

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΕΩΝ. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΜΠΕ

Ε. Λέκκας¹, Ε. Βασιλάκης²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ρευστοποιήσεις εδαφών αποτελούν ένα καταστροφικό φαινόμενο που εκδηλώνεται κατά τη διάρκεια σεισμικών κινήσεων. Ο εντοπισμός περιοχών στις οποίες υφίσταται η πιθανότητα να προκληθούν φαινόμενα ρευστοποιήσεων είναι μια σύνθετη έρευνα με μεγάλο κόστος. Στην επίλυση του προβλήματος μπορεί να συμβάλει η ανάλυση δορυφορικών εικόνων σε ορισμένες φασματικές περιοχές και ειδικότερα στην περιοχή μεταξύ 2.08-2.35 μικρόμετρα, που αντιστοιχούν στο κανάλι 7 του μέσου υπέρυθρου του δορυφορικού συστήματος LANDSAT-TM. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε στην περιοχή Nankai με την επεξεργασία εικόνων που ελήφθησαν πριν από τον καταστροφικό σεισμό του Kobe (M=7.2R). Από την ανάλυση διαπιστώνεται ότι οι περιοχές στις οποίες εμφανίστηκαν ρευστοποιήσεις συνέπιπταν με τις λευκές περιοχές της δυαδικής εικόνας που δημιουργήθηκε με τιμή threshold 27. Πρόσθετα, από την ανάλυση των εικόνων της περιοχής της Ηλείας που ελήφθησαν πριν από το σεισμό στον Πύργο (M=5.5R) διαπιστώνεται ότι οι περιοχές στις οποίες παρατηρήθηκαν ρευστοποιήσεις αντιστοιχούν στις λευκές περιοχές της δυαδικής εικόνας που δημιουργήθηκε με τιμή threshold 35. Η διαφορά αποδίδεται κυρίως στο γεγονός ότι στη μεν περίπτωση του Kobe η περιοχή ήταν αστικοποιημένη ενώ στη περίπτωση του Πύργου επρόκειτο για περιοχή ως επί το πλείστον χέρσο. Τέλος, διαπιστώνεται ότι η ανάλυση δορυφορικών εικόνων είναι δυνατό να συμβάλει στον εντοπισμό περιοχών που πρόκειται να αντιμετωπίσουν προβλήματα ρευστοποιήσεων μετά από κάποιο σεισμό, γρήγορα και με χαμηλό κόστος, ενώ αναμένεται θεαματική πρόοδος στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου με την αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας των εικόνων.

ABSTRACT

The soil liquefaction constitutes a disastrous phenomenon, which appears during seismic movements. Tracing areas, in which there is high possibility of liquefaction phenomena to be brought about, is a complex study with great expenses. The interpretation of satellite images of certain spectral wavelength and especially the band 7 of the middle infrared of LANDSAT-TM, could be a solution to the problem. This technique was applied at Nankai area by interpreting images received before the catastrophic earthquake at Kobe, Japan (M=7.2R). After the satellite image processing, it was clear that the liquefied areas coincided with the white areas of the binary image created with threshold 27. In addition, after the processing of images received before the Pyrgos earthquake (M=5.5R), it was derived that the liquefied areas corresponded to the white areas of the binary image created with threshold 35. The difference between the two threshold values appears, due to the fact that in Kobe case the area was urbanized; though in Pyrgos case the area was mostly cultivated. In conclusion, it is derived that remote sensing can contribute to tracing areas that face liquefaction problems fast, with low cost, while at the same time, great progress is expected in the effectiveness of the method due to the increase of the spatial resolution of the satellite images.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, οι ρευστοποιήσεις εδαφών αποτελούν ένα καταστροφικό φαινόμενο που εκδηλώνεται κυρίως σε εδαφικούς σχηματισμούς κατά τη διάρκεια σεισμικών κινήσεων. Κατά τη ρευστοποίηση τα εδαφικά υλικά χάνουν τη διατμητική τους αντοχή και αποκτούν συμπεριφορά βαρέως υγρού, γεγονός το οποίο έχει ως συνέπεια την πρόκληση σημαντικότερων βλαβών στα κάθε είδους υπερκείμενα τεχνικά έργα. Συνήθεις εκδηλώσεις ρευστοποιήσεων στην επιφάνεια του εδάφους είναι η έκχυση ρευστοποιημένων υλικών, η παρουσία κρατήρων έκχυσης, οι εδαφικές διαρρήξεις, οι καθιζήσεις, οι κατολισθήσεις και η δημιουργία ανώμαλων κυματισμών στην ελεύθερη επιφάνεια. Ο εντοπισμός περιοχών στις οποίες υφίσταται η πιθανότητα να προκληθούν φαινόμενα

^{1,2} Τομέας Δυν., Τεκτ. & Εφ. Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παν/πολη Ζωγράφου

ρευστοποιήσεων είναι συχνά μια εξαιρετικά σύνθετη έρευνα, η οποία περιλαμβάνει αξιολόγηση γεωμορφολογικών, γεωλογικών, γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών δεδομένων ενώ απαιτεί μεγάλη δαπάνη εξαιτίας των πολλών υπαίθριων εργασιών και εξειδικευμένων εργαστηριακών αναλύσεων που πρέπει να εκτελεστούν.

Στην επίλυση του προβλήματος αυτού φαίνεται να μπορεί να συμβάλει αποφασιστικά η ανάλυση δορυφορικών εικόνων δεδομένου ότι υπάρχει η δυνατότητα διερεύνησης της φύσης των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών σε ορισμένες φασματικές περιοχές και ειδικότερα στο κανάλι 7 του μέσου υπέρυθρου της LANDSAT-TM.

Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε σε δύο περιοχές οι οποίες επλήγησαν από μεγάλους σεισμούς, κατά τους οποίους εκδηλώθηκαν εντυπωσιακά φαινόμενα ρευστοποιήσεων. Συγκεκριμένα η τεχνική εφαρμόστηκε στην περιοχή Nankai (Κεντρική Ιαπωνία) η οποία επλήγη από τον καταστροφικό σεισμό μεγέθους 7.2R στις 17 Ιανουαρίου 1995 και στην περιοχή της Ηλείας (Δυτική Πελοπόννησος) η οποία επλήγη από σεισμό μεγέθους 5.4R στις 26 Μαρτίου 1993.

Στη συνέχεια αφού παρουσιαστούν ορισμένα στοιχεία για τη χρήση των δεδομένων τηλεπισκόπησης και την εκτίμηση αυτών, θα αναφερθούν τα βασικά στοιχεία που προέκυψαν από την επεξεργασία και ανάλυση των ψηφιακών δορυφορικών εικόνων και τη σύγκρισή τους με τα στοιχεία από την υπαίθρια έρευνα στις δύο προαναφερθείσες περιοχές.

ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη εργασία είναι οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες LANDSAT-5 TM που απεικονίζουν τις περιοχές που μελετήθηκαν. Η χωρική διακριτική ικανότητα του θεματικού χαρτογράφου είναι 30μ., έχει δηλαδή αρκετά μεγάλη ακρίβεια για χρήση σε τεχνικές εφαρμογές και έργα, αν και σε κάθε περίπτωση η τεχνική που περιγράφεται στη συνέχεια είναι ανεξάρτητη από την χωρική ανάλυση του αισθητήρα. Συνεπώς, η χρήση αυτών των δεδομένων στην γεωλογία και στα τεχνικά έργα, μπορεί να αποδειχθεί πολύ αξιόλογη και αξιόπιστη (Research Committee on Using Remote Sensing to Soil Engineering 1993).

Από τα 7 κανάλια διαφορετικού μήκους κύματος, που κυμαίνονται από το ορατό μέχρι το θερμικό υπέρυθρο φάσμα, προτιμήθηκε το κανάλι 7 του οποίου το μήκος κύματος είναι μεταξύ 2.08 και 2.35 μικρόμετρα. Το κανάλι 7 θεωρείται σημαντικό για την διάκριση των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών, ενώ έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην αναγνώριση ζωνών που έχουν προκύψει από υδροθερμική εξαλλοίωση πετρωμάτων (Jensen 1996). Επίσης, υψηλή ανάκλαση στην φασματική περιοχή που καλύπτει το κανάλι 7 δείχνουν περιοχές με χαλαρά λεπτομερή ιζήματα όπως ιλύς και άμμοι (Vincent 1997). Το φαινόμενο της ρευστοποίησης είναι άμεσα σχετιζόμενο με το είδος του επιφανειακού σχηματισμού αλλά και την περιεκτικότητά του σε νερό (αφού η παρουσία του μειώνει τη διατμητική αντοχή του σχηματισμού), είτε λόγω ύπαρξης φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα ή λόγω ύπαρξης θαλασσινού νερού σε παράκτιο υδροπερατό επιφανειακό σχηματισμό. Οι σχηματισμοί στους οποίους συνήθως εκδηλώνονται ρευστοποιήσεις μετά από σεισμικές διεγέρσεις είναι τα χαλαρά λεπτομερή ιζήματα όπως ιλύς και άμμοι. Έτσι η πληροφόρηση για την επιφάνεια της γης που λαμβάνεται στην συγκεκριμένη φασματική περιοχή του καναλιού 7 περιλαμβάνει τα στοιχεία εκείνα που συνεκτιμούνται για τον χαρακτηρισμό μιας περιοχής επικίνδυνης για ρευστοποίηση.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Μέχρι τώρα η έρευνα για την διερεύνηση της πιθανότητας ρευστοποιήσεων σε περιοχές, βασιζόταν κυρίως στην χρησιμοποίηση ιστορικών στοιχείων, γεωλογικών δεδομένων, γεωτεχνικών δοκιμών υπαίθρου και εργαστηρίου, γεωμορφολογικών στοιχείων, κ.λ.π. Όμως στις πιο πολλές περιπτώσεις τέτοια πληροφόρηση είναι ανεπαρκής και συχνά ανακριβής, ενώ απαιτείται σε κάθε περίπτωση η διάθεση σημαντικού κόστους. Με τη χρήση της τηλεπισκόπησης, προσφέρεται η δυνατότητα να απεικονισθούν τα επιφανειακά δεδομένα και μάλιστα σε σχετικά μεγάλη έκταση. Παραδείγματα μιας τέτοιας χρήσης, είναι η ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης σε περιοχές ρευστοποίησης στην Ιαπωνία και κυρίως μετά τον σεισμό του Nihonkai - Cyubu το 1983 (Shima 1985, Goto et al 1986).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην ανάλυση των δορυφορικών εικόνων στις περιοχές όπου παρατηρήθηκαν ρευστοποιήσεις. Η ανάλυση άρχισε με την επιλογή της

εικόνας που περιέχει την προς μελέτη περιοχή. Οι εικόνες πρέπει να πληρούν κατά το δυνατόν τις εξής προϋποθέσεις:

- Να υπάρχει όσο το δυνατόν λιγότερη νέφωση
- Να υπάρχουν διαθέσιμες εικόνες πριν και εάν είναι δυνατό μετά τον σεισμό (για συγκρίσεις)
- Η λήψη να έχει γίνει σε εποχή με αραιή βλάστηση και ελάχιστο επιφανειακό νερό από βροχοπτώσεις

Η ανάλυση των εικόνων γίνεται καταρχήν σε εικόνες του καναλιού 7, στο μέσο υπέρυθρο. Μία αρχική τιμή μεταξύ 0 και 256 καθορίζεται (threshold) για την δημιουργία μιας δυαδικής εικόνας, η οποία αποτελεί και την πρώτη επεξεργασμένη εικόνα. Γίνεται, δηλαδή, μια επέμβαση στο ιστόγραμμα τιμών της ψηφιακής εικόνας όπου παράγεται μια ασπρόμαυρη εικόνα, αφού τα pixels που έχουν 256 αποχρώσεις του γκρι χωρίζονται και παίρνουν τις τιμές 0 (μαύρο) και 255 (άσπρο). Έτσι οι περιοχές με την υψηλότερη ανάκλαση γίνονται άσπρες και οι περιοχές με ενδιάμεση ανάκλαση και μεγάλη απορρόφηση γίνονται μαύρες. Στη συνέχεια αλλάζουμε την αρχική τιμή μέχρι που η εικόνα που παράγεται να ταυτίζεται πολύ με τον χάρτη κατανομής των ρευστοποιήσεων που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια ενός σεισμού σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Γίνεται έτσι κατανοητό ότι με τη συγκεκριμένη μέθοδο, διαπιστώνεται εκ των υστέρων ότι υπάρχει η ταύτιση των λευκών περιοχών με τις ρευστοποιημένες περιοχές.

Υπάρχουν και κάποιες διαφορές σε κάποιες περιοχές που πρέπει να μελετηθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και κυρίως με απευθείας παρατηρήσεις στην ύπαιθρο καθώς επίσης και με εξειδικευμένες έρευνες. Σε ορισμένες περιπτώσεις εάν το κανάλι 6, το οποίο δείχνει τις επιφανειακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ενσωματωθεί στην επεξεργασία, το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι καλύτερο από ότι αν χρησιμοποιείτο μόνο το κανάλι 7.

Η χρήση των δεδομένων τηλεπισκόπησης για επιφανειακή πληροφόρηση στις αστικές περιοχές περιορίζεται και κυρίως αφορά τις επί μέρους θέσεις όπου εμφανίζεται το έδαφος. Δεδομένου ότι και οι κατοικημένες περιοχές έχουν αρκετά ακάλυπτα τμήματα, μπορεί να ληφθεί σημαντική πληροφόρηση. Επίσης, η κατάσταση του εδάφους μπορεί να αναγνωριστεί έμμεσα ακόμα και όταν ένα μικρού πάχους πεζοδρόμιο καλύπτει το έδαφος αφού λόγω του μεγάλου μήκους κύματος του καναλιού 7 υπάρχει κάποια διεισδυτικότητα. Η εδαφική πληροφόρηση που λαμβάνεται δεν αφορά το βάθος της ρευστοποίησης. Η αξιοπιστία αυτής της μεθόδου επαληθεύθηκε από υπαίθριες έρευνες και συλλογή στοιχείων στις περιοχές που εμφανίστηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΚΟΒΕ-CITY

Καταστροφές από ρευστοποιήσεις προκλήθηκαν σε μεγάλη έκταση στο Kobe μετά το σεισμό του 1995 (M=7.2R, 17 Ιανουαρίου). Η ανάλυση της εικόνας LANDSAT-5 TM, έγινε, δίνοντας μεγάλη σημασία στην περιοχή του μέσου υπέρυθρου φάσματος. Η εικόνα που καλύπτει την περιοχή του Kobe, πάρθηκε στις 24 Ιανουαρίου, πριν τον σεισμό και δείχνει τη φασματική απορρόφηση και ανάκλαση στη περιοχή του καναλιού 7 (εικ.1). Η αστική περιοχή έχει ανοιχτές αποχρώσεις, τα βουνά και οι δρόμοι μέσες, ενώ το ποτάμι και η θάλασσα φαίνονται μαύρα. Η εικόνα αυτή μετατράπηκε σε δυαδική με τιμή threshold 27 και έτσι φαίνονται οι περιοχές με υψηλή τιμή ανάκλασης (εικ.2). Οι περιοχές αυτές που αντιστοιχούν στις λευκές περιοχές, είναι οι Port-Island, Rokko-Island και τμήματα της παράκτιας ζώνης. Αυτές οι περιοχές σχετίζονται άμεσα με τις περιοχές που ρευστοποιήθηκαν και απεικονίστηκαν σε χάρτη ρευστοποιήσεων που κατασκευάστηκε από αεροφωτογραφίες και από υπαίθριες παρατηρήσεις (εικ.3 & 4), (Lekkas et al 1996a, Lekkas et al 1996b).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΠΥΡΓΟΥ

Ρευστοποιήσεις εδάφους παρατηρήθηκαν και στις παραλιακές περιοχές της Ηλείας μετά τον σεισμό 5.5R του Μαρτίου του 1993. Στην εικόνα 5 φαίνεται το κανάλι 7 της δορυφορικής εικόνας της περιοχής. Εφαρμόζοντας την προηγούμενη μέθοδο, δηλαδή μετατρέποντας το κανάλι 7 της δορυφορικής εικόνας LANDSAT που πάρθηκε πριν τον σεισμό, σε δυαδική μορφή και δίνοντας τιμή threshold 35, παρήχθη η εικόνα 6 η οποία με αύξηση της αντίθεσης γίνεται πιο ευδιάκριτη. Οι περιοχές που έχουν υψηλό βαθμό κινδύνου για ρευστοποίηση μετά από κάποιο σεισμό φαίνονται με άσπρο σε αντίθεση με την υπόλοιπη περιοχή που φαίνεται μαύρη.

Οι περιοχές που ρευστοποιήθηκαν μετά τον σεισμό του Μαρτίου το 1993 στον Πύργο ανήκουν στις

Εικ. 1. Το κανάλι 7 της δορυφορικής εικόνας LANDSAT-5 TM, από την περιοχή του Κοβέ.



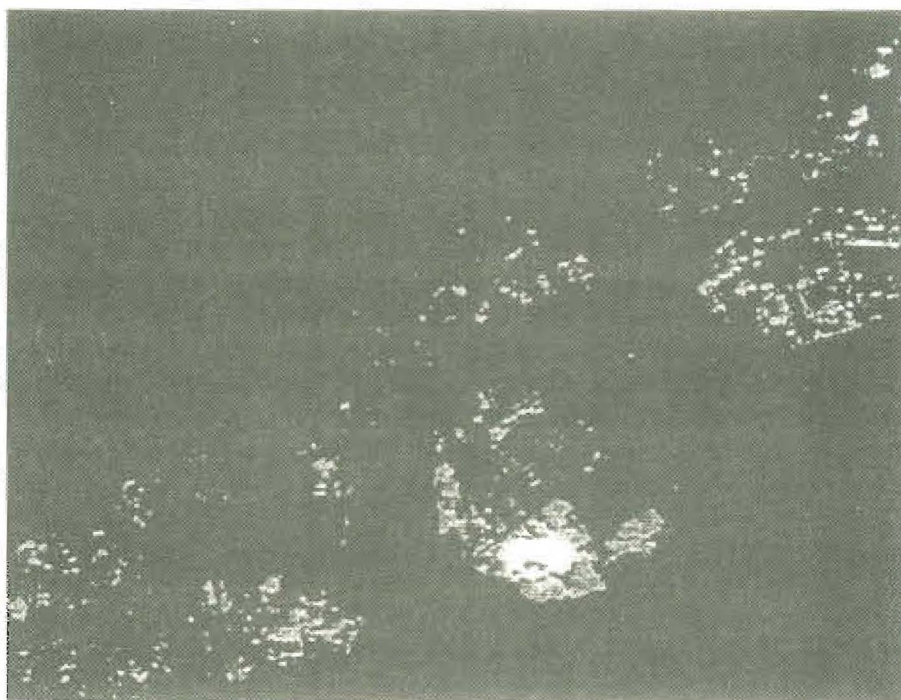
που είναι δυνατόν να επικρατούν στις δύο τελείως διαφορετικές περιοχές μεγάλης διαφορετικό μέγεθος της σεισμικής κίνησης στις δύο περιπτώσεις αλλά και στις ιδιαιτερές συνθήκες μικρή κάλυψη από γεωργικές καλλιέργειες. Πρόσθετα οι διαφορές μπορούν να αποδοθούν και στο έργο στη δεξιά όχθη του ποταμού του ποταμού του Ινδού για περιοχή επί το πλείστον χέρσο με αστικοποιημένη και καλυπτόμενη κατά θέσεις από κτίρια, χώρους αναψυχής και εν γένει εξωστρωματικά αποδίδονται κυρίως στο γεγονός ότι στη δεξιά όχθη του ποταμού του Κοβέ η περιοχή ήταν Οι διαφορές που εντοπίζονται στις δύο περιπτώσεις σε ότι αφορά στις φασματικές αποκλίσεις τιμή threshold 35.

περιορισμένη αντιστοιχούν στις λυκίτες περιοχές της δυαδικής εικόνας που δημιουργήθηκε με από το σεισμό M=5.4R της 26 Μαρτίου 1993 στον Ινδού διαπιστώθηκε ότι οι περιοχές που δορυφορικών εικόνων της περιοχής της Ηλείας (Δυτική Πελοπόννησος, Ελλάδα) που ελήφθησαν πριν της δυαδικής εικόνας που δημιουργήθηκε με τιμή threshold 27. Πρόσθετα από την ανάγνωση των ανάγνωση διαπιστώνεται ότι οι περιοχές που περιορισμένη αντιστοιχούν με τις λυκίτες περιοχές που ελήφθησαν πριν από τον καταστροφικό σεισμό M=7.2R του Κοβέ (17 Ιανουαρίου 1995). Από Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε στην περιοχή Nankai (Κεντρική Ιαπωνία) με την επεξεργασία εικόνων αντλήθηκαν πληροφορίες για την τάση των εδάφων να περυστοποιηθούν κατά την διάρκεια σεισμών.

του δορυφορικού συστήματος LANDSAT 5, που αντιστοιχεί στο μέσο υπέρυθρο, είναι δυνατό να χρησθούν. Όπως διαπιστώθηκε εάν χρησιμοποιηθεί το κανάλι 7, του Θερματικού Χαρακτηρισμού (TM) μιας μεγάλης ποικιλίας εικόνων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα σημαντικό αριθμό των δορυφορικών δεδομένων τηλεπισκόπησης μπορούν να επεξεργαστούν κατάλληλα για την παραγωγή

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

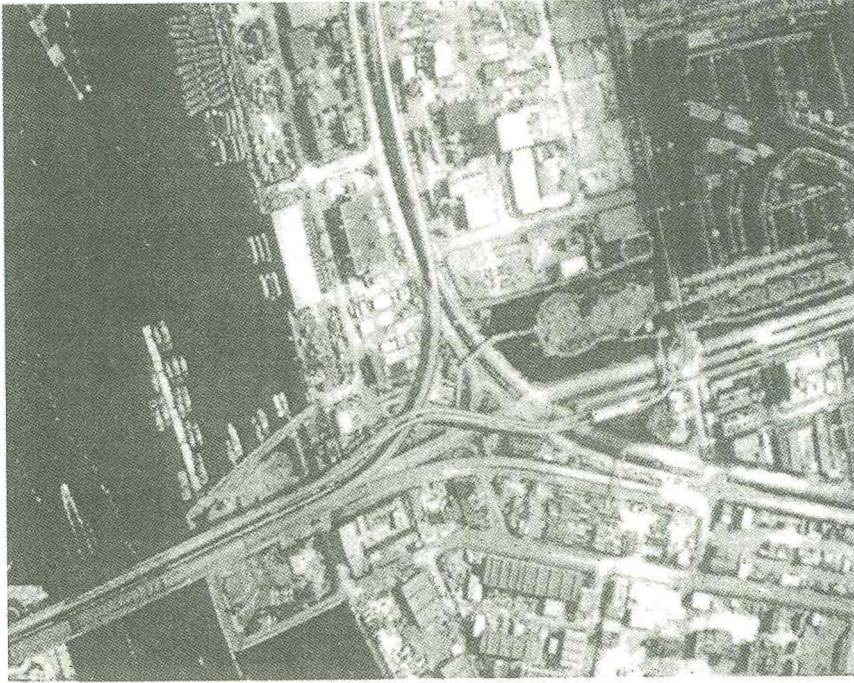
αναδειχθέντων που αναδείχθηκαν με την τεχνική που αναλύθηκε πιο πάνω, αφού παρατηρήθηκαν περιοχές που είχαν μεγαλύτερη έκταση και θα κάλυπταν μεγαλύτερο κομμάτι των περυστοποιήσεις θα είχαν μεγαλύτερη έκταση και θα κάλυπταν μεγαλύτερο κομμάτι των (Λέκκας κ.α., 1992). Μάλιστα αν η ένταση του σεισμού ήταν μεγαλύτερη τότε οι περιοχές με χέρσες και καλλιέργειες, εμφανίζονται παρόμοιες αποθέσεις, ποτάμιοι σχηματισμοί και αλλοίβια οι οποίες είχαν χαρακτηριστεί με μεγάλη λεπτομέρεια (Λέκκας, 1994). Στις περιοχές αυτές που είναι περυστοποιήσεις (εικ. 7) στις περιοχές Σπιάντζα και Μπόκα (παράκτια περιοχή Ινδού - Κατακόνη) περιοχές που αναδείχθηκαν με την τεχνική που αναλύθηκε πιο πάνω, αφού παρατηρήθηκαν



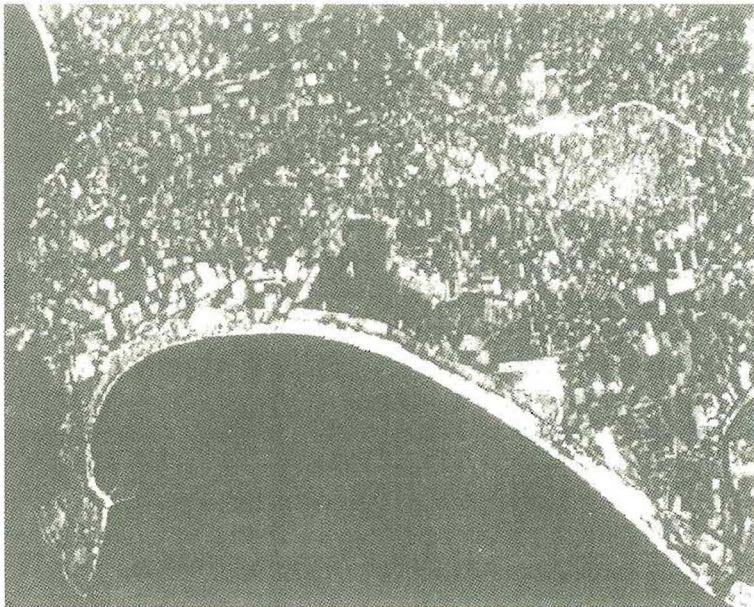
Εικ. 2 Επεξεργασμένη δυαδική εικόνα της περιοχής του Kobe με τιμή threshold 27.



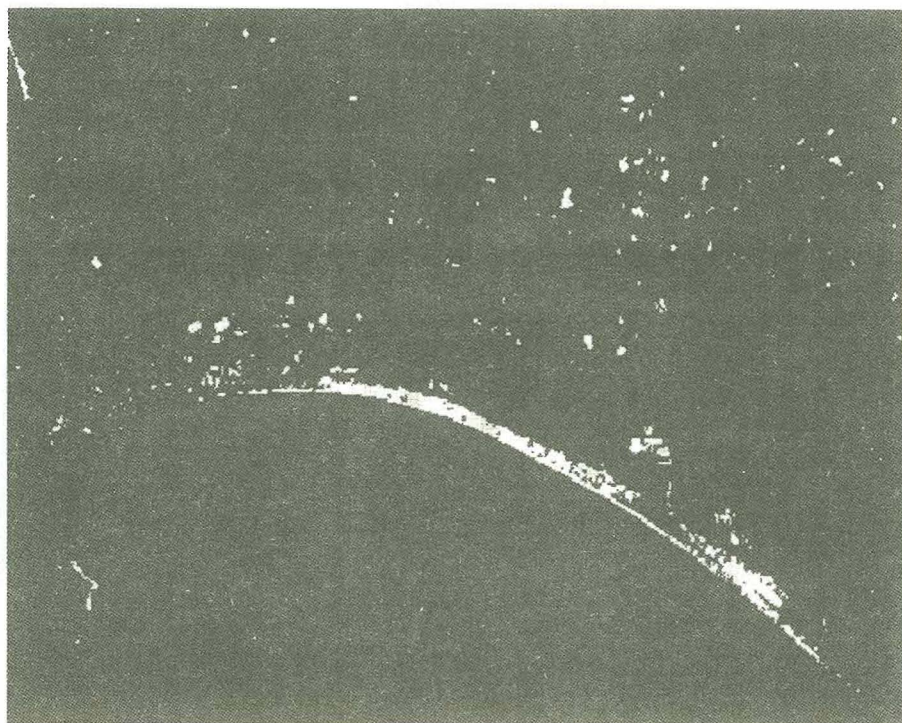
Εικ. 3. Εκτεταμένες ρευστοποιήσεις σε ακάλυπτους χώρους στην πόλη του Kobe. Διακρίνονται εδαφικές διαρρήξεις και τα ρευστοποιημένα υλικά που έχουν εκχυθεί στην επιφάνεια.



Εικ. 4 Άποψη τμήματος των λιμενικών εγκαταστάσεων του Κοβέ που έχει καλυφθεί από ρευστοποιημένα υλικά (ανοικτό χρώμα)



Εικ. 5 Το κανάλι 7 της δορυφορικής εικόνας LANDSAT-5 TM, της περιοχής του Πύργου-Κατάκωλου.



Εικ. 6 Επεξεργασμένη δυαδική εικόνα της περιοχής Πύργου – Κατάκωλου, με τιμή threshold 35.

Οι διαφορές που εντολίζονται στις δύο περιπτώσεις σε ότι αφορά στις φασματικές αποκλίσεις αποδίδονται κυρίως στο γεγονός ότι στη μεν περίπτωση του σεισμού του Κόμπε περιοχή ήταν αστικοποιημένη και καλυπτόταν κατά θέσεις από κτίρια, χώρους αναψυχής και εν γένει εξωραϊστικά έργα στη δε περίπτωση του σεισμού του Πύργου επρόκειτο για περιοχή επί το πλείστον χέρσο με μικρή κάλυψη από γεωργικές καλλιέργειες. Πρόσθετα οι διαφορές μπορούν να αποδοθούν και στο διαφορετικό μέγεθος της σεισμικής κίνησης στις δύο περιπτώσεις αλλά και στις ιδιαίτερες συνθήκες που είναι δυνατόν να επικρατούν στις δύο τελείως διαφορετικές περιοχές μελέτης.

Συμπερασματικά διαπιστώνεται ότι η ανάλυση δορυφορικών εικόνων μπορεί να συμβάλλει στον εντοπισμό περιοχών που αντιμετωπίζουν προβλήματα ρευστοποιήσεων γρήγορα και με χαμηλό κόστος, ενώ επισημαίνεται ότι η έρευνα στο συγκεκριμένο αντικείμενο θα πρέπει να ενταθεί κυρίως σε περιπτώσεις εκδήλωσης φαινομένων στα αμέσως επόμενα χρόνια οπότε και η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη, κυρίως με την αύξηση της διακριτικής ικανότητας, θα επιτρέψει τη λήψη και αξιοποίηση ενός πολύ μεγαλύτερου αριθμού πληροφοριών μέσω δορυφορικών συστημάτων. Η μέθοδος που περιγράφηκε θα εφαρμοστεί και σε ανάλογες μελλοντικές περιπτώσεις ώστε από διαπίστωση και «εκ των υστέρων» πρόβλεψη να μετατραπεί σε αντικειμενικό στοιχείο καθορισμού μιας περιοχής επικίνδυνης για ρευστοποίηση.



Εικ. 7. Αποψη εδαφικών σχηματισμών που ρευστοποιήθηκαν κατά τον σεισμό της 26 Μαρτίου 1993 στην θέση Σπιάντζα της παράκτιας περιοχής Πύργου – Κατακόλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- GOTO, K., SAKAMOTO, M., SAWAZONO, Y. & TOHNO, I. (1986). Characteristic of Landsat data of liquefied ground, Japan National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.21, No.2-1, 831-832.
- JENSEN, J. (1996). Introductory digital image processing: a remote sensing perspective – 2nd ed., Prentice-Hall, 318 p.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ε., ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. & ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι. (1992). Εκπόνηση Νεοτεκτονικού χάρτη της Ελλάδας, Φύλλα "ΠΥΡΓΟΣ - ΤΡΟΠΑΙΑ" (κλίμακα 1:100.000). 123σ., Αθήνα.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ε. (1994). Liquefaction, risk zonation and urban development at Western Peloponnessus. Proceedings 7th International Congress International Association of Engineering Geology, publ. A.A. Balkema, 2095-2102, Lisboa.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ε., KRANIS, H., ΛΕΟΝΑΚΙΣ, Μ. & ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, Π. (1996a). - Liquefaction phenomena caused by the Kobe earthquake (Japan). 6th Spanish Congress and International Conference on Environmental Geology and Land-use Planning. Natural Hazards, Land-Use Planning and Environment. Eds. J. Chacon & C. Irigaray, p. 463-470, Granada.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ε., KRANIS, H., ΛΕΟΝΑΚΙΣ, Μ. & ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, Π. (1996b). - The seismotectonic setting of Kobe area (Japan) - The concomitant geodynamic phenomena of the Hanshin earthquake (January 17, 1995). Advances in Earthquake Engineering, The Kobe Earthquake: Geodynamic Aspects, p.1-16, Computational Mechanics Publications, Southampton.
- RESEARCH COMMITTEE ON USING REMOTE SENSING TO SOIL ENGINEERING (1993). Symposium on Using remote sensing data in ground engineering, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 226.
- SHIMA, H., (1985). Application of remote sensing technology to ground investigation, Photographic Survey and Remote Sensing, Vol.24, No.2, 15-25.
- VINCENT, R., (1997). Fundamentals of geological and environmental remote sensing, Prentice-Hall, 366 p.