\max} \text{ σε km})$$

- Νέα εμπειρική σχέση συσχέτισης μεγέθους σεισμού, ο οποίος σημειώθηκε λόγω ενεργοποίησης κανονικού τύπου ρήγματος, με την μέση τιμή της επικεντρικής απόστασης της θέσης εμφάνισης ρευστοποίησης και την τυπική της απόκλιση $\pm \sigma$ για την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου. Για τη δημιουργία της εμπειρικής σχέσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 79 σημεία εκδήλωσης ρευστοποίησης για σεισμούς μετά το 1900.

$$M_s = 0.01 R_e + 6.38 \pm 0.38$$

- Σύνταξη πρόδρομου χάρτη επιδεκτικότητας σε ρευστοποίηση περιοχών του Ελληνικού χώρου ως αποτέλεσμα του συνδυασμού της χωρικής κατανομής ολοκαινικών ιζημάτων τα οποία προβάλλονται στο χάρτη του ΙΓΜΕ (1985), των τριών σεισμικών ζωνών του νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΕΑΚ, 2000) και της χωρικής κατανομής των θέσεων ιστορικών εμφανίσεων ρευστοποίησης. Οι συντεταγμένες αυτών των θέσεων προέκυψαν από τις καταχωρήσεις στη βάση δεδομένων η οποία δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της διατριβής.

- Συλλογή γεωτεχνικών τομών από επί τόπου δοκιμές SPT σε θέσεις εμφάνισης / μη εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης παγκοσμίως και υπολογισμός του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με βάση τις νέες προτεινόμενες οδηγίες
- Συσχέτιση της τιμής του δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης με τη δριμύτητα των φαινομένων ρευστοποίησης, ως αποτέλεσμα επεξεργασίας 57 δεδομένων εκ των οποίων τα 45 αφορούσαν θέσεις εκδήλωσης ρευστοποίησης και 12 θέσεις όπου δεν αναφέρθηκε ρευστοποίηση.

Για $LPI > 32$ αναμένονται μεγάλης κλίμακας φαινόμενα ρευστοποίησης

Για $11.5 < LPI < 32$ αναμένονται μικρής κλίμακας και

Για $LPI < 11.5$ δεν προβλέπεται εδαφική αστοχία

- Ανάπτυξη πιθανολογικού μοντέλου πρόγνωσης εκδήλωσης επιφανειακών φαινομένων ρευστοποίησης με βάση την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 118 γεωτεχνικές τομές, 91 τομές σε θέσεις εμφάνισης ρευστοποίησης και 27 σε σημεία μη εκδήλωσης. Η πιθανότητα εμφάνισης επιφανειακών φαινομένων ρευστοποίησης, P (ρευστοποίησης) υπολογίζεται με τη βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων:

$$Z = -1.367 + 0.196 LPI$$

Όπου η τιμή Z εισέρχεται στην εξίσωση της πιθανότητας εκδήλωσης ρευστοποίησης:

$$P (\text{ρευστοποίησης}) = 1 / (1 + e^{-Z}).$$

- Ταξινόμηση θέσεων, με τρεις διαφορετικούς τρόπους, ως σημεία εμφάνισης / μη εμφάνισης ρευστοποίησης ανάλογα με το δείκτη δυναμικού ρευστοποίησης και το πάχος του επιφανειακού μη ρευστοποιήσιμου στρώματος με βάση τη μέθοδο της διακριτικής ανάλυσης.

7.3 Προοπτικές

Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας αντιπροσωπεύουν το πρώτο βήμα για την

αποτύπωση θέσεων επιδεικτικών προς ρευστοποίηση στον Ελληνικό χώρο και εμφανίζουν μια νέα προοπτική στον τομέα της πρόβλεψης επιφανειακών εκδηλώσεων φαινομένων ρευστοποίησης με σημαντική πρακτική εφαρμογή. Η μελλοντική διερεύνηση του αντικειμένου της ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών, ως συνέχεια αυτής της διατριβής, θα πρέπει να επικεντρωθεί στα παρακάτω σημεία:

- Συνέχιση της βιβλιογραφικής αναζήτησης περιγραφών δευτερογενών σεισμικών φαινομένων τα οποία υποδεικνύουν ιστορικές θέσεις εμφάνισης ρευστοποίησης και αξιολόγηση αυτών.
- Τεκμηρίωση των καταχωρημένων θέσεων, στον κατάλογο ρευστοποίησης, με γεωτεχνικά στοιχεία προερχόμενα από επί τόπου δοκιμές και διερεύνηση του δυναμικού ρευστοποίησης με βάση τις συνθήκες οι οποίες επικρατούν σήμερα (βάθος στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα)
- Ψηφιακή ανάπτυξη μιας επαρκούς τεκμηριωμένης βάσης δεδομένων θέσεων εμφάνισης φαινομένων ρευστοποίησης στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου και σύνδεση αυτής με προγράμματα G.I.S.
- Εμπλουτισμός της βάσης δεδομένων γεωτεχνικών τομών με νέα στοιχεία, αξιόπιστα και ακριβή, με στόχο την ακριβέστερη πρόβλεψη επιφανειακών εκδηλώσεων ρευστοποίησης.