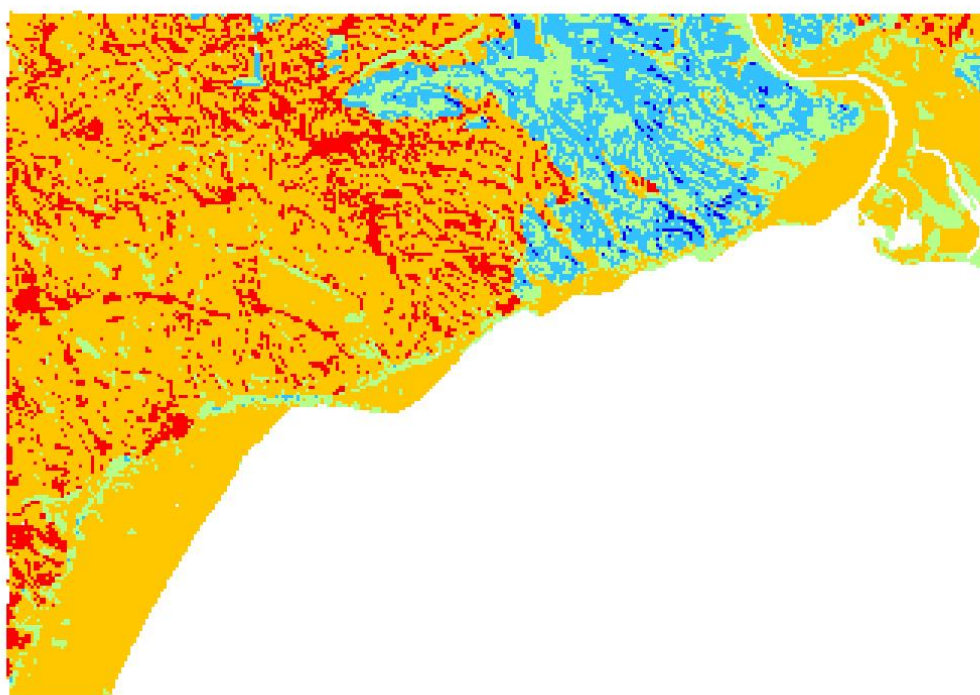


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**ΔΟΜΑΚΙΝΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ  
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗ  
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ, ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ – ΚΑΒΑΛΑΣ**



ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Επιθυμώ να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον κύριο επιβλέποντα της διατριβής αυτής, Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας και Διευθυντή του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κ. Θεόδωρο Αστάρα, για την ανάθεση του θέματος, για τις συμβουλές και τις παραινέσεις του, καθώς και για τη συνεχή καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω :

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Χρηστάρα Βασίλειο, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα που άπτονται του επιστημονικού του πεδίου.

Τον Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Κωνσταντίνο Βουβαλίδη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Π.Μ.Σ. «Γεωγραφία και Περιβάλλον», καθώς και για τη διάθεση ορισμένων ψηφιακών δεδομένων του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας.

Τον Διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας κ. Δημήτριο Οικονομίδη, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε θέματα Τηλεπισκόπησης και ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας. Ακόμα, τον ευχαριστώ για την παρουσία του στην κοπιαστική εργασία υπαίθρου, καθώς και για τις συμβουλές για την αρτιότερη διάρθρωση της διατριβής αυτής.

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Αντώνιο Ψιλοβίκο, τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Ελευθέριο Βαβλιάκη και τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Κωνσταντίνο Αλμπανάκη, για την επιστημονική προσφορά τους κατά τη φοίτηση μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Γεωγραφία και Περιβάλλον».

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Τιμολέοντα Μακρογιάννη και τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Πέτρο Πέννα, για τη διάθεση των κλιματικών στοιχείων του Μετεωρολογικού Σταθμού του Α.Π.Θ., για τις περιόδους 1931 – 1940 και 1956 – 1975.

Τον Τμηματάρχη στον Τομέα Έργων της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ Α.Ε. κ. Άγγελο Λειβαδά, για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα που άπτονται του επιστημονικού του πεδίου.

Τον Διδάκτορα Γεωλόγο της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ Α.Ε. κ. Κωνσταντίνο Παπατόλιο, για την παραχώρηση των εκθέσεων γεωλογικών μελετών του τμήματος της Εγνατίας Οδού που αφορούσαν τις περιοχές μελέτης.

Την Αναπληρώτρια του Τμήματος Γεωτεχνικών της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ Α.Ε. κ. Ελένη Σακουμπέντα, για τη διαμεσολάβησή της στη λήψη στοιχείων που ήταν απαραίτητα για την εκπόνηση αυτής της διατριβής.

Τον Πολιτικό Μηχανικό της εταιρίας «Egnacunsult J.V.» κ. Νίκα Χρήστο, για την παροχή πολύτιμων πληροφοριών του που βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.

Το Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης του Τομέα Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ., για τη βοήθεια του στην επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων με το πρόγραμμα ENVI.

Τους συναδέλφους μου στην ειδίκευση «Γεωγραφία και Περιβάλλον» για τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στους γονείς μου, Αλέξανδρο και Καλλιόπη, δίχως την ανεπιφύλακτη ηθική και υλική στήριξη των οποίων, η παρούσα διατριβή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Εισαγωγή – Σκοπός της εργασίας .....</b>                                          | <b>5</b>  |
| <b>2. Το φαινόμενο των κατολισθήσεων .....</b>                                          | <b>6</b>  |
| 2.1 Ορισμός – Οι κατολισθήσεις ως φυσικές καταστροφές .....                             | 6         |
| 2.2 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων .....                                                  | 9         |
| 2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις .....                                   | 15        |
| 2.4 Χαρτογράφηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων (landslide hazard mapping) ..... | 17        |
| <b>3. Εξοπλισμός – Υλικά – Μεθοδολογία .....</b>                                        | <b>18</b> |
| 3.1 Εξοπλισμός – Υλικά .....                                                            | 18        |
| 3.2 Μεθοδολογία .....                                                                   | 20        |
| <b>4. Γεωγραφία της περιοχής μελέτης .....</b>                                          | <b>22</b> |
| 4.1 Γεωγραφική θέση των περιοχών μελέτης .....                                          | 22        |
| 4.2 Κλίμα των περιοχών μελέτης .....                                                    | 22        |
| <b>5. Γεωλογία των περιοχών μελέτης .....</b>                                           | <b>27</b> |
| 5.1 Γεωλογία της ευρύτερης παράκτιας περιοχής των Λουτρών Ελευθερών .....               | 27        |
| 5.2 Γεωλογία της παράκτιας περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα ...                          | 28        |
| 5.3 Γεωμορφολογία της ευρύτερης παράκτιας περιοχής των Λουτρών Ελευθερών .....          | 33        |
| 5.4 Γεωμορφολογία της ευρύτερης παράκτιας περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα .....         | 37        |
| <b>6. Χρήση των δορυφορικών εικόνων στη χαρτογράφηση κατολισθήσεων .....</b>            | <b>39</b> |
| 6.1 Μεθοδολογία .....                                                                   | 39        |
| 6.2 Ψευδοέγχρωμες εικόνες .....                                                         | 40        |
| 6.3 Λόγοι φασματικών ζωνών .....                                                        | 46        |
| 6.4 Εικόνες ανάλυσης κυρίων συνιστωσών .....                                            | 49        |
| 6.5 Εικόνες «Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» .....                         | 55        |
| 6.6 Άλλες εικόνες .....                                                                 | 57        |
| <b>7. Εργασία υπαίθρου .....</b>                                                        | <b>62</b> |
| <b>8. Συμπεράσματα .....</b>                                                            | <b>69</b> |



|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9. Χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη χαρτογράφηση κατολισθήσεων .....</b>                    | <b>70</b>  |
| 9.1 Μεθοδολογία .....                                                                                          | 70         |
| 9.2 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Ανάγλυφου (DEM) .....                                                          | 72         |
| 9.3 Κατασκευή Τριγωνοποιημένου Ακανόνιστου Δικτύου .....                                                       | 73         |
| <b>10. Παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις και επίπεδα πληροφοριών που προκύπτουν από αυτούς .....</b> | <b>76</b>  |
| 10.1 Λιθολογία .....                                                                                           | 76         |
| 10.2 Κλίσεις των πρανών .....                                                                                  | 78         |
| 10.3 Προσανατολισμός των πρανών .....                                                                          | 83         |
| 10.4 Βλάστηση .....                                                                                            | 89         |
| 10.5 Εγγύτητα (proximity) των πρανών σε κοίτες ρεμάτων .....                                                   | 94         |
| 10.6 Χάρτης επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις .....                                                           | 95         |
| <b>11. Συμπεράσματα .....</b>                                                                                  | <b>100</b> |
| <b>Βιβλιογραφία .....</b>                                                                                      | <b>108</b> |
| <b>Παραρτήματα .....</b>                                                                                       | <b>117</b> |
| <b>Παράρτημα Α .....</b>                                                                                       | <b>117</b> |
| <b>Παράρτημα Β .....</b>                                                                                       | <b>126</b> |
| <b>Παράρτημα Γ .....</b>                                                                                       | <b>128</b> |

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διατριβής ειδίκευσης είναι να αξιολογήσει κατά πόσο η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χαρτογράφηση κατολισθήσεων (φωτ. 1) στην παράκτια περιοχή Στρυμονικού Κόλπου – Καβάλας. Όπως θα αναπτυχθεί και στη συνέχεια, τόσο τα Γ.Σ.Π. όσο και οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό θέσεων στην επιφάνεια του γήινου ανάγλυφου που έχουν εκδηλωθεί φαινόμενα κατολίσθησης ή που είναι επιδεκτικές κατολίσθησης.



**Φωτ. 1 :** Κατολίσθηση στον υπό κατασκευή δρόμο της Εγνατίας Οδού, στην περιοχή Ασπροβάλτα – Στρυμόνα.

Το φαινόμενο της κατολίσθησης είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, στην εκδήλωσή του οποίου, συμμετέχουν γεωλογικοί, γεωμορφολογικοί, τεχνικογεωλογικοί, υδρολογικοί, κλιματικοί και ανθρωπογενείς παράμετροι. (Χρηστάρας, 1989, Christaras, 1996)

Μελετώντας και αξιολογώντας, στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης, την επιδεκτικότητα των πετρωμάτων στις κατολίσθήσεις, την μορφολογική κλίση του ανάγλυφου, την φυτοκάλυψη (land cover), όπως αυτή απεικονίζεται στις δορυφορικές εικόνες, και το υδρογραφικό δίκτυο, με τη βοήθεια των Γ.Σ.Π.,

κατασκευάστηκαν δυο χάρτες των περιοχών Ασπροβάλτα – Στρυμόνα και Λουτρών Ελευθερών, οι οποίοι υποδεικνύουν θέσεις του ανάγλυφου που είναι επιδεκτικές για κατολίσθηση.

Οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τον ακριβή εντοπισμό θέσεων στη γήινη επιφάνεια όπου έχουν πραγματοποιηθεί κατολισθήσεις και δευτερευόντως για τη χαρτογράφηση της φυτοκάλυψης των περιοχών μελέτης. Οι φασματικές ταυτότητες των περιοχών αυτών συνέβαλαν στον εντοπισμό θέσεων στο γήινο ανάγλυφο που είναι επιδεκτικές προς κατολίσθηση.

Στη συνέχεια ακολούθησε επίσκεψη στην περιοχή μελέτης όπου και διαπιστώθηκε η ύπαρξη φαινομένων κατολίσθησης σε θέσεις των παράκτιων περιοχών Ασπροβάλτα – Στρυμόνα και Λουτρών Ελευθερών, που υπέδειξαν οι δορυφορικές εικόνες. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι οι θέσεις, που παρατηρήθηκαν τα φαινόμενα των κατολισθήσεων, είχαν απεικονιστεί ως θέσεις υψηλής επικινδυνότητας στο χάρτη περιοχών που είναι επιδεκτικές σε κατολισθήσεις (landslide susceptibility map).

## **2. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ**

### **2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ – ΟΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΩΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ**

Ο όρος «κατολισθήσεις» είναι πολύ γενικός και χρησιμοποιείται για να περιγράψει την προς τα κάτω κίνηση, κατά μήκος μιας πλαγιάς (downslope movement), μάζας εδαφών και βράχων (Olmacher G. & Davis J., 2002, από Cruden, 1991). Κάποιος γενικά αποδεκτός ορισμός για την κατολίσθηση δεν υπάρχει. Τις τελευταίες δεκαετίες η ορολογία για τα κατολισθητικά φαινόμενα έχει αλλάξει και νέες λέξεις έχουν προστεθεί.

Ο Terzaghi (1950) ορίζει την κατολίσθηση σαν «μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, εναπομένοντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω» (Τσιαμπάος, 1991).

Οι Zaruba και Mancl (1969) ορίζουν την κατολίσθηση σαν «μια γρήγορη κίνηση που οφείλεται στην ολίσθηση πετρωμάτων ενός τμήματος πρανούς

που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια (Τσιαμπάος, 1991).

Ο Coates (1977), στον ειδικό τόμο για τις κατολισθήσεις που εκδόθηκε από την Αμερικάνικη Γεωλογική Εταιρία, δίνει τους παρακάτω όρους προϋποθέσεις για την κατάταξη μιας κίνησης στην κατηγορία των κατολισθήσεων :

- Οι κατολισθήσεις αποτελούν μια κατηγορία φαινομένων που υπάγονται στο γενικότερο φαινόμενο της κίνησης των μαζών.
- Η βαρύτητα είναι η δύναμη που παίζει τον πρωτεύοντα ρόλο.
- Η ταχύτητα της κίνησης πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη (ο ερπυσμός δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στα κατολισθητικά φαινόμενα).
- Η κίνηση μπορεί να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή.
- Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης δεν ταυτίζεται με το γεωλογικό ρήγμα.
- Η κίνηση πρέπει να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με σχηματισμό ελεύθερης επιφάνειας (δεν συμπεριλαμβάνονται ο καθιζήσεις)
- Το μετακινούμενο υλικό έχει καθορισμένα όρια και συνήθως αποτελεί περιορισμένο τμήμα μιας ορεινής ή λοφώδους έκτασης.
- Το μετακινούμενο υλικό περιλαμβάνει μέρος του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων ή μέρος του μητρικού πετρώματος ή ακόμη και των δύο.
- Συνήθως ολισθήσεις που οφείλονται σε φαινόμενα ψύξεως δεν συμπεριλαμβάνονται στις κατολισθήσεις.

Ο Varnes (1980), στην ειδική έκδοση για τις κατολισθήσεις, του Οργανισμού Έρευνας Μεταφορών των Η.Π.Α., χρησιμοποιεί τον όρο «κίνηση πρανών», αντί του όρου «κατολίσθηση» και με αυτόν περιλαμβάνει κάθε κίνηση πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό (Τσιαμπάος, 1991).

Οι κατολισθήσεις αποτελούν μια από τις πιο επικίνδυνες μορφές φυσικών καταστροφών. Οι σημαντικότερες, και καταστροφικότερες, που έχουν συμβεί στην ανθρώπινη ιστορία είναι : 1) το 1963, στο φράγμα Vaiont (Vaiont Dam) που βρίσκονταν στις Ιταλικές Άλπεις, όταν  $250 \times 10^6 \text{ m}^3$  βράχων ολίσθησαν και κατέληξαν στην τεχνητή λίμνη που είχε σχηματιστεί από το φράγμα, με

αποτέλεσμα να προκληθούν κύματα ύψους μέχρι και 100 m, τα οποία υπερπήδησαν (overtop) το φράγμα και προκάλεσαν τον πνιγμό 2.600 ανθρώπων (D.K.C. Jones, 1992, από Muller, 1964), 2) το 1970, η κατολίσθηση Huascaran (Huascaran rock avalanche) στις Περουβιανές Άνδεις, όταν τμήμα του καλύμματος πάγου (ice-cap) στη βόρεια κορυφή του Nevados Huascaran (υψόμετρο 6.654 m) κατέρρευσε, προκαλώντας την κάθοδο  $50 - 100 \times 10^6 \text{ m}^3$  χιονιού, βράχων και πάγου για 2.700 m με ταχύτητα έως και 400 km/h, ισοπεδώνοντας δυο πόλεις και σκοτώνοντας 20 – 25.000 άτομα (D.K.C. Jones, 1992, από Plafker & Ericson, 1978) και 3) το 1974 η κατολίσθηση Mayunmarca, πάλι στις Περουβιανές Άνδεις, όπου η ολίσθηση  $1000 \times 10^6 \text{ m}^3$  υλικών προκάλεσε το θάνατο 450 ανθρώπων (D.K.C. Jones, 1992, από Kojan & Hutchinson, 1978).

Η ύπαρξη τέτοιων, υψηλού μεγέθους και χαμηλής συχνότητας, φαινομένων υπογραμμίζει τη σημασία της απειλής των κατολισθήσεων σε θέματα ανάπτυξης (development issues) και θέτει, αναμφίβολα, πολύ σοβαρά προβλήματα σε ζητήματα διαχείρισης φυσικών καταστροφών (hazard management). Παρόλα αυτά, καταστροφές μεγάλης έκτασης σαν αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν πρέπει να αποσπούν την προσοχή μας από κατολισθήσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους, οι οποίες είναι περισσότερο συχνές και, αθροιστικά, επιφέρουν ζημιές, οι οποίες κοστίζουν στην ανθρώπινη κοινωνία (human society) το ίδιο ή μερικές φορές περισσότερο, από τις σπάνιες καταστροφικές καταπτώσεις μεγάλου μεγέθους. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος αυτών των φαινομένων μικρής κλίμακας είναι ευρύτερα κατανεμημένο (widely distributed) και τόσο οι εμφανίσεις τους όσο και η συχνότητά τους επιδεινώνονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, έτσι ώστε οι απώλειες που αποδίδονται στις κατολισθήσεις αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς. Παρόλα αυτά δεν πρέπει να ανησυχούμε, γιατί συχνά οι σύγχρονοι επιστήμονες ισχυρίζονται ότι η επιστημονική γνώση που διαθέτουμε είναι ικανή να προβλέψει τέτοιου είδους μη καταστροφικές καταπτώσεις (non-catastrophic failures) με ικανοποιητική ακρίβεια και οι επιπτώσεις τους μπορούν να αμβλυνθούν με τη βοήθεια σταθεροποιητικών μέτρων (stabilization measures) και προγραμματισμένη διαχείριση της Γης (planned land management). Γι' αυτό το λόγο, οι εκτιμήσεις του κινδύνου των κατολισθήσεων (landslide hazard assessment) και οι στρατηγικές διαχείρισης

εστιάζονται κυρίως σε τέτοιου είδους φαινόμενα, εξαιτίας της δυνατότητας που υπάρχει για την επίτευξη σημαντικής ελάττωσης των απωλειών που προέρχονται από τις κατολισθήσεις τόσο γρήγορα όσο και με χαμηλό οικονομικό κόστος.

Δυστυχώς, οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα φαινόμενο που δεν είναι εύκολο να γίνει κατανοητό από τους μη ειδικούς, κάτι το οποίο σημαίνει πως ο κίνδυνος που εμπεριέχεται σε αυτές συχνά υποτιμάται από εκείνους που συμμετέχουν σε προγράμματα ανάπτυξης. (D.K.C. Jones, 1992)

## **2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ**

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθητικών φαινομένων. Ο Varnes (1980) πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης όλων των κινήσεων που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρηνή εκτός καθιζήσεων, και όχι μόνο των κατολισθήσεων με τη στενή σημασία.

Η ταξινόμηση αυτή στηρίζεται σε δυο κύρια κριτήρια, τον τύπο κίνησης και τον τύπο του υλικού που μετακινείται (Πίνακες 1 και 2).

Ανάλογα με τον τύπο κίνησης διακρίνουμε :

- τις καταπτώσεις (falls)
- τις κατακρημνίσεις (topples)
- τις ολισθήσεις (slides)
- τις πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)
- τις ροές (flows)
- τις σύνθετες κινήσεις (complex)

Ανάλογα με το υλικό που μετακινείται διακρίνονται σε κινήσεις που εκδηλώνονται στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) και στα μηχανικά εδάφη (engineering soils) που χωρίζονται στα κορήματα (debris) και στις γαίες (earth).

### **A) Καταπτώσεις**

Όταν μια μάζα οποιουδήποτε μεγέθους αποκολλάται από ένα σχεδόν κατακόρυφο πρηνές κατά μήκος μιας επιφάνειας στην οποία δεν εκδηλώνεται σημαντική διατμητική κίνηση και η πτώση γίνεται σχεδόν ελεύθερα στον αέρα

με κύλισμα ή αναπήδηση του τεμάχους, η κίνηση αυτή καλείται κατάπτωση (σχ.1α).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

| Τύπος κίνησης     | Τύπος μετακινούμενου υλικού           |                                           |                                 |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
|                   | Βραχώδεις υπόβαθρο                    | Μηχανικά εδάφη                            |                                 |
|                   |                                       | Χονδρόκοκκα                               | Λεπτόκοκκα                      |
| Κατάπτωση         | Κατάπτωση βράχων                      | Κατάπτωση κορημάτων                       | Κατάπτωση γαιών                 |
| Ανατροπή          | Ανατροπή βράχων                       | Ανατροπή κορημάτων                        | Ανατροπή γαιών                  |
| Ολίσθηση          | Περιστροφική                          | Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου | Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων |
|                   | Επίπεδη                               | Επίπεδη ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου      | Επίπεδη ολίσθηση κορημάτων      |
| Πλευρική Εξάπλωση | Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου | Πλευρική εξάπλωση κορημάτων               | Πλευρική εξάπλωση γαιών         |
| Ροή               | Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)    | Ροή κορημάτων (ερπυσμός εδάφους)          | Ροή γαιών                       |
| Σύνθετη           | Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων   |                                           |                                 |

**Πίνακας 1 (α) :** Το σύστημα ταξινόμησης των κινήσεων που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρηνή εκτός καθιζήσεων, όπως προτάθηκε από τον Varnes (1980). (Τσιαμπάος, 1991)

## **Β) Κατακρημνίσεις**

Στον τύπο αυτό της κίνησης, εκδηλώνεται μια προς τα έξω περιστροφή του αποσπώμενου τεμάχους κάτω από την επίδραση της βαρύτητας και άλλων παραγόντων όπως είναι η υδροστατική πίεση μέσα στις ρωγμές αποχωρισμού του τεμάχους (σχ.1β)

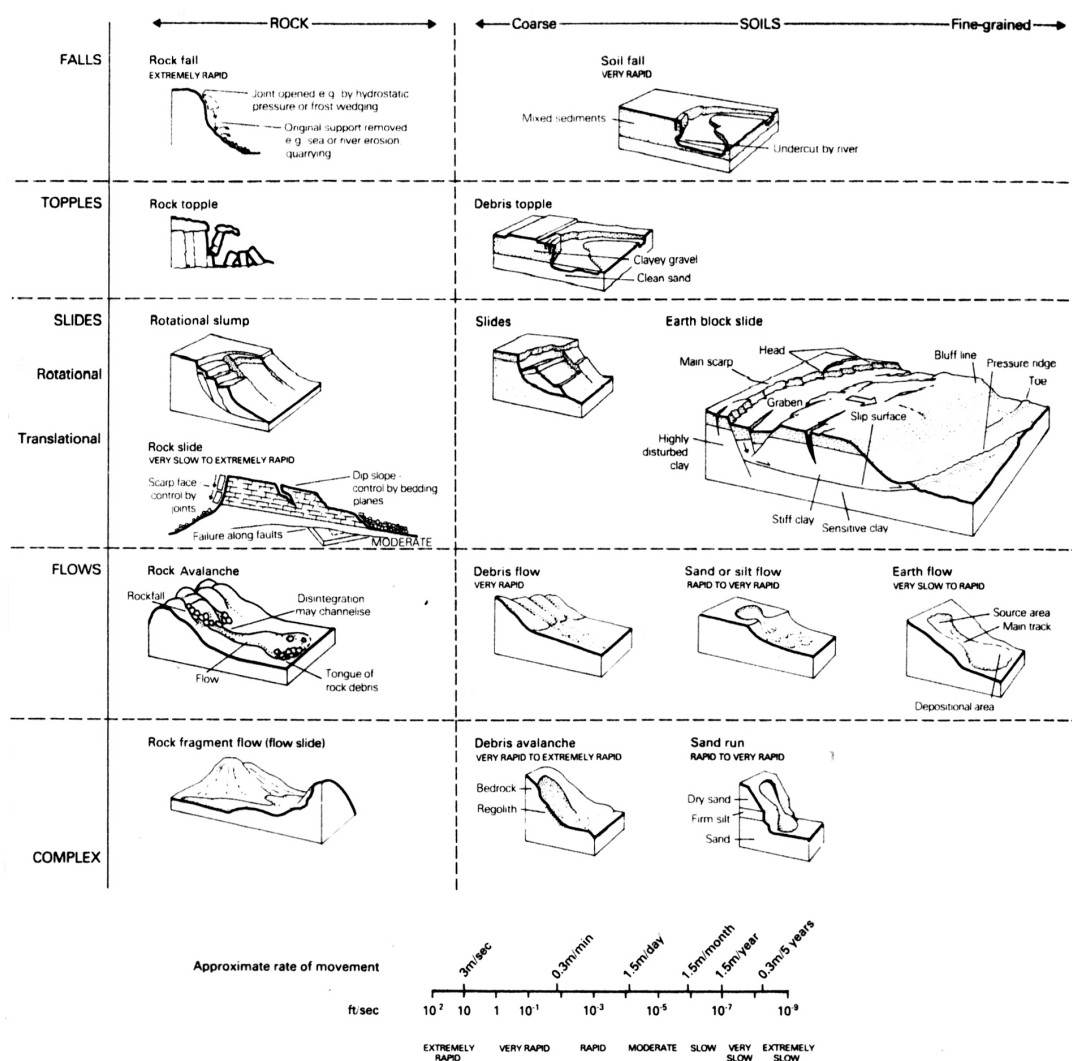
## **Γ) Ολισθήσεις**

Στις ολισθήσεις, η κίνηση αποτελείται από μια διατμητική παραμόρφωση και μετακίνηση κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών. Η κίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή να μην αρχίζει ταυτόχρονα από μια χρονική εστία ή εστίες ολίσθησης. Οι ολισθήσεις χωρίζονται στις περιστροφικές (rotational) και στις επίπεδες μετακινήσεις (translational).

## **Δ) Περιστροφικές ολισθήσεις**

Η ολίσθηση (σχ.1γ) λαμβάνει χώρα πάνω σε κοίλες ή κυλινδρικές επιφάνειες, με μικρή παραμόρφωση του τεμάχους που ολισθαίνει (slumps). Συχνά η επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι κυκλική σε τομή, αλλά ακολουθεί

προϋπάρχουσες γεωλογικές επιφάνειες όπως στρώσεις, ρήγματα ή κύριες διακλάσεις.



**Πίνακας 1 (β) :** Ταξινόμηση των κατολισθήσεων κατά τον Varnes (1980). (Cooke and Doornkamp, 1997)

Στις περιστροφικές ολισθήσεις (σχ.2), διακρίνουμε το κύριο σώμα της ολίσθησης, τον πόδα (κατώτερο τμήμα της ολίσθησης), την κορυφή (κορυφαίο τμήμα της κεφαλής), τη στέψη (σταθερό τμήμα του πρανού που γειτονεύει με την κεφαλή), και την κατακρήμνιση (κατακόρυφη ή κεκλιμένη επιφάνεια που σχηματίζεται μετά την ολίσθηση).

Σε ότι αφορά τις ρωγμές, στη στέψη παρατηρούνται τοξοειδείς ρωγμές εφελκυσμού, στο κύριο σώμα της κατολίσθησης τοξοειδείς ρωγμές και



δευτερεύουσες κατακρημνίσεις, στην ανώτερη ζώνη του πόδα εγκάρσιες ρωγμές εφελκυσμού και λάμψης, ενώ στην κάτω ζώνη του πόδα και μέχρι την άκρη των δακτύλων παρατηρούνται ακτινωτές ρωγμές και εγκάρσιες ράχεις.

Η κίνηση δεν περιλαμβάνει σημαντική στροφή ή προς τα πίσω κλίση της κεφαλής και έτσι διακρίνεται εύκολα από την περιστροφική ολίσθηση. Κυρίως η κίνηση αυτή ελέγχεται από την ύπαρξη γεωλογικών δομών όπως είναι η στρώση, τα ρήγματα, η φύλλωση, οι διακλάσεις κλπ. Η ολίσθηση τεμάχους (block slide) είναι μερική περίπτωση της επίπεδης μετακίνησης (σχ.1στ) .

### **Ε) Πλευρικές εξαπλώσεις**

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση που κυριαρχεί είναι η πλευρική επέκταση με συνοδεία διατμητικών και εφελκυστικών ρωγμών (σχ.1ζ).

Η κίνηση μπορεί να είναι μια επέκταση προς κάθε κατεύθυνση μιας μάζας που ολισθαίνει, χωρίς όμως να μπορεί να καθορισθεί με ακρίβεια το επίπεδο ολίσθησης ή η ζώνη πλαστικής ροής. Τέτοιες ολισθήσεις παρατηρούνται στα κορυφαία ράχων (σχ.1 η)

Επίσης πλευρικές εξαπλώσεις μπορεί να παρατηρηθούν με την ολίσθηση βραχωδών σχηματισμών ή συνεκτικών εδαφών πάνω σε πλαστικές αργίλους που ρέουν ή λεπτόκοκκων άμμων και ιλύων που ρευστοποιούνται. Ο συνεκτικός σχηματισμός διαμελίζεται σε μεγάλα τεμάχια που κινούνται προς όλες τις διευθύνσεις, περιστρέφονται, βυθίζονται ή θρυμματίζονται και μεταβάλουν συνήθως την κίνησή τους σε ροή γαιών.

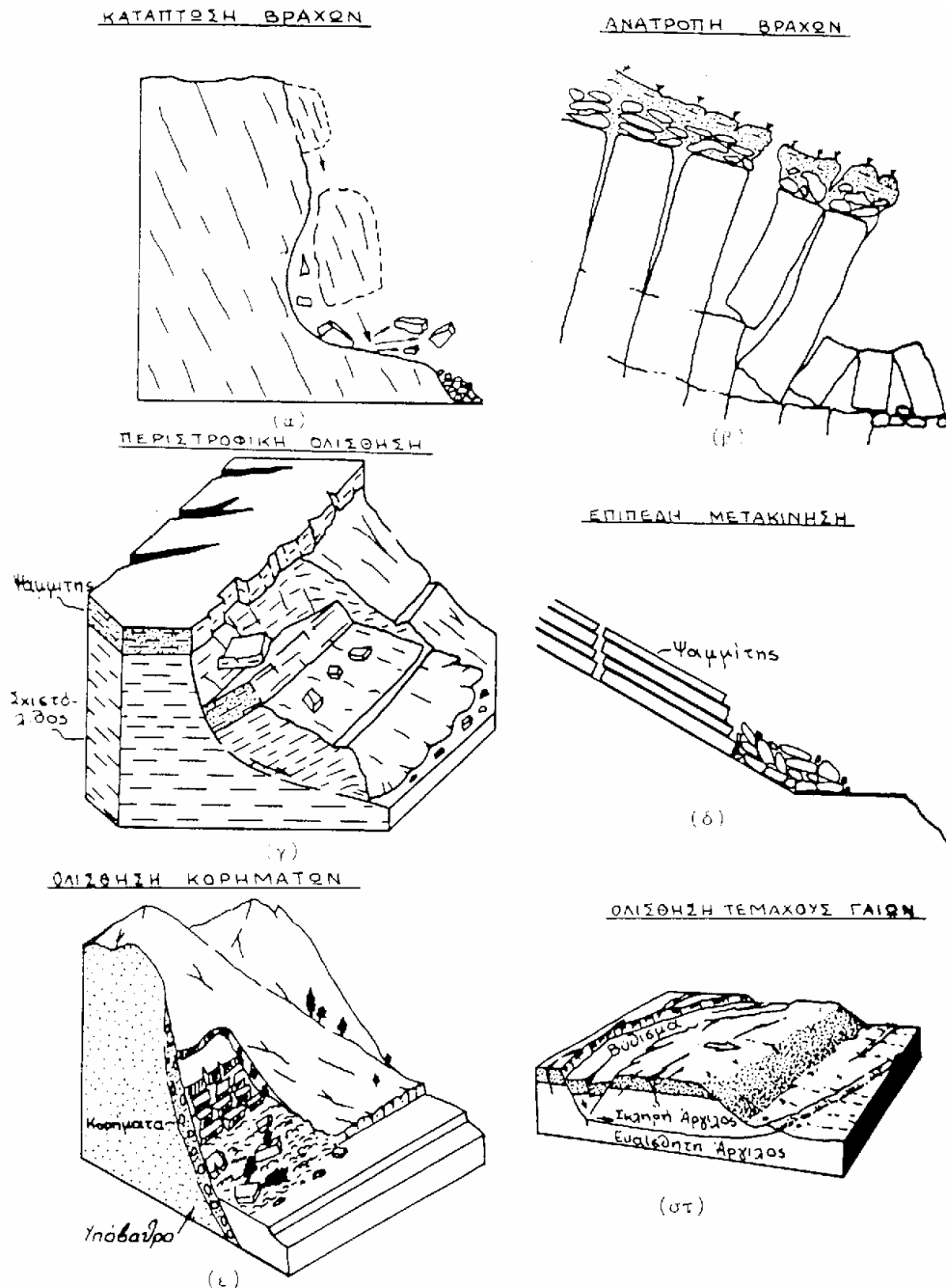
### **ΣΤ) Ροές**

Η λέξη ροή δεν αναφέρεται σε κίνηση μιας καθορισμένης μάζας πάνω σε κάποιο σταθερό υπόβαθρο, αλλά μάλλον στη συνεχή σχετική κίνηση των ίδιων των σωματιδίων που αποτελούν την κινούμενη μάζα, πάνω σε μια άλλη σταθερή (σχ.1 στ).

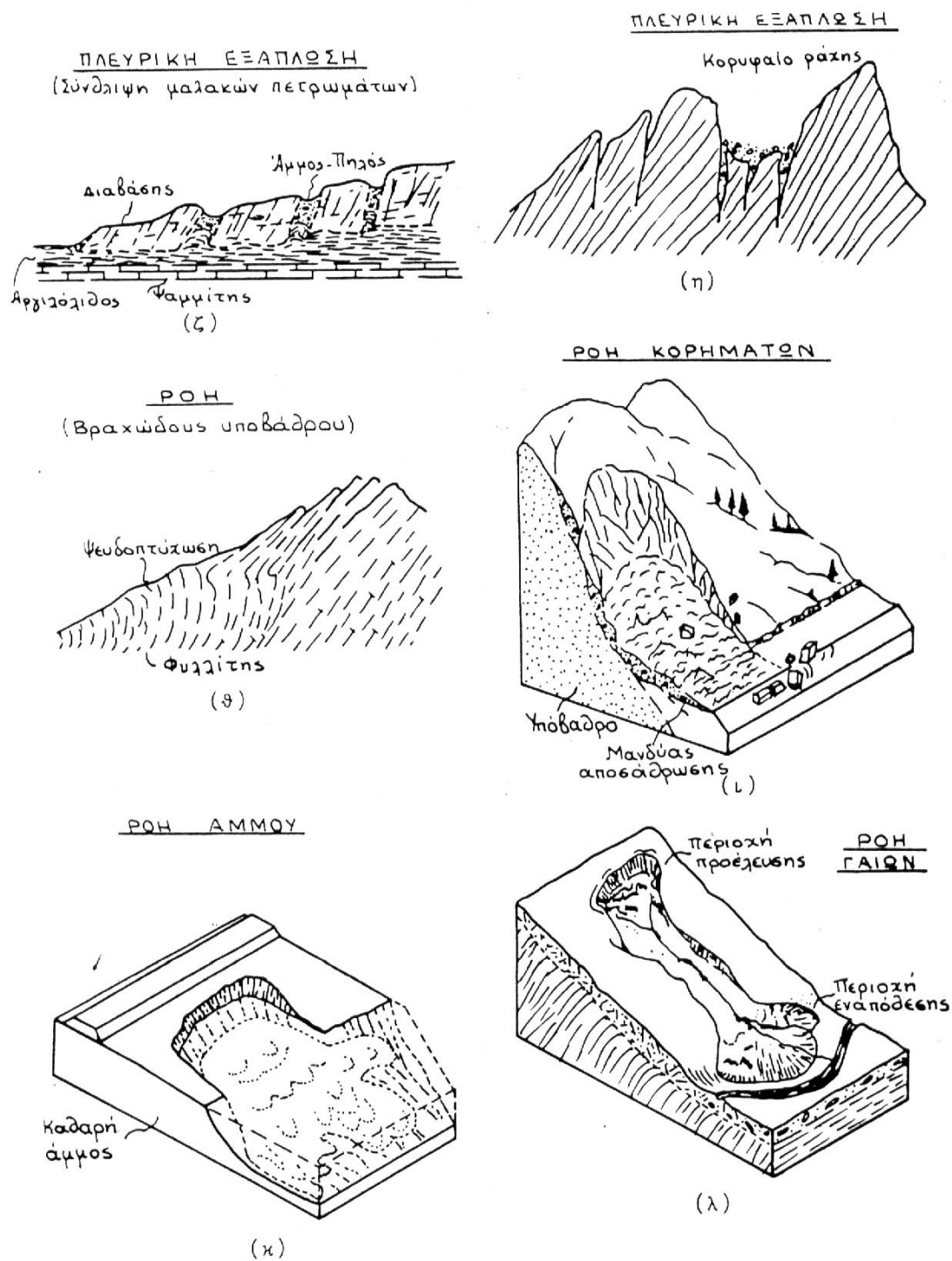
Η κατανομή της ταχύτητας των σωματιδίων της κινούμενης μάζας προσομοιάζει, στις περισσότερες των περιπτώσεων, μ' αυτή ενός ιξώδους ρευστού που υφίσταται ροή. Η κίνηση αυτή πολλές φορές έχει ονομαστεί «ερπυσμός» αλλά ο μηχανισμός αυτός που υπακούει σε φυσικούς νόμους και που παρατηρείται στη μηχανική των υλικών (όπως και των εδαφών και βράχων) δεν περιορίζεται μόνο στις ροές.

Η ροή στους βραχώδεις σχηματισμούς που είναι κερματισμένοι, φυλλώδεις, ή λεπτοστρωματώδεις μπορεί να εκδηλωθεί με την μετακίνηση,

και σε μερικές περιπτώσεις ψευδοπτύχωση των ανώτερων επιφανειακών στρωμάτων χωρίς η ζώνη ροής να μπορεί να εντοπισθεί εύκολα (σχ. 1 θ). Η ταχύτητα κινήσεως είναι εξαιρετικά μικρή. Αντίθετα, στους εδαφικούς σχηματισμούς η ροή μπορεί να εντοπιστεί πιο εύκολα.



**Σχ. 1 (α) :** Είδη κατολισθήσεων : α) κατάπτωση βράχων, β) ανατροπή βράχων, γ) περιστροφική ολίσθηση, δ) επίπεδη μετακίνηση, ε) ολίσθηση κορημάτων, στ) ολίσθηση τεμάχους γαιών. (Τσιαμπάος, 1991, τροποποιημένο από Varnes, 1980)

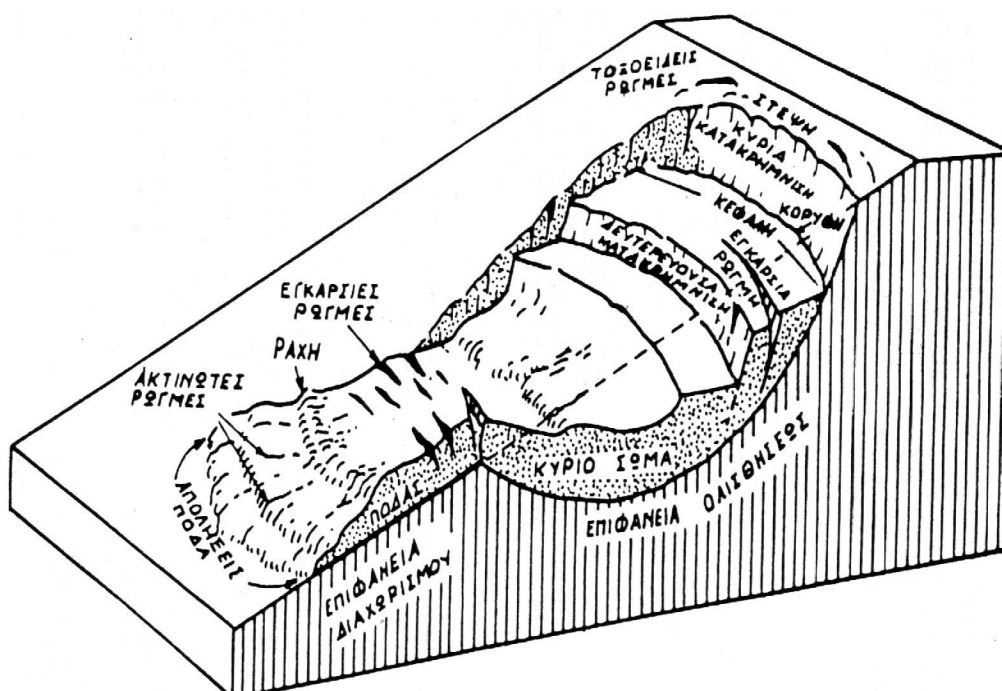


**Σχ. 1 (β) :** Είδη κατολισθήσεων : ζ) πλευρική εξάπλωση, η) πλευρική εξάπλωση, θ) ροή, ι) ροή κορημάτων, κ) ροή άμμου, λ) ροή γαιών. (Τσιαμπάος, 1991, τροποποιημένο από Varnes, 1980)

Ροή γαιών (άμμου, ιλύος ή αργίλου) μπορούν να γίνουν κάτω από διάφορες συνθήκες περιεχόμενης υγρασίας και με ταχύτητα από εξαιρετικά μεγάλη μέχρι εξαιρετικά μικρή (σχ. 1 κ,λ). Το ίδιο μπορεί να παρατηρηθεί και στα πλευρικά κορήματα των ορεινών περιοχών (σχ.1 ι).

## Ζ) Σύνθετες κινήσεις

Περιλαμβάνουν περισσότερους του ενός τύπου κινήσεις. Συνήθως ένας τύπος κίνησης μετατρέπεται τοπικά σε κάποιον άλλον τύπο ή συμβάλλει στη δημιουργία κίνησης διαφορετικού τύπου. (Τσιαμπάος, 1991)



Σχ. 2 : Περιστροφική ολίσθηση (μορφολογία και ορολογία). (Τσιαμπάος, 1991, τροποποιημένο από Varnes, 1980)

## 2.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Όταν εκτιμάται η πιθανότητα να εκδηλωθούν κατολισθήσεις κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και σε μια συγκεκριμένη περιοχή, η αναγνώριση των συνθηκών που προκάλεσαν την αστάθεια της πλαγιάς (slope) και των διεργασιών που προκάλεσαν την εκκίνηση της κίνησης είναι πολύ σημαντική. Οι παράγοντες (factors) που καθορίζουν την πιθανότητα κατολίσθησης για μια συγκεκριμένη πλαγιά ή περιοχή μπορούν να

ομαδοποιηθούν σε δυο κατηγορίες : 1) οι προπαρασκευαστικές μεταβλητές (preparatory variables), οι οποίες καθιστούν την πλαγιά επιδεκτική σε ολίσθηση (failure) χωρίς στην πραγματικότητα να ξεκινήσουν το φαινόμενο, και γι' αυτό τείνουν να επιφέρουν στην πλαγιά μια οριακά σταθερή κατάσταση (marginally stable state), όπως η λιθολογία, η κλίση και ο προσανατολισμός της πλαγιάς (slope gradient and aspect), το υψόμετρο (elevation), οι εδαφικές γεωτεχνικές ιδιότητες (soil geotechnical properties), η φυτοκάλυψη (vegetation cover), η διάταξη του υδρογραφικού δικτύου (drainage patterns) και η διάβρωση (weathering) και 2) οι μεταβλητές εκκίνησης του φαινομένου (triggering variables), οι οποίες μεταβάλλουν την κατάσταση της πλαγιάς από σταθερή (stable) σε ασταθή (unstable) και γι' αυτό προκαλούν την αποκόλληση (κατολίσθηση) (failure) σε μια περιοχή δεδομένης επιδεκτικότητας, όπως η ισχυρή βροχόπτωση και οι σεισμοί (Dai F.C., et al., 2001, από Wu and Sidle, 1995). Προφανώς, η πιθανότητα κατολίσθησης εξαρτάται τόσο από τις προπαρασκευαστικές μεταβλητές όσο και από τις μεταβλητές εκκίνησης. Όμως, οι μεταβλητές (παράγοντες) εκκίνησης μπορούν να αλλάξουν μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα και γι' αυτό το λόγο είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Αν οι μεταβλητές εκκίνησης δεν ληφθούν υπόψη, ο όρος «επιδεκτικότητα» (susceptibility) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει την πιθανότητα να συμβεί ένα κατολισθητικό γεγονός (landslide event). Προς το παρόν, όταν γίνονται εκτιμήσεις της πιθανότητας για κατολίσθηση σε κλίμακα περιοχής (regional scale), μπορεί να είναι εφικτό να θεωρήσουμε την επιδεκτικότητα σε κατολισθήσεις (landslide susceptibility) ως την πιθανότητα της κατολίσθησης βασισμένη στην υπόθεση ότι οι μακροπρόθεσμες ιστορικές καταγραφές κατολισθήσεων (long-term landslide records) τείνουν να εξομαλύνουν (smooth-out) τη χωροχρονική επίδραση (spatio-temporal effect) των μεταβλητών εκκίνησης στην εκδήλωση του φαινομένου της κατολίσθησης (landslide occurrence). Για εκτιμήσεις μεγάλης κλίμακας, στις οποίες η εργασίες διεξάγονται σε σχετικά μικρές περιοχές ή σε συγκεκριμένες πλαγιές, η συλλογή δεδομένων σε αυτή την κλίμακα θα πρέπει να συσχετίζεται με τις ποσοτικές παραμέτρους (quantitative parameters) που χρειάζονται για την μοντελοποίηση της ευστάθειας της πλαγιάς (slope stability modeling). (Dai F.C., et al., 2001)

## **2.4 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (LANDSLIDE HAZARD MAPPING)**

Τα τελευταία 25 χρόνια, οι κυβερνήσεις (governments) και τα Ερευνητικά Ινστιτούτα (research institutions) επένδυσαν αρκετά στην εύρεση μεθόδων που αποσκοπούν στην εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων και στην προσπάθεια να παραχθούν χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν την κατανομή των ζωνών επικινδυνότητας των κατολισθήσεων (landslide hazard zonation). Έτσι, έχουν προταθεί αρκετές διαφορετικές μέθοδοι και τεχνικές, για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων. Παρατηρώντας τη σχετική βιβλιογραφία, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως λίγες ανασκοπήσεις (reviews) των εννοιών (concepts), των αρχών (principles), των τεχνικών και των μεθοδολογιών για τις κατολισθήσεις έχουν προταθεί (Guzzetti F., et al., 1997, από Cotechia, 1978, Carrara, 1983, Brabb, 1984, Crozier, 1984, Hansen, 1984, Varnes et al., 1984, Crozier, 1986, Einstein, 1988, Hartlen and Viberg, 1988, Mulder, 1991, van Westen, 1993, 1994). Επίσης, μεγάλη έκπληξη προκαλεί το γεγονός πως ελάχιστη δουλειά έχει γίνει όσον αφορά τη συστηματική σύγκριση των διάφορων τεχνικών, έτσι ώστε να μπορούν να περιγραφούν τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των προτεινόμενων μεθόδων (Guzzetti F., et al., 1997, από Carrara et al., 1992, 1995, van Westen, 1993). Επιπλέον, δεν έχουν συζητηθεί οι βασικές αρχές και οι υποθέσεις που θα αφορούν τις εκτιμήσεις (evaluation) του κινδύνου των κατολισθήσεων (Guzzetti F., et al., 1997 από Varnes et al., 1984, Carrara et al., 1995, Hutchinson, 1995). Ομοίως, λίγες προσπάθειες έχουν γίνει για να οριστεί ο κίνδυνος κατολίσθησης (landslide risk), εννοιολογικά ή λειτουργικά. (Guzzetti F., et al., 1997, από Yong et al., 1977, Ahlberg et al., 1988, Bernknopf et al., 1988, Brand, 1988, Carrara et al., 1991, Fell, 1994, Cruden and Fell, 1997). (Guzzetti F., et al., 1997)

Η πλειοψηφία των εργασιών (papers) ασχολείται με συγκεκριμένες προσπάθειες που έγιναν για την αξιολόγηση του κινδύνου των κατολισθήσεων σε περιορισμένες περιοχές (limited areas). Ελάχιστοι συγγραφείς αναφέρονται σε μακροχρόνια ερευνητικά προγράμματα (projects) που αφορούν την αξιολόγηση των συνθηκών της αστάθειας μιας πλαγιάς, και στον κίνδυνο που σχετίζεται με αυτές σε μεγάλες περιοχές. Αξιόλογες

προσπάθειες έχουν γίνει, για παράδειγμα : α) στο San Mateo County, CA, από Αμερικάνικη Γεωλογική Εταιρία (United States Geological Survey / U.S.G.S.) (Guzzetti F., et al., 1997, από Nilsen and Brabb, 1977, Brabb et al., 1978, Mark 1992, Brabb 1995), β) από την πρόταση που έγινε από το Γαλλικό Γραφείο Γεωλογικών και Ορυκτολογικών Ερευνών (French Bureau des Recherches Geologiques et Minieres) για μια γεωμορφολογικά βασισμένη εκτίμηση του κινδύνου των κατολισθήσεων (Guzzetti F., et al., 1997, από Humbert, 1976, 1977, Antoine, 1977, Delauney, 1981, Godefroy and Humbert, 1983, Leroi, 1996), και γ) από την εφαρμογή πολυμεταβλητών (multivariate) στατιστικών τεχνικών σε πιλοτικές περιοχές (pilot areas) στη Νότια και Κεντρική Ιταλία (Guzzetti F., et al., 1997, από Carrara, 1983, Carrara et al., 1991, 1995).

Προς το παρόν δεν υπάρχει συμφωνία ούτε για τις μεθόδους αλλά ούτε για το πλαίσιο της παραγωγής χαρτών φυσικών κινδύνων (hazard maps) (Guzzetti F., et al., 1997, από Brabb, 1984, Carrara, 1989, Nieto, 1989). Οι εννοιολογικές και οι λειτουργικές διαφορές περιλαμβάνουν : γενικά αποδεκτές υποθέσεις (underlying assumptions), τον τύπο της μονάδας χαρτογράφησης (mapping unit) που θα επιλέγεται για κάθε έρευνα (investigation) και οι τεχνικές και τα εργαλεία που θα ευνοούν την ανάλυση και την εκτίμηση (assessment) του κινδύνου. (Guzzetti F., et al., 1997)

### **3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

#### **3.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΥΛΙΚΑ**

Για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής :

1) Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και συγκεκριμένα τα φύλλα ΣΤΑΥΡΟΣ, ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ, ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ, ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ και ΛΟΥΤΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ (κλίμακα χάρτων 1 : 50.000, Γ.Υ.Σ., 1970, 1969, 1979, 1980).

2) Γεωλογικοί χάρτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), φύλλα ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ, ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ,, ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ και ΣΤΑΥΡΟΣ (κλίμακα 1 : 50.000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1974, 1984, 1970, 1978)

3) Δυο δορυφορικές εικόνες του σαρωτή ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) που βρίσκεται στον δορυφόρο Terra, σε ψηφιακή μορφή, αποτελούμενη από 15 φασματικές ζώνες, που αγοράστηκαν από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας για την παρούσα έρευνα. Η ημερομηνία λήψης των εικόνων ήταν 1 – 3 – 2003 και 11 – 10 – 2003.

Από τις δεκαπέντε (15) διαθέσιμες φασματικές ζώνες, χρησιμοποιήθηκαν οι δυο ζώνες του ανακλώμενου ορατού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή η φασματική ζώνη (Band) 1 (0,52 – 0,6  $\mu\text{m}$ ) και η φασματική ζώνη (Band) 2 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ) και η ανακλώμενη υπέρυθρη ζώνη (Band) 3 (0,76 – 0,86  $\mu\text{m}$ ), με διακριτική ικανότητα 15 m. Οι υπόλοιπες 12 φασματικές ζώνες δεν χρησιμοποιήθηκαν, καθώς η διακριτική τους ικανότητα, των 30 και 90 m, δεν ήταν ικανοποιητική για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση κατολισθητικών φαινομένων.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του Συστήματος επεξεργασίας εικόνας που αποτελείται από υπολογιστή Pentium 4, του Εργαστηρίου Εφαρμογών Τηλεπισκόπησης και GIS, του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας, με οθόνη 17”.

Στον υπολογιστή αυτό βρίσκονται εγκατεστημένα τα ακόλουθα προγράμματα :

A) Το λογισμικό (πρόγραμμα) ENVI της RSI, ver. 3.6 (2002), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων.

B) Το λογισμικό ArcGIS Desktop, ver. 8.3 (2002), και συγκεκριμένα το «πακέτο» λογισμικού ArcInfo, το οποίο είναι διαθέσιμο προς τους χρήστες του AFS (Andrew File System), ενός client-server υπολογιστικού συστήματος, το οποίο επιτρέπει την «εκ του μακρόθεν» πρόσβαση σε αρχεία και χρήση προγραμμάτων μέσω του συστήματος «πλωτών» αδειών.

Το πρόγραμμα ArcGIS, περιλαμβάνει τις παρακάτω εφαρμογές :



- 1) **ArcMap**. Αυτή η εφαρμογή καλύπτει όλες τις χαρτογραφικές εργασίες, όπως ψηφιοποίηση και διόρθωση δεδομένων, χαρτογραφία, χωρική ανάλυση, διαχείριση και εκτύπωση χαρτών.
- 2) **ArcCatalog**. Αυτή η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα της δημιουργίας, διαχείρισης, γρήγορης προεπισκόπησης και οργάνωσης των χωρικών δεδομένων και των δεδομένων υπό μορφή πινάκων.
- 3) **ArcToolbox**. Πρόκειται για μια «βιβλιοθήκη» προγραμμάτων και εργαλείων, που αφορούν την γεωεπεξεργασία (geoprocessing), τη μετατροπή των δεδομένων σε διάφορες μορφές, τον καθορισμό του προβολικού συστήματος των χαρτών κ.α.

Στο λογισμικό ArcGIS, περιέχονται επίσης οι παρακάτω προεκτάσεις (extensions) :

- a) **3D Analyst**. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα απεικόνισης και ανάλυσης τρισδιάστατων δεδομένων. Το 3D Analyst προσθέτει μια ειδικευμένη εφαρμογή τρισδιάστατης επισκόπησης (3D viewing application), το Arc Scene, δίνοντας νέες δυνατότητες στον ArcCatalog και στον ArcMap και επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διαχείριση των τρισδιάστατων δεδομένων (3D GIS data), την τρισδιάστατη ανάλυση (3D analysis) και τη διαχείριση τρισδιάστατων χαρακτηριστικών (3D features editing).
- b) **Spatial Analyst**. Το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιεί μια ποικιλία χωρικών πράξεων και υπολογισμών, βασισμένο σε GIS δεδομένα μορφής κανάβου (raster data). Χρησιμοποιείται για την απόσπαση πληροφοριών από προϋπάρχοντα δεδομένα και την εύρεση χωρικών σχέσεων μεταξύ επιπέδων πληροφοριών με βάση την κατανομή βαρών (weighted overlay) και την συνδυασμένη μοντελοποίηση (combinations modeling). (ESRI (a), (b) και (c), 2001)

### 3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων TERRA / ASTER αποσκοπεί στη βελτίωση της οπτικής πληροφορίας των εικόνων, με τελικό στόχο την απόσπαση όσο το δυνατόν περισσότερων, ποιοτικά και ποσοτικά, πληροφοριών και περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές, όπως : α) την ενίσχυση της

εικόνας (image enhancement), β) τους «λόγους φασματικών ζωνών» (band ratios), γ) την «ανάλυση κυρίων συνιστωσών» (principal component analysis / PCA), δ) τη χρησιμοποίηση φίλτρων και ε) τη σύνθεση ψευδοέγχρωμων εικόνων (False Color Composites, FCC) (Gupta R.P., 1991, Drury 1993, Sabins F., 1997).

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν όλες οι παραπάνω τεχνικές, αυτές όμως που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν η χρήση του «Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), οι λόγοι των φασματικών ζωνών και η «ανάλυση των κυρίων συνιστωσών» (PCA).

Για τη δημιουργία των GIS επιπέδων, ψηφιοποιήθηκαν δεδομένα (επίπεδα πληροφοριών) από τους γεωλογικούς και τοπογραφικούς χάρτες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα επίπεδα πληροφοριών που αξιοποιήθηκαν ήταν τα εξής :

- a) Ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 20 m
- b) Υδρογραφικό δίκτυο των περιοχών μελέτης
- c) Γεωλογικοί σχηματισμοί
- d) Χάρτης χρήσεων γης
- e) Ακτογραμμή των περιοχών μελέτης

Τα επίπεδα αυτά πληροφοριών συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους προκειμένου να δημιουργηθούν διάφοροι θεματικοί χάρτες. Ακόμη, συνδυάστηκαν με τις δορυφορικές εικόνες και την εργασία υπαίθρου που ακολούθησε και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χάρτη επιδεκτικότητας των πετρωμάτων στις κατολισθήσεις.

Για τον ακριβή προσδιορισμό του τρισδιάστατου στίγματος (γεωγραφικές συντεταγμένες και ύψος) κατά τη διάρκεια της εργασίας υπαίθρου, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης GPS (Global Positioning System). Η συσκευή GPS που χρησιμοποιήθηκε ήταν η συσκευή «eMap» της εταιρίας GARMIN, με ενσωματωμένο τοπογραφικό χάρτη της Ελλάδας και δυνατότητα λήψης σήματος από δώδεκα παράλληλα κανάλια (12 parallel channel GPS receiver with built-in basemap / Atlantic version).

## 4. ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Από την παράκτια περιοχή Στρυμονικού Κόλπου – Καβάλας, οι περιοχές που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, όσον αφορά την εκδήλωση φαινομένων κατολίσθησης, είναι δύο.

**A.** Η παράκτια περιοχή μεταξύ των εκβολών του ποταμού Χαλικόρρεμα και Λουτρών Ελευθερών (σχ.3 και σχ. 4), η οποία περικλείεται εντός των ακόλουθων γεωγραφικών συντεταγμένων :

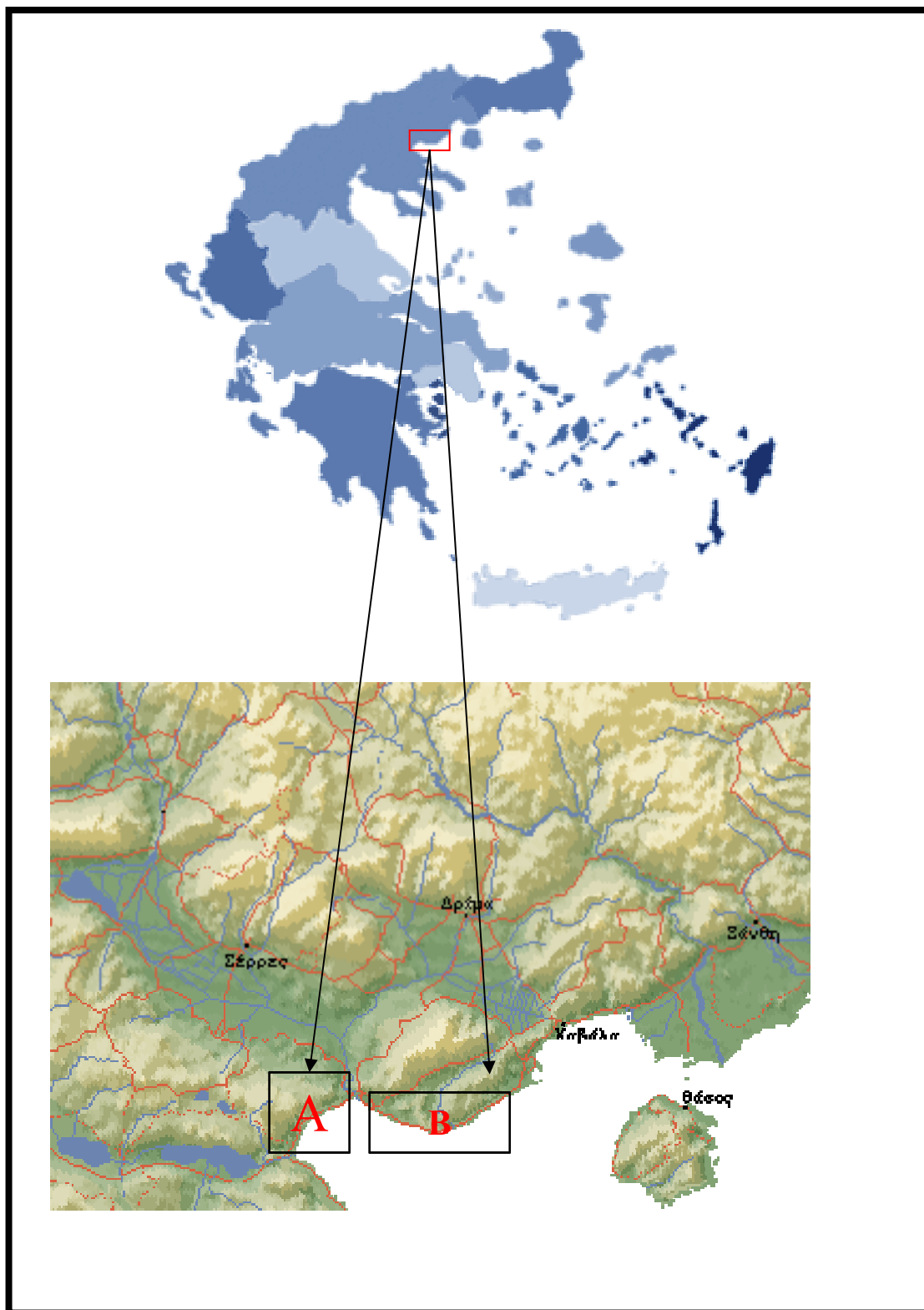
|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος   | 40° 42' 55" - 40° 44' 56" |
| Ανατολικό Γεωγραφικό Μήκος | 24° 0' 10" - 24° 7' 6"    |

**B.** Η παράκτια περιοχή μεταξύ Ασπροβάλτας και εκβολών του ποταμού Στρυμόνα (σχ.3 και σχ.5), η οποία περικλείεται εντός των ακόλουθων γεωγραφικών συντεταγμένων :

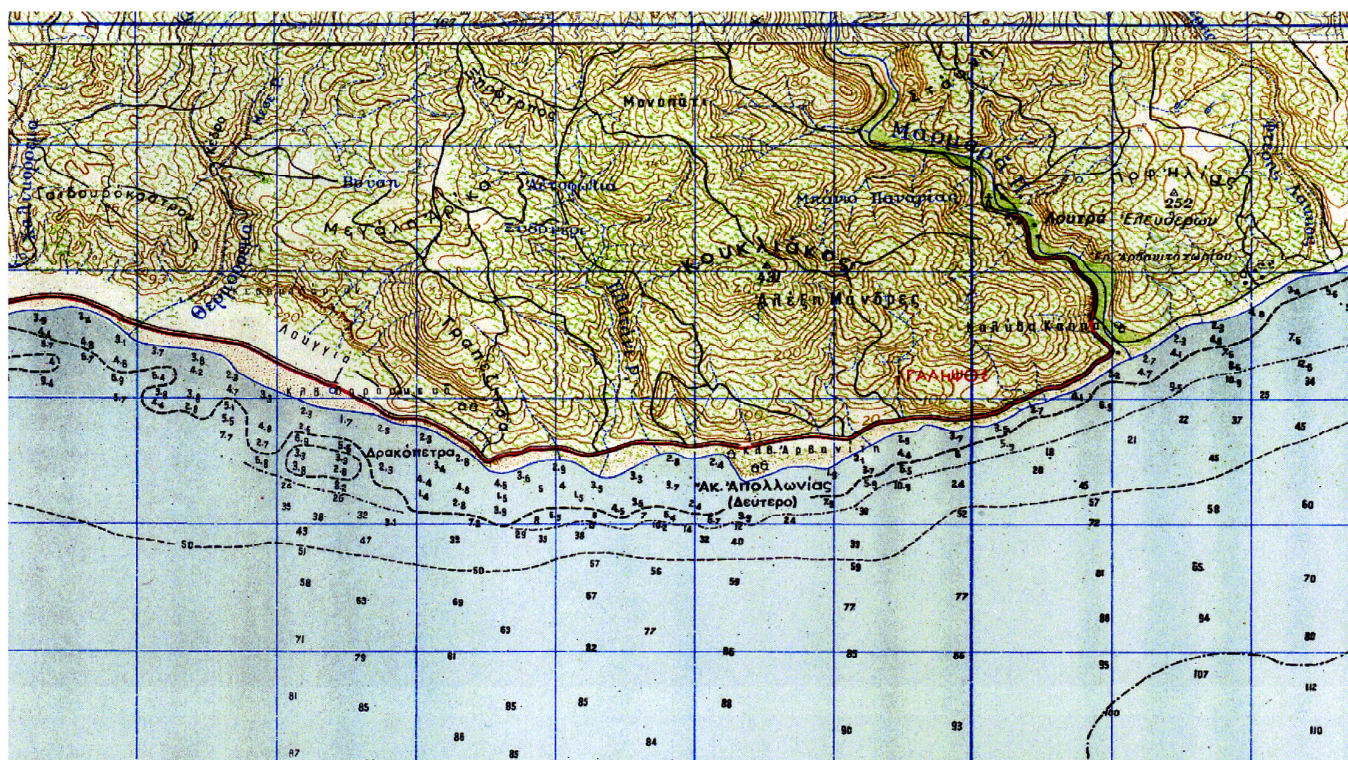
|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος   | 40° 42' 46" - 40° 48' 43" |
| Ανατολικό Γεωγραφικό Μήκος | 23° 41' 9" - 23° 52' 22"  |

### 4.2 ΚΛΙΜΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

**A.** Για την περιοχή μελέτης των Λουτρών Ελευθερών χρησιμοποιήθηκαν κλιματολογικά στοιχεία από το τεύχος έκθεσης της γεωλογικής μελέτης της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ Α.Ε. με τίτλο : «Έργο : Τμήμα Εγνατίας από ποταμό Στρυμόνα έως Νέα Πέραμο».

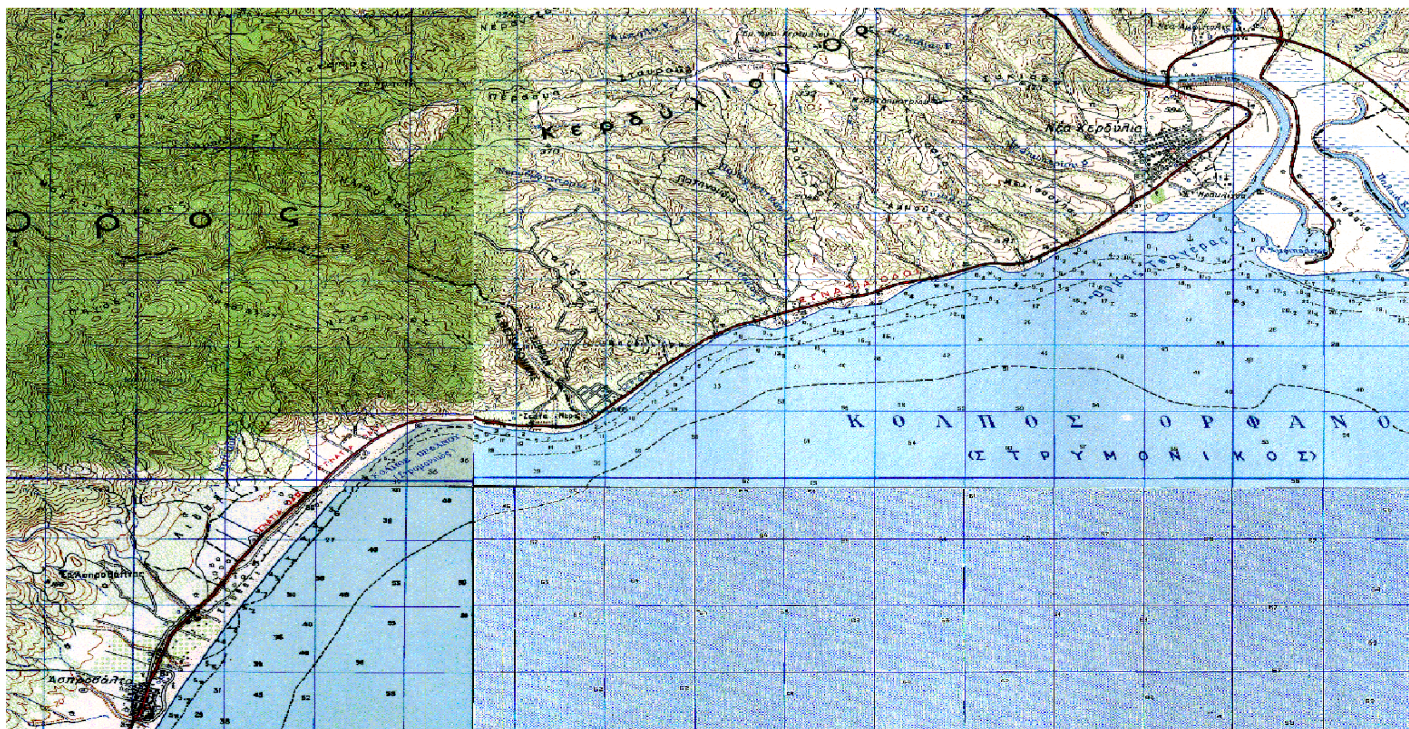


**Σχ.3 :** Σκαρίφημα στο οποίο απεικονίζονται οι περιοχές Α) Ασπροβάλτας – Στρυμόνα και Β) Λουτρά Ελευθερών. (τροποποιημένο από World Health Organisation, 2004)



**Σχ.4 :** Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών (φύλλο Γ.Υ.Σ., ΛΟΥΤΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ, κλίμακα 1:50.000)





**Σχ. 5 :** Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής Ασπροβάτας – Στρυμόνα (σύνθεση φύλλων Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, ΣΤΑΥΡΟΣ, ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ, ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ,ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ).

Το κλίμα της περιοχής, κατά τον KOEPPEN (από Λιβαδά, 1976), είναι μεσόθερμος τύπος Csa, με τιμές ψυχρότερου μήνα (Ιανουαρίου από  $-2^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $+18^{\circ}\text{C}$ , ενώ η θερμοκρασία θερμότερου μήνα (Ιουλίου – Αυγούστου) είναι μεγαλύτερη από  $+22^{\circ}\text{C}$ . Το κλίμα βασικά θεωρείται Μεσογειακό ή Μεσόθερμο με ξηρό και θερμό καλοκαίρι. Ακόμη, παρατηρείται μέσο βροχομετρικό ύψος της θερμής περιόδου μικρότερο από 30 mm, ενώ βροχερή και ψυχρή περίοδος συμπίπτουν.

Το ποσοστό των νηνεμιών της περιοχής κυμαίνεται γύρω στο 10-20%, ενώ οι διευθύνσεις των ανέμων που βασικά επικρατούν είναι κατά το πλείστον νότιοι και ανατολικοί.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου  $+15^{\circ}\text{C}$  με ψυχρότερο μήνα τον Ιανουάριο και θερμότερο μήνα τον Ιούλιο. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος κυμαίνεται γύρω στους  $21^{\circ}\text{C}$ .

Το μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος ανέρχεται σε περίπου 490 mm. Οι μέρες χιονιού είναι περίπου 2-5 μέρες. (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε., 1993)

**Β.** Για την περιοχή Ασπροβάλτα – Στρυμόνα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού των Σερρών, επειδή θεωρήθηκε ότι είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός για την περιοχή μελέτης. Σύμφωνα με αυτά, το κλίμα της περιοχής, κατά τον KOEPPEN, είναι μεσόθερμου τύπου Csa και συνεπώς χαρακτηρίζεται από θερμό και ξηρό καλοκαίρι, ενώ ο χειμώνας είναι υγρός και ήπιος.

Σύμφωνα με κλιματολογικά στοιχεία των χρονικών περιόδων 1931- 1940 και 1959 – 1975, τα οποία θεωρούνται αντιπροσωπευτικά της περιοχής, η μέση θερμοκρασία είναι  $17,3^{\circ}\text{C}$ , ο ψυχρότερος μήνας (Ιανουάριος) έχει μέση θερμοκρασία  $4^{\circ}\text{C}$  και ο θερμότερος  $26,8^{\circ}\text{C}$  (Ιούλιος). Ο Αύγουστος είναι ο ξηρότερος μήνας του καλοκαιριού με μέσο ύψος βροχοπτώσεων 19.9 mm, ενώ, από την άλλη, ο Δεκέμβριος είναι ο υγρότερος μήνας του χειμώνα με μέσο ύψος βροχοπτώσεων 75 mm. Το μέσο συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων στην περιοχή μελέτης ανέρχεται σε 554,2 mm.

## 5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 5.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ.

Σύμφωνα α) με τον γεωλογικό χάρτη που εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ίδρυμα Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 1974, βασισμένο στη γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε στην περιοχή από τον Δρ. P. Kromberg, κατά τα έτη 1962 – 1964, τον P.F. Schenck, κατά τα έτη 1969 – 1970, και τον Δρ. Ν. Μελιδώνη, κατά το έτος 1964, και β) τη γεωλογική μελέτη της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ Α.Ε., για το τμήμα της Εγνατίας από τον ποταμό Στρυμόνα ως τη Ν. Πέραμο, στην περιοχή μελέτης απαντούν οι ακόλουθοι σχηματισμοί (χάρτης 1) :

- **Γρανίτης.** Πρόκειται για γρανοδιορίτες που είναι υποκείμενοι των ορέων Παγγαίο και Σύμβολο (γρανίτης Παγγαίου και Συμβόλου ή Καβάλας). Κύρια ορυκτά είναι : καλιούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστα, χαλαζίας, βιοτίτης και κερυστίλβη.
- **Μάρμαρα.** Φτωχά στρωμένα ή συμπαγή λευκά μάρμαρα τα οποία θεωρούνται ότι προέρχονται από υφαλογενείς ασβεστόλιθους. Επίσης, καλά ή λεπτά στρωμένα ανοιχτού ή σκοτεινού τεφρού χρώματος, συχνά ταινιωτά μάρμαρα σε στρώματα και φακούς. Τα ταινιωτά τεφρά μάρμαρα συναντώνται στη μεταβατική ζώνη των μαρμάρων προς τους μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους και γνευσίους με ποικίλο ποσοστό σε χαλαζία, μαρμαρυγία και αλβίτη.
- **Θαλάσσιες και υφάλμυρες αποθέσεις του Τριτογενούς.** Νοτιοδυτικά του όρους Σύμβολο ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από: ψαμμίτες και μάργες θαλάσσιου περιβάλλοντος.
- **Θαλάσσια φάση του Πλειστόκαινου.** Αποτελείται από άργιλο, ψαμμίτη, κροκαλοπαγή και ασβεστολιθικούς τόφφους, επικλυσιογενείς επί των πλειοκαινικών σχηματισμών.



- **Χερσαίες αποθέσεις του Τεταρτογενούς.** Αποτελούνται από ογκόλιθους, χαλαρά κροκαλοπαγή, κροκάλες, λεπτοκοκκώδες υλικό και ερυθρές άργιλους.

Οι παραπάνω λιθολογικοί σχηματισμοί, της περιοχής μελέτης των Λουτρών Ελευθερών, ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις (χάρτης 1 (β)). Η ταξινόμηση έγινε σύμφωνα με τους Κούκη και Ζιούρκα (1989), οι οποίοι αξιολόγησαν την επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών του ελληνικού χώρου στις κατολισθήσεις.

Από τεκτονικής άποψης, η περιοχή των Λουτρών Ελευθερών ανήκει στη μάζα της Ροδόπης, η οποία συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τα οποία έχουν υποστεί την επίδραση των Αλπικών ορογενετικών διεργασιών. Συγκεκριμένα, ανήκει στην κατώτερη «ενότητα του Παγγαίου» που καταλαμβάνει τη δυτική, νοτιοδυτική Ροδόπη (Μουντράκης 1985, από Pananikolaou & Panagoroulos 1981). Η ενότητα αυτή είναι αρκετά τεκτονισμένη λόγω της εφίππευσης, πάνω σε αυτή, της ενότητας του Σιδηρόνερου (περιοχή ελληνοβουλγαρικών συνόρων) από Βορρά.

Η ενότητα του Σιδηρόνερου εφίππεύει την ενότητα Παγγαίου από Βορρά προς Νότο κατά μήκος μιας μεγάλου μήκους τεκτονικής γραμμής γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ (περίπου 110°). (Μουντράκης, 1985)

## **5.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ – ΣΤΡΥΜΟΝΑ.**

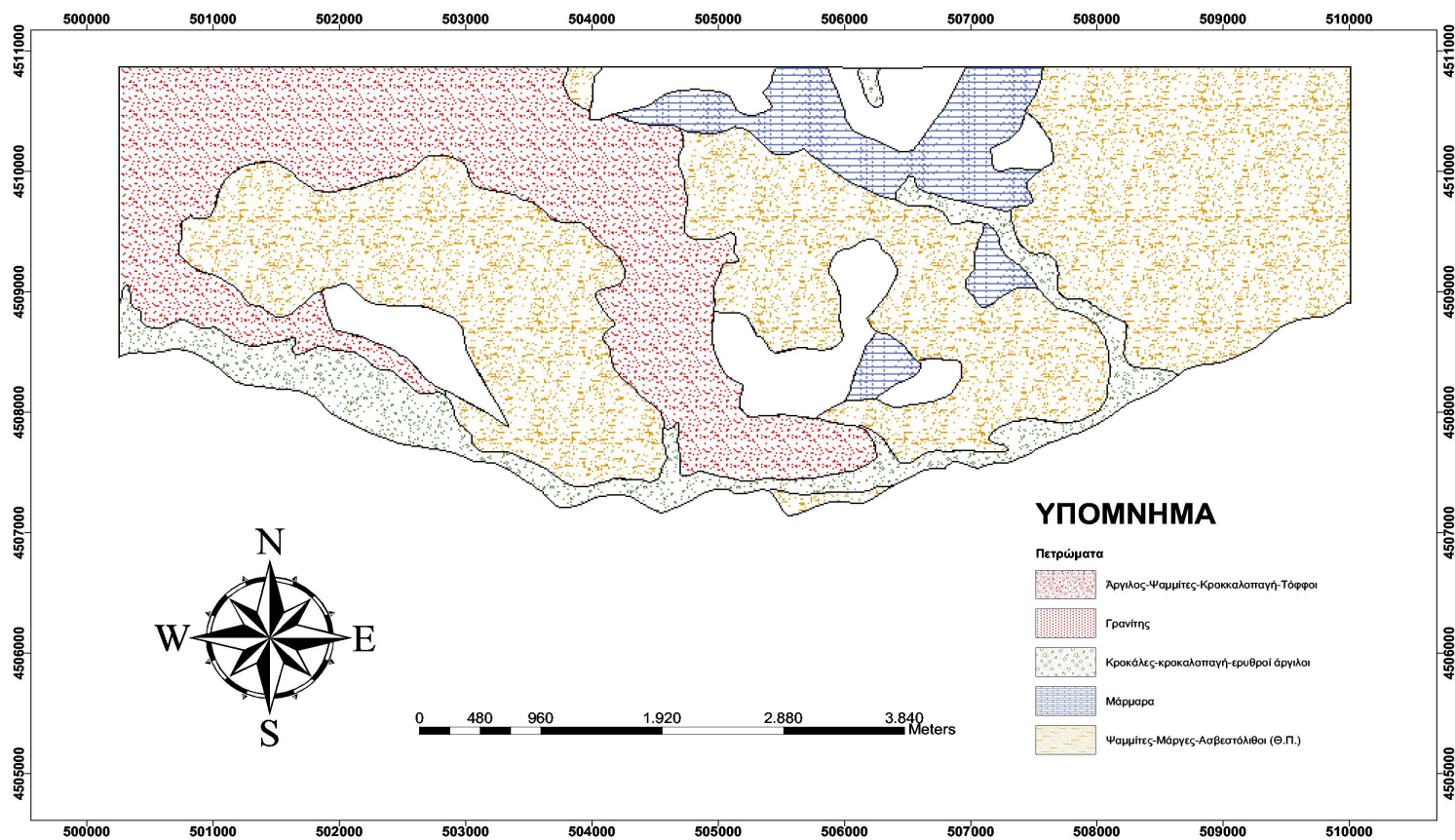
Σύμφωνα με : α) το γεωλογικό χάρτη που εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ίδρυμα Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 1970, για την περιοχή του Σιτοχωρίου, βασισμένο στη γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε από τον H. W. Walther, τον F. Kockel, τον A. Leube, τον H. Korber και τον G. Lutig, κατά τα έτη 1962 – 1963, β) το γεωλογικό χάρτη που εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ίδρυμα Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 1978, για την περιοχή του Σταυρού, βασισμένο στη γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε

από τον F. Kockel, τον H. W. Walther, τον H. Mollat, τον Αντωνιάδη Π. και τον Ιωαννίδη Π., κατά τα έτη 1963 – 1970, γ) το γεωλογικό χάρτη που εκδόθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ίδρυμα Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 1984, για την περιοχή του Ροδολίβου, βασισμένο στη γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε από τον Δρ. Σ. Ξυδά, κατά τα έτη 1977 – 1978 και δ) τις γεωλογικές μελέτες της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ Α.Ε. για το τμήμα Ασπροβάλτα – Στρυμόνας, στην περιοχή μελέτης συναντώνται οι ακόλουθοι σχηματισμοί (χάρτης 2) :

#### **Τεταρτογενείς αποθέσεις**

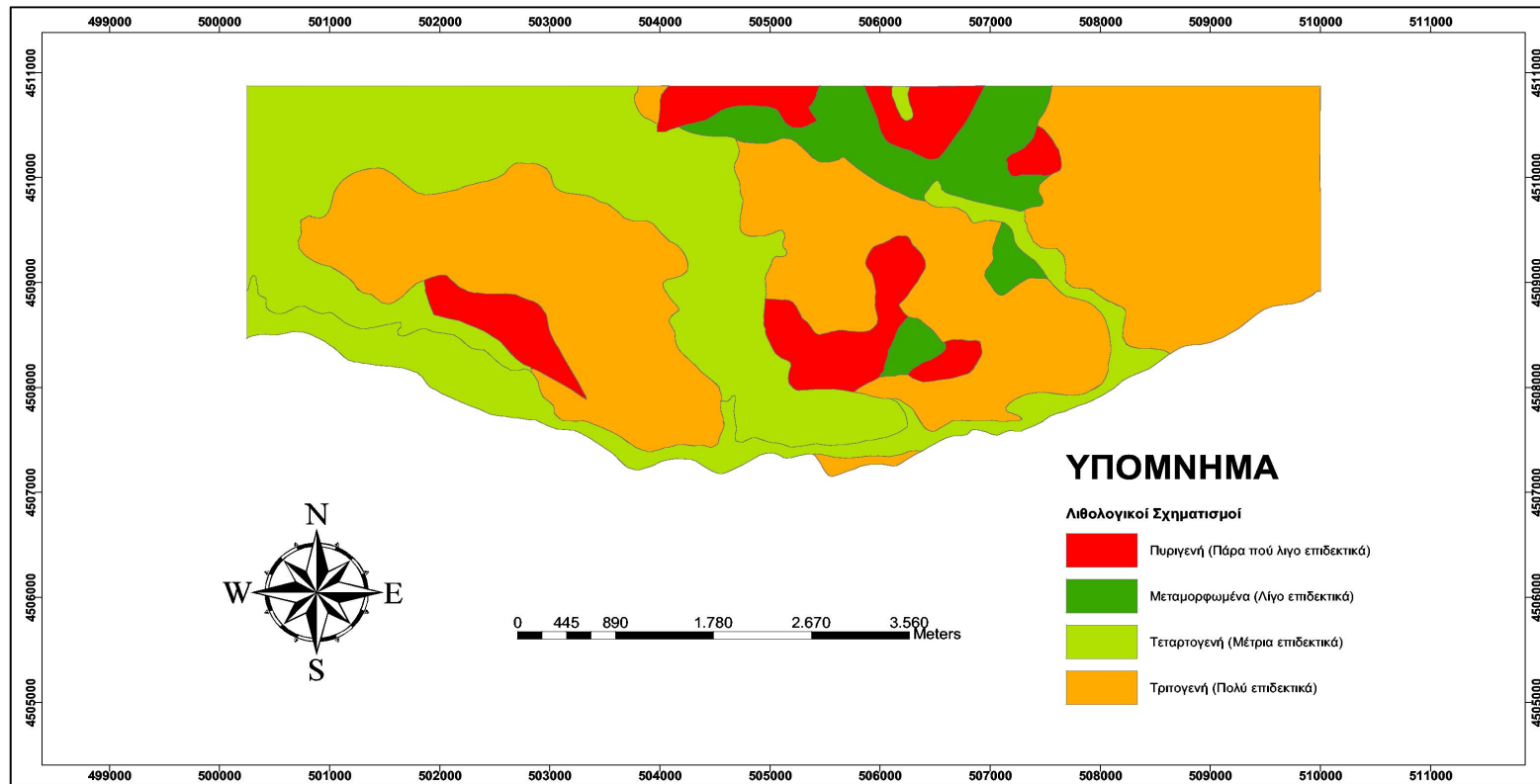
- **Σύγχρονες δελταϊκές προσχώσεις του ποταμού Στρυμόνα.** Αποτελούνται από άμμους και αμμοχάλικα.
- **Σύγχρονες προσχώσεις.** Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από ασύνδετα, κυρίως, υλικά από αμμοχάλικα και κροκάλες στις κοίτες των ποταμών χειμάρρων και ρευμάτων.
- **Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις.** Ο σχηματισμός αυτός ανατολικά του Στρυμονικού Δέλτα αποτελείται κυρίως από άμμους και χαλίκια, ενώ δυτικά του δέλτα αυτού αποτελείται κυρίως από κροκάλες και χαλίκια.
- **Ριπίδια στις εκβολές των ρεμάτων που διασχίζουν τους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς.** Αποτελούνται από αμμοχάλικα και κροκάλες με φακούς χαλαρών κροκαλοπαγών.
- **Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων.** Στις περιοχές του κρυσταλλοσχιστώδους αποτελείται από κροκάλες, άμμους και ογκόλιθους, ενώ στις περιοχές των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών, από αμμοχάλικα και κροκάλες.
- **Ριπίδια στις εκβολές των ρεμάτων που διασχίζουν το κρυσταλλοσχιστώδες.** Ογκόλιθοι, κροκάλες, χαλίκια και άμμοι.
- **Ιζήματα λιμνοθάλασσας.** Άμμοι και αμμούχοι άργιλοι.
- **Πλευρικά κορήματα.** Πηλοί και πηλώδη υπολείμματα.
- **Πλειστικαινικές αδιαίρετες αποθέσεις.** Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων, συγκολλημένα πλευρικά κορήματα, κυρίως ερυθρού χρώματος και τεμαχισμένοι κώνοι κορημάτων.

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



**Χάρτης 1 :** Γεωλογικός χάρτης των Λουτρών Ελευθερών (βασισμένος στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, φύλλο ΝΙΚΙΣΙΑΝΗ, 1974).

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ  
ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ**



**Χάρτης 1 (β) :** Λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης των Λουτρών Ελευθερών, ομαδοποιημένοι ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις, σύμφωνα με τους Κούκη και Ζιούρκα (1989).

## Νεογενείς αποθέσεις

- **Αποθέσεις θαλάσσιες μέχρι υφάλμυρες (άμμοι και άργιλοι).**  
Εναλλαγές άμμων σε στρώσεις, με πρασινότεφρες αργίλους του ίδιου πάχους. Κατά θέσεις εκτεταμένοι φακοί ψαμμιτών, κροκαλοπαγών, αμμούχων μαργών και λευκής μικροκρυσταλλικής γύψου.
- **Αποθέσεις θαλάσσιες μέχρι υφάλμυρες (άμμοι και μάργες).**  
Εναλλαγές άμμων κυρίως χονδρόκοκκων και καλά διαβαθμισμένων με χαρακτηριστικές στρώσεις πρασινότεφρων μαργών. Συχνά παρατηρείται πλευρική μετάπτωση των μαργών σε αργίλους εμπλουτισμένες με οξειδία του σιδήρου. Κατά θέσεις υπάρχουν παρεμβολές ψαμμιτών ή μικροκροκαλοπαγών.
- **Αποθέσεις χερσαίες.** Αποτελούνται από αδιαβάθμητα υλικά, όπως κροκάλες, χάλικια, μικροκροκαλοπαγή και ογκόλιθους με φακούς από χονδροκροκαλοπαγή, αμμούχες μάργες και ασβεστιτικούς τόφφους.
- **Αποθέσεις λιμναίες έως ποταμολιμναίες (άμμοι).** Πρόκειται για άμμο χονδρόκοκκη σε στρώσεις πάχους μερικών μέτρων, με διάσπαρτες κροκάλες. Κατά θέσεις με παρεμβολές κροκαλοπαγών, καθώς και στρώσεων αμμούχας ερυθρογής με διάσπαρτες κροκάλες και φακούς κροκαλοπαγών.
- **Θαλάσσιες αποθέσεις (εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστολίθων, ασβεστιτικών ψαμμιτών).** Το χρώμα τους είναι κυρίως κυανότεφρο και η στρώση τους δεν είναι ιδιαίτερα ευκρινής. Παρεμβάλλονται στρώσεις χονδρόκοκκων ασβεστιτικών άμμων και αμμούχων μαργών. Στα κατώτερα στρώματα του σχηματισμού συχνά παρεμβάλλονται τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι.

**Οι σχηματισμοί του υποβάθρου αποτελούνται από :**

**A)** Γνεύσιους.

**B)** Μάρμαρα Κερδυλλίων.

**Γ)** Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι εναλλασσόμενοι με μαρμαρυγιακούς γνευσίους.

**Δ)** Πηγματιτοειδής γνεύσιοι.

- Ε)** Βιοτιτικοί γνεύσιοι.
- ΣΤ)** Ανατηξικοί-μιγματιτικοί γνεύσιοι.
- Ζ)** Αμφιβολίτες Κερδυλλίων.
- Η)** Γρανίτης.

Οι παραπάνω λιθολογικοί σχηματισμοί, της περιοχής μελέτης των Λουτρών Ελευθερών, ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις (χάρτης 2(β)). Η ταξινόμηση έγινε σύμφωνα με τους Κούκη και Ζιούρκα (1989), οι οποίοι αξιολόγησαν την επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών του ελληνικού χώρου στις κατολισθήσεις.

Από τεκτονικής άποψης, η περιοχή Ασπροβάλτα – Στρυμόνα ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα η οποία είναι μια μάζα κρυσταλλικών πετρωμάτων που έχει υποστεί επανειλημμένες τεκτονικές επιδράσεις μέχρι την τελική της διαμόρφωση. (Μουντράκης, 1985)

### **5.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ.**

Το ανάγλυφο της περιοχής Λουτρών Ελευθερών, όπως αυτό απεικονίζεται στους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 των φύλλων ΣΤΑΥΡΟΣ (1970), ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ (1980) και ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ (1978), της Γ.Υ.Σ, ανήκει στις λοφώδεις περιοχές.

| <b>Ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας</b> | <b>Χαρακτηρισμός</b> |
|--------------------------------------------|----------------------|
| < 150 m                                    | Πεδινές περιοχές     |
| 150 – 600 m                                | Λοφώδεις περιοχές    |
| 600 – 900 m                                | Ημιορεινές περιοχές  |
| > 900 m                                    | Ορεινές περιοχές     |

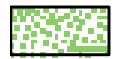
**Πίνακας 2 :** Ταξινόμηση του ανάγλυφου σύμφωνα με το ύψος του από την επιφάνεια της θάλασσας. (Dikau, 1989)

## ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗ 2

### Πετρώματα



Άμμοι και Αμμούχοι Άργιλοι



Άμμοι-Άργιλοι



Άμμοι-Μάργες



Αμφιβολίτες Κερδυλλίων



Ανατηξικοί-Μιγματιτικοί Γνεύσιοι



Βιοτιτικοί Γνεύσιοι



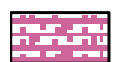
Γνεύσιος



Γρανίτης



Δελταϊκές προσχώσεις (Άμμοι-Αμμοχάλικα)



Εναλλαγές Μαργαϊκών Ασβεστ., Ασβεστιτικών Ψαμμιτών



Κατώτερο Σύστημα Αναβαθμίδων (Άμμοι-Κροκκάλες)



Κροκκάλες-Χαλίκια-Μικροκροκαλοπαγή-Ογκόλιθοι



Λιμναίες και Ποταμολιμναίες Αποθέσεις-Άμμοι



Μάρμαρα Κερδυλλίων



Μαρμαρυγιακοί Σχιστόλιθοι και Γνεύσιοι



Παράκτιες Αποθέσεις (Άμμοι-Χαλίκια-Κροκκάλες)



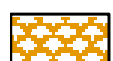
Πηγματιτοειδής Γνεύσιοι



Πλαγιοκλαστικός-Μικροκλινικός Γνεύσιος



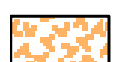
Πλειστοκαινικές Αποθέσεις Αδιαίρετες



Πλευρικά Κορήματα (Πηλοί)



Ριπίδια που διασχίζουν Νεογενείς και Τεταρτογενείς



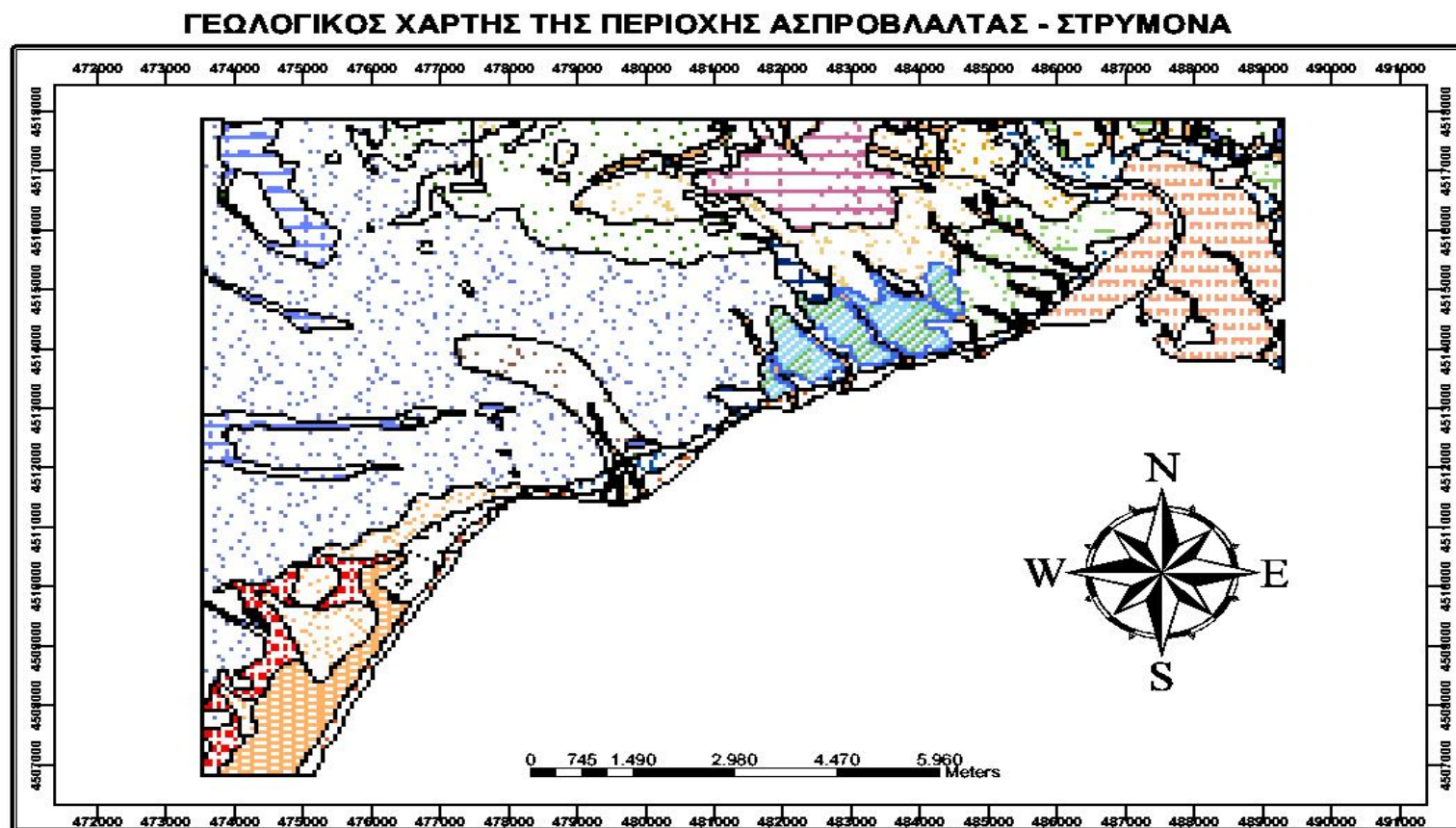
Ριπίδια που διασχίζουν το κρυσταλλοσχιστώδες



Σύγχρονες Παράκτιες Αποθέσεις



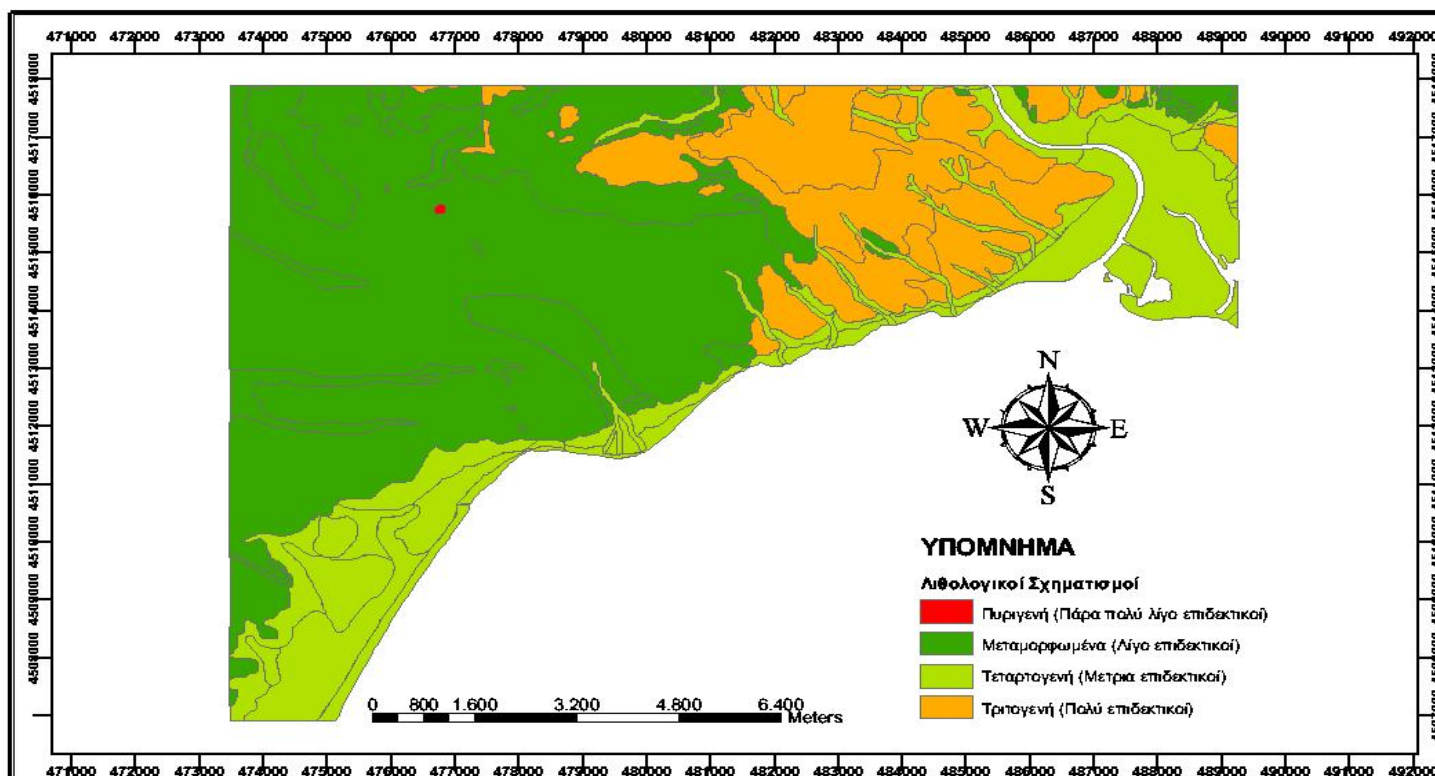
Σύγχρονες Προσχώσεις (Αμμοχάλικα-Κροκκάλες)



**Χάρτης 2 :** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα (βασισμένος στους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000, φύλλα ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ, 1984, ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ, 1970, ΣΤΑΥΡΟΣ 1978).



**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ  
ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ**



**Χάρτης 2 (β) :** Λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής Ασπροβάλτας - Στρυμόνα, ομαδοποιημένοι ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις, σύμφωνα με τους Κούκη και Ζιούρκα (1989).

Συγκεκριμένα, στην περιοχή μελέτης των Λουτρών Ελευθερών, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ο πρώτος σχηματισμός του ανάγλυφου που απαντά είναι ο λόφος Γαϊδουρόκαστρο, με μέγιστο υψόμετρο 136 m. Το ανάγλυφο στο τμήμα αυτό είναι αρκετά τραχύ με απότομες κλίσεις των πρανών. Στη συνέχεια το ανάγλυφο γίνεται περισσότερο τραχύ, καθώς πλησιάζουμε στο λόφο της Μεγάλης Αρίκας με μέγιστο υψόμετρο 322 m. Η ίδια εικόνα επικρατεί και στους επόμενους λόφους, της Τραπεζίτσας, με μέγιστο υψόμετρο 330 m, και του Κουκλιάκου, με μέγιστο υψόμετρο 437 m. Το ανάγλυφο παραμένει τραχύ με κλίσεις πρανών όλο και μεγαλύτερες, καθώς απομακρυνόμαστε από την ακτή. Στην περιοχή των Λουτρών Ελευθερών, όπου υπάρχει ο λόφος του Προφήτη Ηλία, με μέγιστο υψόμετρο 252 m, το ανάγλυφο γίνεται αισθητά ηπιότερο και οι κλίσεις των λόφων ελαττώνονται σημαντικά (σχ.4).

Σύμφωνα με τον Dikau (1989), το ανάγλυφο της ευρύτερης παράκτιας περιοχής των Λουτρών Ελευθερών χαρακτηρίζεται ως λοφώδες (Πίνακας 2), γιατί το υψόμετρο, σε απόσταση 2 έως 2,5 km από την ακτή, δεν υπερβαίνει τα 500 m.

Στην περιοχή υπάρχουν αρκετά ρέματα, που στην πλειοψηφία τους είναι περιοδικής ροής. Αυτά, συμμετέχοντας στις διεργασίες διάβρωσης – απόθεσης, συμβάλουν στη συνολική διαμόρφωση του ανάγλυφου. Εντονότερη είναι η επίδραση του ποταμού Μαρμαρά στο ανάγλυφο, καθώς δημιουργεί στην πορεία του απότομες κλιτύες, όπου η παρουσία της χαραδρωτικής διάβρωσης είναι έντονη.

#### **5.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ – ΣΤΡΥΜΟΝΑ.**

Το ανάγλυφο της παράκτιας περιοχής Ασπροβάλτα - Στρυμόνα, όπως αυτό απεικονίζεται στους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 των φύλλων : ΛΟΥΤΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ (1980) και ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ (1969), της Γ.Υ.Σ., ανήκει στις λοφώδεις περιοχές.

Στην περιοχή της Ασπροβάλτας, το ανάγλυφο είναι ήπιο και τα πρανά έχουν μικρές κλίσεις, καθώς το υψόμετρο του ανάγλυφου στην περιοχή αυτή δεν ξεπερνά τα 300 m σε απόσταση 2 έως 2,5 km από την ακτή. Στη

συνέχεια, ανατολικά, καθώς κατευθυνόμαστε προς τις εκβολές του ποταμού Στρυμόνα, το ανάγλυφο αλλάζει αισθητά. Συγκεκριμένα, προσεγγίζοντας το λόφο του Νερόμυλου, με μέγιστο υψόμετρο 523 m, παρατηρούμε ότι το ανάγλυφο της περιοχής είναι περισσότερο τραχύ και οι κλίσεις των πρανών των λόφων της είναι περισσότερο απότομες. Στην περιοχή των Ζεστών Νερών υπάρχει πλάτωμα αρκετά μεγάλης έκτασης, βόρεια του οποίου το ανάγλυφο παραμένει, αν και χαμηλό με μέγιστο υψόμετρο που δεν ξεπερνά τα 300 m, απότομο, με κλίσεις πρανών που έχουν υψηλές τιμές. Το ανάγλυφο παρουσιάζει την ίδια εικόνα και στην περιοχή της Βαζόπετρας, αφού και εκεί το ανάγλυφο παραμένει χαμηλό με απότομες κλίσεις των πρανών. Το υψόμετρο σε αυτή την περιοχή δεν ξεπερνά τα 300 m. Από τον ποταμό Στρόβολο και μετά το ανάγλυφο εξομαλύνεται αισθητά παραμένοντας χαμηλό. Το υψόμετρο σε αυτή την περιοχή δεν ξεπερνά τα 200 m και οι κλίσεις των πρανών έχουν πολύ μικρές τιμές. Στην περιοχή των Νέων Κερδουλίων, που βρίσκονται κοντά στις εκβολές του Στρυμόνα, το ανάγλυφο είναι πάρα πολύ χαμηλό και οι κλίσεις των πρανών λαμβάνουν αντίστοιχα πολύ χαμηλές τιμές. Το ανάγλυφο παρουσιάζει την ίδια εικόνα και ανατολικά των εκβολών του ποταμού Στρυμόνα. (σχ.5)

Σύμφωνα με τον Dikau (1989), το ανάγλυφο της ευρύτερης παράκτιας περιοχής Ασπροβάλας - Στρυμόνα χαρακτηρίζεται ως λοφώδες (Πίνακας 2), γιατί το υψόμετρο σε απόσταση 2 έως 2,5 km από την ακτή δεν υπερβαίνει τα 600 m. Βόρειότερα, καθώς κατευθυνόμαστε προς τους βόρειους πρόποδες των Κερδουλίων Ορέων, και παράλληλα απομακρυνόμαστε από την ακτή, το ανάγλυφο, (σύμφωνα με τον Dikau 1989), χαρακτηρίζεται πλέον ως ημιορεινό με το υψόμετρο να φτάνει μέχρι και τα 700 m.

Τα ρέματα που υπάρχουν στην περιοχή είναι στην πλειοψηφία τους περιοδικής ροής. Αυτά, συμμετέχοντας στις διεργασίες διάβρωσης – απόθεσης, συμβάλουν στη συνολική διαμόρφωση του ανάγλυφου. Χαρακτηριστική είναι η επίδραση των αποθετικών διεργασιών του ποταμού Στρυμόνα στο ανάγλυφο της περιοχής, καθώς, στις εκβολές του, επικρατούν τα χαμηλότερα υψόμετρα στην περιοχή μελέτης.

## 6. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

### 6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όπως προαναφέρθηκε, στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του TERRA/ASTER, προκειμένου να ανιχνευθούν θέσεις στην παράκτια περιοχή Στρυμονικού Κόλπου – Καβάλας, όπου έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις. Η ημερομηνία λήψης των εικόνων ήταν (άνοιξη) 1 / 3 / 2003 και (φθινόπωρο) 11 / 10 / 2003, έτσι ώστε οι θέσεις των κατολισθητικών φαινομένων να μπορέσουν να εντοπιστούν με τη βοήθεια των διαφορών που απαντούν στην ανακλαστικότητα των δυο εικόνων. Οι φασματικές ζώνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι : α) Band 1 (0,52 – 0,6  $\mu\text{m}$ , πράσινη), β) Band 2 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ , ερυθρή) και γ) Band 3 (0,76 – 0,86  $\mu\text{m}$ , ηλιακή υπέρυθρη). Οι φασματικές ζώνες αυτές επιλέχθηκαν λόγω της διακριτικής τους ικανότητας των 15 m.

Μετά από την ψηφιακή επεξεργασία των προαναφερθέντων τριών φασματικών ζωνών του ASTER, προέκυψαν οι εξής εικόνες :

- i. Ψευδοέγχρωμες εικόνες (false color composite images).
- ii. Εικόνες «λόγων» (ratio images).
- iii. Εικόνες «Κυρίων Συνιστωσών» (Principal Component Analysis images / PCA).
- iv. Εικόνες του «Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» (NDVI (Normalized Difference Vegetation Index images)).

Οι ψευδοέγχρωμες εικόνες που προέκυψαν, έδωσαν χρήσιμα συμπεράσματα για τον εντοπισμό θέσεων όπου έχουν εκδηλωθεί κατολισθητικά φαινόμενα. Οι περισσότερες όμως πληροφορίες προέκυψαν από τις εικόνες «Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών» (PCA) και του «Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς».

## 6.2 ΨΕΥΔΟΕΓΧΡΩΜΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Όπως είναι γνωστό, ψευδοέγχρωμες (false color images), είναι οι εικόνες εκείνες στις οποίες τα χρώματα του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε δεν αντιστοιχούν στα πραγματικά χρώματα (true colors) των εικόνων αυτών. Στις εικόνες αυτές οι διάφορες φασματικές ζώνες, ανά τρεις, απεικονίζονται στην κόκκινη, πράσινη και μπλε χρωματική έξοδο. (Οικονομίδης, 2000)

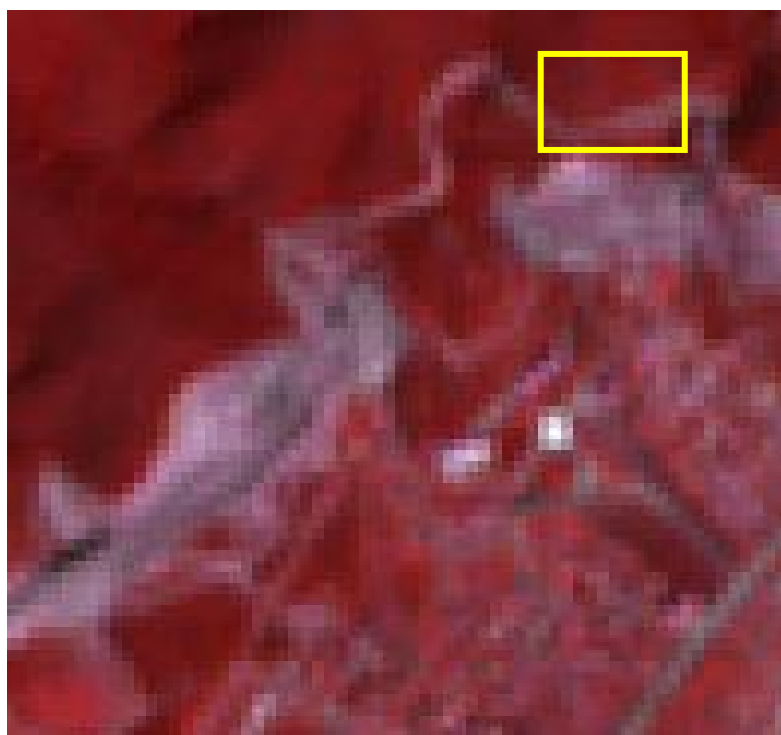
Οι ψευδοέγχρωμες εικόνες είναι σύνθεση τριών μονοχρωματικών φασματικών ζωνών. Στις εικόνες που προκύπτουν, τα χαρακτηριστικά του γήινου ανάγλυφου δεν απεικονίζονται με τα πραγματικά τους χρώματα.

Με τη βοήθεια του προγράμματος ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων ENVI ver. 3.6, από τις αρχικές, μεμονωμένες, ασπρόμαυρες εικόνες των φασματικών ζωνών προέκυψαν σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες. Από αυτές, οι διάφορες θέσεις στις οποίες εκδηλώθηκαν κατολισθήσεις, απεικονίζονται καλύτερα στην ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB, όπου η φασματική ζώνη 3 απεικονίζεται στην κόκκινη (R) χρωματική έξοδο, η φασματική ζώνη 1 απεικονίζεται στην πράσινη (G) χρωματική έξοδο και η φασματική ζώνη 2 απεικονίζεται στην μπλε (B) χρωματική έξοδο. Στην παραπάνω εικόνα εφαρμόστηκε γραμμική ενίσχυση (linear enhancement) προκειμένου να αποδοθούν καλύτερα οι τόνοι των χρωμάτων. (Astaras T., et al., 1997)

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB (εικ. 2), οι κατολισθήσεις απεικονίζονται με τους ίδιους τόνους του τεφρού, που απεικονίζονται και οι ασφαλοστρωμένοι δρόμοι. Ο μόνος τρόπος για να διακρίνουμε τις θέσεις των κατολισθήσεων είναι να παρατηρήσουμε τη χαρακτηριστική τους γεωμετρία ή τις μεταβολές που παρατηρούνται στη γεωμετρία των περιθωρίων του δρόμου μεταξύ των δυο εικόνων, δηλαδή της εικόνας που λήφθηκε στις 1 / 3 / 2003 και εκείνης που λήφθηκε στις 11 / 10 / 2003.

Η εικόνα 1 απεικονίζει την εικόνα του δρόμου της Εγνατίας οδού στις 1 / 3 / 2003. Επάνω και δεξιά στην εικόνα, παρατηρούμε τη θέση (4) με συντεταγμένες, Β.Γ.Π. : 40° 45' 39,81", Α.Γ.Μ. : 23° 44' 16,89". Στην εικόνα 2, η οποία έχει ληφθεί στις 11 / 10 / 2003, το ίδιο σημείο έχει μεταβάλει το σχήμα

του, και αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι έχει πραγματοποιηθεί κατολίσθηση στο εν λόγω σημείο.



**Εικ. 1:** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB του σαρωτή ASTER, η οποία λήφθηκε στις 1/3/2003. Οι θέσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατολισθήσεις έχουν τον ίδιο τόνο με τον ασφαλτοστρωμένο δρόμο. Στο κίτρινο πλαίσιο βρίσκεται η θέση (4) στην οποία πρόκειται να εκδηλωθούν κατολισθητικά φαινόμενα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις (εικ. 3 και 4), οι θέσεις των κατολισθήσεων μπορούν να εντοπιστούν μόνο από τη γεωμετρία του σχήματός τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κατολίσθηση που πραγματοποιήθηκε στη θέση 10 με συντεταγμένες : Β.Γ.Π. :  $40^{\circ} 47' 55,60''$ , Α.Γ.Μ. :  $23^{\circ} 50' 17,38''$ , η οποία δεν μεταβάλει το σχήμα της στις δυο ψευδοέγχρωμες εικόνες, αλλά η γεωμετρία του τελευταίου είναι τόσο χαρακτηριστική που μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τη θέση όπου έλαβε χώρα η κατολίσθηση.

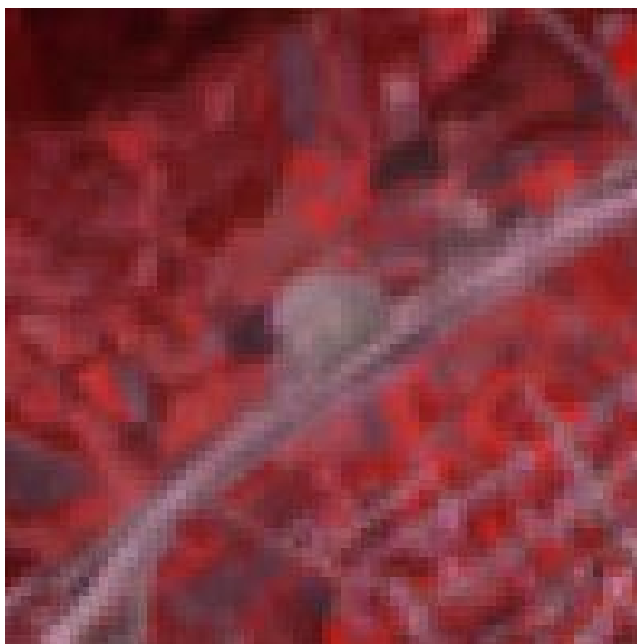
Στην περιοχή των Λουτρών Ελευθερών, παρόλο που έχουν πραγματοποιηθεί κατολισθήσεις, δεν μπορούμε να τις διακρίνουμε (φωτ. 5 και 6), γιατί από τη χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκαν κατολισθήσεις στην περιοχή αυτή, δηλαδή στις 5/12/1998, μέχρι τη χρονική στιγμή που λήφθηκαν

οι δορυφορικές εικόνες, η περιοχή καλύφθηκε με βλάστηση. Επιπλέον, η γωνία υπό την οποία λήφθηκαν οι δορυφορικές εικόνες δεν ήταν ευνοϊκή για τον εντοπισμό θέσεων που έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις.

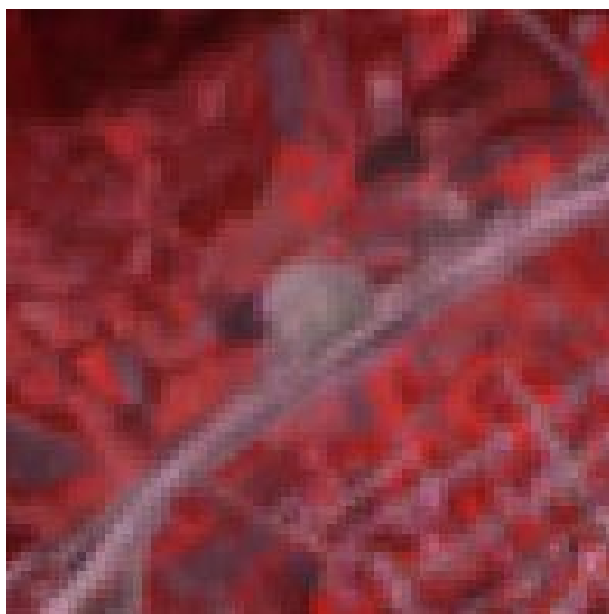


**Εικ. 2:** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB, η οποία λήφθηκε στις 11/10/2003. Οι θέσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατολισθήσεις έχουν τον ίδιο τόνο με τον ασφαλτοστρωμένο δρόμο και η γεωμετρία τους έχει μεταβληθεί σε σύγκριση με τη φωτογραφία 2. Στο κίτρινο πλαίσιο βρίσκεται η θέση (4) στην οποία έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση.

Στις ψευδοέγχρωμες εικόνες, που προέκυψαν από τις αρχικές, μεμονωμένες, ασπρόμαυρες εικόνες των φασματικών ζωνών, μπορούμε να ανιχνεύσουμε θέσεις όπου έχουν εξελιχθεί κατολισθητικά φαινόμενα, όμως κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει μόνο με τη βοήθεια της γεωμετρίας του σχήματός τους. Το γεγονός πως οι θέσεις των τελευταίων απεικονίζονται με τους ίδιους τόνους όπως και ο ασφαλτοστρωμένος δρόμος, δεν βοηθά στην αποτελεσματική ανίχνευσή τους.



**Εικ. 3 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB, η οποία λήφθηκε στις 1/3/2003. Στο κέντρο της εικόνας διακρίνεται θέση (10) στην οποία έχει λάβει χώρα κατολίσθηση. Χαρακτηριστική είναι η γεωμετρία του σχήματος της τελευταίας.



**Εικ. 4 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB, η οποία λήφθηκε στις 11/10/2003. Παρατηρούμε ότι η γεωμετρία του σχήματος της κατολίσθησης που απεικονίζεται στην εικόνα 3 δεν έχει μεταβληθεί.





**Εικ. 5 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB, του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 1/3/2003. Στην εικόνα αυτή απεικονίζεται η περιοχή των Λουτρων Ελευθερών, στην οποία δεν μπορούμε να διακρίνουμε θέσεις στις οποίες έχουν πραγματοποιηθεί κατολισθήσεις.



**Εικ. 6 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (3,1,2) : RGB, του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 11/10/2003. Στην εικόνα αυτή απεικονίζεται η περιοχή των Λουτρών Ελευθερών, στην οποία δεν μπορούμε να διακρίνουμε θέσεις στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις.

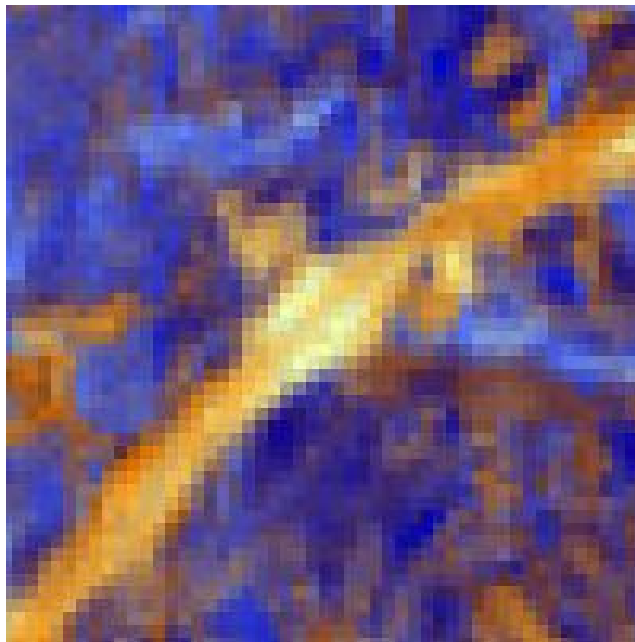
### 6.3 ΛΟΓΟΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ

Οι εικόνες «λόγων» (ratio images) δημιουργούνται από τη διαίρεση της τιμής ψηφιακού αριθμού μιας φασματικής ζώνης με την αντίστοιχη τιμή του ψηφιακού αριθμού σε μια άλλη φασματική ζώνη για κάθε εικονοστοιχείο. Οι τιμές που προκύπτουν σχηματίζουν την εικόνα αναλογίας (Sabins F, 1987, Drury, 1993, Gupta R.P., 1991, Astaras & Soulakellis, 1992). Σε μια εικόνα «λόγων» οι περιοχές που απεικονίζονται με λευκό ή μαύρο χρώμα αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία που έχουν τη μεγαλύτερη διαφορά στη ανακλαστικότητα ανάμεσα σε δυο φασματικές ζώνες. Οι πιο σκοτεινές φασματικές ταυτότητες είναι περιοχές όπου ο παρονομαστής της αναλογίας είναι μεγαλύτερος από τον αριθμητή. Αντίστοιχα, ο αριθμητής είναι μεγαλύτερος από τον παρονομαστή για τις πιο φωτεινές φασματικές ταυτότητες. Όπου ο παρονομαστής και ο αριθμητής είναι ίδιοι, δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των δυο φασματικών ζωνών. Εικόνες «λόγων» μπορούν να συντεθούν μεταξύ τους και να δώσουν σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες. (Sabins, 1987 και Astaras T., et al., 1997)

Αρχικά δημιουργήσαμε όλες τις δυνατές αναλογίες των φασματικών ζωνών για κάθε εικόνα ξεχωριστά. Στη συνέχεια δημιουργήσαμε σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες από τους «λόγους» που προέκυψαν, πάλι για κάθε εικόνα ξεχωριστά. Οι θέσεις, στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, μπορούν να διακριθούν καλύτερα στη σύνθετη ψευδοέγχρωμη εικόνα (2/3, 1/3, 1/2) : RGB για την περιοχή Ασπροβάλτα - Στρυμόνα, μετά από γραμμική ενίσχυση (zoom linear), η οποία εφαρμόστηκε ξεχωριστά για κάθε δορυφορική εικόνα.

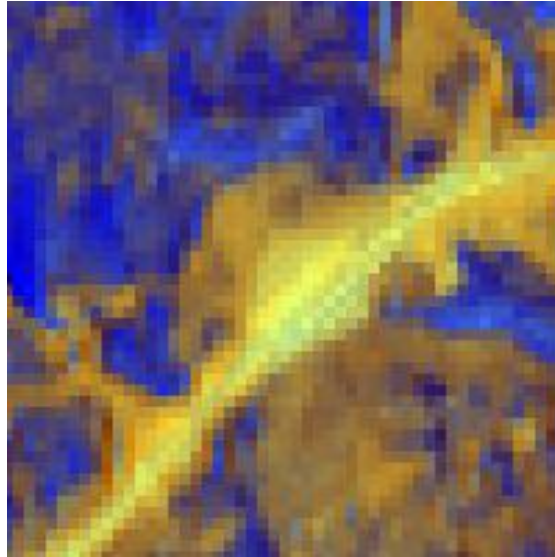
Σε αυτές τις εικόνες το κύριο χαρακτηριστικό για την αναγνώριση των θέσεων, στις οποίες πραγματοποιήθηκαν κατολισθήσεις, παραμένει η γεωμετρία του σχήματός τους ή μεταβολή του. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που μας βοηθά στον εντοπισμό των κατολισθητικών φαινομένων είναι το γεγονός ότι, σε αυτού του είδους τις εικόνες, οι κατολισθήσεις απεικονίζονται με διαφορετικούς τόνους, από τους ασφαλτοστρωμένους δρόμους. Δηλαδή, ενώ οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι απεικονίζονται με πράσινους τόνους, οι θέσεις των κατολισθήσεων εμφανίζονται με σκοτεινούς τόνους του κίτρινου χρώματος.

Για παράδειγμα, στην ψευδοέγχρωμη εικόνα (2/3, 1/3, 1/2) : RGB, η οποία συντέθηκε από τις εικόνες «λόγων» των φασματικών ζωνών της δορυφορικής εικόνας, που λήφθηκε στις 1 / 3 / 2003 (εικ. 7), μπορούμε να διακρίνουμε τη θέση (6) της κατολίσθησης (με συντεταγμένες : Β.Γ.Π. : 40° 46' 47,82", Α.Γ.Μ. : 23° 47' 34,08"), από τη γεωμετρία του σχήματος της. Στην ίδια ψευδοέγχρωμη εικόνα (εικ. 8), η οποία δημιουργήθηκε από τις εικόνες «λόγων» των φασματικών ζωνών, της δορυφορικής εικόνας που λήφθηκε στις 11 / 10 / 2003 (εικ. 8), μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η κατολίσθηση εξελίχθηκε καθώς περιφερειακά της σχηματίστηκε ζώνη με σκούρους τόνους του κίτρινου χρώματος. Ομοίως απεικονίζεται και η μεταβολή της γεωμετρίας του σχήματος της κατολίσθησης που εκδηλώθηκε στη θέση (4) με συντεταγμένες : Β.Γ.Π. : 40° 45' 39,81", Α.Γ.Μ. : 23° 44' 16,89", (εικ. 9 και 10).

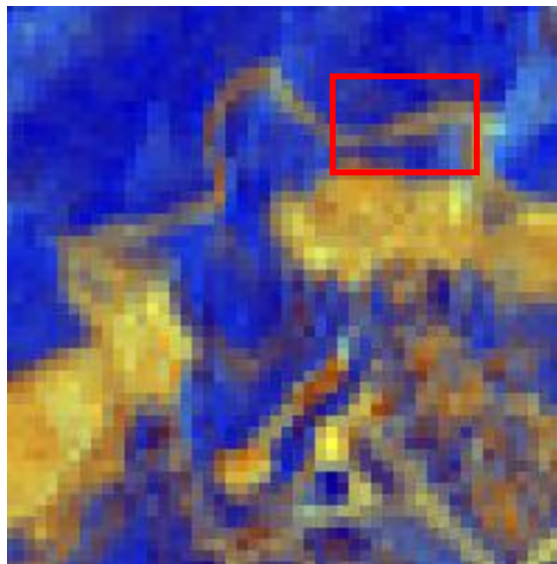


**Εικ. 7 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (2/3,1/3,1/2) : RGB του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 1/3/2003. Διακρίνουμε τη θέση (6) στην περιοχή μελέτης Ασπροβάλτας – Στρυμόνα, στην οποία έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση από τους ανοιχτούς κίτρινους τόνους, ενώ ο δρόμος έχει σκοτεινούς κίτρινους τόνους.

Στην περιοχή των Λουτρών Ελευθερών δεν μπορούμε να διακρίνουμε θέσεις στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις.

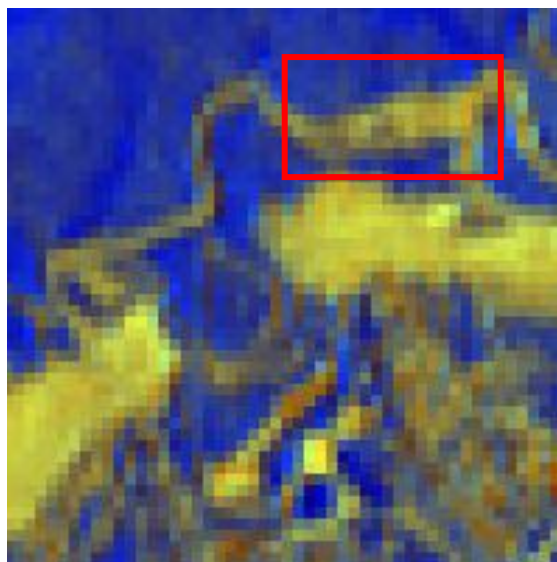


**Εικ. 8 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (2/3,1/3,1/2) : RGB του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 11/10/2003. Παρατηρούμε πως ο δρόμος στην περιοχή μελέτης Ασπροβάλτα - Στρυμόνα απεικονίζεται με ανοιχτούς πράσινους τόνους, ενώ οι κατολισθήσεις με ανοιχτούς κίτρινους τόνους. Επιπλέον, η εκδήλωση νέων κατολισθητικών φαινομένων στην ίδια θέση (6) διακρίνεται από τους σκοτεινούς καφέ τόνους.



**Εικ. 9 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (2/3,1/3,1/2) : RGB του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 1/3/2003. Στην εικόνα αυτή παρατηρούμε πως στη θέση (4) που υποδεικνύει το κόκκινο πλαίσιο, στην περιοχή μελέτης Ασπροβάλτα - Στρυμόνα δεν έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση.





**Εικ. 10 :** Ψευδοέγχρωμη εικόνα (2/3,1/3,1/2) : RGB του TERRA / ASTER, η οποία λήφθηκε στις 11/10/2003. Στην εικόνα αυτή παρατηρούμε πως στην ίδια θέση (4) (περιοχή μελέτης Ασπροβάλτα – Στρυμόνα), που υποδεικνύεται από το κόκκινο πλαίσιο έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τη μεταβολή της γεωμετρίας του σχήματος της. Στην περιοχή αυτή δεν μπορούμε να διακρίνουμε τους δρόμους γιατί δεν είχαν ακόμη ασφαλτοστρωθεί.

Γενικά λοιπόν, μπορούμε να συμπεράνουμε πως οι σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες που προέκυψαν από τις εικόνες «λόγων» μας βοηθούν να εντοπίσουμε θέσεις κατολισθήσεων, όχι μόνο από τη χαρακτηριστική γεωμετρία του σχήματός τους ή τη μεταβολή του, αλλά και από τους διαφορετικούς τόνους που οι τελευταίες έχουν σε σύγκριση με τον ασφαλτοστρωμένο δρόμο, αν και πολλές φορές αυτό δεν είναι ιδιαίτερα εμφανές.

#### **6.4 ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ**

Πολλές φορές, μελετώντας δορυφορικές εικόνες, όπως για παράδειγμα του θεματικού χαρτογράφου (TM), παρατηρούμε ότι περιοχές οι οποίες είναι φωτεινές ή σκοτεινές σε μια φασματική ζώνη τείνουν να είναι φωτεινές ή σκοτεινές και σε άλλες φασματικές ζώνες του ίδιου σαρωτή. Η σχέση αυτή φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 6, στο οποίο οι ψηφιακοί αριθμοί της φασματικής ζώνης 1 του θεματικού χαρτογράφου τοποθετούνται στο ίδιο

σύστημα αξόνων με τους ψηφιακούς αριθμούς της φασματικής ζώνης 2 του ίδιου σαρωτή. Από το διάγραμμα του σχήματος 6, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι, καθώς οι ψηφιακοί αριθμοί αυξάνουν για τη μια φασματική ζώνη, αυξάνουν και για την άλλη. Αυτό μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι, αν για παράδειγμα γνωρίζουμε τον ψηφιακό αριθμό ενός εικονοστοιχείου στη φασματική ζώνη 1, τότε μπορούμε να προβλέψουμε την τιμή του φασματικού αριθμού που θα έχει το ίδιο εικονοστοιχείο στη φασματική ζώνη 2. Τα παραπάνω δεδομένα παρουσιάζουν μεταξύ τους ισχυρό συσχετισμό, κάτι το οποίο σημαίνει πως υπάρχουν πολλές περιττές πληροφορίες σε μια ομάδα πολυφασματικών δεδομένων (multispectral data sets). Αν αυτές οι περιττές πληροφορίες μειωθούν, τότε το πλήθος των δεδομένων που απαιτείται για να περιγραφεί μια πολυφασματική εικόνα μπορούν συμπιεστούν (compressed). (Sabins, 1987)

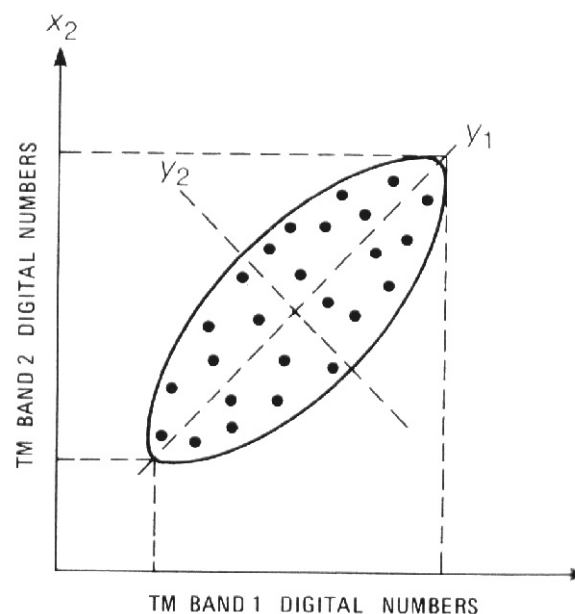
Η μετατροπή των «κυρίων συνιστωσών» (principal component transformation), η οποία είναι γνωστή και ως μετατροπή Karhunen – Loeve (Loeve, 1955), χρησιμοποιείται για να συμπιέσει ομάδες πολυφασματικών δεδομένων υπολογίζοντας ένα νέο σύστημα συντεταγμένων. Για δεδομένα που ανήκουν σε δυο φασματικές ζώνες (σχ. 6) η μετατροπή καθορίζει έναν νέο άξονα ( $y_1$ ) προσανατολισμένο προς τη μακρύτερη διάσταση της κατανομής και ένα δεύτερο άξονα ( $y_2$ ), κάθετο προς τον  $y_1$ . Με τη βοήθεια των μαθηματικών προκύπτει ένας γραμμικός συνδυασμός, ο οποίος μετατρέπει τις τιμές των εικονοστοιχείων από το αρχικό σύστημα συντεταγμένων σε τιμές στο νέο σύστημα συντεταγμένων : (Sabins, 1987)

$$y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2$$

$$y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2$$

Η ίδια μετατροπή κυρίων συνιστωσών μπορεί να διεξαχθεί για ομάδες πολυφασματικών δεδομένων, οι οποίες αποτελούνται από οποιοδήποτε αριθμό φασματικών ζωνών. Επιπρόσθετες διευθύνσεις συντεταγμένων (coordinate directions) καθορίζονται διαδοχικά. Κάθε καινούργια συντεταγμένη προσανατολίζεται κάθετα σε όλες τις προηγούμενα καθορισμένες διευθύνσεις και κατά τη διεύθυνση των σημείων των δεδομένων των εικονοστοιχείων (pixel data points) που έχουν παραμείνει έχοντας τη μέγιστη πυκνότητα. Για

κάθε εικονοστοιχείο, νέοι ψηφιακοί αριθμοί καθορίζονται σε σχέση με κάθε έναν από τους νέους άξονες συντεταγμένων. Έτσι, ένα σύνολο τιμών ψηφιακών αριθμών καθορίζεται για κάθε εικονοστοιχείο σε σχέση με την πρώτη κύρια συνιστώσα. Αυτοί οι ψηφιακοί αριθμοί χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη δημιουργία της εικόνας της πρώτης κύριας συνιστώσας. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται, έτσι ώστε να παραχθούν εικόνες για τις υπόλοιπες κύριες συνιστώσες. (Sabins, 1987)



**Σχ. 6 :** Διάγραμμα των ψηφιακών αριθμών της φασματικής ζώνης 1 του θεματικού χαρτογράφου (άξονας  $x_1$ ) και της φασματικής ζώνης 2 του θεματικού χαρτογράφου (άξονας  $x_2$ ). (Sabins, 1987)

Στην παρούσα έρευνα, για τον εντοπισμό των κατολισθήσεων, εφαρμόσαμε επίσης την μέθοδο της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών (PCA) στις τρεις φασματικές ζώνες του σαρωτή ASTER, οπότε προέκυψαν τρεις εικόνες κυρίων συνιστωσών, οι PCA1, PCA2, και η PCA3. Από αυτές, η PCA1 έχει το μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης.

Οι εικόνες PCA που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να συντεθούν σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες για κάθε δορυφορική εικόνα ξεχωριστά. Στις εικόνες που προέκυψαν με αυτό τον τρόπο οι κατολισθήσεις μπορούν να διακριθούν από τη χαρακτηριστική γεωμετρία του σχήματός τους

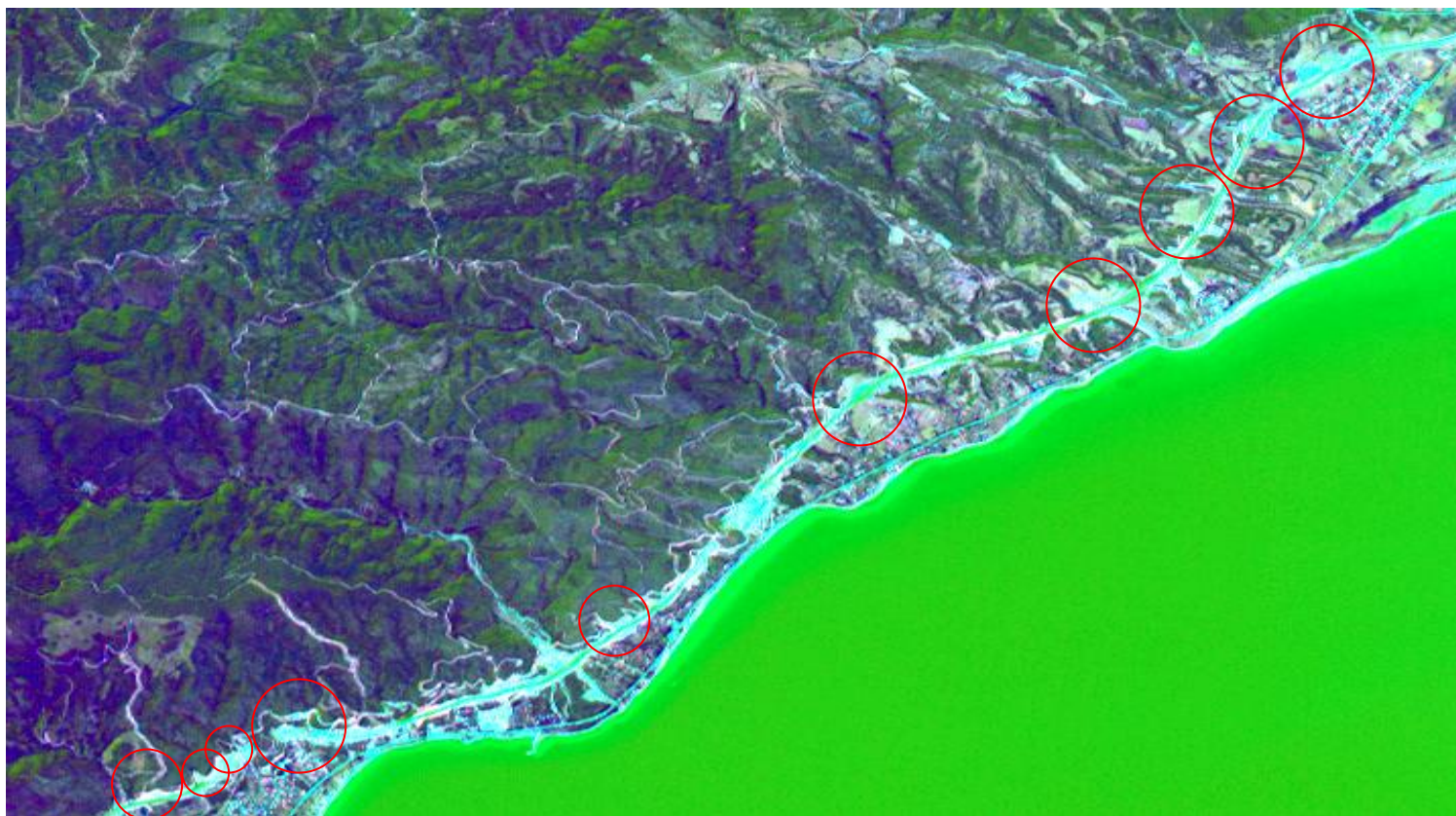


ή από τη μεταβολή του. Σε ορισμένες ψευδοέγχρωμες εικόνες του ASTER της 11 /10 / 2003, όπως για παράδειγμα είναι οι (PCA3, PCA2, PCA1) : RGB (εικ. 11) και η (PCA3, PCA1, PCA2) : RGB (εικ. 12), αρχικά εφαρμόστηκε σε αυτές η γραμμική ενίσχυση (zoom linear). Στη συνέχεια συγκρίθηκε η ανακλαστικότητα των θέσεων κατολίσθησης με αυτή των ασφαλοστρωμένων δρόμων και των εδαφών. Από τη σύγκρισή τους προέκυψε σημαντική διαφορά στην ανακλαστικότητά τους. Συγκεκριμένα : στην (PCA3, PCA2, PCA1) : RGB εικόνα, οι κατολισθήσεις απεικονίζονται με ανοιχτούς γαλάζιους τόνους, ενώ ο δρόμος απεικονίζεται με ανοιχτούς πράσινους τόνους. Ακόμη πιο έντονη είναι η παραπάνω διαφορά στην ανακλαστικότητα στην (PCA3, PCA1, PCA2) : RGB εικόνα, όπου οι δρόμοι απεικονίζονται με σκοτεινούς μπλε τόνους, ενώ οι θέσεις των κατολισθήσεων με ανοιχτούς γαλάζιους. Μάλιστα από την ανακλαστικότητα των ασφαλοστρωμένων δρόμων μπορούμε να καταλάβουμε ποια τμήματα της Εγνατίας Οδού δεν είχαν ασφαλοστρωθεί, στις 11/10/2003 .

Με τη βοήθεια των παραπάνω ψευδοέγχρωμων εικόνων και με επιπλέον κριτήριο τη γεωμετρία του σχήματος της κατολίσθησης, συνολικά εντοπίστηκαν οι ακόλουθες θέσεις στις οποίες έχουν εμφανιστεί κατολισθήσεις:

- **Θέση 1:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 45' 24,44", Α.Γ.Μ. : 23° 43' 25,77"
- **Θέση 2:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 45' 27,44", Α.Γ.Μ. : 23° 43' 41,58"
- **Θέση 3:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 45' 30,66", Α.Γ.Μ. : 23° 43' 49,63"
- **Θέση 4:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 45' 39,81", Α.Γ.Μ. : 23° 44' 16,89"
- **Θέση 5:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 45' 51,84", Α.Γ.Μ. : 23° 45' 58,03"
- **Θέση 6:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 46' 47,82", Α.Γ.Μ. : 23° 47' 34,08"
- **Θέση 7:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 47' 0,67", Α.Γ.Μ. : 23° 48' 50,68"
- **Θέση 8:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 47' 20,91", Α.Γ.Μ. : 23° 49' 29,46"
- **Θέση 9:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 47' 42,73", Α.Γ.Μ. : 23° 49' 54,96"
- **Θέση 10:** Συντεταγμένες: Β.Γ.Π. : 40° 47' 55,6", Α.Γ.Μ. : 23° 50' 17,38"

Τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη των παραπάνω θέσεων αντιστοιχούν στο κεντρικό σημείο της απεικονιζόμενης κατολίσθησης. Συνολικά οι παραπάνω θέσεις απεικονίζονται στις εικόνες 11 και 12.



**Εικ. 11:** Σύνθεση ψευδοέγχρωμης εικόνας (PCA3, PCA2, PCA1) : RGB του TERRA / ASTER, η οποία προέκυψε από τις εικόνες «κυρίων συνιστωσών» (PCA) των φασματικών ζωνών του ASTER που λήφθηκε στις 11/10/2003. Οι θέσεις 1 – 10, στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, έχουν σημειωθεί με κύκλους από αριστερά προς τα δεξιά.



**Εικ. 12:** Σύνθεση ψευδοέγχρωμης εικόνας (PCA3, PCA1, PCA2) : RGB του TERRA / ASTER, η οποία προέκυψε από τις εικόνες «κυρίων συνιστωσών» των φασματικών ζωνών του ASTER που λήφθηκε στις 11/10/2003. Οι θέσεις 1 – 10, στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, έχουν σημειωθεί με κύκλους από αριστερά προς τα δεξιά.

Στην περιοχή των Λουτρών Ελευθερών δεν μπορούμε να διακρίνουμε τις θέσεις στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, για τους λόγους που έχουν προαναφερθεί.

Οι σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες που προέκυψαν από τις εικόνες PCA των αρχικών φασματικών ζωνών μπορούν να απεικονίσουν τις θέσεις στις οποίες έχουν εξελιχθεί κατολισθητικά φαινόμενα, καθώς τα τελευταία διακρίνονται από τη χαρακτηριστική γεωμετρία του σχήματός τους και την ανακλαστικότητα τους.

## **6.5 ΕΙΚΟΝΕΣ «ΔΕΙΚΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ»**

Για τον εντοπισμό θέσεων, στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις με τη βοήθεια των δορυφορικών εικόνων TERRA / ASTER, χρησιμοποιήθηκε επίσης η μεθοδολογία των δεικτών βλάστησης (vegetation indices). Βιβλιογραφικά, (Drury 1993, Sabins 1997, Μανάκος 1999 και Συλλαίος 2000), υπάρχουν πολλές εργασίες σχετικά με τη χρήση των δεικτών βλάστησης, όμως το βασικό σκεπτικό είναι πως ο λόγος του κοντινού υπερύθρου προς το ερυθρό είναι συνήθως υψηλός στην περίπτωση της υγιούς βλάστησης. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση ασθένειας ή έλλειψης βλάστησης, παρατηρείται μείωση της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και αύξηση της ανάκλασης στο ερυθρό (Φουρνιάδης, 2002).

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκε ο «Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς» (Normalized Difference Vegetation Index / NDVI), ο οποίος ορίζεται ως εξής :

$$NDVI = (N.IR - R) / (N.IR + R)$$

Όπου NI.R (Near Infrared) είναι η φασματική ζώνη του κοντινού υπερύθρου και R (Red) η φασματική ζώνη του ερυθρού. Για τις εικόνες του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) του δορυφόρου LANDSAT 5, ο παραπάνω δείκτης βλάστησης παίρνει τη μορφή :

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$



Στην περίπτωση του σαρωτή ASTER παρατηρούμε ότι οι φασματικές ζώνες του κοντινού υπερύθρου και του ερυθρού έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις αντίστοιχες φασματικές ζώνες του LANDSAT 5. Για το Θεματικό Χαρτογράφο η φασματική ζώνη TM3 έχει εύρος από 0,63 μm έως 0,69 μm, το οποίο συμπίπτει με το εύρος της φασματικής ζώνης Band 2 του δορυφόρου ASTER. Επίσης, η φασματική ζώνη του Θεματικού Χαρτογράφου TM4 έχει εύρος από 0,76 μm έως 0,9 μm, ενώ η αντίστοιχη φασματική ζώνη Band 3 του ASTER έχει εύρος από 0,76 μm έως 0,86 μm. Οπότε μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε δορυφορικές εικόνες του ASTER. Στην περίπτωση αυτή ο δείκτης βλάστησης παίρνει την ακόλουθη μορφή :

$$NDVI = (Band\ 3 - Band\ 2) / (Band\ 3 + Band\ 2)$$

Ο δείκτης βλάστησης NDVI, λαμβάνει τιμές από -1 έως +1 (οι οποίες ανάγονται στις ραδιομετρικές τιμές 0-255). Η τιμή -1 αντιπροσωπεύει πλήρη απουσία βλάστησης, ενώ η τιμή +1 πλήρη κάλυψη από βλάστηση. Με αυτό τον τρόπο, οι περιοχές της εικόνας με υψηλές τιμές NDVI (ανοιχτό τεφρό χρώμα), είναι αυτές που καλύπτονται από βλάστηση, λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας της βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο και της χαμηλής στο ερυθρό. Αντίθετα, οι περιοχές της εικόνας με χαμηλές τιμές NDVI (σκούρο τεφρό χρώμα), είναι αυτές που παρατηρείται απουσία βλάστησης, το οποίο συμβαίνει, μεταξύ άλλων, σε πολλές περιοχές στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις.

Για κάθε δορυφορική εικόνα TERRA / ASTER, ξεχωριστά, σχηματίστηκαν οι εικόνες του «Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης» ή NDVI (εικ. 13 και 14). Σε αυτές, οι περιοχές στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις απεικονίζονται με έντονους σκοτεινούς τόνους του τεφρού χρώματος. Αυτό συμβαίνει γιατί μετά την εκδήλωση της κατολίσθησης, η βλάστηση που υπήρχε παρασύρεται από την καθοδική κίνηση των υλικών και οι κλιτύες της πλαγιάς απογυμνώνονται από τη βλάστησή τους. Επιπλέον, σε αυτού του είδους τις εικόνες είναι περισσότερο εμφανείς οι διαφορές στη γεωμετρία του σχήματος της κλιτύος στην οποία εκδηλώνεται η κατολίσθηση, καθώς οι

λευκοί τόνοι της βλάστησης μετατρέπονται σε σκοτεινούς τεφρούς τόνους μετά την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων (Φουρνιάδης, 2002).

Στις εικόνες 13 και 14 απεικονίζονται οι θέσεις 1 έως 10 στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθητικά φαινόμενα. Σε αυτές μπορούμε να παρατηρήσουμε, με τη βοήθεια της διαφοράς στην ανακλαστικότητα, τη μεταβολή στη γεωμετρία του σχήματος της κατολίσθησης.

Στην περιοχή μελέτης των Λουτρών Ελευθερών, παρόλο που γνωρίζουμε πως έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, δεν μπορούμε να τις διακρίνουμε στις εικόνες 13 και 14, γιατί καλύπτονται από βλάστηση και η γωνία, υπό την οποία λήφθηκε η εικόνα, δεν ήταν ευνοϊκή για τον εντοπισμό τους.

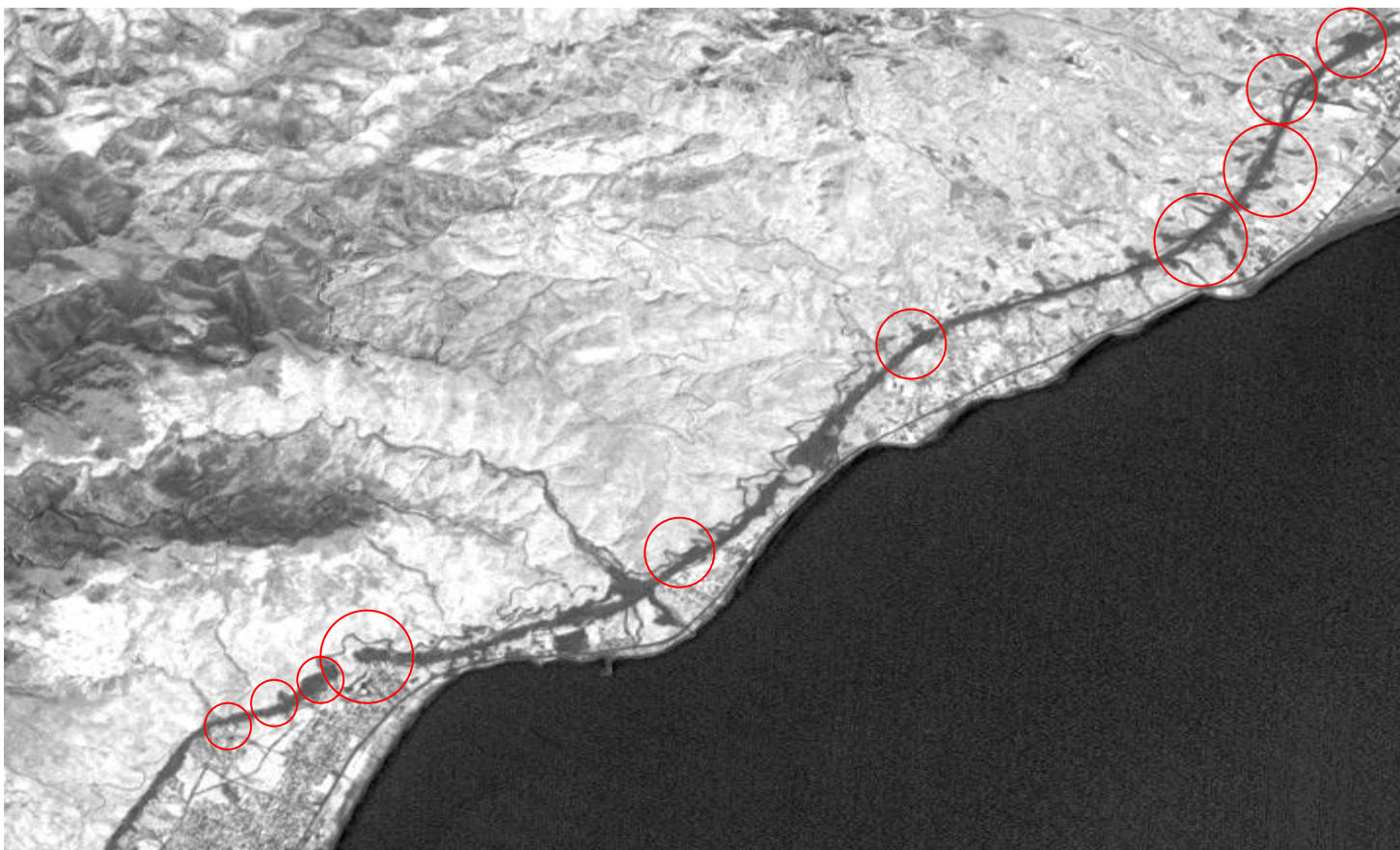
Συμπερασματικά λοιπόν, οι εικόνες NDVI μπορούν να απεικονίσουν περιοχές κατολισθήσεων, εφόσον οι τελευταίες δεν καλύπτονται από βλάστηση μετά την εκδήλωση του φαινομένου.

## **6.6 ΑΛΛΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ**

Από τις εικόνες που σχηματίστηκαν με τις τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω δημιουργήθηκαν σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες, για κάθε δορυφορική εικόνα ξεχωριστά, στις οποίες οι διάφοροι χρωματικοί τόνοι, απεικονίζουν κάθε φορά εικόνες ή φασματικές ζώνες που προέκυψαν από τις τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες (PCA1, NDVI, 1) : RGB (εικ. 15) και (NDVI, 3, PCA1) : RGB (εικ. 16), οι οποίες προέκυψαν από τις φασματικές ζώνες της εικόνας που λήφθηκε στις 11/10/2003, ύστερα από την επεξεργασία που οι τελευταίες είχαν υποστεί σύμφωνα με τις τεχνικές που προαναφέρθηκαν και αφού εφαρμόστηκε σε αυτές γραμμική ενίσχυση (zoom linear). Ο συνδυασμός των εικόνων κυρίων συνιστωσών με την εικόνα NDVI αποδείχτηκε ιδιαίτερα χρήσιμος στον εντοπισμό θέσεων κατολίσθησης, καθώς οι τελευταίες στις παραπάνω σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες απεικονίζονται με διαφορετικούς τόνους σε σχέση με τον δρόμο και τις περιοχές που καλύπτονται με βλάστηση.

Στην περιοχή μελέτης των Λουτρών Ελευθερών δεν μπορούμε να διακρίνουμε τις θέσεις στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις.

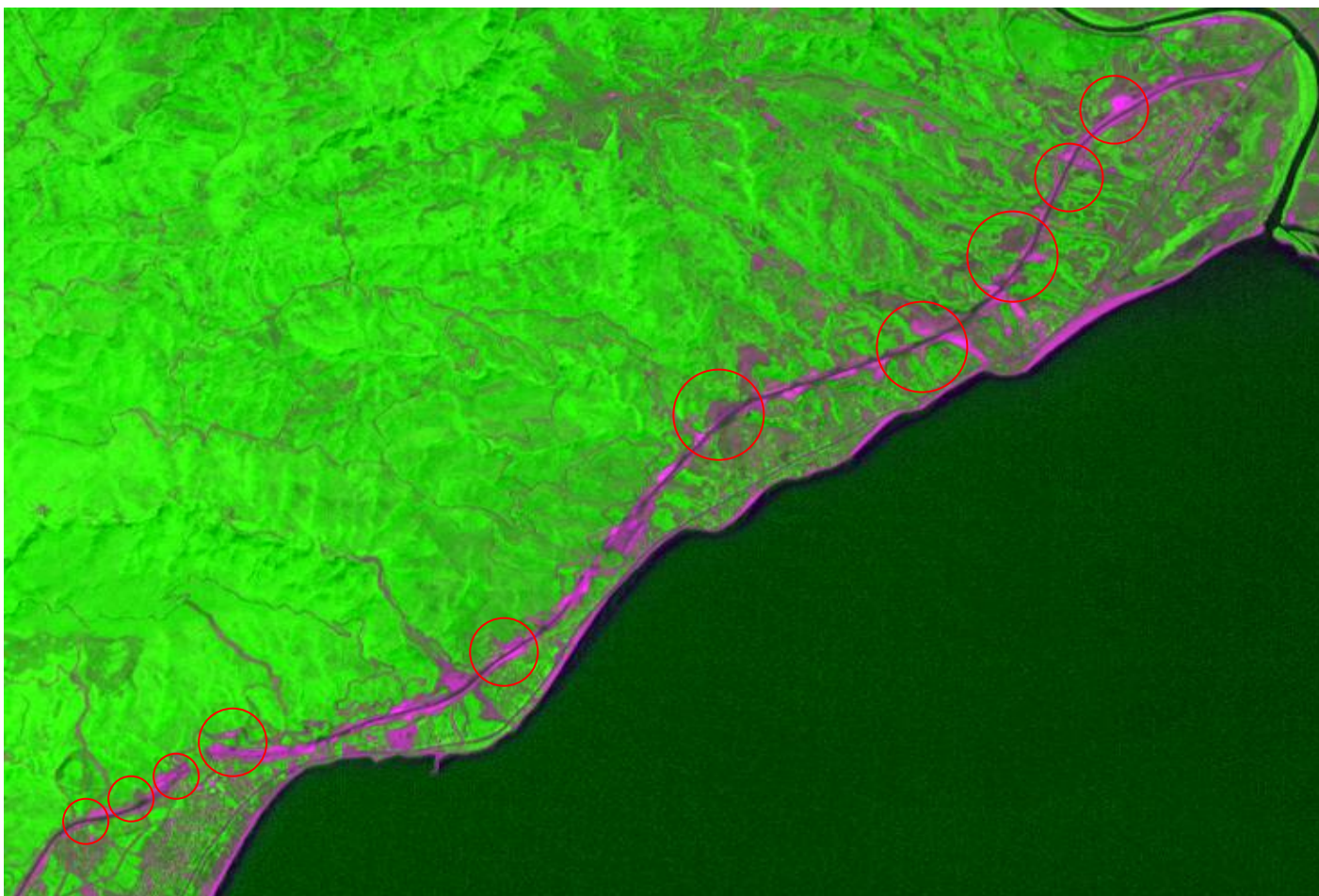


**Εικ. 13 :** Εικόνα NDVI, του TERRA / ASTER της 1/3/2003. Οι περιοχές στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις απεικονίζονται με χαρακτηριστικούς σκοτεινούς τόνους του τεφρού χρώματος και έχουν σημειωθεί με κόκκινους κύκλους.

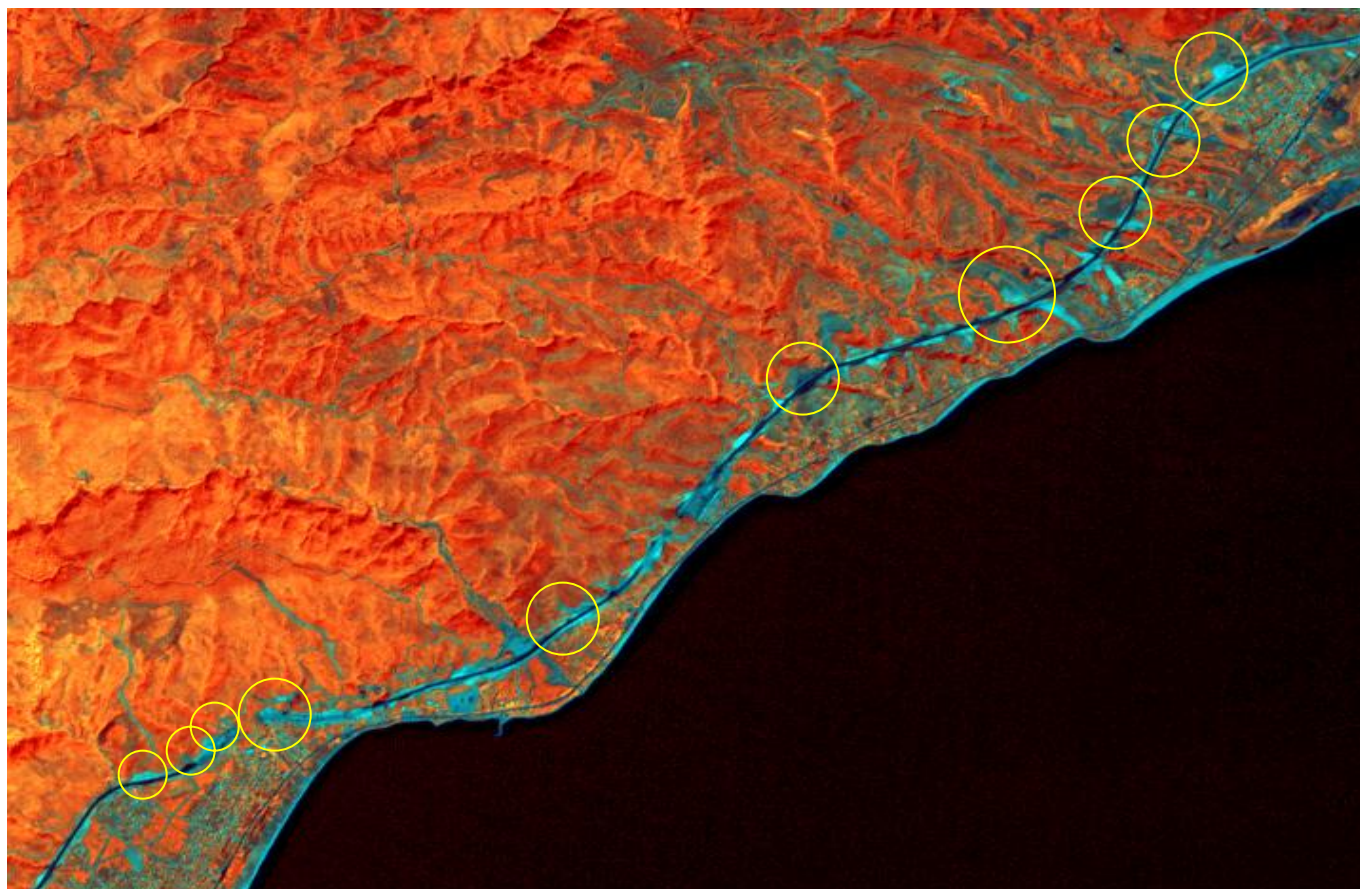


**Εικ. 14 :** Εικόνα NDVI, του TERRA / ASTER στις 11/10/2003. Οι περιοχές στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις απεικονίζονται με χαρακτηριστικούς σκοτεινούς τόνους του τεφρού χρώματος και έχουν σημειωθεί με κόκκινους κύκλους.





**Εικ. 15 :** Σύνθετη ψευδοέγχρωμη εικόνα (PCA1, NDVI, 1) : RGB του δορυφόρου TERRA / ASTER, που λήφθηκε στις 11/10/2003. Οι περιοχές που έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις απεικονίζονται με χαρακτηριστικούς ανοιχτούς τόνους του μωβ χρώματος και σημειώνονται με κόκκινους κύκλους.



**Εικ. 16 :** Σύνθετη ψευδοέγχρωμη εικόνα (NDVI, 3, PCA1) : RGB του δορυφόρου TERRA / ASTER που λήφθηκε στις 11/10/2003. Οι περιοχές που έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις απεικονίζονται με χαρακτηριστικούς ανοιχτούς τόνους του γαλάζιου χρώματος και σημειώνονται με κόκκινους κύκλους.

## 7. ΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Στη συνέχεια, μετά την ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων TERRA / ASTER ακολούθησε επίσκεψη στις περιοχές μελέτης προκειμένου να επαληθευτούν οι θέσεις των κατολισθήσεων, οι οποίες εντοπίστηκαν στις επεξεργασμένες εικόνες.

Από τις δέκα θέσεις, όπου εντοπίστηκαν κατολισθητικά φαινόμενα, οι οκτώ ήταν δυνατό να προσεγγιστούν για παρατήρηση, ενώ στις υπόλοιπες δυο, η μορφολογία του εδάφους δεν μας επέτρεψε να παρατηρήσουμε τις θέσεις αυτές από κοντά.

Στις υπαίθριες παρατηρήσεις μας, φωτογραφήσαμε τις θέσεις, οι οποίες στις επεξεργασμένες εικόνες ASTER φαίνονται ως περιοχές κατολισθήσεων. Και οι οκτώ θέσεις τις οποίες μπορέσαμε να προσεγγίσουμε για παρατήρηση, διαπιστώθηκε η ύπαρξη κατολισθητικών φαινομένων.

Αναλυτικά για κάθε θέση που επισκεφτήκαμε καταλήξαμε στις ακόλουθες παρατηρήσεις :

- **Θέση 1 :** Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στη φωτογραφία 2 στη θέση αυτή έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση. Μάλιστα στη θέση αυτή έχει κατασκευαστεί τοιχίο προκειμένου να συγκρατήσει τα υλικά που καταπίπτουν.
- **Θέση 2 :** Όμοια με τη θέση 1. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στη φωτογραφία 3, στη θέση αυτή έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση. Μάλιστα έχει κατασκευαστεί τοιχίο, για να συγκρατήσει τα υλικά που καταπίπτουν. Σύμφωνα με τον επιβλέποντα μηχανικό για το τμήμα αυτό της Εγνατίας Οδού, κ. Νίκα Χρήστο (προσωπική συζήτηση), στη θέση 2, πράγματι εκδηλώθηκαν κατολισθήσεις στις 2/6/2003.
- **Θέση 3 :** Στη φωτογραφία 4 μπορούμε να διακρίνουμε ότι και σε αυτή τη θέση έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις. Ομοίως και σε αυτή τη θέση έχει κατασκευαστεί τοιχίο για να συγκρατήσει τα υλικά που καταπίπτουν. Σύμφωνα με τον επιβλέπων μηχανικό για το τμήμα αυτό της Εγνατίας Οδού, κ. Νίκα Χρήστο, στη θέση αυτή όντως εκδηλώθηκαν φαινόμενα κατολισθήσεων τον Απρίλιο του 2003.

- **Θέση 4 :** Στη φωτογραφία 5 μπορούμε να διακρίνουμε ότι η κατολίσθηση συνεχίζει να εκδηλώνεται. Όπως παρατηρούμε στη φωτογραφία, το πρανές αρχικά καλύφθηκε με τσιμέντο, προκειμένου να εμποδιστεί η πτώση των υλικών, αλλά η κατολίσθηση συνεχίστηκε και μάλιστα κατάστρεψε και το τσιμεντένιο κάλυμμα. Σύμφωνα με τον επιβλέποντα μηχανικό για το τμήμα αυτό της Εγνατίας Οδού, κ. Νίκα Χρήστο, στη θέση αυτή το φαινόμενο της κατολίσθησης άρχισε να εκδηλώνεται από τις 20/6/2003.
- **Θέση 5 :** Στη φωτογραφία 6 φαίνεται η κατολίσθηση της θέσης 5. Παρατηρούμε ότι η γεωμετρία του σχήματος της κατολίσθησης είναι χαρακτηριστική.
- **Θέση 6 :** Η μορφολογία του ανάγλυφου δεν μας επέτρεψε να πλησιάσουμε τη θέση αυτή και να την παρατηρήσουμε από κοντά.
- **Θέση 7 :** Η μορφολογία του ανάγλυφου δεν μας επέτρεψε να πλησιάσουμε τη θέση αυτή και να την παρατηρήσουμε από κοντά.
- **Θέση 8 :** Στη φωτογραφία 7 μπορούμε να διακρίνουμε ότι σε αυτή τη θέση έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις. Μάλιστα, προκειμένου να εμποδιστεί η πτώση υλικών, στο πρανές δημιουργήθηκαν αναβαθμίδες και σε αυτές καλλιεργήθηκαν φυτά έτσι ώστε να ενισχυθεί η ικανότητα κατακράτησης υλικών που καταπίπτουν. Επιπλέον έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης.
- **Θέση 9 :** Στη φωτογραφία 8 μπορούμε να διακρίνουμε την κατολίσθηση που έχει εκδηλωθεί σε αυτή τη θέση. Στη βάση της έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης για να συγκρατεί τα υλικά που καταπίπτουν. Σύμφωνα με τον επιβλέποντα τεχνικό γεωλόγο για το τμήμα αυτό της Εγνατίας Οδού, κ. Λειβαδά Άγγελο (προσωπική συζήτηση), στη θέση αυτή πράγματι εμφανίστηκαν κατολισθητικά φαινόμενα στις 10/12/2001.
- **Θέση 10 :** Στη φωτογραφία 9 παρατηρούμε ότι το πρανές που υπήρχε στη θέση αυτή έχει ισοπεδωθεί. Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίστηκαν οι κατολισθήσεις που εκδηλώνονταν στο πρανές. Σύμφωνα με τον επιβλέπων τεχνικό γεωλόγο για το τμήμα αυτό της Εγνατίας Οδού, κ.



Λειβαδά Άγγελο, στη θέση αυτή πράγματι εμφανίστηκαν κατολισθητικά φαινόμενα στις 1/12/2001.

- **Θέση 11 (Λουτρά Ελευθερών) :** Στη φωτογραφία 10 παρατηρούμε πως έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις στην περιοχή. Σύμφωνα με τον επιβλέποντα τεχνικό γεωλόγο, για το τμήμα αυτό της Εγνατίας Οδού, το οποίο κατασκευάστηκε από την εταιρία «Γεωγνώση», κ. Δημαρά (προσωπική συζήτηση), στη θέση αυτή εκδηλώθηκαν κατολισθητικά φαινόμενα στις 5/12/98. Παρόλα αυτά, στο μεγάλο χρονικό διάστημα που διάρκεσε το φαινόμενο της κατολίσθησης, η επιφάνεια ολίσθησης καλύφθηκε με βλάστηση.



**Φωτ. 2 :** Ολίσθηση κορημάτων στη θέση 1 της περιοχής Ασπροβάλτα – Στρυμόνα. Στη βάση της κατολίσθησης έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης.





**Φωτ. 3 :** Ολίσθηση κορημάτων στη θέση 2 της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα. Στη βάση της κατολίσθησης έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης.



**Φωτ. 4 :** Ολίσθηση κορημάτων στη θέση 3 της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα. Στη βάση της κατολίσθησης έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης.





**Φωτ. 5 :** Ροή κορημάτων στη θέση 4 της περιοχής Ασπροβάλτα – Στρυμόνα. Παρόλο που η επιφάνεια ολίσθησης καλύφθηκε με στρώμα τσιμέντου, το πρανές έχει καταρρεύσει.



**Φωτ. 6 :** Περιστροφική ολίσθηση στη θέση 5 της περιοχής Ασπροβάλτα – Στρυμόνα.





**Φωτ. 7 :** Ολίσθηση κορημάτων στη θέση 6 της περιοχής Ασπροβάλτα – Στρυμόνα. Στην επιφάνεια ολίσθησης κατασκευάστηκαν αναβαθμίδες με σκοπό να αποφευχθούν μελλοντικές κατολισθήσεις. Επιπλέον, στη βάση της κατολίσθησης έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης.



**Φωτ. 8 :** Ροή κορημάτων στη θέση 9 της περιοχής Ασπροβάλτα – Στρυμόνα. Στη βάση της κατολίσθησης έχει κατασκευαστεί τοιχίο αντιστήριξης.





**Φωτ. 9 :** Κατολίσθηση στη θέση 10 της περιοχής Ασπροβάλτα – Στρυμόνα. Η επιφάνεια ολίσθησης έχει ισοπεδωθεί προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο των κατολισθήσεων.



**Φωτ. 10 :** Ανατροπή βράχων στη θέση 11 της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών. Στη φωτογραφία φαίνεται η επιφάνεια ολίσθησης.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει την ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων TERRA / ASTER και έχοντας επισκεφτεί τις περιοχές μελέτης προκειμένου να επαληθεύσουμε τις υποθέσεις μας, καταλήξαμε στα ακόλουθα συμπεράσματα :

- ✓ Οι δορυφορικές εικόνες του σαρωτή ASTER, με διακριτική ικανότητα 15 m μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εντοπισμό θέσεων στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις.
- ✓ Βασικό χαρακτηριστικό για την αναγνώριση μιας θέσης στην οποία έχει εκδηλωθεί κατολίσθηση είναι η διαφορά της ανακλαστικότητας που παρουσιάζει η θέση στην οποία έχει εκδηλωθεί το φαινόμενο σε σύγκριση με τους ασφαλτοστρωμένους δρόμους και τη βλάστηση. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζει και η μεταβολή της γεωμετρίας του σχήματος μιας κατολίσθησης, η οποία μπορεί να εντοπιστεί από δορυφορικές εικόνες οι οποίες έχουν ληφθεί πριν και μετά την εκδήλωση του φαινομένου της κατολίσθησης.
- ✓ Σε περίπτωση που η κατολίσθηση είναι παλαιά και η επιφάνεια ολίσθησης έχει καλυφθεί με βλάστηση, διότι έχει περάσει μεγάλο χρονικό διάστημα από τότε που εκδηλώθηκε, τότε η νέα φυτοκάλυψη δυσχεραίνει τον εντοπισμό της κατολίσθησης από τις δορυφορικές εικόνες. Αυτή την περίπτωση συναντάμε στην περιοχή των Λουτρών Ελευθερών, όπου επιπλέον, τα πρανή είναι απότομα και δεν αποκαλύπτουν μεγάλη επιφάνεια στη δορυφορική εικόνα.
- ✓ Οι εικόνες «Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών» (PCA) παρουσιάζουν πολύ καλά αποτελέσματα στον εντοπισμό θέσεων στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, γιατί απεικονίζουν τις θέσεις αυτές με χαρακτηριστική διαφορά ανακλαστικότητας, σε σύγκριση με τους ασφαλτοστρωμένους δρόμους ή τη βλάστηση.
- ✓ Οι φασματικές ζώνες του ερυθρού και του κοντινού υπέρυθρου έχουν περίπου το ίδιο εύρος στους σαρωτές ASTER και TM (Thematic Mapper) των δορυφόρων Terra και Landsat 5 αντίστοιχα. Αυτό μας επιτρέπει να υπολογίσουμε το «Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης

Διαφοράς» (Normalized Difference Vegetation Index / NDVI) χρησιμοποιώντας τις φασματικές ζώνες (ερυθρό και κοντινό υπέρυθρο) του σαρωτή ASTER.

- ✓ Οι εικόνες του «δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς» (NDVI) δίνουν και αυτές με ικανοποιητική ακρίβεια τις θέσεις στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, εφόσον οι τελευταίες δεν καλύπτονται από βλάστηση.
- ✓ Οι σύνθετες ψευδοέγχρωμες εικόνες, οι οποίες έχουν συντεθεί από εικόνες κυρίων συνιστωσών (PCA) και εικόνες του «δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς» (NDVI), μπορούν να απεικονίσουν με ικανοποιητική ακρίβεια τις θέσεις στις οποίες έχουν εκδηλωθεί φαινόμενα κατολισθήσεων.
- ✓ Η διακριτική ικανότητα των 15 m, του TERRA / ASTER θεωρείται ως αρκετά ικανοποιητική στον εντοπισμό θέσεων που έχουν εκδηλωθεί εκτεταμένες κατολισθήσεις.

## **9. Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (Γ.Σ.Π.) ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ**

### **9.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Ο εντοπισμός των θέσεων στις οποίες έχουν πραγματοποιηθεί, ή υπάρχει πιθανότητα να πραγματοποιηθούν φαινόμενα κατολισθήσεων μπορεί να γίνει εφικτός με τη βοήθεια των Γ.Σ.Π.. Τα Γ.Σ.Π. μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή χάρτη επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις (landslide susceptibility map), ο οποίος καταδεικνύει τις περιοχές που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να εκδηλωθούν κατολισθήσεις.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή από τους Guzzetti F., et al., 1997: «προς το παρόν δεν υπάρχει συμφωνία ούτε για τις μεθόδους αλλά ούτε για το πλαίσιο της παραγωγής χαρτών κινδύνου (hazard maps)». Η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατασκευή τους προϋποθέτει την

εκτίμηση του πόσο κάποιος παράγοντας, ο οποίος επιδρά στις κατολισθήσεις, μπορεί να συνεισφέρει στην εκδήλωση του εν λόγω φαινομένου.

Σε κάθε περίπτωση δημιουργίας χάρτη επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις, η επιλογή των παραγόντων, που κατά τη γνώμη του συγγραφέα επηρεάζουν την κατολίσθηση, γίνεται με καθαρά υποκειμενικά κριτήρια. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από το μεγάλο πλήθος εργασιών που υπάρχουν για την κατασκευή χαρτών επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις και στις οποίες κάθε συγγραφέας επιλέγει κάθε φορά διαφορετικούς παράγοντες για να κατασκευάσει τον τελικό χάρτη. Επιπλέον, ένα μεγάλο πρόβλημα στην κατασκευή των χαρτών, αποτελεί και η υποκειμενικότητα που χαρακτηρίζει το στάδιο εκείνο της εργασίας όπου αποδίδονται προτεραιότητες (διαβαθμίσεις / ratings) στους διάφορους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη (L. Donati and M.C. Turrini, 2001).

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης θεωρείται ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα των κατολισθήσεων στις περιοχές μελέτης είναι η λιθολογία και οι κλίσεις των πρανών (H. L. Perotto – Baldiviezo, et al., 2003, L. Donati and M.C. Turrini, 2001, A. Clerici, et al., 2001, F. Guzzetti, et al., 1997). Άλλοι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν είναι η φυτοκάλυψη, ο προσανατολισμός των πρανών και η «εγγύτητα» (proximity) στους ποταμούς. Ο παράγοντας της βροχόπτωσης, αν και πολύ σημαντικός, δεν λήφθηκε υπόψη, επειδή στις περιοχές Ασπροβάλτας – Στρυμόνα και Λουτρών Ελευθερών δεν υπάρχει δίκτυο μετεωρολογικών οργάνων προκειμένου να ληφθούν οι ανάλογες μετρήσεις. Εξάλλου, ο παράγοντας της βροχόπτωσης δεν λαμβάνεται υπόψη στη δημιουργία «χαρτών επιδεκτικότητας» περιοχών στις κατολισθήσεις (susceptibility maps), αλλά στην κατασκευή «χαρτών επικινδυνότητας» μιας περιοχής από τις κατολισθήσεις (hazard maps) (F.C. Dai, et al., 2002, Wu and Sidle, 1995). Επίσης δεν λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας των θέσεων στις οποίες έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις στο παρελθόν, γιατί στην Ελλάδα, σε αντίθεση με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως για παράδειγμα είναι η Αγγλία, η Ισπανία, η Γαλλία κ.α., δεν υπάρχει βάση δεδομένων η οποία να περιλαμβάνει τις κατολισθήσεις που έχουν εκδηλωθεί στον ελληνικό χώρο.

Από τους παράγοντες αυτούς και με τη βοήθεια του προγράμματος Γ.Σ.Π. ArcInfo, που προαναφέρθηκε, προέκυψαν τα ακόλουθα επίπεδα πληροφοριών :

- a) **Χάρτης επιδεκτικότητας λιθολογικών σχηματισμών στις κατολισθήσεις.**
- b) **Χάρτης επιδεκτικότητας των κλίσεων των πρανών στις κατολισθήσεις.**
- c) **Χάρτης επιδεκτικότητας των προσανατολισμών των πρανών στις κατολισθήσεις.**
- d) **Χάρτης βλάστησης.**
- e) **Ζώνες επιρροής (buffer zones) από τους ποταμούς.**

Στη συνέχεια, στα επίπεδα αυτά αποδόθηκαν «διαβαθμίσεις» (ratings), ανάλογα με το πόσο σημαντικά κρίνονται στην εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων. Οι διαβαθμίσεις αυτές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της «Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (Analytical Hierarchy Process) (Παράρτημα Γ). Κατόπιν, τα επίπεδα συντέθηκαν ανάλογα με το βαθμό σημαντικότητας τους και από αυτά προέκυψαν οι τελικοί χάρτες (χάρτες 19 και 20) των περιοχών που είναι επιδεκτικές στις κατολισθήσεις, για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά.

## **9.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (DEM).**

Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία (ESRI (a), 2001) ότι ο συνηθέστερος και πιο διαδεδομένος τρόπος απεικόνισης του ανάγλυφου της γήινης επιφάνειας είναι τα Ψηφιακά μοντέλα Ανάγλυφου (Ψ.Μ.Α. / Digital Elevation Model – DEM). Ένα Ψ.Μ.Α. (DEM) είναι μια αναπαράσταση μορφής κανάβου (raster) μιας συνεχούς επιφάνειας, η οποία στις Γεωεπιστήμες συνήθως αναφέρεται στην επιφάνεια της Γης. Άλλα πιθανά DEM μπορεί να προκύψουν από τις τιμές την ατμοσφαιρικής πίεσης μιας περιοχής (ισοβαρείς καμπύλες), από τις τιμές του βάθους του θαλάσσιου πυθμένα (ισοβαθείς καμπύλες), του βάθους του υπόγειου υδροφορέα μιας περιοχής κλπ. Στην περίπτωση μας, το



DEM αναφέρεται στο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης και έχει ως βάση δημιουργίας του τις ισοϋψείς καμπύλες.

Η ακρίβεια ενός παραγόμενου DEM εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ανάλυση του DEM (η απόσταση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας), η μορφή των δεδομένων, καθώς και η ακρίβεια και αξιοπιστία με τις οποίες έγιναν οι πρωτογενείς μετρήσεις του μεγέθους μελέτης, που στην περίπτωση μας είναι το υψόμετρο).

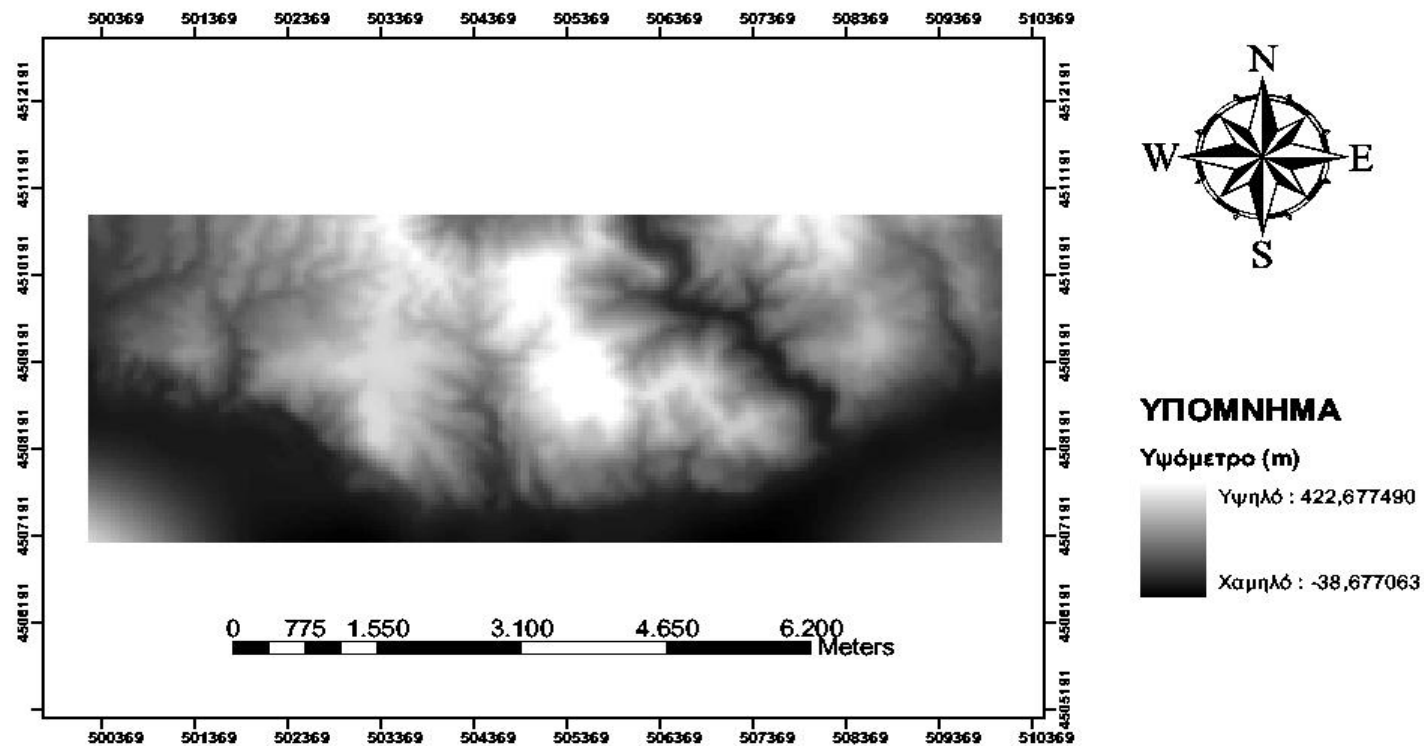
Το ανάγλυφο αναπαρίσταται από ένα πλέγμα σημείων που ισαπέχουν μεταξύ τους και κάθε ένα από αυτά έχει μια ορισμένη τιμή που αντιστοιχεί στο υψόμετρο. Για τον υπολογισμό του υψομέτρου σε περιοχή μεταξύ δυο γνωστών σημείων, χρησιμοποιείται η μέθοδος της «παρεμβολής» (interpolation), δηλαδή το υψόμετρο υπολογίζεται με βάση τα υψόμετρα των γειτονικών σημείων. Η μέθοδος αυτή κρίνεται πολύ αποτελεσματικότερη από εκείνη κατά την οποία το υψόμετρο υπολογίζεται χωρίς παρεμβολή και λαμβάνεται ίσο με το υψόμετρο του σημείου στο οποίο είναι πλησιέστερο. (Φουρνιάδης, 2002)

Στην παρούσα εργασία, από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., που προαναφέραμε, κατασκευάστηκαν τα Ψ.Μ.Α. (DEM) (χάρτες 3 και 4) και στη συνέχεια από αυτά προέκυψαν οι χάρτες της κλίσης (slope gradient) και του προσανατολισμού των πρανών (slope aspect), οι οποίοι στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθούν οι εξής χάρτες : α) ο χάρτης της επιδεκτικότητας της γωνίας κλίσης των πρανών στις κατολισθήσεις και β) ο χάρτης της επιδεκτικότητας των προσανατολισμών των πρανών στις κατολισθήσεις.

### **9.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (Triangulated Irregular Network, TIN)**

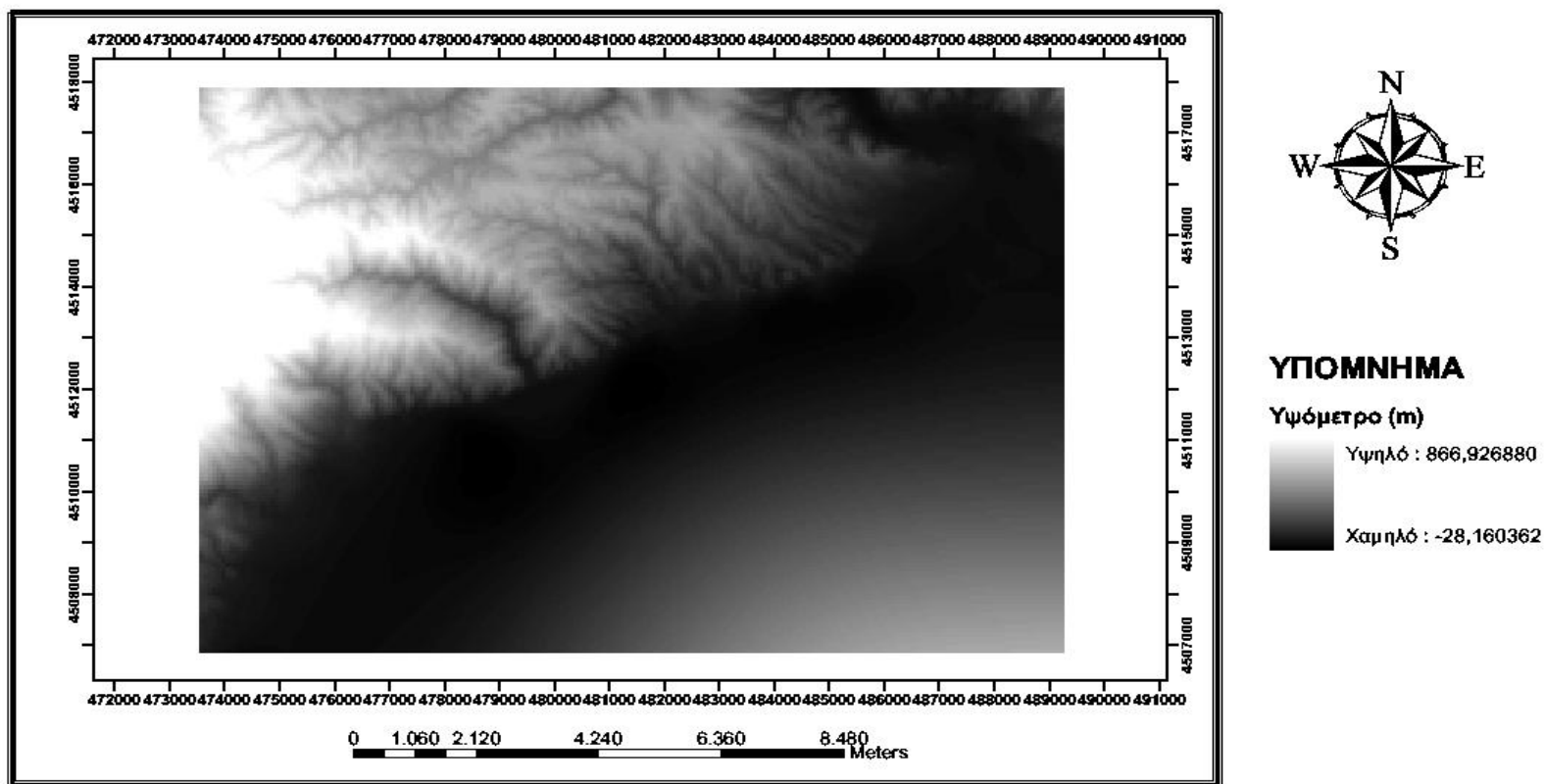
Εκτός από τα DEM υπάρχουν και άλλες μέθοδοι αναπαράστασης του γήινου ανάγλυφου. Στα Γ.Σ.Π., η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι υφίστανται μια σειρά από μεθόδους εκτίμησης της τιμής ενός χαρακτηριστικού, οι οποίες βασίζονται στην ψηφιοποίηση των παρατηρούμενων σημείων. Μια από τις πλέον γνωστές μεθόδους είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί την

### ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (DEM) ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



Χάρτης 3 : Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.

## ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (DEM) ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ



Χάρτης 4 : Ψηφιακό μονέλο ανάγλυφου (DEM) της περιοχής Ασπροβάλτα - Στρυμώνας.

«τριγωνοποίηση Delannay», γνωστή και ως «Τριγωνοποιημένο Ακανόνιστο Δίκτυο» (TIN / Triangulated Irregular Network) (Κουτσόπουλος, 2002)

«Τριγωνοποίηση» σημαίνει ότι όλα τα σημεία ενώνονται μεταξύ τους, μετατρέπόμενα σε ένα σύνολο πλευρών τριγώνων που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Κάθε πλευρά του τριγώνου θεωρείται ότι έχει ομοιόμορφες χωρικές ιδιότητες, δηλαδή η τιμή του χαρακτηριστικού μεταξύ των δυο κορυφών της πλευράς μεταβάλλεται με έναν καθορισμένο και σταθερό τρόπο. Η όλη διαδικασία της δημιουργίας του Τριγωνοποιημένου Ακανόνιστου Δικτύου (TIN) αφορά στη δημιουργία του πλέγματος των τριγώνων και τον καθορισμό της συνάρτησης της χωρικής διαφοροποίησης των τιμών. Ένα σύνολο σημείων μπορεί να «τριγωνοποιηθεί» συνδέοντας κάθε σημείο με όλα τα γειτονικά που είναι πλησιέστερα σε αυτό, με ευθύγραμμα τμήματα που δεν τέμνονται μεταξύ τους. Η σύνδεση αυτή δημιουργεί μια πλειάδα πλευρών τριγώνου διαφορετικού μεγέθους. Η διαδικασία αυτή της «τριγωνοποίησης» μπορεί να επιτευχθεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με το κριτήριο σύνδεσης των σημείων. Από τις μεθόδους αυτές, η πλέον γνωστή είναι η «μέθοδος Delannay», γνωστή και ως «κριτήριο μέγιστη – ελάχιστη γωνία». (Αλεξάκης, 2003, από Κουτσόπουλο, 2002)

Το πρόγραμμα Γ.Σ.Π. ArcInfo δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάσει TIN, τα οποία απεικονίζουν μια περιοχή τρισδιάστατα και με αυτό τον τρόπο βοηθούν στο να αντιληφθούμε καλύτερα τη μορφολογία του γήινου ανάλυφου. Οι χάρτες 5 και 6 απεικονίζουν τρισδιάστατα τις περιοχές μελέτης με τη βοήθεια του TIN.

## **10. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΑΥΤΟΥΣ**

### **10.1 ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η λιθολογία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τις κατολισθήσεις. Η σύσταση των πετρωμάτων καθορίζει την επιδεκτικότητα των τελευταίων στις κατολισθήσεις. Με αυτό τον τρόπο κάποιοι τύποι πετρωμάτων θεωρούνται ως ιδιαίτερα ανθεκτικοί και

συμβάλουν στη σταθερότητα των πρανών, ενώ άλλοι τύποι πετρωμάτων δεν είναι ανθεκτικοί οπότε θεωρούνται ότι δεν επιδρούν ευνοϊκά στην ισορροπία του πρανούς.

| Λιθολογικός σχηματισμός                                  | A1: Συχνότητα<br>κατ/σεων % | A2: Ποσοστό<br>έκτασης | A1/A2 | Σχετική<br>συχν. κατολ. |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------|-------------------------|
| Τεταρτογενή                                              | 16.229                      | 15.87                  | 1.022 | 0.104                   |
| Τριτογενή                                                | 30.212                      | 24.00                  | 1.258 | 0.128                   |
| Φλύσχη                                                   | 35.581                      | 8.48                   | 4.196 | 0.428                   |
| Μεταβ. στρωμ. προς Φλύσχη,<br>Κερατολ., Σχιστοκερ. κ.λπ. | 2.996                       | 1.22                   | 2.456 | 0.250                   |
| Ασβεστόλιθοι                                             | 3.621                       | 19.50                  | 0.186 | 0.019                   |
| Φυλλίτες-Σχιστόλιθοι                                     | 8.614                       | 18.35                  | 0.469 | 0.048                   |
| Ηφαιστειακά                                              | 2.746                       | 12.58                  | 0.218 | 0.022                   |
| Σύνολο                                                   | 99.999                      | 100.00                 | 9.805 | 0.999                   |

**Πίνακας 3 :** Στον πίνακα αυτό παρουσιάζεται η κατανομή της συχνότητας των κατολισθήσεων στους διάφορους σχηματισμούς του ελληνικού χώρου. (Γ. Κούκης και Κ. Ζιούρκας, 1989).

Οι Γ. Κούκης και Κ. Ζιούρκας (1989) έχοντας αξιολογήσει 800 περιπτώσεις κατολισθήσεων στον ελληνικό χώρο, που έχουν καταγραφεί σε 1500 τεχνικογεωλογικές εκθέσεις και μελέτες, ύστερα από στατιστική επεξεργασία των στοιχείων τους, κατέληξαν στο συμπέρασμα, πως σε ορισμένους πετρογραφικούς σχηματισμούς εκδηλώνονται φαινόμενα κατολισθήσεων περισσότερο από ότι σε κάποιους άλλους. Τα αποτελέσματα της μελέτης τους φαίνονται στον Πίνακα 3.

Παρατηρώντας τον Πίνακα 3, βλέπουμε ότι στον ελληνικό χώρο, οι περισσότερες κατολισθήσεις εκδηλώνονται στο λιθολογικό σχηματισμό του φλύσχη, ενώ ο λιγότερο επιδεκτικός λιθολογικός σχηματισμός, στις κατολισθήσεις, είναι τα ηφαιστειακά πετρώματα.

Στηριζόμενοι στον Πίνακα 3 μπορούμε να ταξινομήσουμε τους λιθολογικούς σχηματισμούς σε κατηγορίες, ανάλογα με την επιδεκτικότητα τους, και ακολούθως να κατατάξουμε τους λιθολογικούς σχηματισμούς των περιοχών μελέτης σε αυτές τις κατηγορίες. Συνοπτικά, οι κατηγορίες στις οποίες ομαδοποιήθηκαν οι λιθολογικοί σχηματισμοί των περιοχών έρευνας, σύμφωνα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις, φαίνονται στον



Πίνακα 4. Σε αυτόν τον πίνακα, οι πάρα πολύ λίγο επιδεκτικοί σχηματισμοί έχουν διαβάθμιση (rating) **1**, ενώ οι πάρα πολύ επιδεκτικοί έχουν διαβάθμιση **6**.

| Λιθολογικός Σχηματισμός | Διαβάθμιση | Χαρακτηρισμός             |
|-------------------------|------------|---------------------------|
| Ηφαιστειακά             | 1          | Πάρα πολύ λίγο επιδεκτικά |
| Ασβεστόλιθοι            | 2          | Πολύ λίγο επιδεκτικά      |
| Μεταμορφωμένα           | 3          | Λίγο επιδεκτικά           |
| Τεταρτογενή             | 4          | Μέτρια επιδεκτικά         |
| Τριτογενή               | 5          | Πολύ επιδεκτικά           |
| Φλύσχης                 | 6          | Πάρα πολύ επιδεκτικά      |

**Πίνακας 4 :** Διακρίνονται οι κατηγορίες στις οποίες διαιρούνται οι λιθολογικοί σχηματισμοί ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις. Στους πάρα πολύ λίγο επιδεκτικούς λιθολογικούς σχηματισμούς έχει δοθεί διαβάθμιση (rating) **1**, ενώ στους πάρα πολύ επιδεκτικούς έχει δοθεί διαβάθμιση **6**.

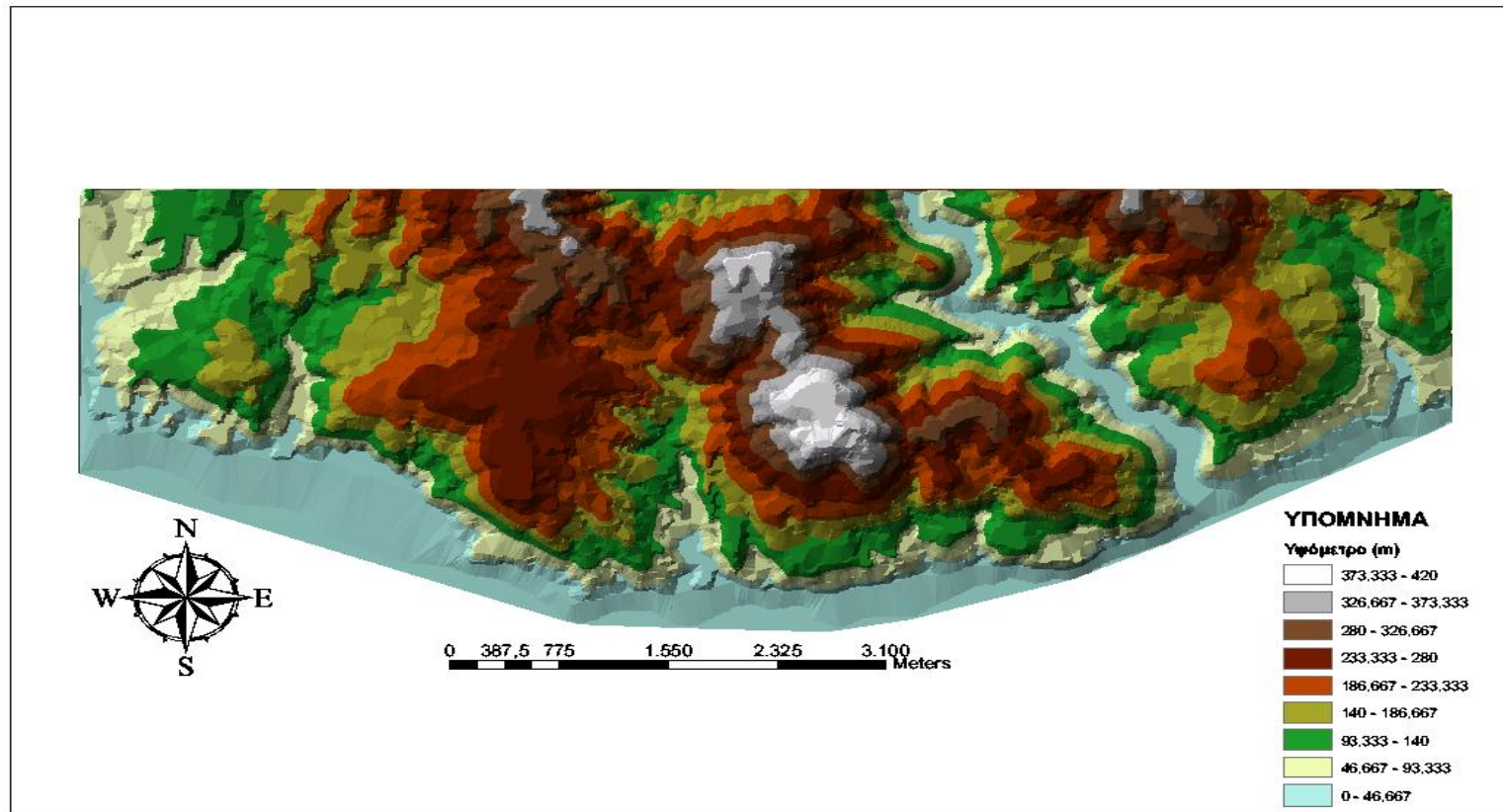
Με αυτό τον τρόπο προέκυψαν οι χάρτες 7 και 8 για τις δυο περιοχές μελέτης. Σ' αυτούς, ταξινομούνται οι λιθολογικές ενότητες ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις.

## 10.2 ΚΛΙΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Οι κλίσεις των πρανών, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα, ο οποίος καθορίζει την επιδεκτικότητά του πρανούς στις κατολισθήσεις. Όσο πιο απότομο είναι ένα πρανές, τόσο περισσότερο επιδεκτικό είναι στο να διαταραχθεί η ισορροπία του και να καταρεύσει. Αυτό συμβαίνει γιατί, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του πρανούς, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κατακόρυφη συνιστώσα της βαρύτητας (L. Donati, M. C. Turrini, 2001).

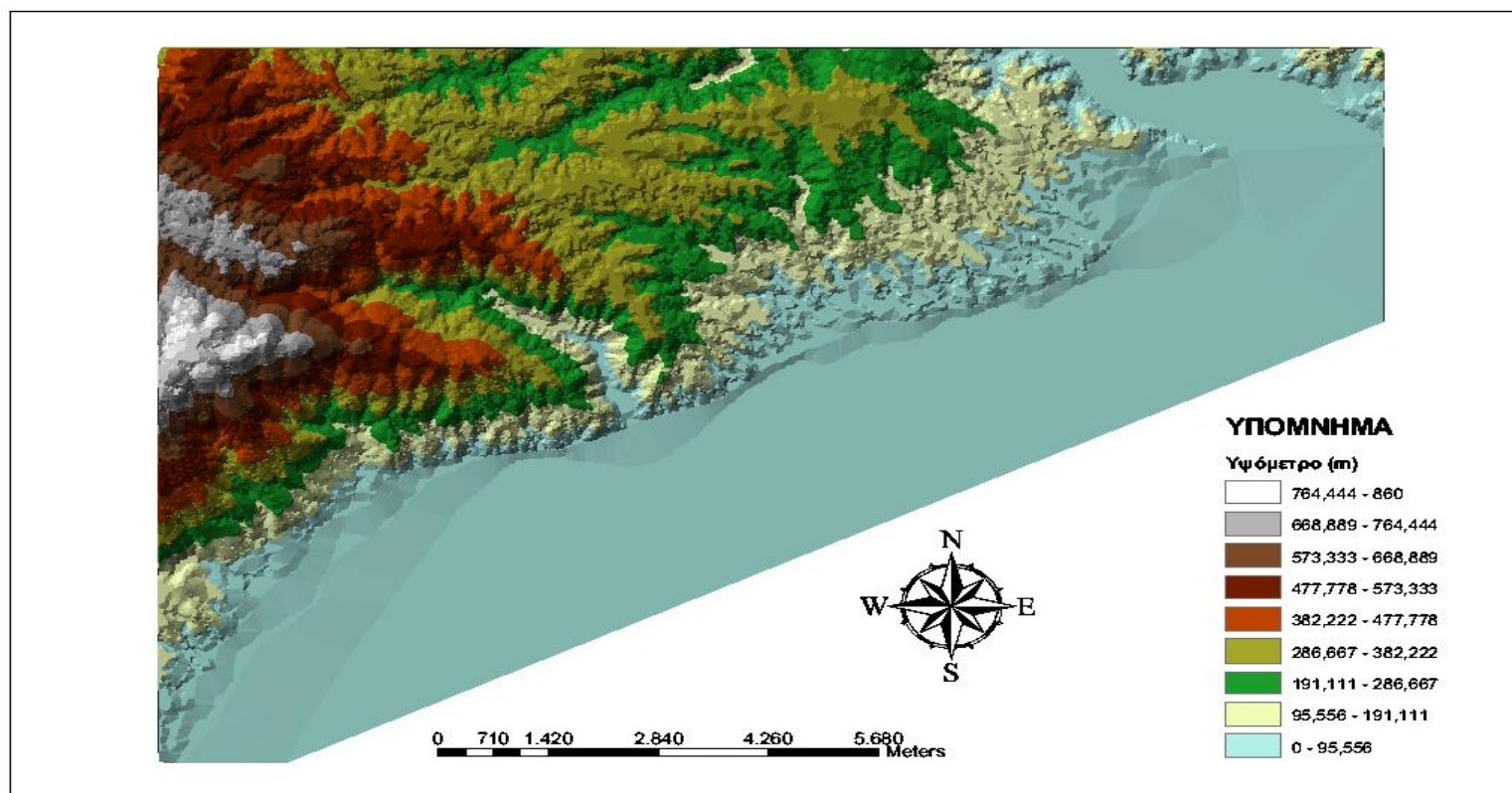
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αλλά και τις κατηγορίες στις οποίες κατατάσσουν οι Γ. Κούκης και Κ. Ζιούρκας (1989) τις τιμές των κλίσεων των πρανών, σύμφωνα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις, μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τις κατηγορίες των κλίσεων του ανάγλυφου.

**ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΙΝ)  
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ**



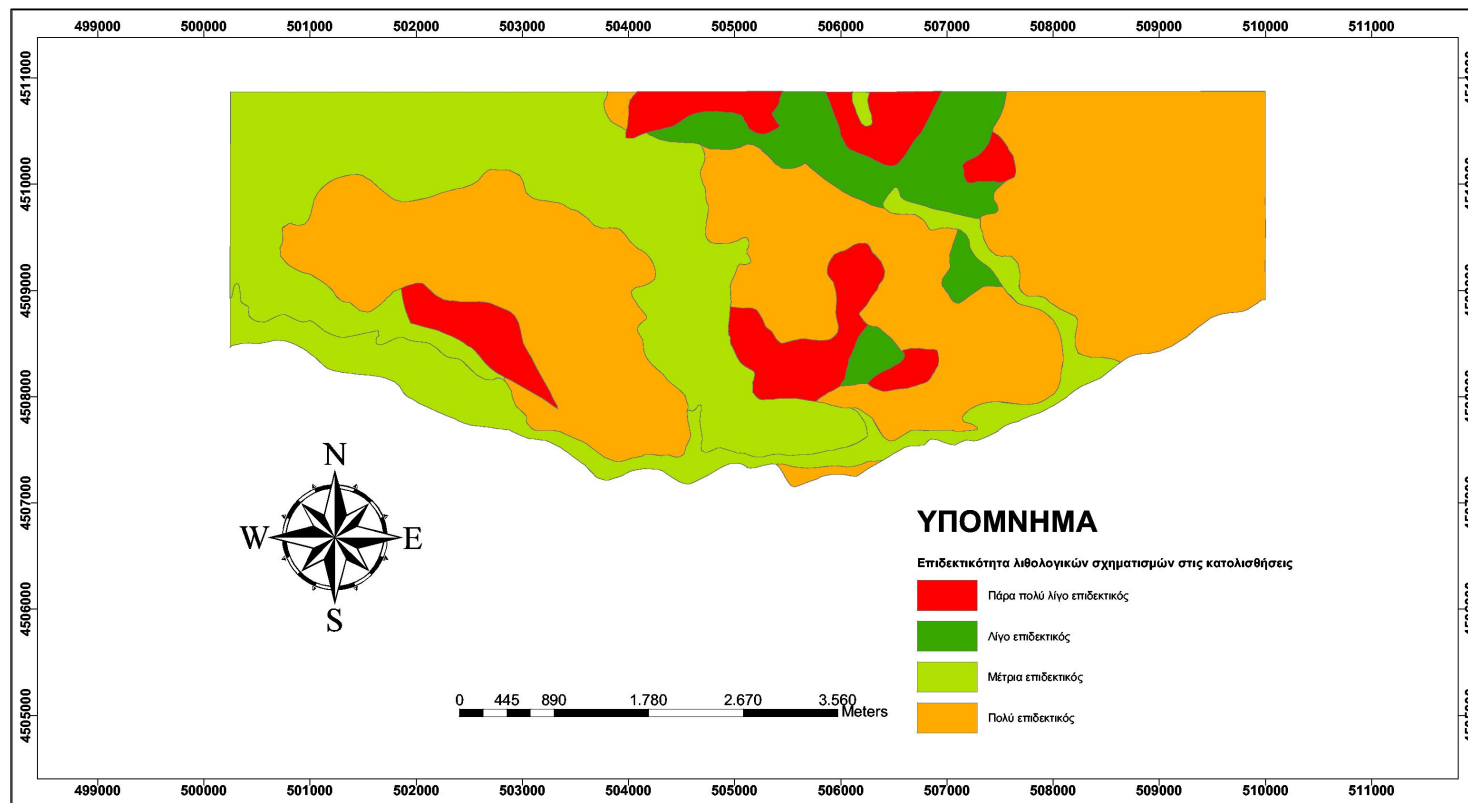
**Χάρτης 5 :** Τριγωνοποιημένο Ακανόνιστο Δίκτυο (ΤΙΝ) της περιοχής Λουτρών Ελευθερών.

**ΤΡΙΓΩΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΙΝ)  
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑ - ΣΤΡΥΜΩΝΑ**



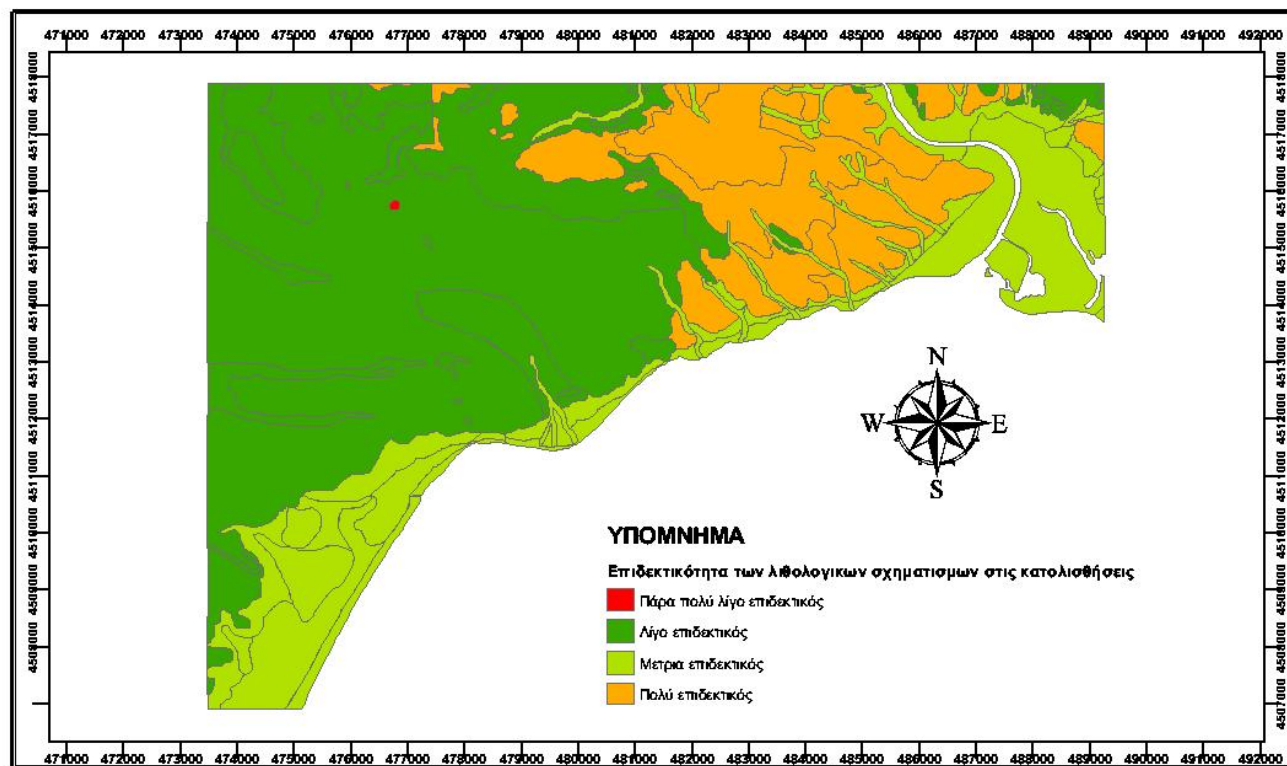
**Χάρτης 6 :** Τριγωνοποιημένο Ακανόνιστο Δίκτυο (ΤΙΝ) της περιοχής Ασπροβάλτα - Στρυμόνα.

### ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



**Χάρτης 7 :** Χάρτης της επιδεκτικότητας των λιθολογικών σχηματισμών στις κατολισθήσεις της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.

**ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ  
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ**



**Χάρτης 8 :** Χάρτης της επιδεκτικότητας των λιθολογικών σχηματισμών της περιοχής Σπροβάλα – Στρυμόνα στις κατολισθήσεις.

| Κλίσεις πρανών | Διαβάθμιση | Χαρακτηρισμός         |
|----------------|------------|-----------------------|
| 0° – 5°        | 1          | Πολύ λίγο επιδεκτικές |
| 5° – 15°       | 2          | Λίγο επιδεκτικές      |
| 15° – 30°      | 3          | Μέτρια επιδεκτικές    |
| 30° – 45°      | 4          | Πολύ επιδεκτικές      |
| 45° – 90°      | 5          | Πάρα πολύ επιδεκτικές |

**Πίνακας 5 :** Διακρίνονται οι κατηγορίες στις οποίες διαιρούνται οι κλίσεις των πρανών ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις. Στις πολύ λίγο επιδεκτικές, για κατολισθήσεις, κλίσεις έχει δοθεί διαβάθμιση (rating) **1**, ενώ στις πάρα πολύ επιδεκτικές έχει δοθεί διαβάθμιση **6**.

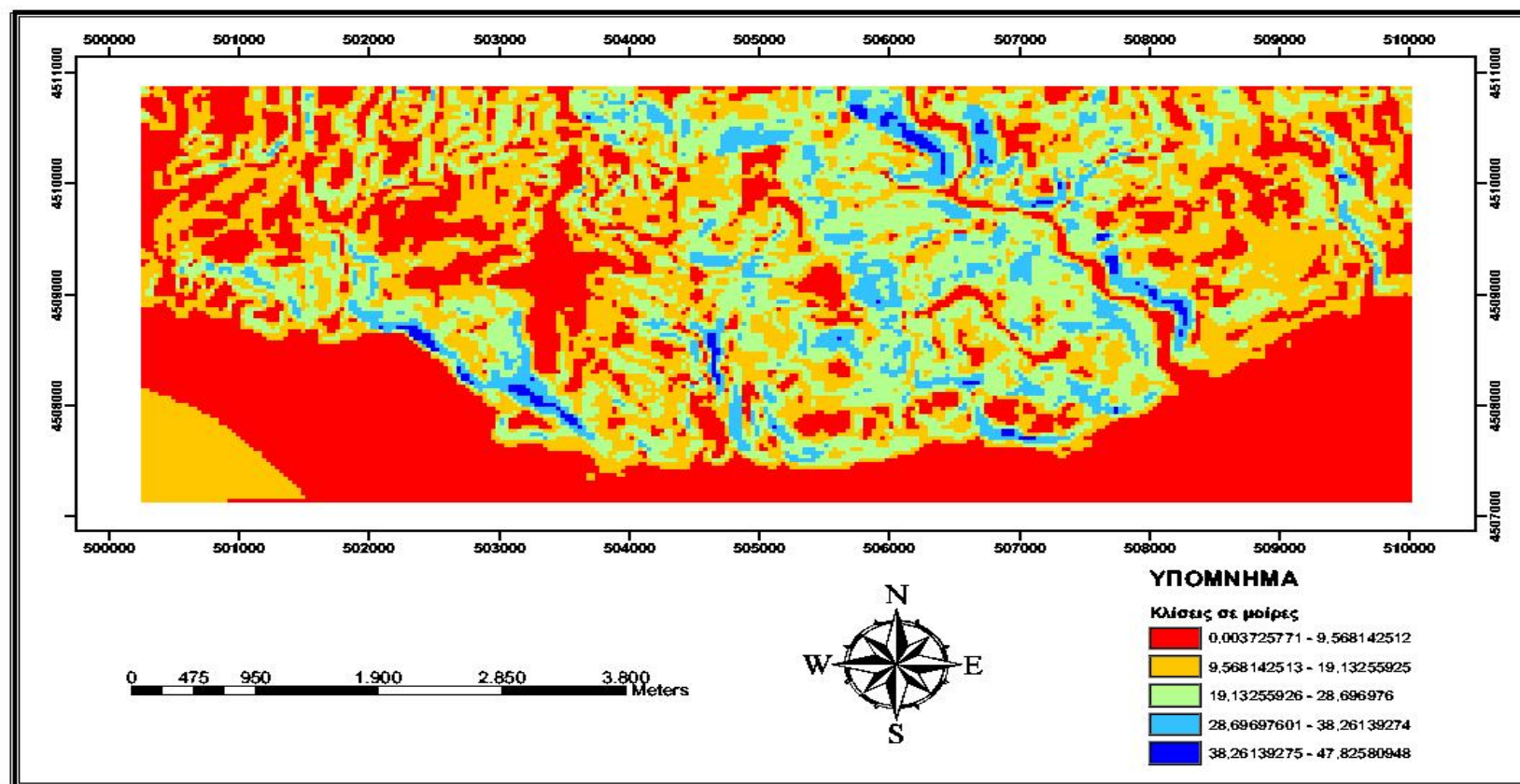
Στον πίνακα 5 φαίνονται οι κατηγορίες των τιμών των κλίσεων των πρανών ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις. Διαβάθμιση **1** έχει δοθεί στις κατηγορίες εκείνες των τιμών των κλίσεων που είναι λιγότερο επιδεκτικές και διαβάθμιση **5** στις κατηγορίες εκείνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές. Με αυτό τον τρόπο, από τους χάρτες κλίσεων (χάρτες 9 και 10) των περιοχών μελέτης Λουτρών Ελευθερών και Ασπροβάλτα – Στρυμόνας, προέκυψαν οι χάρτες 11 και 12, στους οποίους απεικονίζονται τα τμήματα των περιοχών μελέτης ανάλογα με την επιδεκτικότητα τους στις κατολισθήσεις, λόγω της κλίσης των πρανών τους.

### 10.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των κατολισθήσεων διαδραματίζει και ο προσανατολισμός των πρανών, γιατί από αυτόν εξαρτάται η διάβρωση (weathering) και εμμέσως η διατμητική αντοχή (shear strength) της βραχομάζας (rock mass) (L. Donati, M. C. Turrini, 2001).

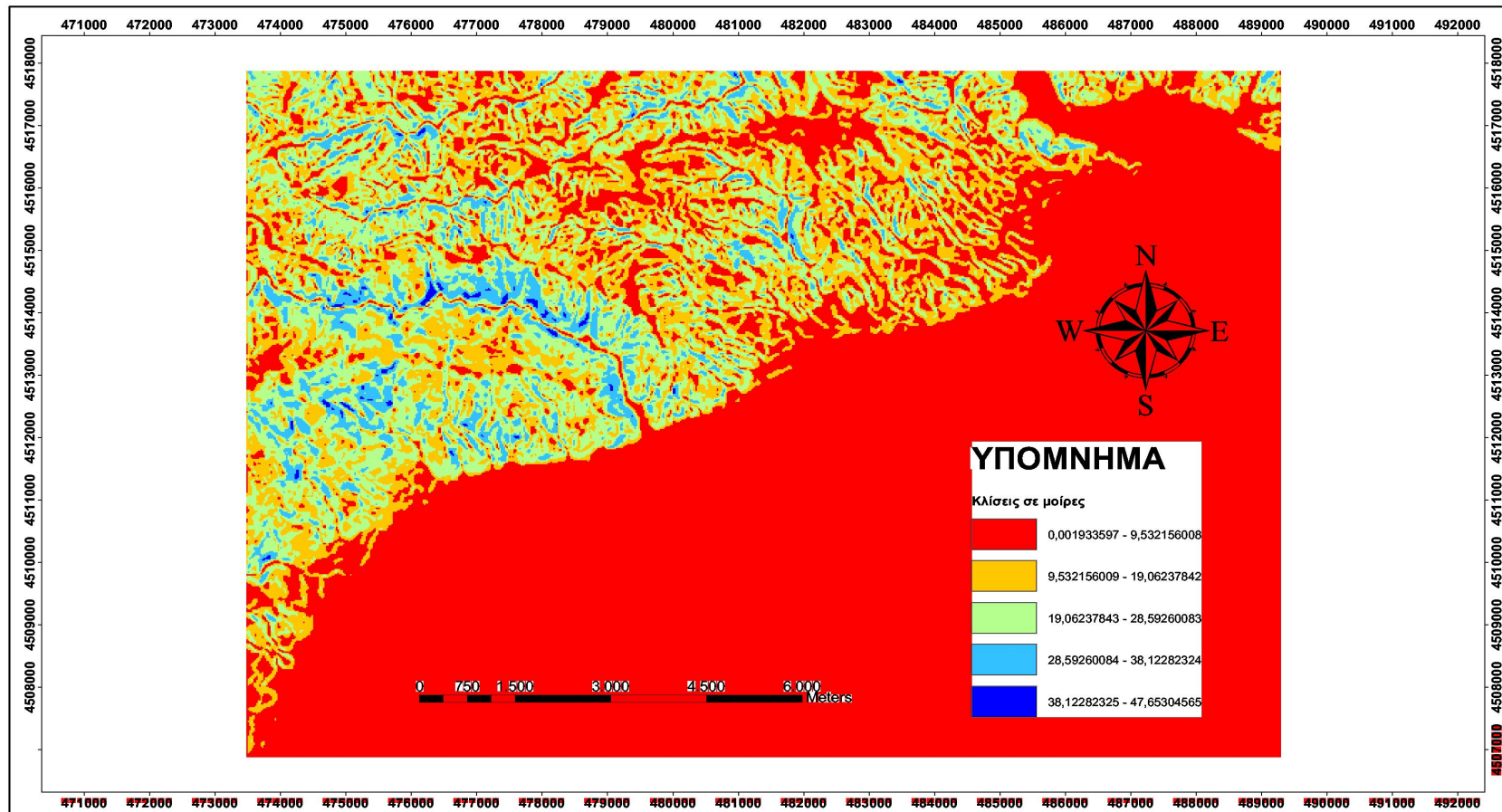


### ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



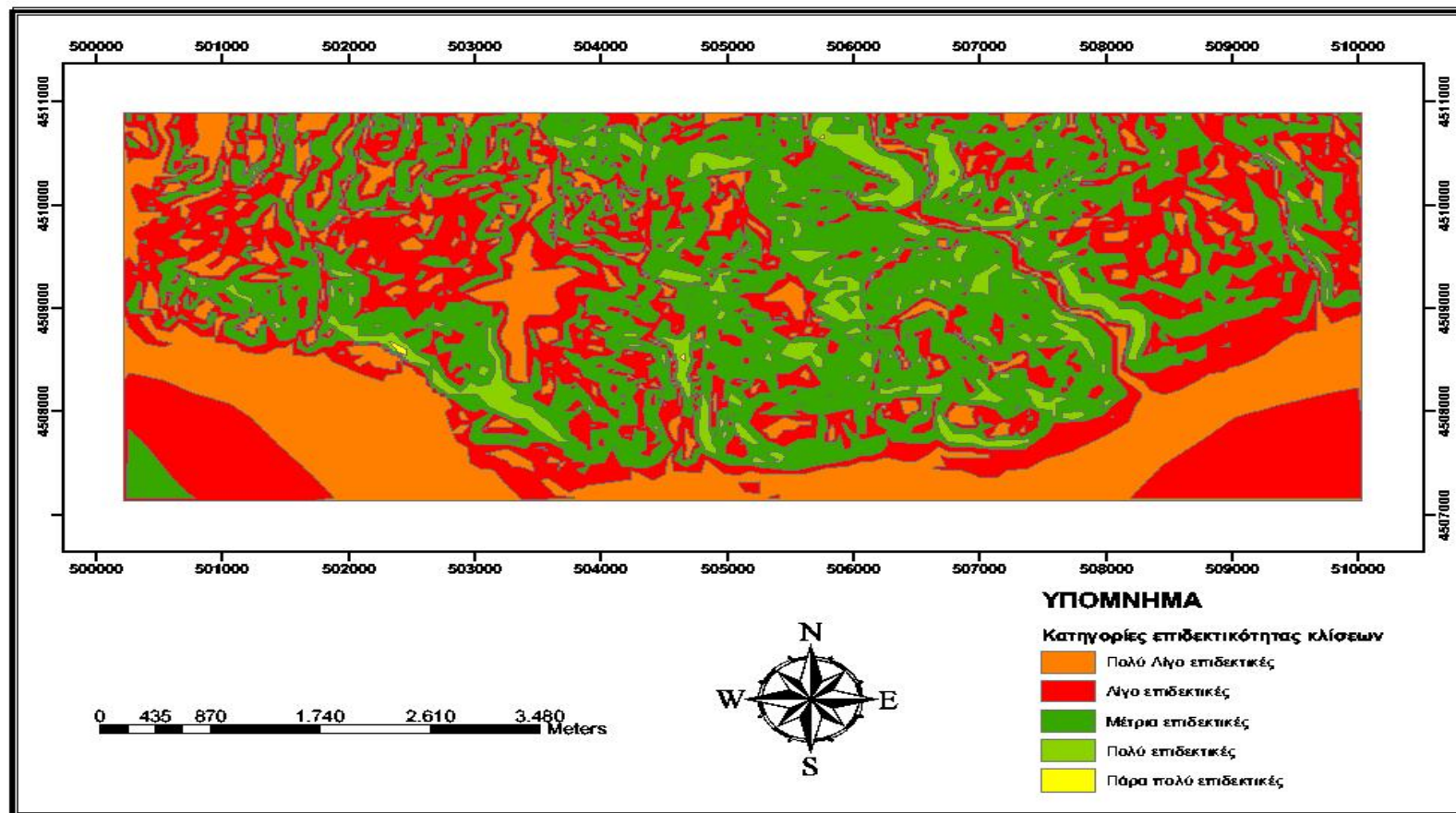
Χάρτης 9 : Χάρτης κλίσεων της παράκτιας περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.

## ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ



Χάρτης 10 : Χάρτης κλίσεων της παράκτιας περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα.

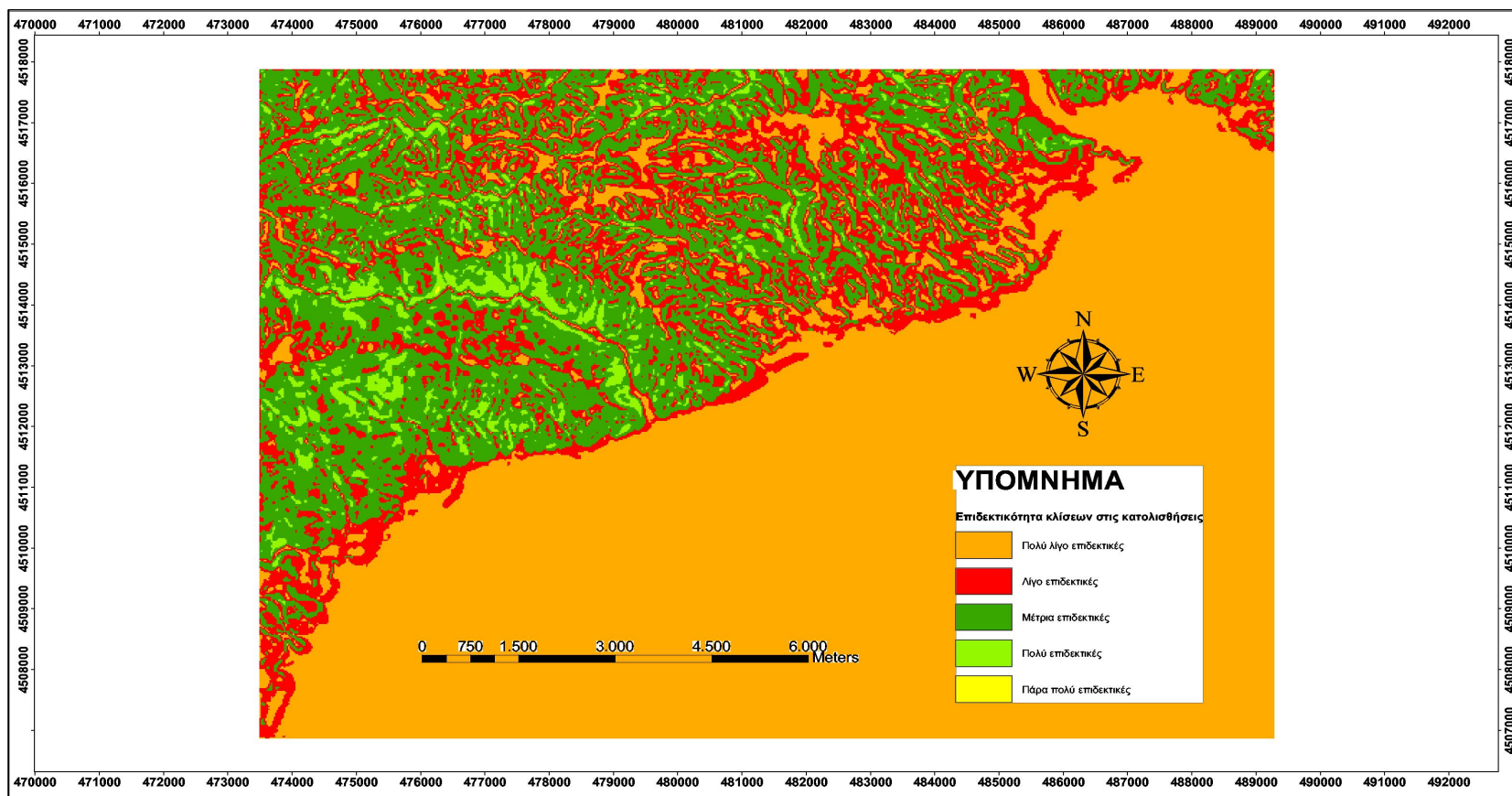
# ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



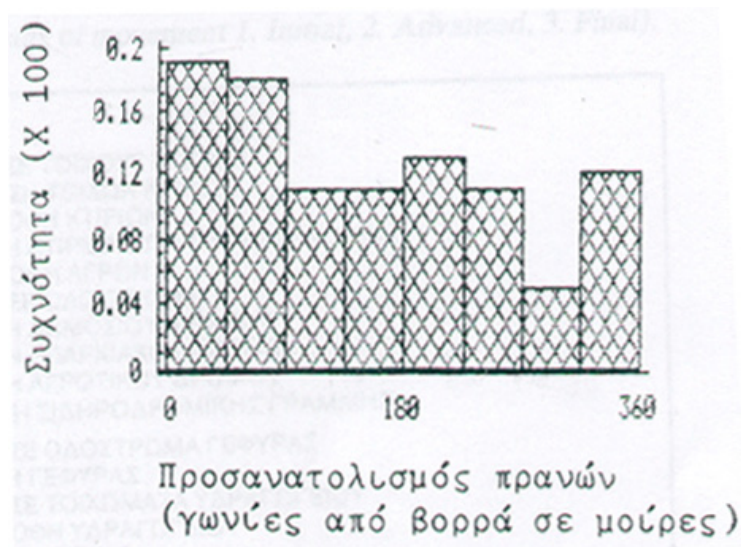
Χάρτης 11 : Χάρτης της επιδεκτικότητας των κλίσεων στις κατολισθήσεις της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.



## ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ – ΣΤΡΥΜΟΝΑ



Χάρτης 12 : Χάρτης επιδεκτικότητας των κλίσεων της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα.



**Σχήμα 7 :** Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας του προσανατολισμού των πρανών στον ελληνικό χώρο. (Γ. Κούκης και Κ. Ζιούρκας, 1989).

Σύμφωνα με τους Γ. Κούκη και Κ. Ζιούρκα (1989), στον ελληνικό χώρο τα φαινόμενα των κατολισθήσεων εκδηλώνονται όταν το πρανές έχει συγκεκριμένο προσανατολισμό.

Στο σχήμα 7 φαίνεται η συχνότητα των κατολισθήσεων σε σχέση με τον προσανατολισμό του πρανούς, το μέγιστο της οποίας παρατηρείται σε πρανή με βόρεια έκθεση, γεγονός που θα μπορούσε να ερμηνευτεί σαν αποτέλεσμα των αποσθρωτικών – διαβρωτικών διεργασιών που δρουν πιο έντονα στα εν λόγω πρανή.

Χρησιμοποιώντας το ιστόγραμμα του σχήματος 7, οι τιμές των προσανατολισμών των κλιτύων στις περιοχές μελέτης ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις.

Στον πίνακα 5 φαίνονται οι κατηγορίες των τιμών των προσανατολισμών των πρανών ανάλογα με την επιδεκτικότητά τους στις κατολισθήσεις. Διαβάθμιση 1 έχει δοθεί στις κατηγορίες εκείνες του προσανατολισμού των πρανών που είναι λιγότερο επιδεκτικές στις κατολισθήσεις και διαβάθμιση 5 στις κατηγορίες εκείνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές. Με αυτό τον τρόπο, από τους χάρτες προσανατολισμού των πρανών (χάρτες 13 και 14) προέκυψαν οι χάρτες 15 και 16, οι οποίοι απεικονίζουν τα τμήματα των περιοχών μελέτης που είναι

επιδεκτικά στις κατολισθήσεις ανάλογα με τον προσανατολισμό των πρανών τους.

| Προσανατολισμός Πρανών | Διαβαθμίσεις | Χαρακτηρισμός πρανούς     |
|------------------------|--------------|---------------------------|
| 0° – 45°               | 6            | Πάρα πολύ επιδεκτικό      |
| 45° – 90°              | 5            | Πολύ επιδεκτικό           |
| 90° – 180°             | 2            | Πολύ λίγο επιδεκτικό      |
| 180° – 225°            | 4            | Μέτρια επιδεκτικό         |
| 225° – 270°            | 2            | Πολύ λίγο επιδεκτικό      |
| 270° – 315°            | 1            | Πάρα πολύ λίγο επιδεκτικό |
| 315° – 360°            | 3            | Λίγο επιδεκτικό           |

**Πίνακας 6 :** Επιδεκτικότητα των πρανών στις κατολισθήσεις ανάλογα με τον προσανατολισμό τους. Στο πάρα πολύ λίγο επιδεκτικό πρανές έχει δοθεί διαβάθμιση (rating) 1, ενώ στο πάρα πολύ επιδεκτικό πρανές έχει δοθεί διαβάθμιση 6.

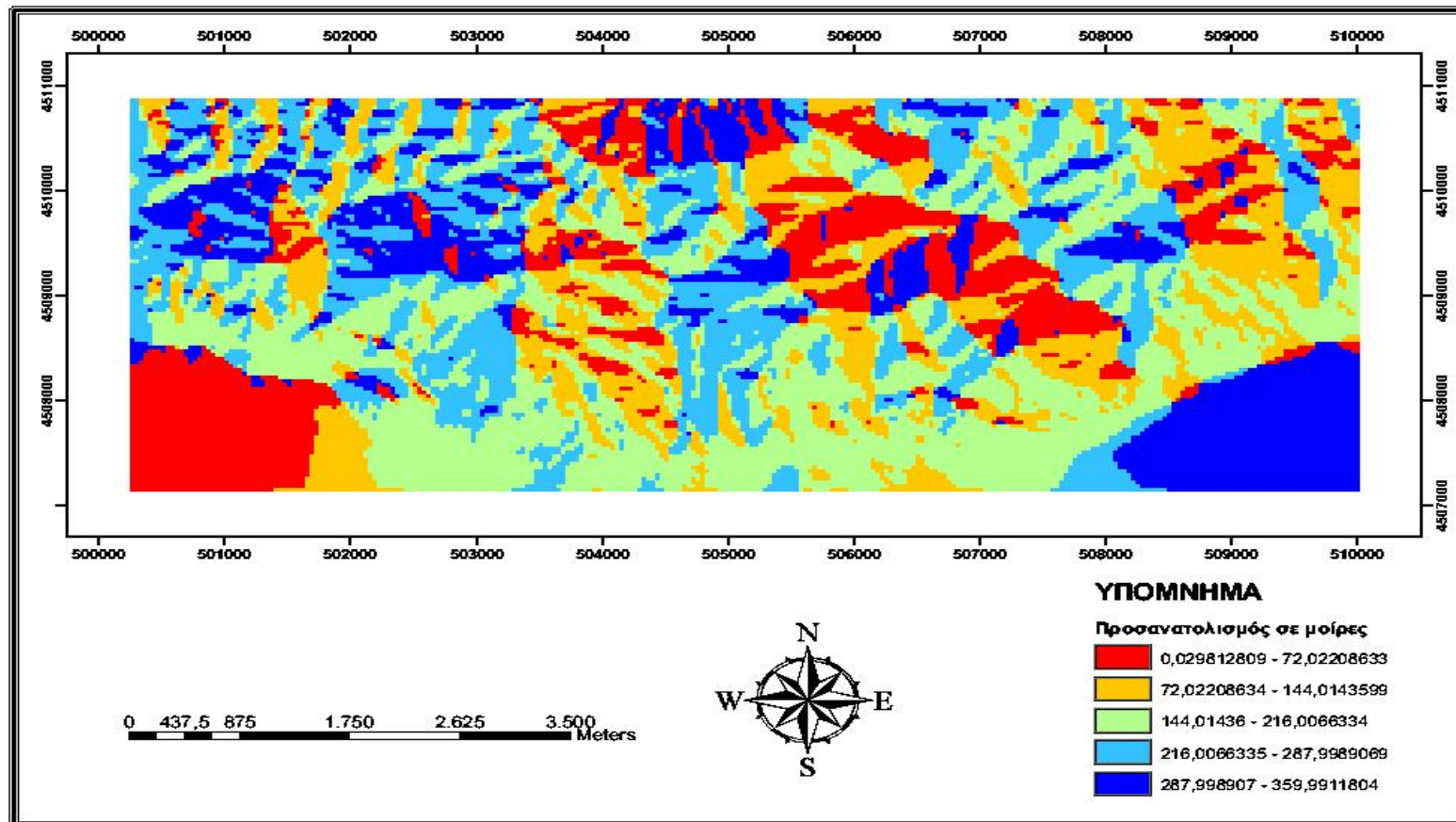
#### 10.4 ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει τις κατολισθήσεις, είναι η βλάστηση. Από θεωρητική άποψη, αυτός ο παράγοντας επηρεάζει τις κατολισθήσεις σε μια περιοχή με ποικίλους τρόπους : α) το έδαφος μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο επιδεκτικό στην αποσάθρωση (erosion) ανάλογα με την βλάστηση, β) η βλάστηση ελαττώνει τη διηθητική ικανότητα (infiltration) του μετεωρικού νερού (meteoric water) και με αυτό τον τρόπο αυξάνει την ουδέτερη πίεση (neutral pressure) στο έδαφος και γ) οι ρίζες των φυτών συνεισφέρουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής (shear strength) του εδάφους, όσο βαθιά μπορούν να φτάσουν. (L. Donati, M. C. Turrini, 2001, από Greeneway, 1992, Vaiopoulos et al., 2004)

Για να παραχθεί ο χάρτης φυτοκάλυψης χρησιμοποιήθηκε η δορυφορική εικόνα που λήφθηκε από τον ASTER στις 11/10/2003. Από αυτή, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, προέκυψε η εικόνα του «δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς», στην οποία εφαρμόστηκε η τεχνική της «διαστρωμάτωσης της πυκνότητας» (density slicing) (Sabins F, 1997,

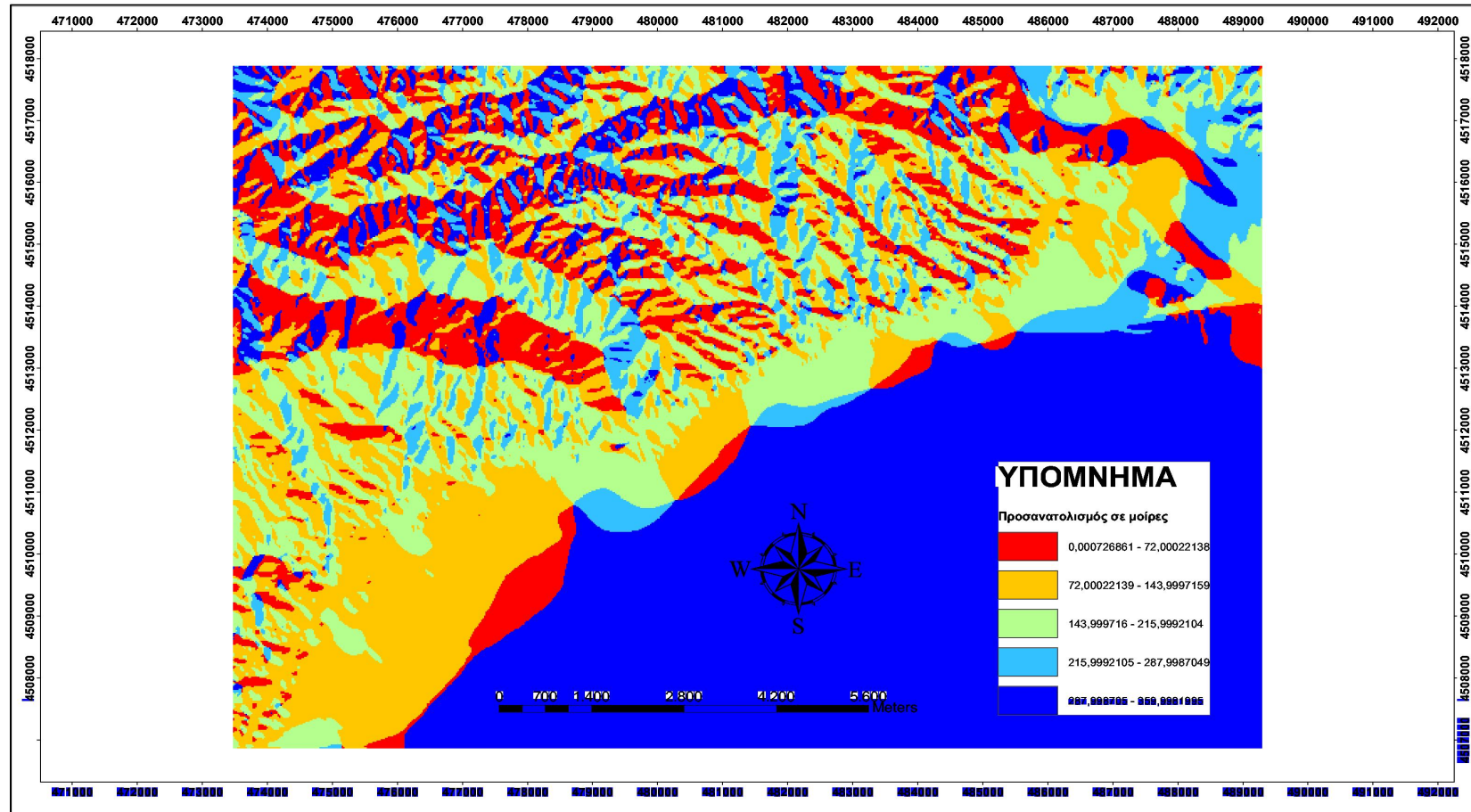


### ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



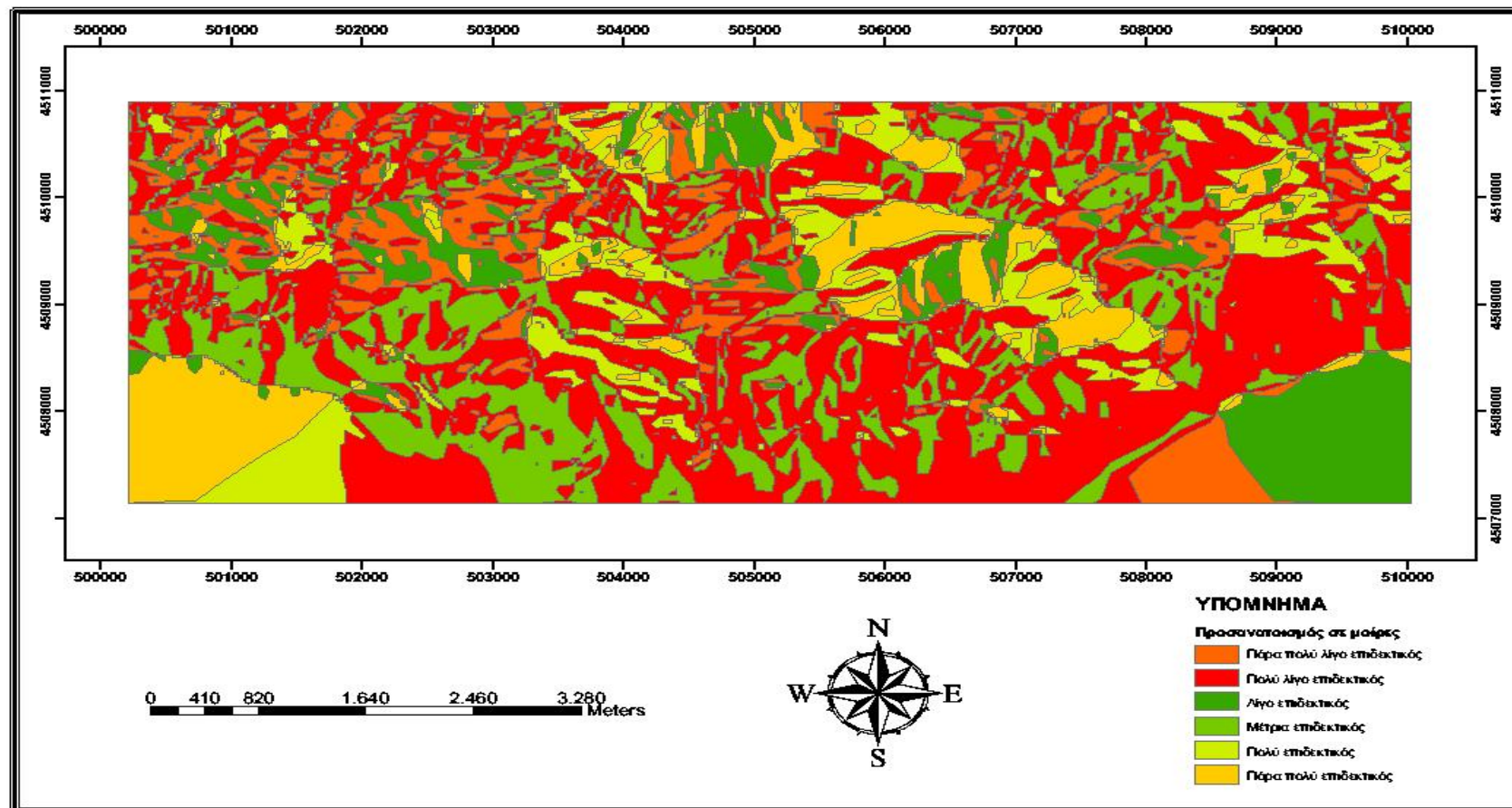
Χάρτης 13 : Χάρτης προσανατολισμού των πρανών της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.

# ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ



Χάρτης 14 : Χάρτης προσανατολισμού των πρανών της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα.

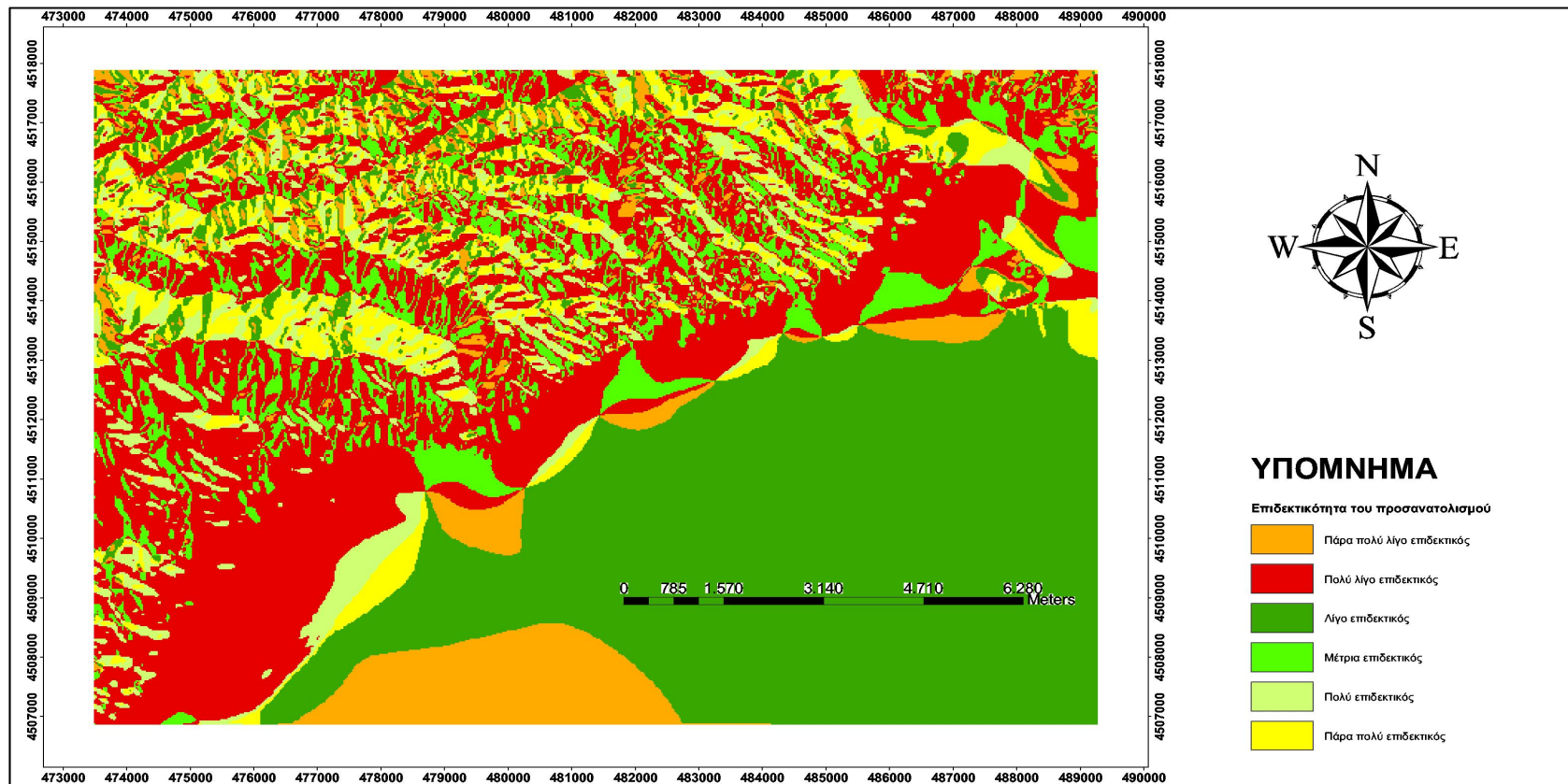
**ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΙΣ  
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ**



**Χάρτης 15 :** Χάρτης επιδεκτικότητας του προσανατολισμού των πρανών, στις κατολισθήσεις, της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.



## ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ



**Χάρτης 16 :** Χάρτης επιδεκτικότητας του προσανατολισμού των πρανών στις κατολισθήσεις της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα.

Druy, 1993, Οικονομίδης, 2000). Η τελική εικόνα που προέκυψε (φωτ. 17 και 18) απεικονίζει με κόκκινους τόνους τις περιοχές όπου δεν υπάρχει βλάστηση, με μπλε τόνους, τις περιοχές εκείνες όπου υπάρχει μέτρια βλάστηση και με πράσινο τις περιοχές εκείνες όπου υπάρχει πυκνή βλάστηση. Στις περιοχές που δεν υπάρχει βλάστηση έχει δοθεί διαβάθμιση **3** και στις περιοχές που υπάρχει πυκνή βλάστηση έχει δοθεί διαβάθμιση **1** (Πίνακας 7).

| Ποσοστό κάλυψης των πρανών με βλάστηση | Διαβάθμιση | Χαρακτηρισμός πρανούς |
|----------------------------------------|------------|-----------------------|
| Απουσία Βλάστησης                      | 3          | Πολύ επιδεκτικό       |
| Αραιή Βλάστηση                         | 2          | Μέτρια επιδεκτικό     |
| Πυκνή Βλάστηση                         | 1          | Λίγο επιδεκτικό       |

**Πίνακας 7 :** Κατηγορίες επιδεκτικότητας των πρανών στις κατολισθήσεις ανάλογα με το ποσοστό της κάλυψής τους από βλάστηση. Στα λίγο επιδεκτικά πρανά έχει δοθεί διαβάθμιση (rating) **1**, ενώ στα πολύ επιδεκτικά πρανά έχει δοθεί διαβάθμιση **3**.

Συμπληρωματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι με τον όρο πυκνή βλάστηση εννοούνται περιοχές στις οποίες επικρατούν : δάση πλατύφυλλων, σκληρόφυλλη βλάστηση, παραδοσιακούς ξυλώδεις θάμνους και χορτολίβαδα. Αντίστοιχα, με τον όρο αραιή βλάστηση εννοείται η παρουσία οργώσιμων εκτάσεων και ετερογενών αγροτικών εκτάσεων.

## 10.5 ΕΓΓΥΤΗΤΑ (PROXIMITY) ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΚΟΙΤΕΣ ΡΕΜΑΤΩΝ

Η απόσταση από τις όχθες των ποταμών αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τις κατολισθήσεις, καθώς η ροή του νερού, υποσκάπτοντας τα πρανά, μπορεί να προκαλέσει κατάπτωση υλικών από αυτές. (L. Donati, M. C. Turrini, 2001)

Ως απόσταση από τις κοίτες των ρεμάτων, που αναπαρίστανται στους χάρτες της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, στην οποία επιδρά η ροή του υδάτινου σώματος στην εμφάνιση κατολισθήσεων, λαμβάνονται τα 50 m (A.K. Saha, et al., 2002, L. Donati, M. C. Turrini, 2001, Pachauri, et al., 1998).

Για να σχηματιστεί το «επίπεδο της εγγύτητας» (proximity layer) χαράχτηκε, η ζώνη επιρροής (buffer zone) των 50 m από το υδρογραφικό δίκτυο των περιοχών μελέτης. Στις περιοχές, που απέχουν κάτω από 50 m από τις όχθες των ποταμών, έχει δοθεί, με τη βοήθεια του Γ.Σ.Π. προγράμματος ArcInfo, διαβάθμιση **3**, ενώ στις περιοχές, που απέχουν περισσότερο από 50 m από τις όχθες των ποταμών, έχει δοθεί διαβάθμιση **1**. Με αυτό τον τρόπο προέκυψαν οι χάρτες 17 και 18.

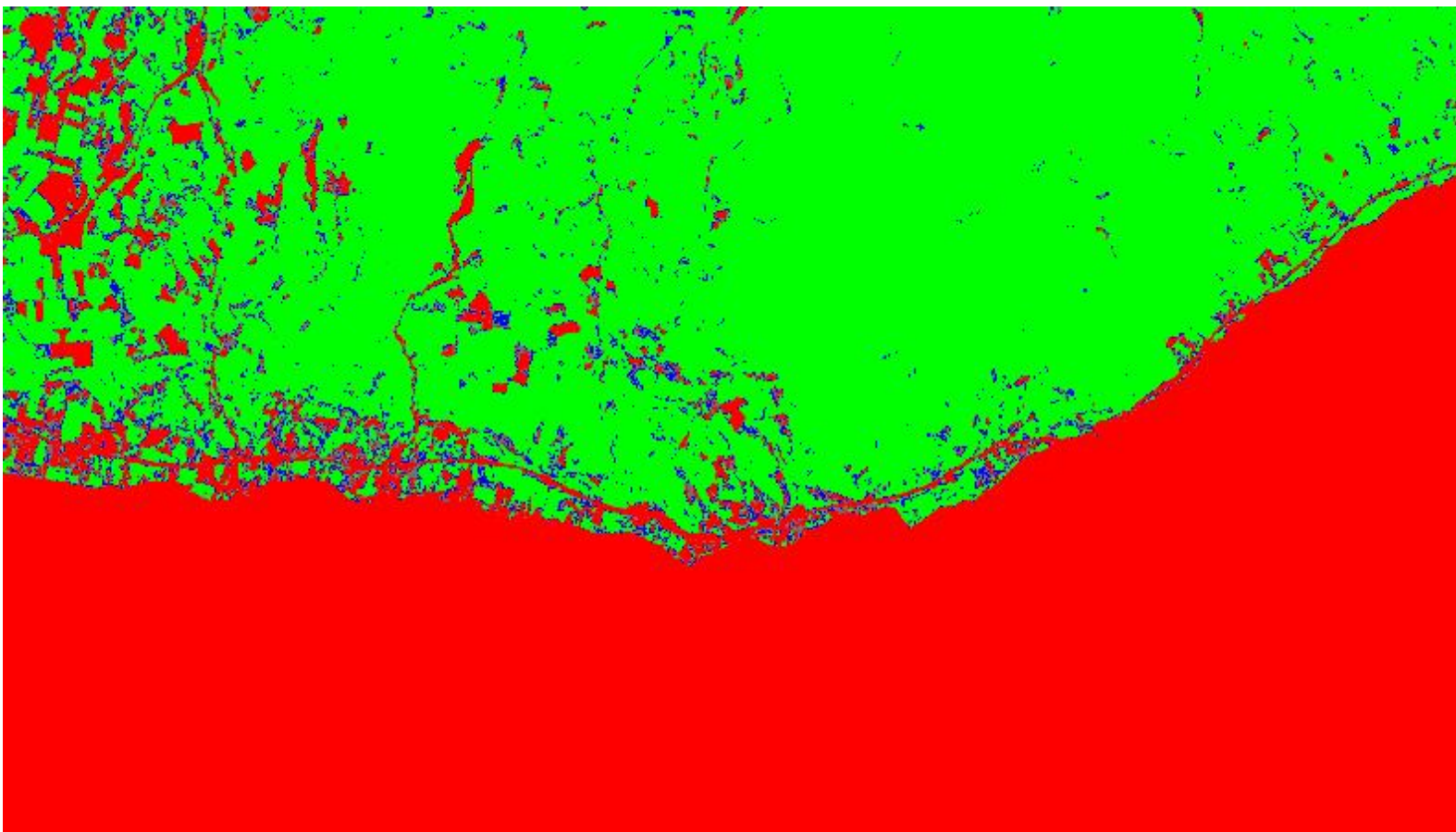
## **10.6 ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ**

Τα επίπεδα πληροφοριών που δημιουργήθηκαν, συντέθηκαν, έτσι ώστε να προκύψουν οι τελικοί χάρτες της επιδεκτικότητας των περιοχών μελέτης στις κατολισθήσεις (χάρτες 19 και 20). Για να επιτευχθεί όμως αυτή η σύνθεση έπρεπε πρώτα να προσδιοριστεί το ποσοστό με το οποίο κάποιος παράγοντας επιδρά στην εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων στις περιοχές μελέτης. Δηλαδή έπρεπε να υπολογιστούν τα «βάρη» (weights) για κάθε παράγοντα.

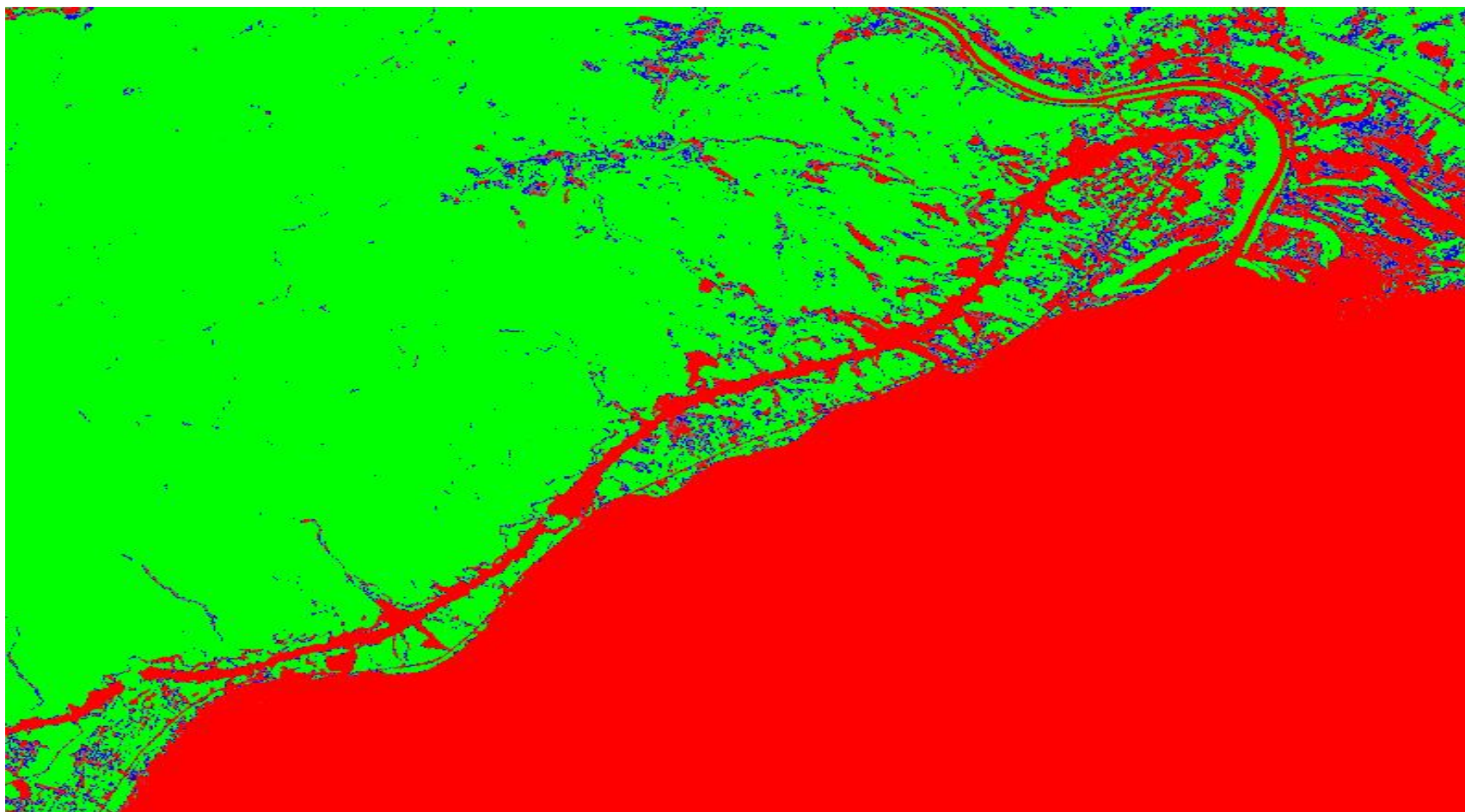
Για τον υπολογισμό των «βαρών» κάθε παράγοντα στην εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της «Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (Analytical Hierarchy Process) (Παράρτημα Γ). Έτσι, στους παράγοντες σχηματίστηκαν όλα τα πιθανά ζεύγη μεταξύ τους και σε κάθε παράγοντα δόθηκε μια αριθμητική τιμή από το 1 έως το 9, ανάλογα με το πόσο σημαντικότερος θεωρείται ένας παράγοντας, συγκριτικά με κάποιον άλλο. Η τιμή 9 δείχνει ότι ένας παράγοντας είναι κατά πολύ περισσότερο προτιμότερος από έναν άλλο, ενώ η τιμή 1 δείχνει ότι ένας παράγοντας είναι εξίσου σημαντικός με κάποιον άλλο. Κλασματικές τιμές δείχνουν ότι ένας παράγοντας είναι λιγότερο σημαντικός σε σύγκριση με κάποιον άλλο. Για παράδειγμα η τιμή 1/9 δείχνει ότι ένας παράγοντας είναι πάρα πολύ λιγότερο σημαντικός από κάποιον άλλο. Αναλυτικά η μετατροπή της προτίμησης των παραγόντων σε αριθμητικές τιμές φαίνεται στον Πίνακα 8.

Ακολούθως, οι παράγοντες συγκρίθηκαν σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 8, ανά ζεύγη και με αυτό τον τρόπο σχηματίστηκε ο Πίνακας 9.



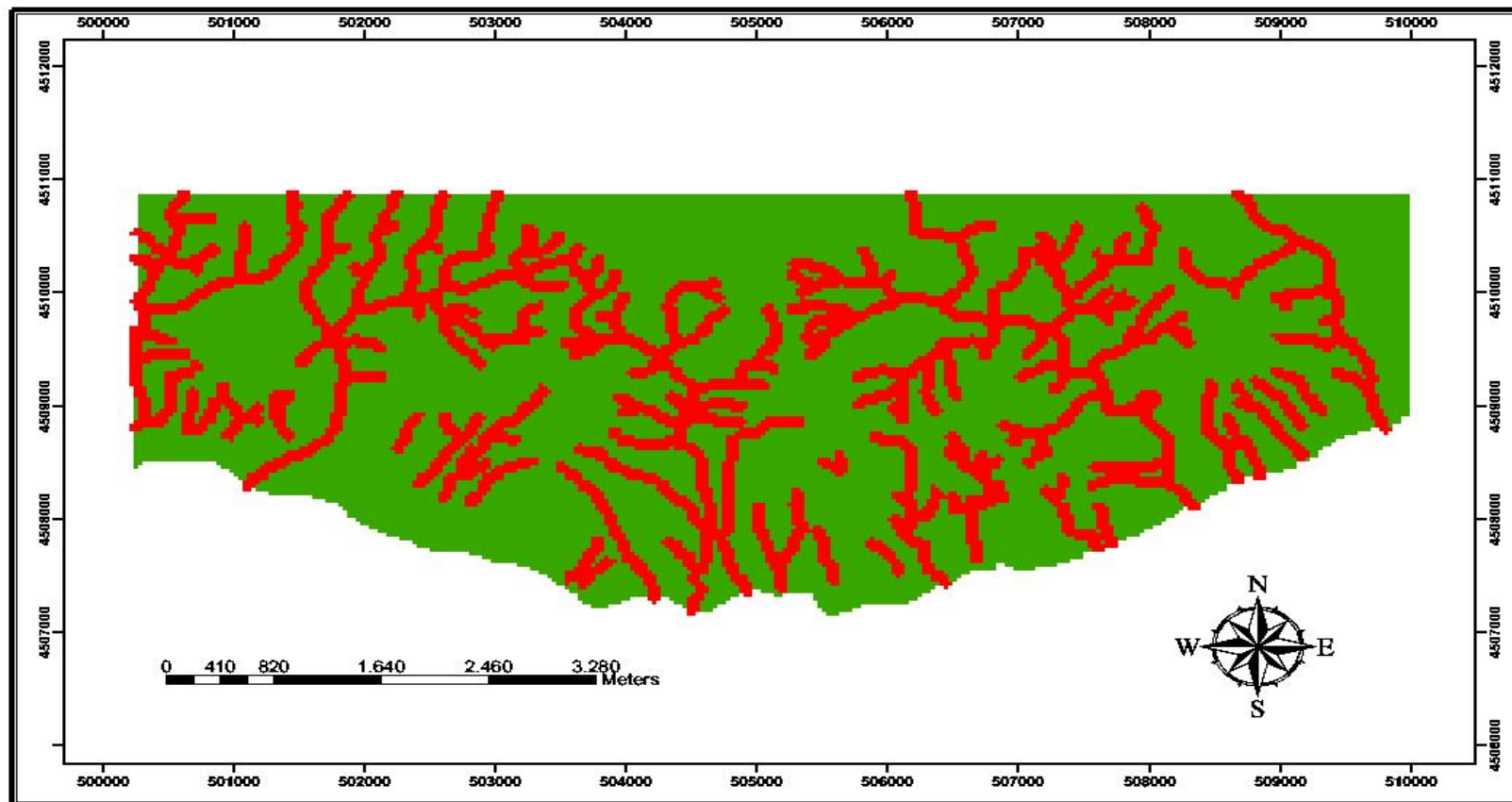


**Εικ. 17 :** Κατάλληλα επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα (από NDVI), στην οποία απεικονίζεται η βλάστηση της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών. Με πράσινο συμβολίζεται η πυκνή βλάστηση, με μπλε η αραιή βλάστηση και με κόκκινο η απουσία της βλάστησης. Η επεξεργασία της εικόνας έγινε με τη μέθοδο της «διαστρωμάτωσης της πυκνότητας» (density slicing).



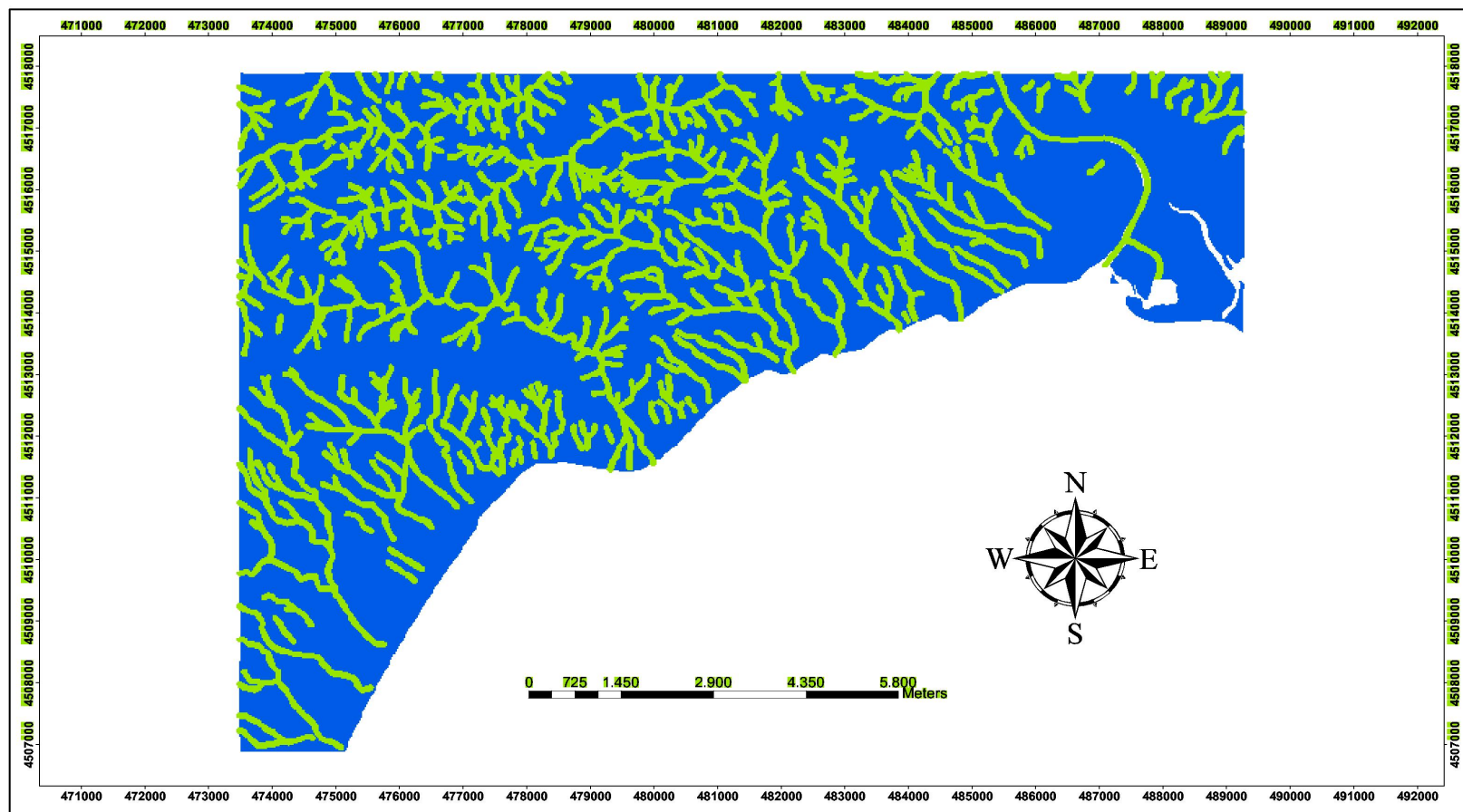
**Εικ. 17 :** Κατάλληλα επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα (από NDVI), στην οποία απεικονίζεται η βλάστηση της περιοχής Ασπροβάλτας - Στρυμόνα. Με πράσινο συμβολίζεται η πυκνή βλάστηση, με μπλε η αραιή βλάστηση και με κόκκινο η απουσία της βλάστησης. Η επεξεργασία της εικόνας έγινε με τη μέθοδο της «διαστρωμάτωσης της πυκνότητας» (density slicing).

**ΖΩΝΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ 50 m ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ  
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ**



**Χάρτης 17 :** Χάρτης «ζωνών επιρροής» του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής των Λουτρών Ελευθερών.

**ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ 50 m ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ  
ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ - ΣΤΡΥΜΟΝΑ**



**Χάρτης 18 :** Χάρτης των «ζωνών επιρροής» των 50 m του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα.



| Προτίμηση ενός παράγοντα σε σύγκριση με κάποιον άλλο | Αριθμητική τιμή |
|------------------------------------------------------|-----------------|
| Πάρα πολύ σημαντικός                                 | 9               |
| Πολύ σημαντικός                                      | 7               |
| Αρκετά σημαντικός                                    | 5               |
| Μέτρια σημαντικός                                    | 3               |
| Εξίσου σημαντικός                                    | 1               |
| Διαστήματα μεταξύ των προτιμήσεων                    | 2,4,6,8         |

**Πίνακας 8 :** Η προτίμηση των παραγόντων και η μετατροπή της σε ποσοτική τιμή.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος του αριθμητικού μέσου (arithmetic mean method) για τον υπολογισμό των βαρών για κάθε παράγοντα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 10.

Με αυτό τον τρόπο βρίσκουμε ότι τα βάρη για τους παράγοντες της λιθολογίας, της κλίσης, της βλάστησης, του προσανατολισμού και της εγγύτητας στους ποταμούς είναι αντίστοιχα  $w_1 = 0,508$ ,  $w_2 = 0,249$ ,  $w_3 = 0,143$ ,  $w_4 = 0,064$ ,  $w_5 = 0,036$ .

Έχοντας δώσει διαβαθμίσεις στις περιοχές μελέτης σύμφωνα με τον κάθε παράγοντα, οι διαβαθμίσεις αυτές πολλαπλασιάζονται με το αντίστοιχο βάρος του κάθε παράγοντα. Η τελική τιμή  $M$  για κάθε pixel του κανάβου των περιοχών μελέτης θα δίνεται από τον τύπο :

$$M = w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + w_4X_4 + w_5X_5$$

Όπου  $X_1$  ,  $X_2$  ,  $X_3$  ,  $X_4$  και  $X_5$  είναι οι διαβαθμίσεις για κάθε παράγοντα. (Esmali A. and Ahmadi H., 2003)

## 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρώντας τους χάρτες 19, 20 και 21 μπορούμε να διαπιστώσουμε τα εξής :



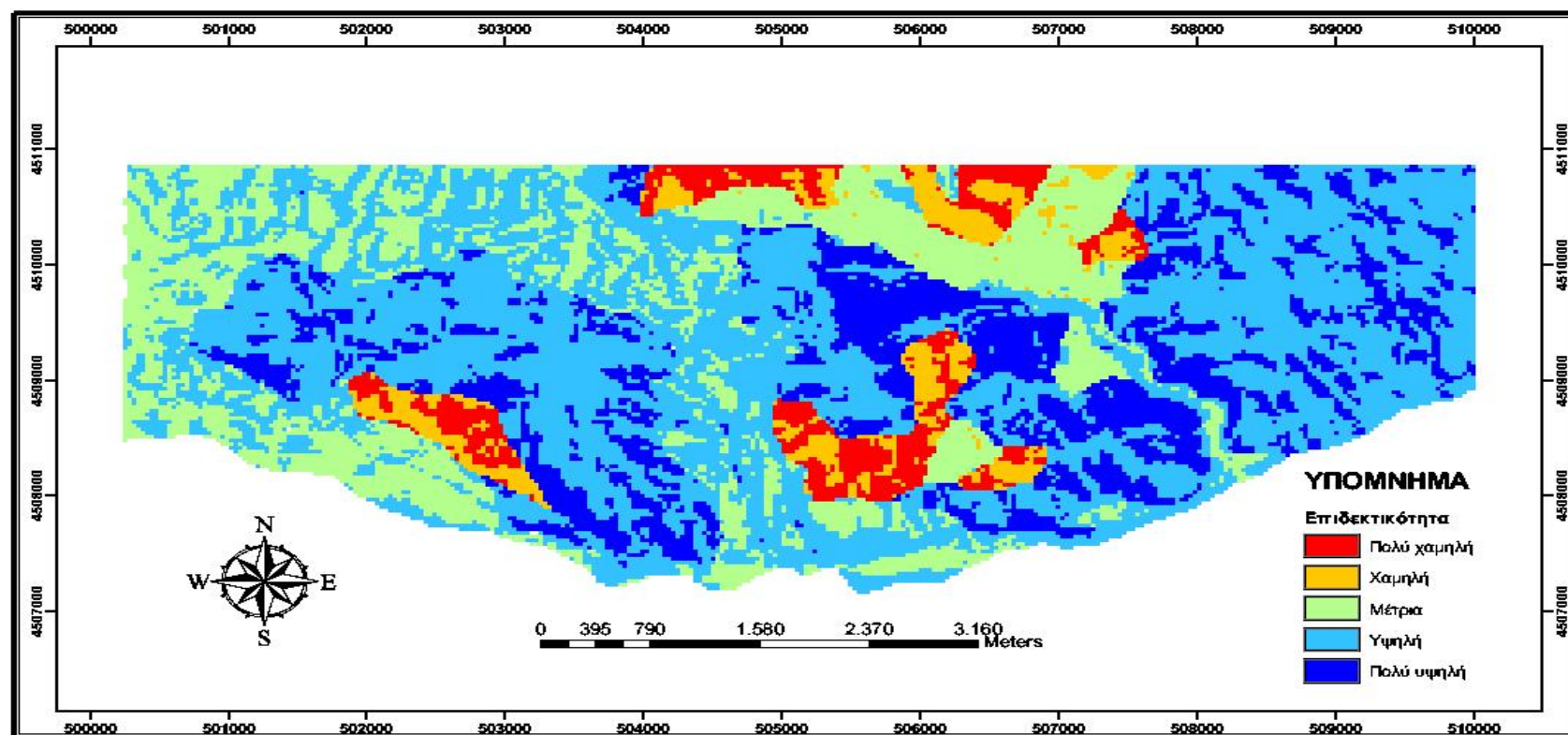
|                            | <b>Λιθολογία</b> | <b>Κλίση</b> | <b>Βλάστηση</b> | <b>Προσανατολισμός</b> | <b>Εγγύτητα<br/>σε<br/>ποτάμια</b> |
|----------------------------|------------------|--------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|
| <b>Λιθολογία</b>           | 1                | 3            | 5               | 8                      | 9                                  |
| <b>Κλίση</b>               | 1/3              | 1            | 3               | 5                      | 7                                  |
| <b>Βλάστηση</b>            | 1/5              | 1/3          | 1               | 4                      | 5                                  |
| <b>Προσανατολισμός</b>     | 1/8              | 1/5          | 1/4             | 1                      | 3                                  |
| <b>Εγγύτητα σε ποτάμια</b> | 1/9              | 1/7          | 1/5             | 1/3                    | 1                                  |
| <b>Σύνολο</b>              | 1,769            | 4,676        | 9,45            | 18,333                 | 25                                 |

**Πίνακας 9 :** Σύγκριση των παραγόντων που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων ανά ζεύγη.

|                                    | <b>Λιθολογία</b> | <b>Κλίση</b> | <b>Βλάστηση</b> | <b>Προσανατολισμός</b> | <b>Εγγύτητα<br/>στους<br/>ποταμούς</b> | <b>Μ.Ο.</b> |
|------------------------------------|------------------|--------------|-----------------|------------------------|----------------------------------------|-------------|
| <b>Λιθολογία</b>                   | 0,565            | 0,642        | 0,529           | 0,436                  | 0,36                                   | 0,508       |
| <b>Κλίση</b>                       | 0,188            | 0,214        | 0,317           | 0,273                  | 0,25                                   | 0,249       |
| <b>Βλάστηση</b>                    | 0,113            | 0,071        | 0,106           | 0,218                  | 0,2                                    | 0,143       |
| <b>Προσανατολισμός</b>             | 0,071            | 0,043        | 0,026           | 0,055                  | 0,12                                   | 0,064       |
| <b>Εγγύτητα στους<br/>ποταμούς</b> | 0,063            | 0,031        | 0,021           | 0,018                  | 0,04                                   | 0,036       |

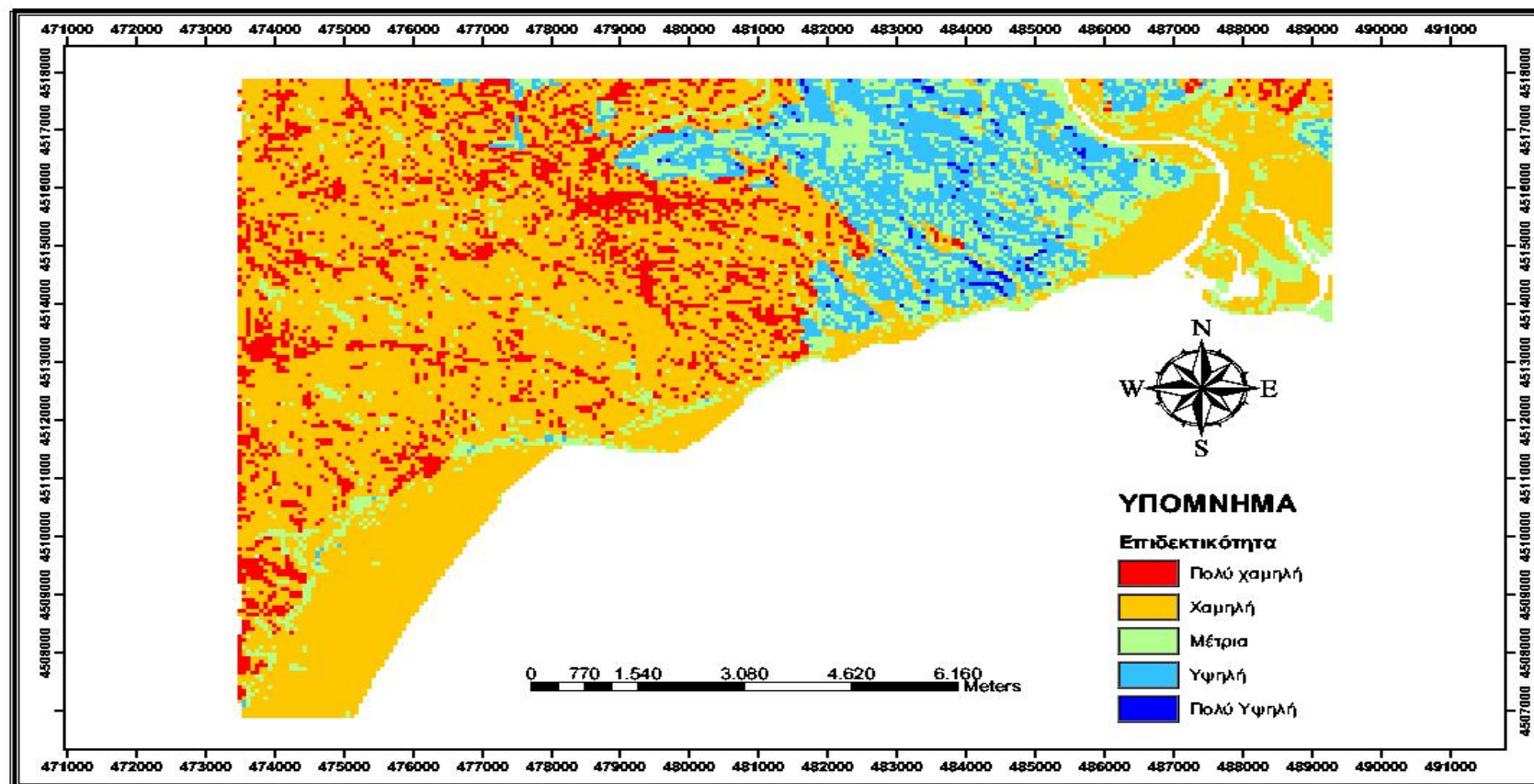
**Πίνακας 10 :** Υπολογισμός των βαρών (weights) για κάθε παράγοντα με τη μέθοδο του αριθμητικού μέσου.

## ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ



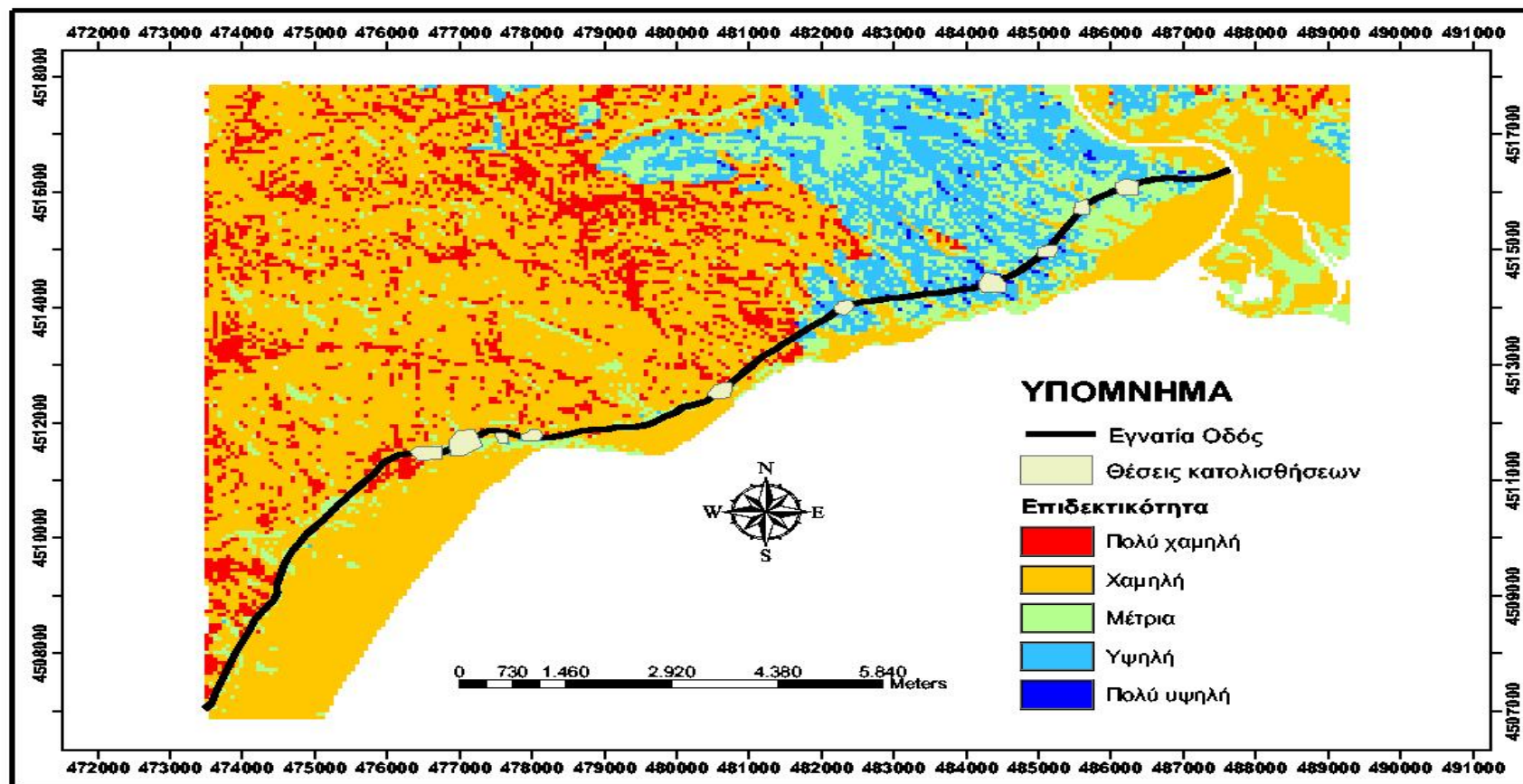
Χάρτης 19 : Χάρτης επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις της περιοχής Λουτρά Ελευθερών.

## ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ – ΣΤΡΥΜΟΝΑ



Χάρτης 20 : Χάρτης επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις της περιοχής Ασπροβάλτας – Στρυμόνα.

### ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ



**Χάρτης 21 :** Χάρτης επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις, στον οποίο απεικονίζονται η Εγνατία Οδός (μαύρο χρώμα) και οι θέσεις κατολισθήσεων που αρχικά έχουν εντοπιστεί με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων (ανοιχτά μοβ πολύγωνα).



- ✓ Η περιοχή Ασπροβάλτας – Στρυμόνα, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της, είναι περιοχή λίγο ή πολύ λίγο επιδεκτική στις κατολισθήσεις.
- ✓ Οι περιοχές με πολύ υψηλή ή υψηλή επιδεκτικότητα στις κατολισθήσεις βρίσκονται κυρίως στην ανατολική πλευρά της περιοχής μέχρι το Στρυμόνα ποταμό.
- ✓ Στις περιοχές που έχει χαραχθεί ο δρόμος της Εγνατίας Οδού έχει αυξηθεί η επιδεκτικότητα στις κατολισθήσεις και οι περιοχές αυτές είναι πλέον μέτρια επιδεκτικές και μάλιστα σε ορισμένα σημεία τους παρουσιάζουν υψηλή επιδεκτικότητα στις κατολισθήσεις, στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης Ασπροβάλτα – Στρυμόνα. Στο ανατολικό τμήμα οι περιοχές που ήταν αρχικά μέτρια επιδεκτικότητας, έχουν μετατραπεί σε περιοχές υψηλής ή πολύ υψηλής επιδεκτικότητας (χάρτης 21).
- ✓ Η περιοχή των Λουτρών Ελευθερών είναι κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχή πολύ ή πάρα πολύ επιδεκτική στις κατολισθήσεις.
- ✓ Προβάλλοντας στο χάρτη 19 τα σημεία που εντοπίσαμε με τη βοήθεια των δορυφορικών εικόνων (χάρτης 21), στα οποία έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις, παρατηρούμε πως αυτά αντιστοιχούν σε περιοχές μέτριας έως και πάρα πολύ μεγάλης επιδεκτικότητας στις κατολισθήσεις. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο χάρτης επιδεκτικότητας υποδεικνύει πράγματι περιοχές στις οποίες έχουν συμβεί κατολισθήσεις.

Σχετικά για τη γενικότερη συμβολή των Γ.Σ.Π. στον εντοπισμό θέσεων που είναι επιδεκτικές στις κατολισθήσεις μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα :

- ✓ Τα Γ.Σ.Π. μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εντοπισμό θέσεων στις οποίες έχουν εξελιχθεί ή θα εξελιχθούν φαινόμενα κατολισθήσεων με ικανοποιητική ακρίβεια, εφόσον έχουν επιλεγθεί και αξιολογηθεί οι κατάλληλοι παράγοντες.
- ✓ Οι χάρτες επιδεκτικότητας παρόλο που περιέχουν σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικές κρίσεις, μπορούν να αποτελέσουν μια οικονομική και γρήγορη μέθοδο ώστε να εκτελεστεί μια προκαταρκτική έρευνα σε μια περιοχή για το ποιες περιοχές είναι πιθανόν να εμφανίσουν φαινόμενα κατολισθήσεων.

- ✓ Στους χάρτες αυτούς, πολλές φορές, κάποιες περιοχές μπορεί να χαρακτηριστούν ως ασταθείς, αλλά να μην εμφανιστούν σε αυτές φαινόμενα κατολισθήσεων. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε επειδή υπάρχουν σφάλματα κατά το στάδιο της ψηφιοποίησης ή επειδή υλικά που έχουν καταπέσει, έχουν καλυφθεί από υλικά αποσάθρωσης ή από διεργασίες που εκτελούνται κατά την καλλιέργεια (farming activities). Σε περιοχές που ενώ εμφανίζονται στους χάρτες επιδεκτικότητα ως σταθερές αλλά σε αυτές παρουσιάζονται φαινόμενα κατολισθήσεων, το παράδοξο αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε σφάλματα κατά το στάδιο της ψηφιοποίησης είτε επειδή οι παράγοντες δεν έχουν εκτιμηθεί σωστά για την εν λόγω περιοχή. Για να κριθεί ως ικανοποιητικός ένας χάρτης επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις πρέπει να ελαχιστοποιήσει τα σφάλματα του δευτέρου είδους.
- ✓ Προκειμένου να μετατραπούν οι χάρτες επιδεκτικότητας (susceptibility maps) περιοχών σε κατολισθήσεις, σε χάρτες επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις (hazard maps) καλό θα ήταν να μπορέσουν να συμπεριληφθούν σε αυτούς επίπεδα πληροφοριών που να αφορούν τις βροχοπτώσεις και τα φαινόμενα κατολισθήσεων που έχουν εκδηλωθεί σε μια περιοχή στο παρελθόν. Για να γίνει κάτι τέτοιο χρειάζεται να συσταθεί πυκνότερο δίκτυο μετεωρολογικών οργάνων και να δημιουργηθεί βάση δεδομένων που να περιέχει στοιχεία για τις κατολισθήσεις που έχουν συμβεί στον ελληνικό χώρο.
- ✓ Στη δημιουργία βάσεων δεδομένων που να περιέχουν στοιχεία για τις κατολισθήσεις που έχουν συμβεί στο παρελθόν στον ελληνικό χώρο, σημαντικό ρόλο μπορούν να διαδραματίσουν οι δορυφορικές εικόνες. Με τη βοήθεια τους, η εν λόγω βάση δεδομένων θα μπορεί να ενημερώνεται συνεχώς, βελτιώνοντας τα επίπεδα πληροφοριών που θα χρησιμοποιούνται στη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

Αλεξάκης, Δ., 2003 : Διαχρονική παρακολούθηση του Όρους Καμήλα και της ευρύτερης περιοχής, με την βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, μια περιβαλλοντική προσέγγιση, Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Αστάρας, Θ.Α., 1986 : Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις Γεωεπιστήμες. Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 199.

Γ.Υ.Σ. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, φύλλο ΣΤΑΥΡΟΣ, κλίμακα 1:50.000, 1970.

Γ.Υ.Σ. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, φύλλο ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ, κλίμακα 1:50.000, 1969.

Γ.Υ.Σ. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, φύλλο ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ, κλίμακα 1:50.000, 1979.

Γ.Υ.Σ. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ, κλίμακα 1:50.000, 1980.

Γ.Υ.Σ. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, φύλλο ΛΟΥΤΡΑ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ, κλίμακα 1:50.000, 1980.

Δομακίνης, Χ., 2002 : Χρήση των δορυφορικών θερμογραφημάτων στη διαχρονική παρακολούθηση του περιβάλλοντος με έμφαση στη Γεωλογία. Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε., 1993 (α) : Οριστική Γεωλογική Μελέτη (Γεωλογική – Τεχνική Έκθεση) : Αυτοκινητόδρομος Θεσ/νική – Στρυμόνας, Τμήμα : Ρεντίνα – Στρυμόνας, Υποτμήμα : 1) Διέλευση δια Βρασνών, 2) Βόρεια παράκαμψη Ασπροβάλτας, Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο ΠΕΧΩΔΕ, Δ/ση Μελετών Έργων Οδοποιίας, Δ/ση Συγκ. Έργων Τ. 14<sup>η</sup> ΠΥΔΕ

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε., 1993 (β) : Τεύχος έκθεσης γεωλογικής μελέτης : ΤΜΗΜΑ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΑΠΟ ΠΟΤΑΜΟ ΣΤΡΥΜΩΝΑ ΕΩΣ ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟ Χ.Θ. 17+000 ΕΩΣ Χ.Θ. 34+000, Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Γενική Διεύθυνση Εκτέλεσης Έργων, Διεύθυνση ΒΜ<sub>1</sub>.

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε., 1992 : Οριστική Γεωλογική Μελέτη : ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ – ΠΟΤΑΜΟΣ ΣΤΡΥΜΩΝΑΣ, Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Δ/ση Μελετών Έργων Οδοποιίας, Δ/ση Συγκ/κων Έργων τ.14<sup>η</sup> ΠΥΔΕ.

Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικοί χάρτες του Ιδρύματος Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακα 1:50.000, φύλλο ΝΙΚΗΣΙΑΝΗ, 1974.

Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικοί χάρτες του Ιδρύματος Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακα 1:50.000, φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ, 1984.

Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικοί χάρτες του Ιδρύματος Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακα 1:50.000, φύλλο ΣΙΤΟΧΩΡΙΟ, 1970.

Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικοί χάρτες του Ιδρύματος Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, κλίμακα 1:50.000, φύλλο ΣΤΑΥΡΟΣ, 1978.

Καρτέρης, Μ., 1993-4 : Τηλεπισκόπηση φυσικών πόρων και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Α.Π.Θ. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, τόμος Ι, Θεσσαλονίκη, σελ. 65 –66, 139 –140, 187.

Κούκης, Γ., Ζιούρκας, Κ., 1989 : Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο – Στατιστική θεώρηση. ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ / MINERAL WEALTH 58 / 1989, σελ. 39 – 57.

Κουτσόπουλος, Κ., 2002 : Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, σελ. 167 – 168, 202 – 203, 323 – 324.

Μανάκος, Ι.Χ., 1999 : Η εφαρμογή των εμπείρων συστημάτων, της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην επίλυση γεωργικών προβλημάτων : Πιλοτική εφαρμογή στη διάβρωση εδαφών. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη, 118 σελ.

Μουντράκης, Δ., 1985 : Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press.

Μπαντέλλας, Α.Γ., Σαββαΐδης Π.Δ., Υφαντής Ι.Μ., Δούκας Ι.Δ., 1996 : Γεωδαισία (Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης και Υπολογισμών), Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, τόμος Ι, Θεσσαλονίκη, σελ. 331 – 332.

Μπαντέλλας, Α.Γ., Σαββαΐδης Π.Δ., Υφαντής Ι.Μ., Δούκας Ι.Δ., 1996 : Γεωδαισία (Αποτυπώσεις – Χαράξεις Τεχνικών Έργων), Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, τόμος ΙΙ, Θεσσαλονίκη, σελ. 456 – 457.

Οικονομίδης, Δ., 2000 : Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.) στην γεωλογική, κοιτασματολογική και περιβαλλοντική έρευνα της Β.Α. Χαλκιδικής. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, 219 σελ.

Συλλαίος Ν.Γ., 2000 : Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών. Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 205 σελ.

Τσιαμπάος, Γ., 1991 : Γεωλογία και κατολισθήσεις, Σεμινάριο τεχνικής γεωλογίας (Πρακτικά). σελ.36 – 47, Τα Γεωλογικά.

Φουρνιάδης, Ι., 2002 : Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και Τηλεπισκόπησης, Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Χρηστάρας, Β., 1989 : Στοιχεία Εδαφομηχανικής – Βραχομηχανικής. Α.Π.Θ., Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη, σελ. 95.

## **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ**

Astaras, T., & Soulakellis, N.A., 1992 : Contribution of digital image analysis techniques on Landsat - 5 TM imageries from drainage network delineation. A case study from the Olympus Mountain, W. Macedonia, Greece. In : Cracknell, A.P., Vaughan R.A., (Eds.), Proceedings of the 18<sup>th</sup> Annual Conference of the Remote Sensing Society, Whitstable Litho Printers Ltd., Whitstable, Kent, England.

Astaras, T., Oikonomidis, D., Dimopoulos, G., Lambrinos, N., Filippidis, A., 1997 : Environmental monitoring of the Straton / Stratoniki area, Chalkidiki, Greece, using Landsat / TM digital images. In : Spiteri, A., (Eds.) : Remote sensing '96 : Integrated Applications for Risk Assessment and disaster Prevention for the Mediterranean, Proceedings of the 16<sup>th</sup> EARSeL Symposium, Malta / 20 – 23 May 1996, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield / 1997.

Astaras, T., Kalathas, A., Oikonomidis, D., Lambrinos, N., Soulakellis, N., 1997 : Delineation of landslides using GIS and digital image processing techniques on multitemporal Landsat 5 TM images : A case study from the



Pindus mountain, Greece. In : Spiteri, A., (Eds.) : Remote sensing '96 : Integrated Applications for Risk Assessment and disaster Prevention for the Mediterranean, Proceedings of the 16<sup>th</sup> EARSeL Symposium, Malta / 20 – 23 May 1996, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield / 1997.

Ahlberg, P., Stigler, B., Viberg, L., 1988 : Experiences of landslide risk considerations in land use planning in Sweden. 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Lausanne 2, pp. 1091 – 1096.

Antoine, P., 1977 : Reflexions sur la cartographie ZERMOS et bilan des experiences en cours. Bulletin Bureaux Recherche Geologiques et Minières 3 (2), pp. 9 – 20, (in French).

Barredo, J., Benavides, A., Hervás, J. and van Westen, C., 2000 : Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain, JAG (2000), Vol. 2, Issue 1.

Bernknopf, R.L., Campbell, R.H., Brookshire, D.S., Shapiro, C.D., 1988 : A probabilistic approach to landslide hazard mapping in Cincinnati, Ohio, with applications for economic evaluation. Bulletin American Association of Engineering Geologists 25 (1), pp. 39 – 56.

Brabb, E.E., 1984 : Innovative approaches to landslide hazard mapping. 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Toronto 1, pp. 307 – 324.

Brabb, E.E., 1995 : The San Mateo County California GIS project for predicting the consequences of hazardous geologic processes. In : Carrara A., Guzzetti F., (Eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp. 234 – 299.

Brabb, E.E., Pampeyan, E.H., Bonilla, M.G., 1978 : Landslide susceptibility in San Mateo County, California. US Geological Survey Misc. Field Studies Map, MF- 360, map at 1:62,500 scale.

Brand, E.W., 1988 : Special Lecture : Landslide risk assessment in Hong Kong. 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Lausanne 2, pp. 1059 – 1074.

Carrara, A., 1983 : A multivariate model for landslide hazard evaluation. Mathematical Geology 15, pp. 403 – 426.

Carrara, A., et al. 1989 : Landslide hazard mapping by statistical methods : a 'black box' model approach. In : Siccardi, F., Brass, R. (Eds.), International

Workshop on Natural Disasters in European – Mediterranean Countries, Perugia, 27 June – 1 July 1989. CNR – US NFS, pp. 427 – 445.

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991 : GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landform* 16, pp. 427 – 445.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., 1992 : Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC Journal, The Netherlands* 2, pp. 172 – 183.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995 : GIS technology in mapping landslide hazard. In : Carrara A., Guzzetti F. (Eds), *Geographical Information Systems in Assessing natural hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp. 135 – 175.

Christaras, B., 1996 : Landslides in liolitic and marly formations. Examples from north-western Greece, *Engineering Geology* 47 (1997) 57 – 69, Elsevier.

Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2001 : A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method, *Geomorphology* 48 (2002), pp. 349 – 364, Elsevier.

Coates, D., 1977 : Landslides perspectives, *Geol., Soc. America., Reviews in engineering geology*, Vol. 3.

Cooke, R. U. and Doornkamp, J.C., 1997 : *Geomorphology In Environmental Management : A New Introduction*. Clarendon Press – Oxford, pp. 106 – 140.

Cotecchia, V., 1978 : Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements. *Bulletin International Association Engineering Geology* 17, pp. 5 – 37.

Crozier, M.J., 1984 : Field Assessment of Slope Instability. In : Brunsden D., Prior D.B. (Eds.), *Slope Instability*. Wiley, Chichester, pp. 103 – 142, Chap. 4.

Crozier, M.J., 1986 : *Landslides : Causes, Consequences and Environment.*, Croom Helm Pub, London.

Cruden, D.M. and Fell, R., 1997 : Landslide risk assessment. *Proceedings International Workshop on landslide risk assessment, Honolulu, 19 – 21 February 1997* Balkema, Rotterdam, pp. 177 – 184.

Cruden, D.M., 1991 : A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 43, 27 – 29.

Dai, F.C., Lee, C.F., 2002 : Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42 (2002), pp. 213 – 228, Elsevier.

Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y. 2001 : Landslide risk assessment and management : an overview, *Engineering Geology* 64 (2002), pp. 65 – 87, Elsevier.

Delaunay, J., 1981 : Carte de France des zones vulnérables à des glissements, écroulements, affaissements, et effondrements de terrain. Bureaux des Recherches Géologiques et Minières 81 SGN 567 GEG, 23 pp. (in French).

Dikau, R., 1989 : The application of a digital relief model to landform analysis. In : Raper, J.F. (Ed.) 1989 : Three dimensional applications in Geographical Information Systems. Taylor and Francis, London, pp. 51 – 77.

Donati, L., and Turrini, M.C., 2001 : An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology : application to an area of the Apennines (Valerina; Perugia, Italy), *Engineering* 63 (2002), pp. 277 – 289, Elsevier.

Drury, 1993 : *Image Interpretation in Geology* (Second Edition). Chapman & Hall, pp. 70 – 77, 124 – 149.

Einstein, H.H., 1988, Special Lecture : Landslide risk assessment procedure. *Proceedings 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides*, Lausanne, 2, pp. 1075 – 1090.

ESRI (a), 2001 : *Using ArcGIS Spatial Analyst*. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA, pp. 240

ESRI (b), 2001 : *Using ArcGIS 3D Analyst*. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA, pp. 220

ESRI (c), 2001 : *Editing In ArcMap*. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA, pp. 240

Fell, R., 1994 : Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal* 31 (2), pp. 261 – 272.

Godefroy, P., Humbert, M., 1983 : La cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain et aux séismes. *Hydrogéologie – Géologie de l'Ingénieur* 2, pp. 69 – 90, (in French).

Greenway, D.R., 1992 : Vegetation and slope stability. In : Anderson, M.G., Richards, K.S., (Eds.) Slope Stability Wiley, Chichester.

Guzzetti, F, Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1997 : Landslide hazard evaluation : a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, Geomorphology 31 (1999), pp. 181 – 216, Elsevier.

Gupta, R.P., 1991 : Remote Sensing Geology. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 356 p.

Hansen, A., 1984 : Landslide hazard analysis. In : Brunsden D., Prior D.B. (Eds.), Slope Instability. Wiley, New York, pp. 523 – 602.

Hartlen, J. and Viberg, L, 1988 : Evaluation of landslide hazard. 5<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Lausanne, 2, pp. 1037 – 1058.

Humbert, M., 1976 : La cartographie en France des zones exposees a des risques lies aux mouvements du sols. Cartes ZERMOS, International Association Engineering Geology Bulletin 16, pp. 80 – 82, (in French).

Humbert, M., 1977 : La cartographie ZERMOS. Modalites d'etablissement des cartes des zones exposees a des risques lies aux mouvements du sol et du sous – sol. Bulletin Bureaux Recherche Geologique et Mineraire 3, pp. 5 – 8, (in French).

Hutchinson, J.N., 1995 : Keynote paper : Landslide hazard assessment In : Bell (Ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, pp. 1805 – 1841.

IAEG Commission on Landslides and other Mass – Movements, Varnes, D. J., 1984. Landslide hazard zonation : a review of principles and practice. UNESCO Press, Paris, 63 pp.

Jones, D.K.C., 1992 : Landslide hazard assessment in the context of development, Geohazards : Natural and man-made, Chapman & Hall.

Leroi, E, 1996 : Landslide hazard-risk maps at different scales : objectives, tools and developments. In : Senneset (Ed.), Landslides. Balkema, Rotterdam, pp. 35 – 51.

Mark, R.K., 1992 : Map of debris flow probability, San Mateo County, California, scale 1:62.500, US Geological Survey Miscellaneous Investigation Map, I – 1257 – M.

Mulder, HFHM, 1991 : Assessment of landslide hazard. Profschrift ter Verkrijging van Graad van Doctor an de Rijkuniversiteit te Utrecht, University of Utrecht, pp. 150.

Nieto, A.S., 1989 : Mechanical models and geological observations : closing the prediction gap. In : Siccardi, F., Brass R., (Eds.), International Workshop on Natural Disasters in European – Mediterranean Countries, Perugia, 27 June – 1 July 1989,. CNR – US NFS, pp. 145 – 164.

Nilsen, T.H., Brabb, E.E., 1977 : Slope stability studies in the San Fransisco Bay region, California. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology 3, pp. 235 – 243.

Olmacher, G. & Davis, J., 2002 : Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA, Engineering Geology 69 (2003), pp 331 – 343, Elsevier.

Pachauri, A.K., Gupta, P.V., Chander, R., 1998 : Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. Environmental Geology 36 (1998), pp. 325 – 334, Elsevier.

Papanikolaou, D., & Panagopoulos, A., 1981 : On the structural style of Southern Rhodope, Greece. Geo. Balc, 11.3, pp. 13 – 22.

Perotto-Baldiviezo, H.L., Thurow, T.L., Smith, C.T., Fisher, R.F. and Wu, X.B., 2003 : GIS-based analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras, Agriculture, Ecosystems and Environment (2004), Elsevier.

Saaty, T.L., 1980 : The Analytic Hierarchy Process, NY, McGraw Hill.

Sabins, F., 1987 : Remote Sensing : Principles and Interpretation. W.H. Freeman and Company, New York, pp. 255 – 293, 404 – 407.

Saha, A.K., Gupta, R.P., Arora, M.K., 2002 : GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas, International Journal of remote Sensing (2002), Vol. 23, No. 2, pp. 357 – 369, Taylor & Francis Group.

Terzaghi, K., 1950 : Mechanics of landslides. Applications of Geology in engineering practice, Geol., Soc. America, Berkey Volume.

Van Westen, C.J., 1993 : Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation. ITC Publication No. 15, ITC, Enschede, The Netherlands, pp. 245.

Van Westen, C.J., 1994 : GIS in landslide hazard zonation : a review with examples from the Colombian Andes. In : Price M.F. Heywood D.I. (Eds), Taylor and Francis, London, pp. 135 – 165.

Varnes, D., 1980 : Slope movement types and processes in landslides : Analysis and control. Transportation Research Board, Spec. Rep.

Wu, W., Sidle, R.C. 1995 : A distributed stability model for steep forested basins. Water Resources Research 31 (8), 2097 – 2110.

Yong, R.N., Alonso, E., Tabbal, M.M., Fransham, P.B., 1977 : Application of risk analysis to the prediction of slope instability. Canadian Geotechnical Journal 14 (3), pp. 540 – 543.

Vaiopoulou, D., Skianis, G.A., Nikolakopoulos, K., 2004 : The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices. Int. J. Remote Sensing, Vol. 25, No 20, Taylor & Francis.

Zaruba, Q. and Mancl, V., 1982 : Landslides and their control. Developments in Geotechnical Engineering, Elsevier, Amsterdam.

#### **- ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ -**

Ahmadi, H., Esmali, A., 2003 : Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation – A case study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran. ([http://www.gisdevelopment.net/application/natural\\_hazards/landslides/mi03128.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/mi03128.htm))

DSS/GIS, 2004 : Lecture 1.3.1, The Analytical Hierarchy Process. ([http://ecolu-info.unige.ch/~haurie/mutate/Mutate\\_final/Lectures/Lect\\_1\\_3\\_1/lect\\_1\\_3\\_1.htm#toc](http://ecolu-info.unige.ch/~haurie/mutate/Mutate_final/Lectures/Lect_1_3_1/lect_1_3_1.htm#toc))

JPL, (NASA – Jet Propulsion laboratories) 2000 : ASTER, (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/default.htm>)

World Health Organization, 2004 : Greece. (<http://www.who.int/countries/grc/en/>)



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

#### **Α) ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

##### **Ιστορική εξέλιξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.)**

Τα χωρικά δεδομένα και οι μέθοδοι αποτύπωσης και διανομής της γης απασχόλησαν τις ανθρώπινες κοινωνίες από τη στιγμή που ο άνθρωπος σταμάτησε τη νομαδική ζωή και άρχισε τη δημιουργία οργανωμένων οικισμών.

Με την πάροδο των αιώνων αναπτύχθηκαν οι διάφορες επιστήμες και ανάμεσα σε αυτές η Γαιωδεσία και η Χαρτογραφία. Η επιστημονική και συστηματική ανάπτυξη των Γ.Σ.Π. άρχισε τις δεκαετίες του '40 και του '50. Στα μέσα περίπου της δεκαετίας του '60 αναφέρονται οι πρώτες εφαρμοσμένες και ολοκληρωμένες προσπάθειες. Αρχίζει ανάπτυξη των Γ.Σ.Π. με τη συνεργασία πολλών επιστημόνων διαφόρων εθνικοτήτων, αφού ήδη αποτελεί κοινό τόπο το γεγονός ότι τα Γ.Σ.Π. αποτελούν εργαλεία για πολλές επιστημονικές εφαρμογές σε διάφορους κλάδους επιστημών. Ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των Γ.Σ.Π. δείχνουν τόσο τοπικές αρχές, όσο και κυβερνήσεις πολλών προηγμένων κρατών, βλέποντας τα Γ.Σ.Π. ως εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων. Σύντομα άρχισε να γίνεται συστηματική αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχουν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οπότε και η εξέλιξη των Γ.Σ.Π. υπήρξε ραγδαία. Τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύχθηκαν πολλά Γ.Σ.Π. για το σχεδιασμό χρήσεων γης, τη διαχείριση φυσικών πόρων, τη διαχείριση έργων υποδομής αλλά και για χαρτογραφικές και κτηματολογικές εφαρμογές. (Αλεξιάκης, 2003)

Τα Γ.Σ.Π. δεν αποτελούν πλέον απλά μια τεχνολογία παραγωγής ψηφιακών προϊόντων (χάρτες, πίνακες κ.λ.π.). Αντίθετα, παρέχουν δυνατότητες συσχέτισης μεταξύ αναγκών και πληροφοριών για την κάλυψη οργανωτικών και διαχειριστικών λειτουργιών. Ακόμη, ορισμένα Γ.Σ.Π. παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων που ορίζουν τις σχέσεις μεταξύ χωρικών πληροφοριών και περιγραφικών πληροφοριών. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει η δυνατότητα πρόβλεψης φαινομένων με βάση τα

μοντέλα συσχετίσεων που περιέχονται στη βάση πληροφοριών του Γ.Σ.Π. ή η δημιουργία υποθετικών καταστάσεων για τον έλεγχο και την αύξηση κυρίων των κρατικών μηχανισμών, (Μπαντέλας, Σαββαΐδης, Υφαντής, Δούκας, 1996).

## **Η δομή ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών**

Η αξιόπιστη λειτουργία ενός Γ.Σ.Π. εξαρτάται από τρία σημαντικά τμήματα που μπορεί να θεωρηθεί ότι το απαρτίζουν :

1. Τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό
2. Το κατάλληλο λογισμικό
3. Την κατάλληλη οργάνωση του περιβάλλοντος εργασίας.

Τα τρία τμήματα του Γ.Σ.Π. πρέπει να βρίσκονται σε βέλτιστη σχέση μεταξύ τους για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός ενός Γ.Σ.Π. αποτελείται από :

- Α. Τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που μπορεί να είναι ένας σταθμός εργασίας ή απλό PC. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει εγκατεστημένο τοπικό δίκτυο υπολογιστών (Local Area Network, LAN) για την ταυτόχρονη εργασία πολλών χρηστών. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής συνοδεύεται από την οθόνη στην οποία απεικονίζονται τα δεδομένα (χωρικά ή μη) του συστήματος και τα αποτελέσματα.
- Β. Τις συσκευές εισόδου πληροφοριών και δεδομένων, που μπορεί να είναι ψηφιοποιητές (digitizers), σαρωτές (scanners), αλλά και οποιαδήποτε συσκευή παρέχει ψηφιακά αποτελέσματα κάποιων μετρήσεων ή και κάμερα video.
- Γ. Τις συσκευές εξόδου, που είναι συνήθως εκτυπωτές (printers) διαφόρων ειδών (dot matrix, laser, inkjet, μονόχρωμοι ή έγχρωμοι) και σχεδιογράφοι (plotter) διαφόρων ειδών (διανυσματικοί με πενάκια, inkjet, θερμοηλεκτρικοί).
- Δ. Τις συσκευές αποθήκευσης των δεδομένων, που μπορούν να χωριστούν σε συσκευές που χρησιμοποιούνται για να δημιουργούνται αντίγραφα ασφαλείας των δεδομένων (tape streamer, optical disk, CDs) και σε αυτές που περιέχουν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του Γ.Σ.Π.. Οι τελευταίες μπορεί να είναι μαγνητικοί

δίσκοι μεγάλης χωρητικότητας (Hard disk), οπτικοί δίσκοι κ.α. Εκτός από τη μεγάλη χωρητικότητα, απαιτείται και μικρός χρόνος πρόσβασης στις συσκευές αυτές για την καταγραφή ή τη λήψη μιας πληροφορίας.

Το λογισμικό αποτελείται συνήθως από ξεχωριστά υποπρογράμματα που το καθένα εκτελεί διαφορετική εργασία, αλλά όλα συνεργάζονται μεταξύ τους. Τέτοια υποπρογράμματα μπορεί να εκτελούν ενδεικτικά τις παρακάτω εργασίες :

1. Έλεγχο της διαδικασίας εισόδου δεδομένων (γραφικών) με ψηφιοποίηση ή σάρωση ή υπολογισμό από μετρήσεις υπαίθρου.
2. Έλεγχο της διαδικασίας εισόδου περιγραφικών δεδομένων.
3. Αποθήκευση στις βάσεις γραφικών και περιγραφικών δεδομένων.
4. Ανάλυση των δεδομένων σε ότι αφορά τη θέση τους, τις σχέσεις μεταξύ τους και τις ιδιότητες.
5. Διάφορες επεξεργασίες μετατροπής των ιδιοτήτων ή της εμφάνισης διαφόρων δεδομένων, όπως μετασχηματισμοί από ένα προβολικό σύστημα σε ένα άλλο, αλλαγή κλίμακας κ.λ.π.
6. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων και εκτύπωση αυτών με διάφορες μορφές (χάρτες, τρισδιάστατες απεικονίσεις, πίνακες, χάρτες με γραφήματα, χάρτες με διάφορες πληροφορίες κ.λ.π.)
7. Δυνατότητες προσαρμογής του Γ.Σ.Π. σε ειδικές ανάγκες του χρήστη μέσα από μια διαδικασία προγραμματισμού με ιδιαίτερη γλώσσα ή κοινή γλώσσα προγραμματισμού (π.χ. C ή C<sup>++</sup>). (Μπαντέλλας κ.α., 1996, Αλεξάκης, 2003)

Σύμφωνα με τους Moore και Chow (1987) (από Καρτέρη 1993), τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι τα εξής :

#### A) Πλεονεκτήματα

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή (π.χ. σε σκληρό δίσκο, δισκέτες κ.λ.π.) με αποτέλεσμα αφενός μεν να καταλαμβάνουν μικρό χώρο, αφετέρου δε να είναι εύχρηστα.
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη π.χ. κατά νομό, κατά κοινοτική ή δημοτική

περιφέρεια, κατά τοπογραφικό ή γεωλογικό φύλλο χάρτη, κατά συγκεκριμένο δίκτυο κανάβου κ.λ.π.

- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών. Υπάρχοντα δεδομένα είναι δυνατόν να ενσωματωθούν, με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία, στη βάση δεδομένων, εφόσον είναι κατά χώρο προσανατολισμένα.
- Τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά όργανα και λογισμικά, επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις, μετατροπές κ.λ.π.
- Γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή εξέταση θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων.
- Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.
- Εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικότερο εντοπισμό και ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δυο ή περισσότερες περιόδους.
- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος απ' ό τι με τις κλασσικές μεθόδους. Παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση συνδυασμού θεματικών χαρτών ή του υπολογισμού των εκθέσεων και κλίσεων από ένα τοπογραφικό χάρτη.
- Όλες οι αναλύσεις γίνονται κατά αντικειμενικό τρόπο, τα δε αποτελέσματα παράγονται αυτόματα.

#### B) Μειονεκτήματα

- Το αρχικό κόστος απόκτησης του συστήματος καθώς και της τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης αυτού, είναι αρκετά υψηλό.
- Η αποτελεσματικότερη χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού.
- Υπάρχουν προβλήματα κατά τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων προϋπαρχόντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων.

Τα δεδομένα που εισάγονται – μέσω της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και αφού υποστούν τις απαραίτητες διορθώσεις – χρησιμοποιούνται στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, ανάλογα με τη φύση και το περιεχόμενό τους διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες :

Τα χωρικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από τη θέση τους στο χώρο σε σχέση με κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες :

1. Σημειακά δεδομένα, όπως εμφανίσεις κοιτασμάτων και θέσεις γεωτρήσεων.
2. Γραμμικά δεδομένα, όπως ρήγματα και κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου.
3. Επιφανειακά δεδομένα τα οποία καταλαμβάνουν μια κλειστή έκταση.
4. Δεδομένα ανάγλυφου ή τρισδιάστατα, τα οποία καταλαμβάνουν όχι μόνο μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αλλά εκτείνονται και στο χώρο. Περιλαμβάνουν δηλαδή επιφάνειες καθώς και κατακόρυφες ή τρίτης διάστασης (z) συντεταγμένες. Έχουν δηλαδή μήκος, έκταση και ύψος. Τέτοια περίπτωση είναι η τρισδιάστατη εμφάνιση του ανάγλυφου.

Τα μη χωρικά ή περιγραφικά δεδομένα, τα οποία σχετίζονται ή περιγράφουν τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες της υπόψη χωρικής θέσης. Έτσι π.χ. η θέση μιας ισοϋψούς καμπύλης πάνω στο χάρτη είναι χωρική πληροφορία, ενώ ο χαρακτηρισμός της με βάση το υψόμετρό της, μη χωρική.

## **B) ΠΡΟΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.**

Σύμφωνα με τον Αλεξάκη (2003), ένας σημαντικός καθοριστικός παράγοντας ενός χάρτη είναι το σύστημα προβολής του, με το οποίο η σφαιρική τρισδιάστατη επιφάνεια Γης μεταμορφώνεται σε έναν επίπεδο δισδιάστατο χάρτη. Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι μπορούμε να προβάλουμε τη σφαίρα (ή για την ακρίβεια το ελλειψοειδές) σε μια από τις εξής επιφάνειες : την επίπεδη επιφάνεια, τον κύλινδρο και τον κώνο και μετά, αφού τις «απλώσουμε», να δημιουργήσουμε το χάρτη. Προβολές σε αυτές τις επιφάνειες ονομάζονται αζιμουθιακές, κυλινδρικές και κωνικές αντίστοιχα.

Ο απλούστερος τρόπος αξιολόγησης μιας προβολής είναι το είδος και ο βαθμός παραμόρφωσης που δημιουργεί. Με βάση το κριτήριο αυτό, που από

τη σκοπιά των Γ.Σ.Π. είναι το πλέον σημαντικό, αφού ο βασικός στόχος τους είναι η χωρική ανάλυση και τελικά ο σχεδιασμός, οι διάφορες προβολές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες : στις σύμμορφες, στις ίσης επιφάνειας και στων ίσων αποστάσεων.

Από τη σκοπιά των Γ.Σ.Π. οι προβολές των χαρτών παίζουν ένα σημαντικό ρόλο για τους εξής λόγους :

- Όσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή μελέτης τόσο σπουδαιότερα είναι τα σφάλματα εξαιτίας της χαρτογραφικής προβολής. Για παράδειγμα, στην κλίμακα 1:20.000 τα σφάλματα είναι ήδη υπαρκτά, αλλά σε μικρότερες κλίμακες, όπως 1:1.000.000, είναι σημαντικά.
- Οι προβολές που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στις ανάγκες των εφαρμογών των Γ.Σ.Π.. Για παράδειγμα, αν η κατεύθυνση είναι σημαντική, τότε προφανώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια σύμμορφη προβολή. Ανάλογα, αν η ανάλυση μέσω του Γ.Σ.Π. αφορά σύγκριση ή υπολογισμό επιφανειών ή τιμές που βασίζονται σε επιφάνειες (π.χ. πυκνότητες), τότε η χρήση μιας ίσης επιφάνειας προβολής είναι επιβεβλημένη.
- Αναλυτικές λειτουργίες που ο Chou (1997) ονομάζει πολλαπλών επιπέδων (π.χ. επικάλυψη) δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν, όταν οι χάρτες για τα διαφορετικά θεματικά επίπεδα δεν έχουν την ίδια προβολή.
- Επειδή δεν είναι δυνατόν όλοι οι αναγκαίοι σε ένα Γ.Σ.Π. χάρτες να έχουν προέλθει από την ίδια προβολή, τα Γ.Σ.Π. πρέπει να διαθέτουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν δοσμένες συντεταγμένες σε διαφορετικές χαρτογραφικές προβολές. Αντίστροφα, θα πρέπει να μπορούν από τις χαρτογραφικές συντεταγμένες μιας προβολής να υπολογίζουν γεωγραφικά πλάτη και μήκη.
- Πολλές χώρες (π.χ. οι Η.Π.Α.) χρησιμοποιούν αποκλειστικά ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων, που βασίζεται σε συγκεκριμένη χαρτογραφική προβολή με βάση ένα συγκεκριμένο γεωϊδές ή ένα συγκεκριμένο datum, η εφαρμογή θα έχει σίγουρα πολλά και πολύπλοκα προβλήματα. Τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικά, όταν τα στοιχεία του Γ.Σ.Π. είναι αποτέλεσμα



ψηφιοποίησης διαφορετικών χαρτών από διαφορετικές πηγές. (Κουτσόπουλος, 2002).

Στην Ελλάδα έχει καθιερωθεί τα τελευταία χρόνια το Νέο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ 87, GGRS 87), το οποίο χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS 80 και τοποθετήθηκε με παράλληλη μετάθεση ως προς το Παγκόσμιο Σύστημα BTS 87, έτσι ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωίδες που καλύπτει τον ηπειρωτικό χώρο της Ελλάδας. Ως προβολικό σύστημα χρησιμοποιείται η εγκάρσια Μερκατορική προβολή σε μια ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό  $\lambda = 24^\circ$  και συντελεστή κλίμακας κατά μήκος του κεντρικού μεσημβρινού ίσο με 0,9996. Το ΕΓΣΑ 87, ορίσθηκε με βάση τα πλέον πρόσφατα γεωδαιτικά στοιχεία και παρέχει ένα ενιαίο και μοναδικό σύστημα συντεταγμένων για όλο τον ελλαδικό χώρο. Το προφανές πλεονέκτημα του γεγονότος αυτού είναι η δυνατότητα ενιαίας αναλυτικής έκφρασης των κάθε είδους πληροφοριών που σχετίζονται με τον χώρο για όλη την Ελλάδα, χωρίς μετασχηματισμούς που είναι απαραίτητοι σε παλαιότερα συστήματα. Ακόμη, το ΕΓΣΑ 87 δίνει τη δυνατότητα άμεσης εφαρμογής του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης GPS (Global Positioning System), αφού είναι απόλυτα συμβατό με το Παγκόσμιο Σύστημα WGS 84 που χρησιμοποιείται από το GPS.

Το ΕΓΣΑ 87 έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για όλες τις νέες γεωδαιτικές εργασίες που γίνονται στην Ελλάδα, αναμένεται δε να είναι επαρκές για τα επόμενα είκοσι χρόνια. (Μπαντέλλας κ.α., 1995, Αλεξάκης, 2003)

## **Γ) ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ**

Τα μοντέλα αυτά είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση της μεταβλητότητας του ανάγλυφου στο χώρο. Χρησιμοποιούνται δε για την ανάλυση της τοπογραφίας μιας περιοχής. Στη διεθνή βιβλιογραφία τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αναφέρονται με διάφορους άλλους όρους όπως DTM (Digital Terrain Model), DTD (Digital Terrain Data) και DTED (Digital Terrain Elevation Data).

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογών όπως :

- Για τη βελτίωση της ταξινόμησης των δορυφορικών δεδομένων με την εισαγωγή αυτών ως πρόσθετα, βοηθητικά δεδομένα (υψόμετρα, κλάσεις, εκθέσεις)
- Για το σχεδιασμό των οδικών αξόνων καθώς και τον υπολογισμό των εκχωματώσεων και επιχωματώσεων
- Για την παραγωγή χαρτών, υψομέτρων, κλίσεων, εκθέσεων, τρισδιάστατου ανάγλυφου κ.λ.π.
- Για το σχεδιασμό της κατά χώρο κατανομής των πυροφυλακίων, των θέσεων θέας
- Για την κατασκευή ψηφιακών τοπογραφικών χαρτών
- Για την ομαδοποίηση και την καταμέτρηση χαρακτηριστικών ή αντικειμένων κατά κλάσεις υψομέτρων, κλίσεων ή εκθέσεων
- Για τη διευκόλυνση υδρονομικών μελετών (υδρογραφικό δίκτυο, όρια λεκάνης απορροής κ.λ.π.)

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους παράγονται με την ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών, φωτογραμμετρική ανάλυση αεροφωτογραφιών και πρόσφατα με την ανάλυση στερεοζεύγων δορυφορικών δεδομένων όταν είναι επιθυμητή η χονδρική αναπαράσταση του ανάγλυφου. (Καρτέρης, 1993)

#### **Δ) ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

Η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παρ' ότι στην αρχή αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα, σήμερα θεωρούνται από όλους ως πολύ στενά συνδεδεμένα επιστημονικά δεδομένα.

Σύμφωνα με τους Καρτέρη (1993) και Αλεξάκη (2003), οι σημαντικότεροι λόγοι που υποστηρίζουν αυτή τη σχέση, είναι οι εξής :

- Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντική πηγή πληροφοριών για τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
- Η μορφή των δεδομένων Τηλεπισκόπησης είναι συμβατή με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

- Η Τηλεπισκόπηση δίνει δεδομένα πρόσφατα και με χαμηλό κόστος. Αυτό εξυπηρετεί την ενημέρωση της βάσης των δεδομένων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.
- Πολλά δεδομένα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών χρησιμοποιούν παρόμοια όργανα για την επεξεργασία των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Στην πράξη βεβαίως υπάρχουν τεχνικά προβλήματα τα οποία επηρεάζουν την αποτελεσματική εισαγωγή και χρήση των δορυφορικών δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Αυτά είναι :

- Ο συνδυασμός των δορυφορικών δεδομένων τα οποία είναι σε μορφή κανάβου, με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών τα οποία αποθηκεύουν δεδομένα σε διανυσματική μορφή, είναι αρκετά δύσκολος. Αν και υπάρχουν Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών τα οποία μετατρέπουν τις δυο μορφές δεδομένων (από κανάβο σε διάνυσμα και αντίστροφα), παρόλα αυτά η μετατροπή της χονδρικής διακριτικής ικανότητας των δορυφορικών δεδομένων σε διανυσματική μορφή, συνοδεύεται με τη δημιουργία διαφόρου μεγέθους σφαλμάτων.
- Η γεωγραφική και γεωμετρική ακρίβεια των δορυφορικών δεδομένων είναι στις περισσότερες περιπτώσεις διαφορετική από τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τις αεροφωτογραφίες ή με επίγειες παρατηρήσεις. Επομένως, ο συνδυασμός αυτών δημιουργεί τυχαία σφάλματα εξαιτίας της μη ακριβούς σύμπτωσης των αντίστοιχων χαρακτηριστικών π.χ. όρια πολυγώνων.
- Ορισμένες κατηγορίες ταξινόμησης στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ίσως δεν αντιστοιχούν σε αυτές που αναγνωρίζονται με τα δορυφορικά δεδομένα.
- Για την επιχειρησιακή διαχείριση των φυσικών πόρων σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, ο ολοκληρωμένος συνδυασμός της Τηλεπισκόπησης με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών απαιτεί, εκτός από την αξιόλογη εκπαίδευση του προσωπικού, ένα αρκετά ισχυρό ηλεκτρονικό σύστημα (υπολογιστής και περιφερειακά) με τη δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων καθώς και της παρουσίασης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε επιθυμητή μορφή.

Ίσως όμως το πιο σημαντικό όλων είναι ότι, όπως όλα τα συστήματα των νέων αναπτυσσόμενων τεχνολογιών, η ανάπτυξη, σε επιχειρησιακό επίπεδο του συνδυασμού Τηλεπισκόπηση / Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, απαιτεί σοβαρές διοικητικές αποφάσεις, οι οποίες προϋποθέτουν την πλήρη ενημέρωση και αποδοχή εκ μέρους των υπευθύνων, της νέας αυτής τεχνολογίας.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

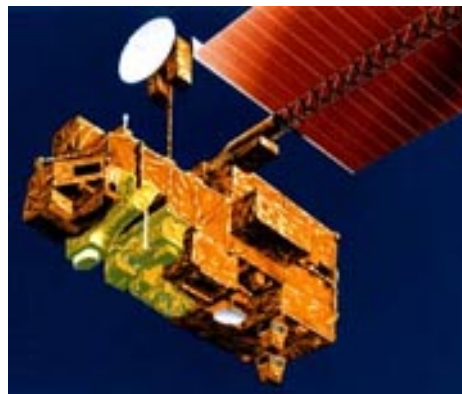
### **ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ TERRA**

Ο δορυφόρος αυτός εκτοξεύτηκε το Δεκέμβριο του 1999 και μέχρι στιγμής θεωρείται ένας από τους πιο ισχυρούς δορυφόρους σε τροχιά, ενώ οι εικόνες του έχουν ευρεία χρήση σε διάφορους τομείς των επιστημών. Ο δορυφόρος αυτός αποτελεί μέρος του Συστήματος Παρατήρησης της Γης (Earth Observation System, EOS) της NASA και η κωδική του ονομασία είναι EOS AM – 1. Όλοι οι δορυφόροι αυτής της σειράς EOS που θα ακολουθήσουν τον Terra θα αποτελέσουν μέρος του προγράμματος ESE (Earth Science Enterprise) που ανήκει και αυτό στη NASA και σκοπός του είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης της ατμόσφαιρας, της λιθόσφαιρας, της βιόσφαιρας και της υδρόσφαιρας μεταξύ τους.

Ο δορυφόρος Terra (σχ. 20) μεταφέρει τους σαρωτές, ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer), MOPITT (Measurements Of Pollution In The Troposphere), MISR (Multi – angle Imaging Spectro Radiometer) και CERES (Clouds and the Earth Radiant Energy System). Οι MOPITT, MISR και CERES ανιχνεύουν και καταγράφουν την ακτινοβολία στο ορατό τμήμα του Η.Μ.Φ. και γι' αυτό το λόγο δε θα μας απασχολήσουν περισσότερο. Οι ASTER και MODIS ανιχνεύουν και καταγράφουν την ακτινοβολία στο υπέρυθρο θερμικό τμήμα του Η.Μ.Φ. και αυτή τη στιγμή θεωρούνται από του πιο ισχυρούς στο είδος τους.

Ο σαρωτής ASTER κατασκευάστηκε στην Ιαπωνία με χρηματοδότηση του Υπουργείου Διεθνούς Εμπορίου και Βιομηχανίας. Η ομάδα, που θεωρείται υπεύθυνη για την κατασκευή και την αξιολόγησή του, αποτελούνταν από

Αμερικανούς και Ιάπωνες επιστήμονες, κάνοντας πολλούς να μιλούν για συμμαχία. Ο σαρωτής ASTER αποτελείται από τις ακόλουθες φασματικές ζώνες (κανάλια) (bands) : Ζώνη 1. από 0,52 έως 0,6  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 2. από 0,63 έως 0,69  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 3. από 0,76 έως 0,86  $\mu\text{m}$ , και από 0,76 έως 0,86  $\mu\text{m}$  (αντίστροφα), Ζώνη 4. από 1,6 έως 1,7  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 5. από 2,145 έως 2,185  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 6. από 2,185 έως 2,225  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 7. από 2,235 έως 2,285  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 8. από 2,295 έως 2,365  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 9. από 2,36 έως 2,43  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 10. από 8,125 έως 8,475  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 11. από 8,475 έως 8,825  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 12. από 8,925 έως 9,275  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 13. από 10,25 έως 10,95  $\mu\text{m}$ , Ζώνη 14. από 10,95 έως 11,65  $\mu\text{m}$ . Οι φασματικές ζώνες 1 έως και 3 έχουν διακριτική ικανότητα 15 m, οι ζώνες 4 έως 9 έχουν διακριτική ικανότητα 30 m και οι ζώνες 10 έως 14 (θερμικές) έχουν διακριτική ικανότητα 90 m. Ο πρωταρχικός σκοπός του ASTER είναι η κατασκευή λεπτομερών χαρτών της επιφανειακής θερμοκρασίας της Γης, της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, της ανακλώμενης ακτινοβολίας και της ανύψωσης του ανάγλυφου.



**Σχ.20** : Καλλιτεχνική αναπαράσταση του δορυφόρου TERRA ή EOS AM – 1 (JPL, 2000).

Ο σαρωτής MODIS, ουσιαστικά συμπληρώνει το έργο του ASTER, καθώς δίνει εικόνες με μικρότερη διακριτική ικανότητα από τον τελευταίο. Με αυτόν τον τρόπο ο ASTER κυριολεκτικά εστιάζει (κάνει zoom) στις περιοχές που σαρώνει ο MODIS. Ο MODIS αποτελείται από 36 φασματικές ζώνες (κανάλια). Οι ζώνες 1 και 2 έχουν διακριτική ικανότητα 250 m και ανιχνεύουν ακτινοβολία από τα τμήματα του Η.Μ.Φ. με μήκος κύματος από 0,62 έως 0,67

μm και 0,84 έως 0,87 μm αντίστοιχα. Οι ζώνες 3 έως 7 έχουν διακριτική ικανότητα 500 m και μπορούν να καταγράψουν ακτινοβολίες από τμήματα του Η.Μ.Φ. με μήκη κύματος από 0,46 έως 2,16 μm. Οι παραπάνω ζώνες έχουν εύρος το οποίο δεν ξεπερνά το 0,1 μm. Οι ζώνες από 8 έως 36 έχουν διακριτική ικανότητα 1 km και καταγράφουν την ακτινοβολία του Η.Μ.Φ. με μήκος κύματος από 0,4 έως και 14,38 μm. Οι ζώνες αυτές έχουν εύρος από 1 έως 1,5 μm. (JPL, 2000, Δομακίνης Χ., 2002)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS / AHP)**

#### **Α) Η «Διαδικασία της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (AHP) στο πλαίσιο γενικών προσεγγίσεων**

Η «Διαδικασία της Αναλυτικής Ιεραρχίας» (AHP) είναι μια μεθοδολογία πολυμεταβλητής μοντελοποίησης (multi – attribute modeling) η οποία αρχικά αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε από τον Saaty (Saaty, 1980). Από τη στιγμή που άρχισε να χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος πολλά προβλήματα λήψης αποφάσεων πολυμεταβλητής μοντελοποίησης (multi – attribute decision modeling / MADM) ερευνήθηκαν με επιτυχία, χάρη στις μαθηματικές τεχνικές αυτής της μεθοδολογίας. Τα πεδία εφαρμογών εκτείνονται από την οικονομία (finance) μέχρι το σχεδιασμό χρήσης γης (land use planning). Η λήψη αποφάσεων πολυμεταβλητής μοντελοποίησης (MADM) προσφέρει πολλές εναλλακτικές τεχνικές, όμως φαίνεται ότι η μεθοδολογία AHP είναι ιδιαίτερα απλή στην εφαρμογή της σε θέματα που αφορούν τη γεωγραφία και το αστικό περιβάλλον (geography and urban environmental context).

Μια τυπική εφαρμογή της μεθόδου AHP στο πλαίσιο του σχεδιασμού χρήσεων γης θα μπορούσε να αφορά την ταξινόμηση (classification) ζωνών γης (land zones) σύμφωνα με την κάλυψη γης (land cover), την αγροτική εκμετάλλευση (agricultural exploitation), τους τύπους κατασκευών (construction types), την «προσβασιμότητα» από τους δρόμους (accessibility by roads) κτλ. Τα παραπάνω κριτήρια μπορούν στη συνέχεια να οργανωθούν



σε ένα ή περισσότερα επίπεδα, έτσι ώστε να καθορίσουν μια κατάλληλη ιεραρχία για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων προτιμήσεων (preferences). Η μέθοδος AHP έχει εφαρμοστεί στο πρόβλημα της επιλογής ακίνητης περιουσίας (real estate selection). Στο πλαίσιο της εκτίμησης ακίνητης περιουσίας (real estate valuation), άλλες εμπειρικές και αναλυτικές μέθοδοι (approaches), όπως για παράδειγμα ηδονικά μοντέλα (hedonic models), είναι μέχρι στιγμής περισσότερο δημοφιλή. Πρόσφατα, η γενική δυναμική (general dynamics) των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών διάνοιξε ενδιαφέρουσες οδούς για την εφαρμογή της μεθόδου AHP σε ποσοτικές εκτιμήσεις ακινήτων (quantitative real estate valuation) χρησιμοποιώντας τον πλέον γνωστό «γεω – δείκτη» (geo – index).

## **B) Κριτήρια για συγκρίσεις ανά ζεύγη (pairwise comparisons)**

Σύμφωνα με της DSS / GIS ας υποθέσουμε ότι ένα πολυμεταβλητό πρόβλημα λήψης απόφασης, μπορεί να τυποποιηθεί (formulated) με τη βοήθεια ενός «δένδρου αποφάσεων» (decision tree), όπου κάθε ένα από τα επίπεδα ιεραρχίας (hierarchy levels) περιλαμβάνει αρκετούς τύπους κριτηρίων. Για λόγους απλότητας, η ανάλυση στο παράδειγμά μας θα περιοριστεί σε ένα μεμονωμένο (single) επίπεδο ιεραρχίας με  $n$  κριτήρια. Το πρόβλημα λήψης απόφασης (decision problem) είναι το πώς μπορεί να συγκριθεί η σχετική σημαντικότητα (relative importance) των κριτηρίων με συστηματικό και ποσοτικό τρόπο (systematic and quantitative manner). Μαθηματικά, ο σκοπός είναι να προσδιοριστούν τα μη αρνητικά βάρη (non – negative weights)  $w_i$  του κριτηρίου  $c_i$  για  $i = 1$  έως  $n$ , όπου  $n$  είναι το πλήθος των κριτηρίων. Αν τα βάρη  $w = (w_1, \dots, w_n)$ , είναι γνωστά, τότε η σχετική σημαντικότητα του κριτηρίου  $c_i$  συγκρινόμενη με αυτή του κριτηρίου  $c_j$  θα ήταν ο λόγος  $w_i / w_j$ . Η βασική ιδέα της μεθόδου AHP είναι να προχωρήσει από τη σύγκριση ανά ζεύγη (pairwise comparison) των κριτηρίων και να αξιολογήσει τα βάρη μέσα από μια ειδική διεργασία.

Σε μια εμπειρική μελέτη προτιμήσεων (empirical study of preferences), κάποιος, μπορεί κατά κανόνα να αρκεστεί στο να κάνει συγκρίσεις για όλα τα κριτήρια με μόνο το πρώτο κριτήριο για παράδειγμα. Με αυτό τον τρόπο κάποιος θα μπορούσε να βρει εμπειρικά τους λόγους των βαρών  $w_i / w_1$ , για  $i$

= 1 έως n. Αυτές οι τιμές προσδιορίζουν μόνο το βάρος  $w$  ως ένα συνολικό παράγοντα και γι' αυτό το λόγο είναι πάντοτε πιθανό να αντικαταστήσουμε (represent) το διάνυσμα  $w$  από ένα κανονικοποιημένο διάνυσμα (normalized vector), θέτοντας :

$$\sum_i w_i = 1$$

Δεν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος ώστε να επιλέξουμε το κριτήριο  $c_1$  σαν αναφορά. Οποιοδήποτε από τα κριτήρια θα μπορούσε να σχηματίσει τη βάση για σύγκριση με τα άλλα εξαιτίας της υποκείμενης αντιμεταθετικής συμμετρίας των κριτηρίων (permutation symmetry of the criteria). Συνδυάζοντας όλα τα πιθανά ζεύγη των διανυσμάτων των στηλών, σε έναν πίνακα  $A$ , με τον ακόλουθο τρόπο :

$$A = \begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & w_1 / w_3 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & & & \dots & \\ w_3 / w_1 & & & \dots & \\ \vdots & & & \dots & \\ w_n / w_1 & & & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix}$$

κάποιος μπορεί να φτάσει στο αρχικό σημείο της ανάλυσης του Saaty. Τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα  $A$  έχουν την ιδιότητα :

$$a_{ij} = 1 / a_{ji}, \text{ για κάθε } i \text{ και } j,$$

Από την ιδιότητα αυτή καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα στοιχεία της διαγωνίου του πίνακα είναι μοναδιαία, ενώ τα στοιχεία του πάνω δεξιά τριγωνικού τμήματος (triangular block) και του κάτω αριστερά τριγωνικού τμήματος είναι μεταξύ τους αντίστροφα (reciprocal). Ο πίνακας  $A$  είναι απλά μια «συνάρτηση προβολής» (projection operator) του μονοδιάστατου χώρου (one dimensional space), που καθορίζεται από το διάνυσμα  $w$ . Στην

πραγματικότητα τα διανύσματα των στηλών (column vectors) του πίνακα A είναι ανάλογα σαν συνέπεια του γεγονότος πως αντιπροσωπεύουν η «συνεπείς συγκρίσεις» (consistent comparisons), σε σχέση με κάθε ένα από τα υπόλοιπα κριτήρια.

### Γ) Η κλίμακα των τιμών (value scale)

Στην πιο κοινή προσέγγιση από τον Saaty, η γραμμική κλίμακα 1, 2, ... , 9, για συγκρίσεις ανά ζεύγη, χρησιμοποιείται έτσι ώστε να ποσοτικοποιήσει το πόσο περισσότερο σημαντικό είναι ένα κριτήριο σε σχέση με κάποιο άλλο. Η τιμή 1, για παράδειγμα, σημαίνει εξίσου σημαντικό κριτήριο, ενώ η τιμή 9 σημαίνει πολύ περισσότερο σημαντικό κριτήριο. Αν το κριτήριο είναι λιγότερο σημαντικό από κάποιο άλλο, τότε χρησιμοποιούνται οι αντίστροφες προτιμήσεις, όπως για παράδειγμα, 1/3, 1/4 , 1/5 κτλ.

Η επιλογή μιας γραμμικής κλίμακας και της μέγιστης τιμής είναι κάπως αυθαίρετη (arbitrary), αλλά αυτό απλά αντικατοπτρίζει το γενικό πρόβλημα της ποσοτικοποίησης των προτιμήσεων σε πολυμεταβλητά μοντέλα λήψης αποφάσεων (multi – attribute decision models). Είναι αρκετά λογικό να χρησιμοποιείται μια «περιορισμένη θετική κλίμακα αξιολόγησης» (bounded positive evaluation scale), έτσι ώστε να μην επιτρέπονται άπειρες προτιμήσεις (infinite preferences). Γι' αυτό το λόγο όλα τα στοιχεία του πίνακα A είναι πεπερασμένα (finite) και θετικά.

Παρόλα αυτά, η χρήση μιας γραμμικής κλίμακας δημιουργεί μια άμεση αντίφαση (inconsistency) στη μέθοδο AHP, αν θεωρήσουμε για παράδειγμα μια περίπτωση με τρία διαφορετικά κριτήρια και κλίμακα τιμών με πιθανές τιμές 1, 2, 3, 1/2, 1/3.

Ας υποθέσουμε ότι κάποιος προσπαθεί να εκτιμήσει τα κριτήρια με μια κλειστή και αυξανόμενη ακολουθία (closed an increasing sequence) με έναν πίνακα A που έχει την εξής μορφή :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Τότε μπορούμε να δούμε ότι τα διανύσματα στηλών του πίνακα δεν είναι ανάλογα όπως στον τελείως συνεπή (perfectly consistent) πίνακα, που φαίνεται παραπάνω. Αυτό συμβαίνει παρόλο που προσπαθούμε να δώσουμε «συνεπείς απαντήσεις» σε κάθε ένα από τα ζεύγη σύγκρισης, βασισμένοι στα κριτήρια 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

Στην πραγματικότητα δεν είναι δύσκολο να αποδείξουμε ότι, η μόνη κλίμακα που αποφεύγει αυτού του είδους τη «βασική αντίφαση κλίμακας» (basic scale inconsistency), είναι μια πολυεφαρμοσμένη κλίμακα αξιολόγησης (multiplicative evaluation scale), με γενικό τύπο :

$\exp(j \cdot \log b)$  με  $j = 0$  έως  $J$  και  $b > 1$

Αυτή η κλίμακα ξεκινάει με το 1 (εξίσου σημαντικό) και τελειώνει με τη μέγιστη προτίμηση (maximal preference)  $\exp(J \cdot \log b)$ . Έτσι, μια «συνεπής κλίμακα» ορίζεται από μόνο δυο ανεξάρτητες παραμέτρους, το πλήθος των διαφόρων προτιμήσεων και τη μέγιστη προτίμηση. Όταν χρησιμοποιείται η καθιερωμένη γραμμική κλίμακα τότε δίδονται «επιχειρήματα ψυχολογικής φύσης» (arguments of psychological nature) για τη χρήση ακριβώς εννιά προτιμήσεων (για παράδειγμα  $J=8$ ), όπως και για τη θεώρηση της «μέγιστης προτίμησης» (maximal preference), ως 9.