ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον»

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΑΠΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Ελένη Σ. Χατζηιορδάνου



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Στέλιος Μερτίκας (Επιβλέπων)

Απόστολος Σαρρής

Αντώνης Βαφείδης

Χανιά

Μάρτιος, 2004

Ευχαριστίες

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς τη συνεισφορά των παρακάτω ατόμων τους οποίους και ευχαριστώ ιδιαίτερα.

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κ. Στυλιανό Μερτίκα, καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων για την επίβλεψη, καθοδήγηση και υποστήριξή του στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Επίσης ευχαριστώ τον Δρ. Απόστολο Σαρρή, ερευνητή του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών (ΙΜΣ) του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ) και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωφυσικής–Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος και συνεπιβλέποντα καθηγητή μου, για την ανάθεση του θέματος, την επίβλεψη, καθοδήγηση και υποστήριξή του στην πραγματοποίηση του εργαστηριακού τμήματος αυτής της διατριβής. Ακόμη, για την άψογη συνεργασία και τη διάθεση των δορυφορικών εικόνων του Landsat και πλήθους ψηφιακών δεδομένων. Ακόμη, ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα αρχαιολογίας και ερευνητή του ΙΜΣ, Steven Soetens για την πολύτιμη βοήθειά του πάνω σε θέματα αρχαιολογίας και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή κ. Αντώνη Βαφείδη που δέχθηκε να αντικαταστήσει το μέλος της εξεταστικής επιτροπής Εμμανουήλ Στεφανάκη, εξαιτίας της μη δυνατής παρουσίας αυτού στην παρουσίαση της διατριβής.

Επίσης ευχαριστώ την οικογένειά μου, που με την ηθική και υλική της υποστήριξη, με βοήθησε στη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ όλους αυτούς που πίστεψαν σε εμένα και μου συμπαραστάθηκαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Λένα Σ. Χατζηιορδάνου

Μάρτιος 2004

Περίληψη

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία διενεργήθηκε στα πλαίσια του διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γεωφυσικής–Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης & Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών που ανήκει στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ).

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στη διαχείριση και προστασία των αρχαιολογικών μνημείων που βρίσκονται σε περιοχές με έντονα περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως είναι οι σεισμοί, η ξηρασία, οι αποσταθεροποιήσεις εδαφικού υλικού, η διάβρωση του εδάφους κ.ά.

Για την υλοποίηση της έρευνας επιλέχθηκε ο Νομός Λασιθίου στην Ανατολική Κρήτη. Το Λασίθι είναι μια από τις λιγότερο ανεπτυγμένες και πιο απομακρυσμένες περιοχές της Ευρώπης. Αποτελεί ωστόσο μια από τις περισσότερο διερευνημένες αρχαιολογικά περιοχές της Ελλάδας, λόγω του πλήθους σημαντικών αρχαιολογικών θέσεων. Επιπλέον πρόκειται για μια περιοχή με μεγάλη τουριστική ανάπτυξη που επιβάλλει την ανάδειξη της πολιτιστικής της κληρονομιάς, αλλά συγχρόνως δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω προστασία της. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην παρακολούθηση και μελέτη των μεταβολών των κλιματικών συνθηκών της περιοχής, καθώς παρατηρείται ότι οδηγούν σταδιακά σε έντονα φαινόμενα διάβρωσης και ερημοποίησης με σοβαρές επιπτώσεις στη διατήρηση των αρχαιολογικών μνημείων.

Στα πλαίσια της διατριβής μελετήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat. Τα στοιχεία που προέκυψαν από τις δορυφορικές εικόνες, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τον γεωλογικό χάρτη του νομού Λασιθίου, μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα από σεισμικά φαινόμενα των τελευταίων χρόνων συσχετίστηκαν μεταξύ τους και αναλύθηκαν από το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων ERDAS IMAGINE και το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών της ESRI, ArcGIS. Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις αρχαιολογικές θέσεις, με σκοπό να προκύψει ένας τελικός αλγόριθμος, βάσει του οποίου δημιουργήθηκαν ζώνες επικινδυνότητας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ……..……...…….1

1.2 Εισαγωγή……..…….……..….……1

1.2 Στόχοι της Διατριβής ……...…….……..……..….……2

1.3 Δομή της Διατριβής…….……2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ……...……...……..4

2.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Αρχαιολογία...…….….4

2.2 Ορισμός των ΣΓΠ...…….……6

2.2.1 Τμήματα ενός ΣΓΠ……9

2.2.2 Λογισμικό ΣΓΠ……11

2.2.3 Βασικές Διαδικασίες ενός ΣΓΠ……12

2.2.4 Μορφή γεωγραφικών δεδομένων……..…13

2.2.5 Τεχνικές διαχείρισης δεδομένων…….……..…14

2.2.6 Μοντέλα γεωγραφικών δεδομένων…….16

2.2.7 Βάσεις δεδομένων……19

2.3 Σύγκριση ΣΓΠ με παραδοσιακή χαρτογραφία…….20

2.3.1 Διαφοροποίηση ΣΓΠ από τα κλασικά συστήματα ……21

2.4 Τα ΣΓΠ στην Ελλάδα και στην Κρήτη ……..…….23

2.5 Τηλεπισκόπηση……...…….25

2.5.1 Η τηλεπισκοπική διαδικασία…….27

2.5.2 Αρχές της Τηλεπισκόπησης……..…28

2.5.3 Ψηφιακή επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας…….29

2.5.4 Λογισμικά ψηφιακής επεξεργασίας……..37

2.5.5 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης……37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ….……...…..……40

3.1 Φυσικές Καταστροφές……40

3.1.1 Εκτίμηση επικινδυνότητας φυσικών καταστροφών με χρήση ΣΓΠ……...…...42

3.1.2 Εφαρμογή στην εργασία……...45

3.2 Σεισμοί……45

3.2.1 Βασικές έννοιες για τους σεισμούς……..47

3.2.2 Σεισμικότητα ελληνικού χώρου……..50

3.2.3 Σεισμικές ζώνες Ελλάδας……52

3.2.4 Σχέσεις απόσβεσης της σεισμικής κίνησης……..56

3.3 Κατολισθήσεις……..61

3.3.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων……62

3.3.2 Αιτίες εκδήλωσης κατολισθήσεων……64

3.3.3 Συχνότητα κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο και επιπτώσεις τους……67

3.4 Δασικές πυρκαγιές……70

3.4.1 Αιτίες εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών……..71

3.5 Ερημοποίηση και διάβρωση……72

3.5.1 Έδαφος……72

3.5.2 Διάβρωση του εδάφους……74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ……..……..……...…..…….78

4.1 Σημαντικότητα Λασιθίου…….78

4.2 Αρχαιότητες Νομού Λασιθίου...……...……79

4.2.1 Ψηφιακός Αρχαιολογικός Χάρτης Λασιθίου……...84

4.2.2 Ανάλυση της αρχαιολογικής βάσης δεδομένων……...85

4.3 Γεωλογία Νομού Λασιθίου ……..…….…….....87

4.3.1 Γεωμορφολογία……..……..87

4.3.2 Στρωματογραφίες και τεκτονικές ενότητες Κρήτης……89

4.3.3 Τεκτονική εξέλιξη Κρήτης……...92

4.4 Σεισμοί παρελθόντος……..94

4.5 Φαινόμενα δασικών πυρκαγιών……..…95

4.6 Μετεωρολογικά στοιχεία……...97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 …..…….……..……..……..……..……99

5.1 Μεθοδολογία……..…..……..99

5.2 Επεξεργασία δεδομένων και ανάλυση παραγόντων επικινδυνότητας…….102

5.2.1 Ανθρώπινος Παράγοντας ……..102

5.2.2 Σεισμικός παράγοντας ……...110

5.2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα……..119

5.2.4 Επεξεργασία δορυφ. εικόνων και εξαγωγή δεικτών βλάστησης…...125

5.2.5 Επεξεργασία γεωμορφολογίας εδάφους ……130

5.2.6 Δεδομένα δασικών πυρκαγιών……...135

5.2.7 Τρωτότητα εδαφών και ευστάθεια πετρωμάτων……137

5.2.8 Εγγύτητα στην ακτογραμμή και στο υδρογραφικό δίκτυο……146

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 …..…….…….……..……148

6.1 Μεθοδολογία καθορισμού των ζωνών επικινδυνότητας……...148

6.2 Δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας……...153

6.3 Δείκτης επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές……...……...157

6.4 Δείκτης επικινδυνότητας από κατολισθήσεις……164

6.5 Δείκτης επικινδυνότητας από διάβρωση……169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 …..…….…….……..……174

7.1 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις……...174

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ…….177

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α……

Α.1 Πίνακας παρελθοντικών εκδηλώσεων σεισμών στον ευρύτερο χώρο της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 1908-2001 με μεγέθη άνω των 4,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ…….……2

Α.2. Πίνακας εκδηλώσεων δασικών πυρκαγιών στο νομό Λασιθίου για το χρονικό διάστημα 1923-1997……13

Α.3. Μετεωρολογικά δεδομένα της Κρήτης ανά δεκαετία…….39

Α.3.1. Μέγιστη μέση θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία…….39

Α.3.2. Ελάχιστη μέση θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία……39

Α.3.3. Γραφική παράσταση της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία……..40

Α.3.4. Γραφική παράσταση της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία……..41

Α.3.5. Μέγιστη θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία……..42

Α.3.6. Ελάχιστη θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία…….42

Α.3.7. Γραφική παράσταση της μέγιστης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία…….43

Α.3.8. Γραφική παράσταση της ελάχιστης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία…….44

Α.3.9. Μέγιστη σχετική υγρασία της Κρήτης ανά δεκαετία…….45

Α.3.10. Ελάχιστη σχετική υγρασία της Κρήτης ανά δεκαετία……..45

Α.3.11. Γραφικές παραστάσεις μέγιστης σχετικής υγρασίας της Κρήτης ανά σταθμό και ανά δεκαετία……..46

Α.3.12. Συνολικές τιμές βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία (mm)…48

Α. 3.13 Μέγιστες τιμές βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία (mm)….48

Α.3.14. Γραφική παράσταση συνολικών τιμών βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία……49

Α.3.15. Γραφική παράσταση μέγιστων τιμών βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία……50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της εργασίας είναι η εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών ΣΓΠ (Geographic Information Systems – GIS) και της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης στην εκτίμηση της επικινδυνότητας των αρχαιολογικών θέσεων του Νομού Λασιθίου της Ανατολικής Κρήτης, από περιβαλλοντικά φαινόμενα.

Τα αρχαιολογικά μνημεία και ευρήματα πέρα από την αναμφισβήτητη ιστορική και αισθητική τους αξία, έχουν σημαντική επιστημονική αξία. Παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα γεωλογικά, κλιματολογικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα του παρελθόντος. Συντελούν έτσι στην κατανόηση της γεωτεκτονικής εξέλιξης, του παλαιοκλίματος και της γενικότερης περιβαλλοντικής εξέλιξης της περιοχής στην οποία βρίσκονται. Σε πολλές περιπτώσεις οι κατασκευαστικές λύσεις και η αρχιτεκτονική των οικοδομημάτων οφείλονται στην προσπάθεια των κατοίκων να προστατευτούν από τεκτονικά ή μετεωρολογικά φαινόμενα. Η μελέτη των αρχαιολογικών ευρημάτων συμβάλλει ακόμη στην κατανόηση της εξέλιξης της κοινωνίας στην πορεία του χρόνου και της παιδείας της ανθρώπινης κοινωνίας της περιοχής που αντιπροσωπεύουν. Επιτρέπει επίσης την εύρεση των χρονικών περιόδων κατά τις οποίες η περιοχή ευημερούσε οικονομικά ή όχι. Έχουν επομένως τόσο κοινωνική όσο και εκπαιδευτική αξία. Τέλος, τα αρχαιολογικά μνημεία και ευρήματα αποτελούν σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος για την περιοχή, συμβάλλοντας έτσι στην οικονομική της ανάπτυξη.

Δεν πρέπει να αγνοηθεί όμως το γεγονός ότι η σχέση της αρχαιολογίας με την ανάπτυξη της τουριστικής βιομηχανίας, δημιουργεί νέα περιβαλλοντικά δεδομένα και αυξάνει τις ανάγκες προστασίας των αρχαιοτήτων. Η ανθρώπινη επέμβαση στα φυσικά οικοσυστήματα αυξάνει τη συχνότητα και τη δριμύτητα των φυσικών κινδύνων. Κατά συνέπεια, τα αρχαιολογικά μνημεία κινδυνεύουν τόσο από την ανθρωπογενή δράση, όσο και από τις φυσικές καταστροφές. Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη για βελτίωση του σχεδιασμού διαχείρισης και ανάδειξης των πολιτισμικών πόρων. Ταυτόχρονα, κρίνεται χρήσιμη η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας με σκοπό την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς τόσο από την ανθρωπογενή επέμβαση, όσο και από τα έντονα περιβαλλοντικά φαινόμενα.

1.2 Στόχοι της Διατριβής

Στην εργασία μελετώνται οι δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στη διαχείριση και προστασία των αρχαιολογικών μνημείων από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Γίνεται προσπάθεια προσέγγισης του προβλήματος των φυσικών καταστροφών γενικότερα. Μια πιο εξειδικευμένη έρευνα θα ήταν εφικτή, αν αφορούσε μικρότερη περιοχή μελέτης και αν η επίδραση των φυσικών καταστροφών σε αυτήν ήταν μονοσήμαντη.

Ο σκοπός όμως αυτής της εργασίας δεν είναι η λεπτομερής έρευνα των περιβαλλοντικών κινδύνων στην περιοχή. Άλλωστε μια εξειδικευμένη έρευνα απαιτεί πολύ χρόνο, πλήθος δεδομένων που δεν είναι εύκολα διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή στην Ελλάδα, αλλά και εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό. Στόχος είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας διαχείρισης των αρχαιολογικών και φυσικών πόρων της περιοχής μελέτης και ανάλυσης των φυσικών κινδύνων. Η μεθοδολογία που προτείνεται αποδεικνύει τη συνεισφορά των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης στη διαχείριση και παρακολούθηση των φυσικών πόρων. Είναι μια μεθοδολογία που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση διαχείρισης φυσικών καταστροφών και ανάλυσης κινδύνου.

1.3 Δομή της Διατριβής

Στα Κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφονται διεξοδικά όλα τα στάδια της έρευνας και των μεθοδολογιών που αναπτύχθηκαν. Τα στάδια περιλαμβάνουν τις ακόλουθες ενέργειες:

- Δημιουργία πολλαπλών επιπέδων πληροφοριών και θεματικών χαρτών με χρήση γεωλογικών, υδρολογικών, αρχαιολογικών, σεισμολογικών και άλλων δεδομένων.

- Ανάλυση και ταξινόμηση των πληροφοριών και μετατροπή των διανυσματικών δεδομένων σε δεδομένα κυψελωτής μορφής.

- Επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, δημιουργία θεματικών χαρτών και εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και συμπερασμάτων.

- Ανάλυση των παραμέτρων επικινδυνότητας και τοποθέτηση των ανάλογων συντελεστών βαρύτητας (διαδικασία weightening).

- Υπέρθεση των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών και σύνθεσή τους με την επέκταση του προγράμματος ArcView Spatial Analyst, με σκοπό τη δημιουργία χαρτών με ζώνες επικινδυνότητας.

Στο επόμενο Κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης. Περιγράφεται η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όσον αφορά στη χρήση αυτών των νέων τεχνολογιών από ερευνητικούς φορείς.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναλύονται οι έννοιες της επικινδυνότητας και των φυσικών καταστροφών και εξετάζεται η μεθοδολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών σε μελέτες εκτίμησης επικινδυνότητας. Αναφέρονται ακόμη οι φυσικοί κίνδυνοι που επιλέχθηκαν στην εργασία και μελετώνται συνοπτικά οι μηχανισμοί και τα γενεσιουργά τους αίτια.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο της εργασίας υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με το Νομό Λασιθίου της Ανατολικής Κρήτης που αποτελεί την περιοχή μελέτης. Παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τη γεωλογία του Νομού και τις σημαντικότερες αρχαιολογικές του θέσεις. Ακόμη, παρατίθενται στοιχεία των σημαντικότερων παρελθοντικών σεισμικών φαινομένων και δασικών πυρκαγιών. Επίσης, διατίθενται τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο αναλύονται οι παράγοντες επικινδυνότητας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο. Παρατίθενται γραφικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Το έκτο Κεφάλαιο αποτελεί και το πιο σημαντικό τμήμα της εργασίας, διότι περιέχει τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των ζωνών επικινδυνότητας. Γίνεται ακόμη η γραφική παρουσίαση των τελικών χαρτών επικινδυνότητας.

Τέλος, στο έβδομο και τελευταίο Κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και Αρχαιολογία

Τις τελευταίες δεκαετίες διαπιστώθηκε ότι οι ανάγκες για αξιόπιστες και ενημερωμένες πληροφορίες γύρω από τη γη, την κοινωνία και το περιβάλλον δεν ήταν δυνατό να ικανοποιηθούν από τους παραδοσιακούς τρόπους συλλογής, καταγραφής, ενημέρωσης και επεξεργασίας των πληροφοριών. Έτσι, από τα τέλη της δεκαετίας του '70, ξεκίνησε η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών ΣΓΠ (Geographical Information Systems – GIS). Η επιστήμη των ΣΓΠ σημείωσε ραγδαία εξέλιξη κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και έπειτα. Οι λόγοι που συνετέλεσαν στη γρήγορη εξέλιξη τους ήταν:

- η μεγάλη ανάπτυξη της Πληροφορικής.
- η βελτίωση των μαθηματικών μεθόδων ανάλυσης, ερμηνείας και πρόβλεψης των συνθηκών του γήινου περιβάλλοντος.
- η αυξανόμενη ανησυχία για την τάση περιβαλλοντικής υποβάθμισης σε τοπική, εθνική και παγκόσμια κλίμακα.
- η αδυναμία επεξεργασίας και ανάλυσης του τεράστιου όγκου πληροφοριών με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Η ανάπτυξη της Πληροφορικής σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους των ηλεκτρονικών υπολογιστών οδήγησε στην ευκολότερη εισχώρηση της τεχνολογίας των ΣΓΠ σε δημόσιους οργανισμούς, πανεπιστήμια και ιδιωτικές εταιρίες. Στη δεκαετία του 1980, το παγκόσμιο αίτημα για προστασία του περιβάλλοντος και η ανάπτυξη της επιστήμης της πληροφορικής έδωσε νέα ώθηση στη χρήση των ΣΓΠ. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες το ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάζεται στην περιφερειακή ανάπτυξη και στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η αύξηση της ζήτησης σε πληροφορίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και η ανάδειξη των ΣΓΠ σε εργαλείο απαραίτητο για την ορθολογική λήψη αποφάσεων και την παρακολούθηση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.

Οι εφαρμογές των ΣΓΠ προσδιορίζονται κάθε φορά από τις ιδιαίτερες ανάγκες των χρηστών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι κυριότερες κατηγορίες από ένα μεγάλο αριθμό δυνατών εφαρμογών των ΣΓΠ:

- πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός.
- καταγραφή, προστασία και διαχείριση ιδιωτικής, δημόσιας και δημοτικής ακίνητης περιουσίας.
- δίκτυα κοινής ωφέλειας (ύδρευση, αποχέτευση, ηλεκτρισμός, τηλεπικοινωνίες, φυσικό αέριο, κ.α.).
- παρακολούθηση και προστασία περιβάλλοντος και φυσικών πόρων.
- σχεδιασμός και προγραμματισμός χρήσεων γης.
- συγκοινωνιακές μελέτες.
- αγροτική ανάπτυξη και αναδιάρθρωση.

Την τελευταία δεκαετία πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα συστηματικές έρευνες με σκοπό τον εντοπισμό αρχαιολογικών θέσεων, χωρίς την άμεση χρήση αρχαιολογικής σκαπάνης, αλλά με χρήση γεωφυσικών διασκοπίσεσων, δορυφορικής τεχνολογίας και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Με τον τρόπο αυτό, το 2001 συντάχθηκε ο ψηφιακός αρχαιολογικός χάρτης του Νομού Λασιθίου Κρήτης από τον Δρ. Α. Σαρρή και άλλους ερευνητές του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών του ITE (Sarris et al., 2002).

Με τα ΣΓΠ ο χρήστης είναι σε θέση να εξετάσει, εποπτεύσει και παρατηρήσει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου στον οποίο τοποθετούνται οι περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

Η χρήση του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning Systems-GPS) συντελεί στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των αρχαιολογικών ευρημάτων. Γνωρίζοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες των αρχαιολογικών θέσεων, πετυχαίνεται η ακριβής χαρτογράφηση και ηλεκτρονική απογραφή τους. Η απογραφή των αρχαιοτήτων συντελεί έμμεσα και στην προστασία τους, αφού δεν δύναται η προστασία οποιασδήποτε περιοχής αν αυτή δεν εντοπίζεται και οριοθετείται γεωγραφικά.

Ανάμεσα στα προϊόντα της χρήσης της τεχνολογίας των ΣΓΠ που μπορεί να εκμεταλλευτεί ο αρχαιολόγος είναι και οι χάρτες των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DEM) και ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου (DTM). Αυτοί δημιουργούνται από συνδυασμό τοπογραφικών και υδρολογικών δεδομένων που απορρέουν από χάρτες, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες. Αποδίδουν την περιοχή μελέτης σε

τρισδιάστατη μορφή έχοντας πραγματικά υψόμετρα και πραγματικό γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Η αρχαιολογική ερμηνεία βελτιώνεται ακόμη περισσότερο, αφού τα ΣΓΠ επιτρέπουν την υπέρθεση πολλαπλών επιπέδων πληροφορίας.

Με τη χρήση των ΣΓΠ, ο αρχαιολόγος αποφεύγει τις χρονοβόρες επισκέψεις πεδίου και είναι σε θέση να εποπτεύσει θέσεις οι οποίες δεν είναι εύκολα προσβάσιμες. Συνδυάζοντας πληροφορίες από αεροφωτογραφίες και τοπογραφικούς χάρτες, είναι σε θέση να εκτιμήσει την γεωμορφολογία της περιοχής (απότομα πρανή, λεκάνες, ακτογραμμές κλπ). Διευκολύνεται ακόμη στη μελέτη της χωροθέτησης των αρχαιολογικών θέσεων, την εύρεση της απόστασής τους από τη θάλασσα, του γεωλογικού υποβάθρου στο οποίο τοποθετούνται, των αποστάσεών τους από το οδικό και υδρογραφικό δίκτυο, καθώς και από αστικές περιοχές. Συνδυάζοντας αυτές τις πληροφορίες μπορεί να οδηγηθεί σε ανάληψη των κατάλληλων μέτρων προστασίας τους.

Η σύνταξη Χαρτών Επικινδυνότητας των ιστορικών μνημείων της Ελλάδας με χρήση των ΣΓΠ αποτελεί άμεση προτεραιότητα, ώστε να καταστεί δυνατή μια σωστή και πλήρης προστασία των ελληνικών μνημείων με τη χρήση της διαθέσιμης τεχνολογίας. Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την ανάπτυξη μεθοδολογιών που υπό άλλες συνθήκες θα απαιτούσαν μεγάλο οικονομικό κόστος και μεγάλες υπολογιστικές δυνατότητες.

2.2 Ορισμός των ΣΓΠ

Η τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών εμφανίζει μια δυσκολία προσέγγισης ενός και μόνο αυστηρού ορισμού της, που να περιέχει όλα τα στοιχεία που την προσδιορίζουν. Κατά καιρούς, δόθηκαν διάφοροι ορισμοί για τα ΣΓΠ από πολλούς μελετητές, σύμφωνα με τους οποίους:

- Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή περιφερειακών, λογισμικού, γεωγραφικών δεδομένων και προσωπικού, σχεδιασμένη ώστε να συλλαμβάνει, να αποθηκεύει, να ενημερώνει, να

διαχειρίζεται, να αναλύει και να αποδίδει σωστά όλους τους τύπους αναφοράς των γεωγραφικών πληροφοριών (Dangermond, 1982).

- Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο περιλαμβάνει βάση δεδομένων. Η βάση αυτή περιέχει από τη μια στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και από την άλλη διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων (Federation Internationale des Geometers, 1983 και Μανιάτης, 1993).

- Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφοριών σχετικών με ζητήματα γεωγραφικής φύσης (Goodchild, 1987).

- Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι μια βάση στηριζόμενη σε σύστημα ηλεκτρονικών υπολογιστών και προγραμμάτων η οποία αποθηκεύει και διαχειρίζεται πληροφορίες γεωγραφικής φύσης (Aronoff, 1989).

Πληροφοριακό σύστημα χαρακτηρίζεται ένα σύστημα όταν τα συστατικά του, δηλαδή τα δεδομένα, ρέουν από το ένα τμήμα του στο άλλο, ακόμα και αν παρουσιάζουν ετερογενή δομή (Λαοπόδης, 1994). Ο όρος «γεωγραφικό», συνεπάγεται τη σχέση που έχει το πληροφοριακό σύστημα με την επιφάνεια της γης. Γενικά το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα υψηλής τεχνολογίας ισοδύναμο του σύγχρονου χάρτη με πλήθος πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από χρήστες με διαφορετικές ανάγκες (University of Edinburgh, 1998). Οι γεωγραφικές πληροφορίες διακρίνονται με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Dangermond, 1983):

- το φαινόμενο ή χαρακτηριστικό που περιγράφουν (μη χωρική ή περιγραφική πληροφορία).
- τον προσδιορισμό του χαρακτηριστικού στον χώρο (χωρική πληροφορία).
- τη διάσταση του χρόνου.

Χωρική πληροφορία είναι ο προσδιορισμός της θέσης των γεωγραφικών δεδομένων με βάση ένα σύστημα αναφοράς. Περιγραφική πληροφορία είναι τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών δεδομένων που έχουν σχέση με τις ποιοτικές και ποσοτικές ιδιότητες του γεωγραφικού χώρου.

Αντίστοιχα, τα γεωγραφικά δεδομένα ανάλογα με τη φύση τους και το περιεχόμενό τους χωρίζονται σε **χωρικά** και σε **περιγραφικά** ή μη χωρικά δεδομένα.

Χωρικά είναι τα δεδομένα που προσδιορίζουν αποκλειστικά τη θέση στον χώρο, αντικειμένων, φαινομένων ή καταστάσεων σε σχέση με κάποιο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Ανάλογα με τις διαστάσεις που καταλαμβάνουν στον χώρο διακρίνονται σε:

α) σημειακά, όπως μια γεώτρηση ή ένας μετεωρολογικός σταθμός.

β) γραμμικά, όπως δρόμοι ή ρήγματα.

γ) πολυγωνικά, όπως ένα αγροτεμάχιο ή ένα οικοδομικό τετράγωνο.

δ) ογκομετρικά–τρισδιάστατα δεδομένα, όπως η τρισδιάστατη ανάγλυφη αναπαράσταση μιας περιοχής.

Ένα σημειακό δεδομένο θεωρείται ότι έχει μηδενική διάσταση, ένα γραμμικό ότι έχει μία διάσταση (μήκος), ένα πολυγωνικό δύο διαστάσεις (μήκος και επιφάνεια) και ένα τρισδιάστατο τρεις διαστάσεις (μήκος, επιφάνεια, και η τρίτη διάσταση είναι είτε η κλίση, είτε η έκθεση, είτε το υψόμετρο). Η διάκριση των αντικειμένων εξαρτάται και από την κλίμακα απόδοσης. Έτσι, σε κλίμακα 1:1.000 ένας οικισμός αποδίδεται ως επιφανειακό δεδομένο, ενώ σε κλίμακα 1:1.000.000 αποδίδεται ως σημειακό δεδομένο.

Τα **περιγραφικά** δεδομένα προσθέτουν επιπλέον γνώσεις πάνω στα χωρικά δεδομένα. Οι γνώσεις μπορεί να αφορούν στην ιδιότητα ή κατάσταση και να είναι είτε ποιοτικές (ονομαστική κλίμακα) είτε ποσοτικές (αριθμητική κλίμακα). Η σύνδεση της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία γίνεται με τη βοήθεια κοινού πεδίου καταχώρησης στη βάση δεδομένων, που ονομάζεται USER_ID (identifier).

Η ιδιαιτερότητα των ΣΓΠ έγκειται σε αυτή τη σύνδεση μεταξύ χωρικών και περιγραφικών δεδομένων και στη δυνατότητα πραγματοποίησης πράξεων (αριθμητικών και λογικών) μεταξύ των χαρτών, δηλαδή ανάπτυξης χωρικών σχέσεων μεταξύ των γεωγραφικών δεδομένων.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των ΣΓΠ είναι: (Παπαϊωάννου, 1998)

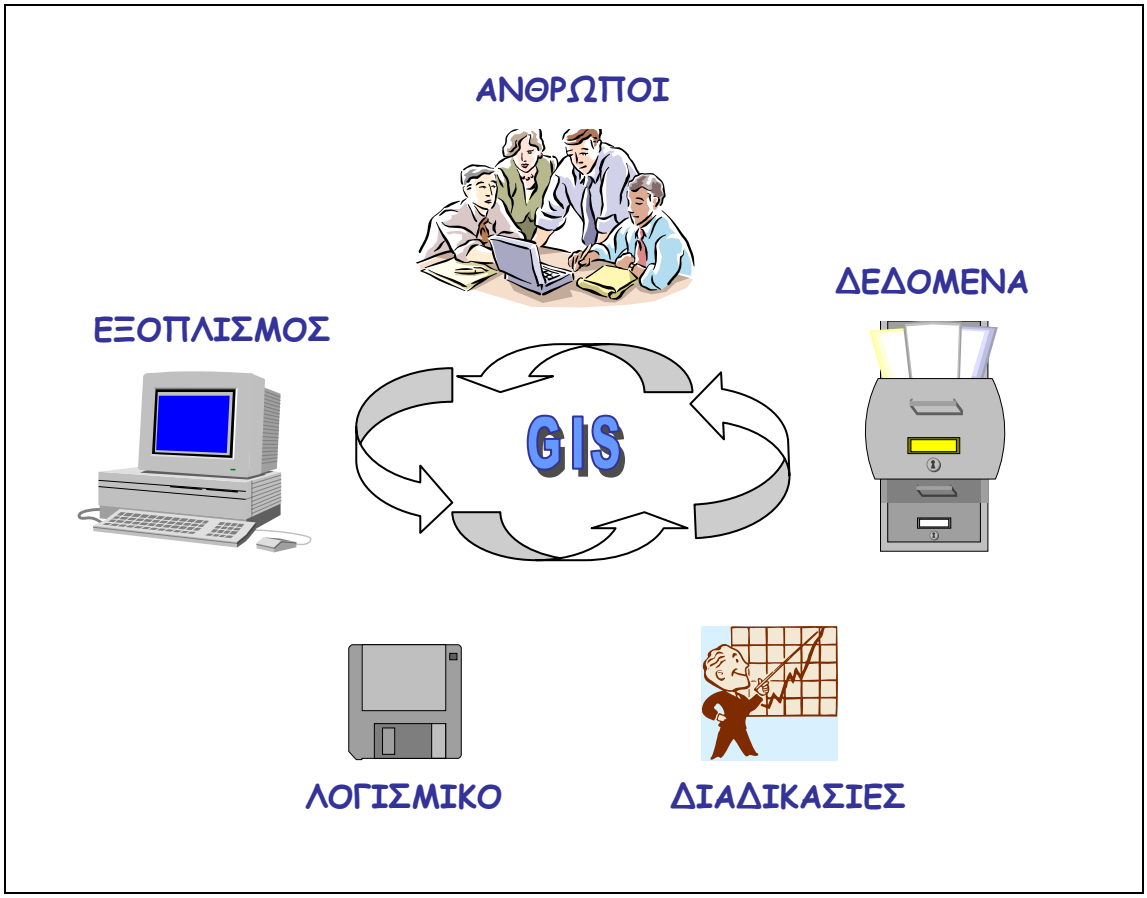
1. η δυνατότητα ενημέρωσης των δεδομένων.
2. η ύπαρξη πολλών υπολογιστικών εργαλείων που επιτρέπουν χειρισμούς, όπως μετρήσεις στον χάρτη, μετασχηματισμούς, σχεδίαση γραφικών και διαχείριση βάσεων δεδομένων.
3. η δυνατότητα γρήγορου και επαναλαμβανόμενου ελέγχου μοντέλων που αφορούν στη γεωγραφία.
4. η δυνατότητα διαχρονικής ανάλυσης, δηλαδή σύγκρισης ίδιων χαρακτηριστικών σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.
5. η δυνατότητα αυτόματου γραφικού σχεδιασμού με χρήση ειδικών υπολογιστικών εργαλείων και οδηγών.
6. η τάση ενοποίησης των διεργασιών συλλογής δεδομένων, χωρικής ανάλυσης και υποστήριξης αποφάσεων.

2.2.1 Τμήματα ενός ΣΓΠ

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελείται από τα εξής στοιχεία κατά φθίνουσα σειρά κόστους:

1. ανθρώπινο δυναμικό.
2. δεδομένα.
3. εξοπλισμός.
4. λογισμικό.
5. διαδικασίες – αλγόριθμοι.

Σημαντικότερος παράγοντας ενός ΣΓΠ είναι το **ανθρώπινο δυναμικό** που ασχολείται με την εφαρμογή και διαχείριση του συστήματος. Είναι ο βασικός συντελεστής που ανάλογα με την εμπειρία, τις γνώσεις και την ικανότητά του, αναπτύσσει, υλοποιεί και θέτει σε λειτουργία το ΣΓΠ.



Σχήμα 2.1 : Τα σημαντικότερα τμήματα ενός ΣΓΠ

Με τον όρο **δεδομένα** εννοούμε ψηφιακά χωρικά δεδομένα που αφορούν στην περιοχή μελέτης και αναφέρονται σε κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων. Τα δεδομένα αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη του συστήματος. Η διαδικασία συλλογής τους, είτε πρόκειται για χωρικά είτε για μη χωρικά, είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Απαιτείται σωστός σχεδιασμός από την αρχή ώστε τα δεδομένα να είναι ακριβή, ενήμερα, ολοκληρωμένα και σωστά καταχωρημένα.

Ο **εξοπλισμός** αναφέρεται σε όλες τις απαραίτητες μονάδες για την ανάπτυξη του ΣΓΠ. Ο βασικός εξοπλισμός ενός ΣΓΠ είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του, στην οποία συνδέονται οι διάφορες περιφερειακές μονάδες.

Βασική περιφερειακή μονάδα εισόδου γεωγραφικών δεδομένων είναι ο ψηφιοποιητής (digitizer) μέσω του οποίου εισάγονται τα αναλογικά δεδομένα στον υπολογιστή και μετατρέπονται σε ψηφιακά. Άλλη μονάδα εισαγωγής δεδομένων είναι ο σαρωτής (scanner). Με τον σαρωτή ο χρόνος εισαγωγής δεδομένων μειώνεται αισθητά, ενώ η

ακρίβεια της ψηφιακής καταγραφής βελτιώνεται λόγω της άμεσης απουσίας του ανθρώπινου παράγοντα. Τέλος, εισαγωγή δεδομένων γίνεται και με αναλυτικές συντεταγμένες από τοπογραφικές μετρήσεις, με δορυφορικές εικόνες κλπ. Η απόδοση των γεωγραφικών πληροφοριών είναι το αποτέλεσμα της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων και γίνεται με τις περιφερειακές μονάδες εξόδου που είναι οι αυτόματοι σχεδιαστές (plotters). Οι οθόνες έχουν τη δυνατότητα της δυναμικής απόδοσης των γεωγραφικών πληροφοριών και του ελέγχου του τελικού χάρτη και συμβάλλουν στη φάση της διόρθωσης και ανάλυσης των βάσεων δεδομένων.

Με τον όρο **λογισμικό** αναφερόμαστε στο σύνολο των προγραμμάτων ΣΓΠ που έχουν κατασκευαστεί για τη διαχείριση της ψηφιακής πληροφορίας. Περιλαμβάνει τα απαραίτητα εργαλεία για την αποθήκευση, ανάλυση και εμφάνιση των γεωγραφικών πληροφοριών. Εδώ περιλαμβάνεται και ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων, το οποίο μπορεί να αποτελεί και ξεχωριστό περιβάλλον εργασίας αν η εφαρμογή είναι αρκετά μεγάλη (εξωτερική βάση δεδομένων, π.χ. ORACLE, MS Access, DBASE) ή να είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό (εσωτερική βάση δεδομένων π.χ. TABLES, INFO).

Τέλος, οι **διαδικασίες – αλγόριθμοι**, είναι το σύνολο των μαθηματικών σχέσεων εκφρασμένων με προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για αριθμητικές εφαρμογές χωρικής ανάλυσης.

Το κόστος για τα συστατικά στοιχεία ενός ΣΓΠ είναι μέγιστο για το εξειδικευμένο προσωπικό και ελάχιστο για τους αλγόριθμους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε εφαρμογές μηχανοργάνωσης ΣΓΠ, το κόστος των δεδομένων είναι πάντα υψηλότερο από το κόστος του λογισμικού και του εξοπλισμού.

2.2.2 Λογισμικό ΣΓΠ

Παραγωγή λογισμικού ΣΓΠ γίνεται κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ενώ στην Ελλάδα έχουν δημιουργηθεί απλά ειδικές εφαρμογές που βασίζονται στα κύρια λογισμικά πακέτα των ΣΓΠ. Στον Πίνακα 2.1 περιέχονται οι μεγαλύτερες εταιρίες κατασκευής λογισμικού και παροχής υπηρεσιών σχετικά με τα ΣΓΠ. Όλες οι εταιρίες είναι πολυεθνικές, αμερικανικών συμφερόντων. Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα ΣΓΠ στην Ελλάδα είναι τα προγράμματα ArcView και ArcInfo της εταιρίας ESRI.

Πίνακας 2.1 : Οι μεγαλύτερες εταιρίες λογισμικού GIS.

ΕΤΑΙΡΙΕΣ	ΟΝΟΜΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
ESRI	ARCVIEW, ARC/INFO, ARCGIS
Intergraph	Geomedia
MapInfo	MapInfo
SMI	Strategic Mapping
Enghouse Systems	Enghouse
Genasys	Genasys
ERDAS IMAGINE	ERDAS
IDRISI	IDRISI
Autodesk	AUTOCAD MAP

Σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή ενός χρήστη η εταιρία MapInfo διαθέτει το ομώνυμο πρόγραμμα το οποίο είναι αρκετά εύχρηστο και σχεδιασμένο για πρακτικές εφαρμογές. Διαθέτει τη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic της εταιρίας Microsoft. Το πρόγραμμα τεχνικής σχεδίασης AUTOCAD της εταιρίας Autodesk αρχικά υποστήριζε μόνο εφαρμογές τεχνικής σχεδίασης. Τελευταία όμως έχει επεκταθεί και σε εφαρμογές ΣΓΠ με τα προγράμματα AUTOCAD WORD και AUTOCAD MAP. Το μεγάλο πλεονέκτημα του είναι η ευκολία στην τεχνική σχεδίαση και η συμβατότητά του με εφαρμογές μηχανικού. Από τον χώρο της Τηλεπισκόπησης, τα λογισμικά πακέτα ERDAS, IDRISI και ERMapper επεξεργάζονται ψηφιακή χωρική πληροφορία σε κυψελωτή μορφή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όλα σχεδόν τα σύγχρονα προγράμματα ΣΓΠ υποστηρίζουν και τις δύο μορφές πληροφορίας (διανυσματικής και ψηφιδωτής μορφής), διαθέτουν σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων και δική τους γλώσσα προγραμματισμού για ανάπτυξη εφαρμογών, υποστηρίζουν τα πολυμέσα (ήχο, εικόνα, κείμενο και κινούμενο σχέδιο) και εφαρμογές στο διαδίκτυο. Στοιχεία που βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη είναι η δυναμική τους στον χρόνο και η ενσωμάτωση μοντέλων σφαλμάτων.

2.2.3 Βασικές Διαδικασίες ενός ΣΓΠ

Ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών πρέπει να περιλαμβάνει διαδικασίες που έχουν σχέση με:

α) τη συλλογή δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όπως αναλογικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, μετρήσεις πεδίου, ψηφιακά αρχεία και από άλλες πιθανές πηγές και εισαγωγή τους στο ΣΓΠ. Η συλλογή των στοιχείων που καταχωρούνται στο σύστημα μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους που εξαρτώνται από το είδος, την αξιοπιστία και την πηγή των πληροφοριών. Η εισαγωγή των δεδομένων περιλαμβάνει το μετασχηματισμό των δεδομένων από τη μορφή που έχουν αρχικά και η οποία ποικίλει ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους (αεροφωτογραφίες, χάρτες, δορυφορικές, γεωφυσικές εικόνες κλπ) σε ψηφιακή μορφή, συμβατή με εκείνη που προκαθορίζει το ΣΓΠ. Προϋποθέτει ακόμη τον μετασχηματισμό τους σε κατάλληλο προβολικό σύστημα χάρτη.

β) την αποθήκευση και επιλεκτική επανάκτηση δεδομένων, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των δεδομένων, η αποφυγή πολλαπλών καταγραφών ιδίων στοιχείων, η γρήγορη επανάκτησή τους μέσω λογικών ερωτημάτων και η γρήγορη και ασφαλής ενημέρωση και διόρθωση των χωρικών δεδομένων. Κατά το στάδιο της ανάκτησης δεδομένων μπορεί να απαιτείται ένα μόνο χαρακτηριστικό, σύνολο συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, χαρακτηριστικά που εμφανίζουν συγκεκριμένες σχέσεις μέσα σε ένα σύνολο, σύνολο χαρακτηριστικών όπου τα κριτήρια βρίσκονται μέσα σε άλλη ομάδα στοιχείων, ή όλα τα χαρακτηριστικά μιας ομάδας.

γ) τη διαχείριση, ανάλυση και μοντελοποίηση των δεδομένων ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών. Περιλαμβάνει τις αναταξινομήσεις και ομαδοποιήσεις ποιοτικών στοιχείων, τις γεωμετρικές επεξεργασίες, τον προσδιορισμό κεντρικού σημείου των πολυγώνων, την μετατροπή της δομής των δεδομένων, τη χωρική ανάλυση και στατιστική επεξεργασία, τις μετρήσεις αποστάσεων κ.ά.

δ) την απόδοση αποτελεσμάτων, συσχετίσεων, αναλύσεων και άλλων διαδικασιών, με τη μορφή χαρτών, πινάκων, γραφημάτων και αναφορών.

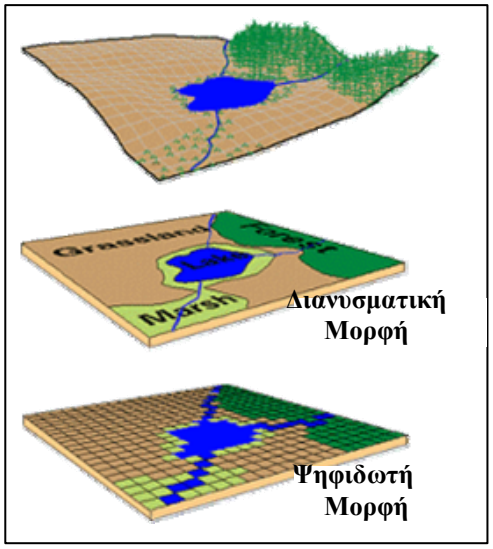
2.2.4 Μορφή γεωγραφικών δεδομένων

Η διαδικασία με την οποία τα γεωγραφικά δεδομένα εισέρχονται σε ένα ΣΓΠ ονομάζεται **γεω-κωδικοποίηση** ή **γεωαναφορά**. Κατά τη διαδικασία της γεωαναφοράς προσδιορίζεται η γεωγραφική θέση των δεδομένων, χρησιμοποιώντας κάποιο γνωστό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Τα γεωγραφικά δεδομένα

διακρίνονται σε **διανυσματικά** (vector) και **ψηφιδωτά** ή κυψελωτά δεδομένα ή δεδομένα καννάβου (raster).

Στα **διανυσματικά** δεδομένα κάθε ξεχωριστό χαρακτηριστικό καταχωρείται στο ΣΓΠ με τη βοήθεια συντεταγμένων που περιγράφουν τη μορφή και τη θέση του.

Τα **ψηφιδωτά** δεδομένα βασίζονται στον κάνναβο, δηλαδή ο χώρος τον οποίο απεικονίζουν υποδιαιρείται σε μονάδες καννάβου όμοιου σχήματος, συνήθως τετραγωνικού. Η θέση τους προσδιορίζεται από τη γραμμή ή τη στήλη του καννάβου στον οποίο ανήκουν.



Σχήμα 2.2: Αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου σε διανυσματική και ψηφιδωτή μορφή.

Σήμερα, σχεδόν όλα τα σύγχρονα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών έχουν τη δυνατότητα **υβριδικής κατάστασης**, δηλαδή την επεξεργασία και ανάλυση ταυτόχρονα διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων, καθώς και μετατροπή της μιας μορφής δεδομένων στην άλλη.

2.2.5 Τεχνικές διαχείρισης δεδομένων

Όλα τα λογισμικά προγράμματα ΣΓΠ έχουν προβλέψει τη λειτουργία τεχνικών διαχείρισης των γεωγραφικών δεδομένων. Οι τεχνικές αυτές ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες (Dangermond, 1983):

α) Ανάκτηση δεδομένων (data retrieval): Περιλαμβάνει σειρά τεχνικών για την απλή ανάκτηση μέσω οθόνης γραφικών ή επιλεγόμενων από πίνακα εγγραφών, την ανάκτηση ενός μόνο τμήματος, την ανάκτηση μέσω ερωταποκρίσεων και την ανάκτηση μέσω αλγεβρικών σχέσεων (Boolean Algebra).

β) Χαρτογραφική γενίκευση (Map generalization): Περιλαμβάνει τέσσερις βασικές διαδικασίες: τη γραμμική εξομάλυνση, την πολυγωνική εξομάλυνση, την ομοιογενοποίηση γραμμών πολυγώνου και την ένωση γειτονικών φύλλων χάρτη.

γ) Χαρτογραφική αφαίρεση (Map abstraction): Είναι στενά συνδεδεμένη με τη χαρτογραφική γενίκευση. Περιλαμβάνει πέντε διαδικασίες: τον υπολογισμό κεντροϊδών, τη δημιουργία ισοδυναμικών καμπυλών από δεδομένα διάσπαρτα στο χώρο, τη δημιουργία προσεγγιστικών ορίων (Thiessen polygons), την επαναταξινόμηση πολυγώνων και τη μετατροπή διανυσματικών αρχείων σε ψηφιδωτά.

δ) Διαχείριση φύλλων χάρτη (Map sheet manipulation): Περιλαμβάνει μια σειρά από τεχνικές που επιτρέπουν τον μετασχηματισμό των συντεταγμένων ενός δεδομένου φύλλου χάρτη, όπως η αλλαγή κλίμακας, οι διορθώσεις παραμορφώσεων, οι προβολικοί μετασχηματισμοί, ή οι διορθώσεις στροφών και μετατοπίσεων.

ε) Δημιουργία ζωνών επιρροής (Buffer generation): Περιλαμβάνει τη δημιουργία νέων πολυγωνικών ορίων, που προκύπτουν με βάση κάποιες λογικές συνθήκες, από σημεία, γραμμές ή πολύγωνα. Τα όρια μπορεί να έχουν κυκλικό ή τετραγωνικό σχήμα. Στα πολύγωνα τα όρια μπορεί να είναι είτε εσωτερικά, είτε εξωτερικά.

στ) Σύνθεση και ομοιογενοποίηση πολυγώνων (Polygon overlay / dissolve): Αποτελεί τη σημαντικότερη διαδικασία των ΣΓΠ. Επιτρέπει τη σύνθεση διαφορετικών χαρτογραφικών επιπέδων τόσο σε επίπεδο χωρικών, όσο και περιγραφικών δεδομένων του κάθε επιπέδου. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία νέου επιπέδου πληροφορίας.

ζ) Μετρήσεις μεγεθών (Measurement): Περιλαμβάνει τρόπους μέτρησης αποστάσεων στα βασικά χαρακτηριστικά ενός επιπέδου, δηλαδή μεταξύ σημείων, γραμμών, επιφανειών, αλλά και ογκομετρήσεις.

η) Ανάλυση ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital terrain analysis): Περιλαμβάνει σειρά τεχνικών που οδηγούν στη δημιουργία χαρτών κλίσεων, εκθέσεων, ορατότητας, πύκνωσης ισοδυναμικών καμπυλών, τρισδιάστατων μοντέλων με δυνατότητα κίνησης (animated 3d perspective) κ.ά.

θ) Τελικά προϊόντα (output format): Περιλαμβάνονται και οι τέσσερις βασικές μορφές εξόδου ενός τυπικού συστήματος, όπως η παραγωγή χαρτών, οι αναφορές με τη μορφή πινάκων και κειμένων, αποτελέσματα στην οθόνη και δημιουργία ψηφιακών αρχείων.

2.2.6 Μοντέλα γεωγραφικών δεδομένων

Η οργάνωση και εισαγωγή των γεωγραφικών δεδομένων σε ένα πληροφοριακό σύστημα, απαιτεί την ανάλυσή τους ώστε να είναι σχετικά εύκολη η τυποποίησή τους ή τη δημιουργία ενός μοντέλου που να τα περιγράφει με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα *μοντέλα δεδομένων* τα οποία χρησιμοποιούνται για την οργάνωση και απεικόνιση των πληροφοριών. Το βασικό πλεονέκτημά τους είναι ότι είναι εύκολο να μεταφραστούν σε δομές επεξεργάσιμες από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Διακρίνονται δυο τύποι μοντέλων. Ο πρώτος τύπος είναι το μοντέλο των *λογικών πληροφοριών* (Infological), το οποίο συνδέεται με την ανθρώπινη αντίληψη σχετικά με την απεικόνιση του πραγματικού κόσμου. Ο δεύτερος τύπος είναι το μοντέλο των *λογικών δεδομένων* (Datalogical), το οποίο συνδέεται με τον τρόπο λειτουργίας του υπολογιστή, την απεικόνιση των δεδομένων στο μηχάνημα και την οργάνωση και αποθήκευση στοιχείων.

Τα δεδομένα που καταχωρούνται σε ένα ΣΓΠ είναι είτε αντικείμενα, φαινόμενα, ή μεγέθη, είτε σχέσεις μεταξύ αυτών και δομούνται σε μορφή *διανυσμάτων* (Vector format) ή σε μορφή ψηφίδων (Grid - Raster format).

Διανυσματικά μοντέλα

Η βασική λογική μονάδα σε ένα διανυσματικό μοντέλο είναι η γραμμή, με την οποία κωδικοποιείται η θέση ενός αντικειμένου και παρουσιάζεται με τη μορφή σειράς ζευγών συντεταγμένων των σημείων της. Οι κλειστές επιφάνειες που έχουν τη μορφή

πολυγώνου, παρουσιάζονται με μια σειρά γραμμών οι οποίες αποτελούν και τα όρια του πολυγώνου.

Σημεία

Η μορφή αυτή είναι η απλούστερη μέθοδος διανυσματικής απεικόνισης αντικειμένων. Έτσι απεικονίζονται τα αντικείμενα εκείνα που δεν έχουν καμιά διάσταση στον χώρο. Παραδείγματα τέτοιας μορφής απεικόνισης είναι η τοποθεσία μιας πόλης που απεικονίζεται σε μικρής κλίμακας χάρτη, η κορυφή ενός βουνού. Εντοπίζονται με τη χρήση απόλυτων ή σχετικών συντεταγμένων (Aronoff, 1989).

Γραμμές

Παράδειγμα γραμμικής απεικόνισης αντικειμένου είναι τα δίκτυα. Κάθε μορφή δικτύου αποτελείται από συνδέσμους που ενώνονται σε κόμβους. Οι σύνδεσμοι παίρνουν τη μορφή γραμμών όπου το κάθε τμήμα τους καταγράφεται με τις συντεταγμένες του αρχικού και τελικού του σημείου. Οι γραμμές αυτές δημιουργούνται από την ένωση πολλών σημείων με κοινή ιδιότητα. Παραδείγματα γραμμικής απεικόνισης είναι τα δίκτυα ύδρευσης, τηλεπικοινωνιών, οδικό, σιδηροδρομικό, οι ακτογραμμές, οι ισοϋψείς κ.ά.

Επιφάνειες

Οι επιφάνειες απεικονίζουν κλειστές περιοχές που δημιουργούνται από γραμμές. Μια επιφάνεια απεικόνισης ονομάζεται και πολύγωνο. Ο τρόπος απεικόνισης μιας επιφάνειας στηρίζεται στη χρήση μοντέλων.

Στο μοντέλο "spaghetti", ο χάρτης που δημιουργείται είναι μια ακριβής μεταφορά των συντεταγμένων x και y των σημείων του πολυγώνου ή των γραμμών. Βασικό μειονέκτημα του μοντέλου είναι ότι στις περιπτώσεις των γραμμών που είναι κοινές σε γειτονικά πολύγωνα, οι συντεταγμένες των σημείων καταγράφονται δυο φορές. Το μοντέλο spaghetti χρησιμοποιείται στις απλές περιπτώσεις αυτοματοποιημένης χαρτογράφησης.

Το τοπολογικό μοντέλο (topological model) είναι ο πιο συνήθης τρόπος οργάνωσης των τοπογραφικών στοιχείων. Διατηρεί τις χωρικές σχέσεις ανάμεσα στα διαφορετικά

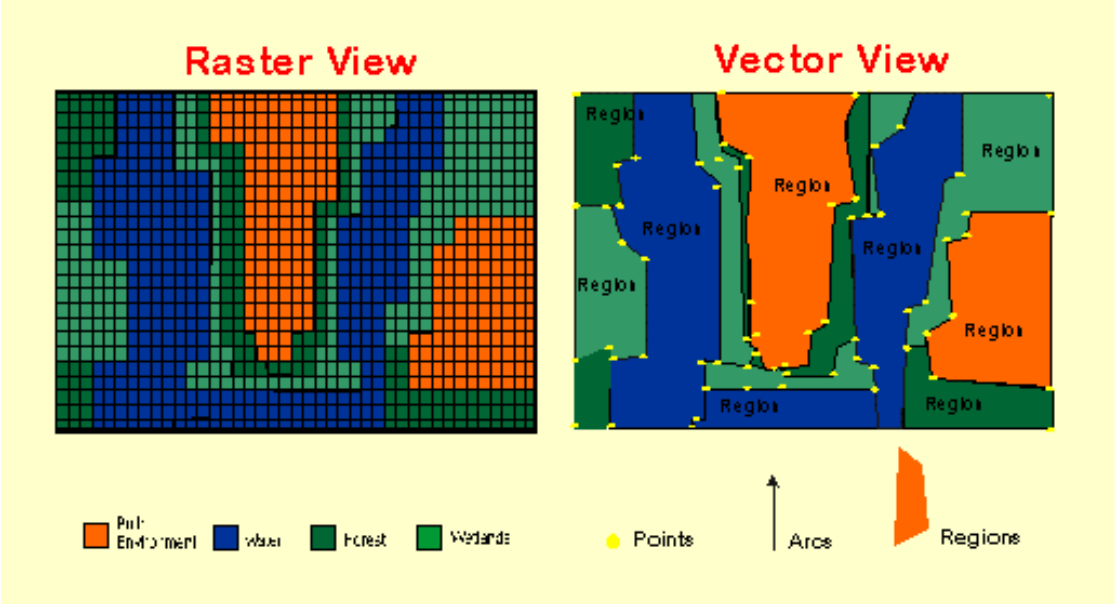
αντικείμενα και φαινόμενα που καταχωρούνται στο σύστημα. Η οργάνωση γίνεται με τη δημιουργία ενός αρχείου κόμβων, όπου περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες των σημείων και ενός αρχείου πολυγώνων, όπου με μονάδα αναφοράς τη γραμμή, καταχωρούνται η αρχή και το τέλος της, καθώς και τα γειτονικά της πολύγωνα (δεξιά και αριστερά).

Ψηφιδωτά μοντέλα

Η δημιουργία ψηφιδωτού μοντέλου περιλαμβάνει τη διαίρεση της περιοχής ενδιαφέροντος σε σειρά χωρικών ενοτήτων. Κάθε χωρική ενότητα έχει ένα σύνολο από ιδιότητες του αντικειμένου το οποίο περιγράφει. Υπάρχουν δυο κατηγορίες ψηφιδωτών μοντέλων, κανονικής και μη κανονικής μορφής. Στην κατηγορία των μοντέλων κανονικής μορφής ανήκουν το τετράγωνο, το ισόπλευρο τρίγωνο και το εξάγωνο και έχουν δυνατότητα απεριόριστης επέκτασης στον χώρο. Συγκεκριμένα το τρίγωνο και τετράγωνο έχουν τη δυνατότητα συνεχούς και επαναλαμβανόμενης υποδιαίρεσης σε μικρότερες, ιδίου σχήματος, ενότητες. Το εξάγωνο προσφέρει δυνατότητα μοντελοποίησης εφαρμογών που σχετίζονται με αποστάσεις ακτινωτής μορφής. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το τετράγωνο, που είναι ακριβώς η δομή δεδομένων των πολυφασματικών σαρωτών (multispectral scanner) των τηλεπισκοπικών δορυφόρων, καθώς και των οπτικών σαρωτών που χρησιμοποιούνται για μαζική ψηφιοποίηση αναλογικών χαρτών. Το χαρακτηριστικό διαφοροποίησης του μοντέλου τετραγώνου από τα δυο άλλα μοντέλα είναι η δυνατότητά του να υποδιαιρείται σε απεριόριστο αριθμό, υποπεριοχών, τεταρτημορίων, που έχουν ίδιο σχήμα, ιδιότητες και λειτουργία.

Σύγκριση διανυσματικών - ψηφιδωτών μοντέλων

Οι δυο αυτές μορφές απεικόνισης έχουν πολλές διαφορές αλλά είναι και οι δυο αξιόπιστες. Τα ψηφιδωτά μοντέλα προέκυψαν από την αποτελεσματικότητα και οικονομία στη συλλογή μεγάλου όγκου στοιχείων με μηχανήματα σάρωσης που χρησιμοποιούνται στους τηλεπισκοπικούς δορυφόρους. Η διανυσματική απεικόνιση προτιμάται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ακριβής αναπαράσταση των χαρακτηριστικών του χώρου.



Σχήμα 2.3: Απεικόνιση της ίδιας περιοχής με κυψελωτή-ψηφιδωτή μορφή (αριστερά) και διανυσματική μορφή (δεξιά).

2.2.7 Βάσεις δεδομένων

Βασική προϋπόθεση ενός ΣΓΠ, είναι η σωστή οργάνωση των δεδομένων, ώστε να επιτρέπουν τη λήψη των πληροφοριών που χρειάζεται ο χρήστης με το μικρότερο δυνατό κόστος (χρονικό και οικονομικό). Για να επιτευχθεί αυτό, ο τρόπος καταχώρησης των στοιχείων πρέπει να ακολουθεί τις βασικές αρχές που διέπουν την οργάνωση, διαχείριση και επεξεργασία των βάσεων δεδομένων.

Βάση Δεδομένων ενός συστήματος πληροφοριών θεωρείται μια κατάλληλα συνδυασμένη συγκέντρωση ορισμένων αρχείων του συστήματος με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου, πιο αποτελεσματικού και λειτουργικά ολοκληρωμένου αρχείου, χωρίς περιττές επαναλήψεις στοιχείων, με δυνατότητα εξυπηρέτησης πολλαπλών εφαρμογών-αναγκών. Τα στοιχεία της αποθηκεύονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ανεξάρτητα από τα προγράμματα που τα χρησιμοποιούν. Μια βάση δεδομένων πρέπει να έχει ελάχιστους και ελεγχόμενους πλεονασμούς στοιχείων - πεδίων, ανεξαρτησία των δεδομένων από τα προγράμματα που τα χρησιμοποιούν και δυνατότητα εξυπηρέτησης πολλών και διαφορετικών αναγκών. Οι βασικοί όροι μιας βάσης δεδομένων είναι: α) το πεδίο, το οποίο περιέχει μια ιδιότητα του αντικειμένου, β) η εγγραφή, που αποτελεί ένα σύνολο από χαρακτηριστικά του αντικειμένου ή φαινομένου και γ) το αρχείο, που αποτελεί το σύνολο των εγγραφών του

αντικειμένου με ίδια δομή, τα πεδία των οποίων λαμβάνουν διαφορετικές τιμές. Για να υλοποιηθεί μια βάση δεδομένων απαιτείται η χρησιμοποίηση ενός Συστήματος Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Data Base Management System, DBMS). Ο πρωταρχικός στόχος του συστήματος, είναι η εξυπηρέτηση των προγραμμάτων εφαρμογής, με τα οποία εκτελούνται διάφορες λειτουργίες στη βάση δεδομένων. Τα Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα προγραμματιζόμενα (π.χ. dBASE III Plus, Oracle) και τα μη προγραμματιζόμενα (π.χ. Dataflex). Και τα δύο αποτελούνται από έναν κατάλογο επιλογών και μια γλώσσα προγραμματισμού (π.χ. Structured Query Language - SQL).

2.3 Σύγκριση ΣΓΠ με παραδοσιακή χαρτογραφία

Η αυτοματοποιημένη χαρτογραφία δεν αφορά μόνο στην παραγωγή χαρτογραφικών προϊόντων, αλλά στην πολυδιάστατη διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και απόδοση των χαρτογραφικών δεδομένων. Στον πίνακα 2.2 γίνεται μια σύγκριση ανάμεσα στην μέθοδο χαρτογραφίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή και στην παραδοσιακή μέθοδο.

Πίνακας 2.2: Σύγκριση αυτοματοποιημένης και παραδοσιακής χαρτογραφίας

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	**ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΓΠ**	**ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**
Είσοδος δεδομένων	Χρήση ψηφιοποιητή, σαρωτή, πληκτρολογίου	Σχεδίαση χαρτών, γράψιμο πινάκων
Διόρθωση χαρτογραφικών δεδομένων	Χρήση ψηφιοποιητή και οθόνης γραφικών	Επανασχεδίαση των χαρακτηριστικών
Επανάκτηση χαρτογραφικών δεδομένων	Επανάκτηση από την ψηφιακή βιβλιοθήκη χαρτών	Αναζήτηση σε αρχεία και χαρτοθήκες
Χαρτογραφικές διαδικασίες	Συνένωση χαρτών και αλλαγή κλίμακας με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικούς χάρτες	Επανασύνταξη χαρτών με αλλαγή κλίμακας και φυσική επικάλυψη χαρτών
Απλές υπολογιστικές δυνατότητες	Αυτόματος υπολογισμός μηκών, εκτάσεων και αποστάσεων	Μέτρηση με εμβαδόμετρα, κλιμακόμετρα
Χωρική αναζήτηση	Εύκολη και γρήγορη αναζήτηση με βάση κωδικούς, αριθμούς, λέξεις	Οπτική εξέταση χάρτη

Δημιουργία αναγλύφου	Δημιουργία συνθηκών τεχνητής σκίασης, χάρτη κλίσεων και εκθέσεων, τρισδιάστατων απεικονίσεων	Μέτρηση κλίσεων με παρεμβολές στις ισοϋψείς του χάρτη
Απόδοση χαρτογραφικών δεδομένων και αναλύσεων	Επιλεκτική εμφάνιση δεδομένων στην οθόνη, εκτύπωση στον σχεδιογράφο, αυτόματη δημιουργία γραφικών, σχεδιαγραμμάτων, ραβδογραμμάτων και πιτών	Χαρτογραφική σχεδίαση και χρωματισμός με το χέρι, χειρονακτικές εργασίες και υπολογισμοί

2.3.1 Διαφοροποίηση ΣΓΠ από τα κλασικά συστήματα

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των πληροφοριακών συστημάτων. Έτσι, οι μέθοδοι και οι διαδικασίες επεξεργασίας, ανάλυσης και απόδοσης ακολουθούν τις αρχές που διέπουν τα πληροφοριακά συστήματα. Υπάρχουν όμως ορισμένες ιδιαιτερότητες που διαφοροποιούν τα ΣΓΠ από τα υπόλοιπα συστήματα (Παπαϊωάννου, 1998). Έτσι:

α) Τα ΣΓΠ δεν είναι απλώς βάσεις δεδομένων ειδικής μορφής, αλλά επιτελούν και μια σειρά από άλλες λειτουργίες.

β) Είναι περισσότερο σύνθετα από τα υπόλοιπα πληροφοριακά συστήματα, λόγω του ότι συνδυάζουν τη γεωγραφική με την περιγραφική πληροφορία.

γ) Απαιτούν συνδυασμό γνώσεων από διάφορους επιστημονικούς κλάδους, όπως της τοπογραφίας, της τηλεπισκόπησης, της φωτοερμηνείας, της πληροφορικής, της στατιστικής και άλλων επιστημών ανάλογα κάθε φορά με το αντικείμενο της μελέτης.

Σε σχέση με τα σχεδιαστικά προγράμματα οι διαφορές είναι πολύ σημαντικές. Τα ΣΓΠ είναι ολοκληρωμένα πακέτα διαχείρισης πληροφοριών με δυνατότητα διαχείρισης, επεξεργασίας, ανάλυσης και απόδοσης των δεδομένων. Τα απλά σχεδιαστικά συστήματα χαρτογραφίας έχουν βασικό σκοπό τους τη δημιουργία χαρτών. Οι δυνατότητες τους στη διαχείριση των δεδομένων, τη χωρική ανάλυση και την παραμετροποίηση είναι περιορισμένες έως μηδαμινές. Τα σχεδιαστικά

προγράμματα (π.χ. Computer Aided Design - CAD) αναπτύχθηκαν κυρίως με σκοπό τη δημιουργία τεχνικών σχεδίων και διαγραμμάτων τεχνικών έργων υποδομής που δεν έχουν την ανάγκη ανάλυσης των δεδομένων τους. Έχουν βέβαια επεκταθεί τα τελευταία χρόνια, ώστε να μπορούν να υποστηρίζουν κάποιες βασικές χαρτογραφικές διαδικασίες, αλλά έχουν περιορισμένες δυνατότητες όσον αφορά τη διαχείριση και ανάλυση μεγάλων χαρτογραφικών βάσεων δεδομένων.

Η βασική διαφορά ανάμεσα στα χωρικά συστήματα πληροφοριών και στα μη χωρικά είναι η ύπαρξη της χωρικής πληροφορίας (spatial information) και η ολοκλήρωσή της με τα στοιχεία που την περιγράφουν, δηλαδή με την περιγραφική πληροφορία (attribute information). Στα ΣΓΠ η χωρική πληροφορία οργανώνεται σε επίπεδα πληροφορίας (layers) που ανήκουν στο ίδιο σύστημα αναφοράς, ενώ η περιγραφική πληροφορία οργανώνεται σε πίνακες που είναι συνδεδεμένοι με τα επίπεδα της χωρικής πληροφορίας (attribute tables).

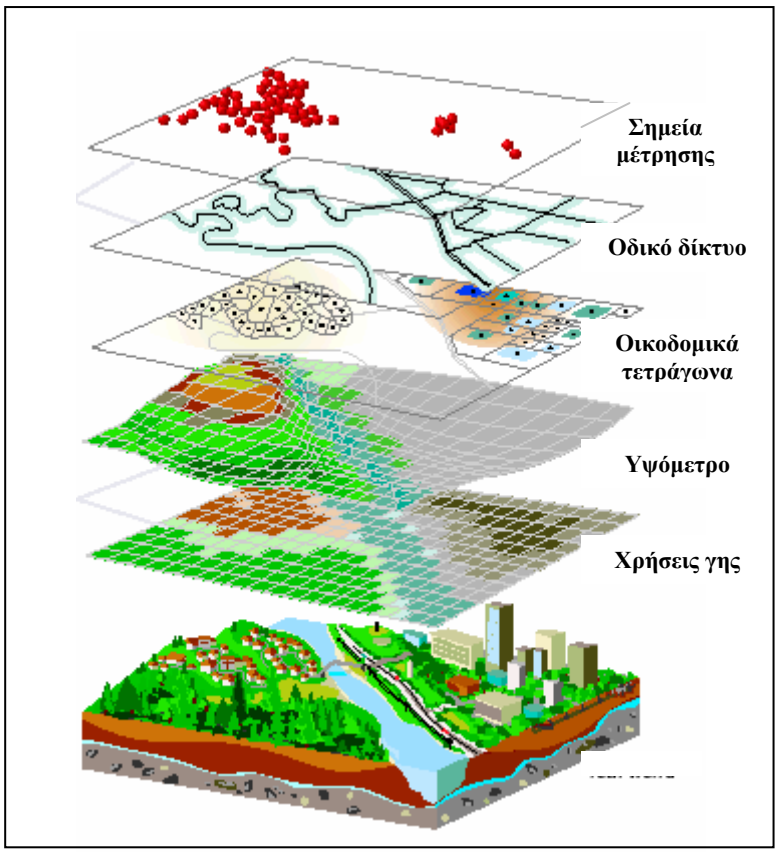
Η μορφή του πίνακα μπορεί να είναι μια οποιαδήποτε συμβατική βάση δεδομένων που περιέχει τα αντίστοιχα πεδία και εγγραφές. Σχηματικά η σχέση της χωρικής πληροφορίας (π.χ. CAD/CAM) με την περιγραφική (π.χ. RDBMS) αποδίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{ΣΓΠ} = \text{CAD/CAM} + \text{RDBMS} \qquad (1)$$

Αν ενσωματωθεί και η διάσταση του χρόνου, τότε τα ΣΓΠ είναι χωροχρονικά, δηλαδή εκφράζουν δυναμικά μοντέλα της περιοχής μελέτης. Αυτό σημαίνει ότι συμβαίνουν χρονικές μεταβολές, τόσο στο χωρικό τμήμα της πληροφορίας (π.χ. κατασκευή νέου δρόμου) όσο και στο περιγραφικό (π.χ. αλλαγή της ονομασίας του δρόμου). Τότε η σχέση (1) παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\text{ΣΓΠ}(t) = \text{CAD/CAM}(t) + \text{RDBMS}(t) \qquad (2)$$

Στις τέσσερις διαστάσεις ένα ΣΓΠ θα απαιτούσε την υποστήριξη δυναμικών αλλαγών και σε χωρικό επίπεδο και σε μη χωρικό, ώστε το υπό παρακολούθηση φαινόμενο (π.χ αλλαγές χρήσεων γης, εξέλιξη πετρελαιοκηλίδας στη θάλασσα κ.ά) να ενημέρωνε το ΣΓΠ σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 2.4: Διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (Layers) σε ένα ΣΓΠ

2.4 Τα ΣΓΠ στην Ελλάδα και στην Κρήτη

Στην Ελλάδα η πρώτη εγκατάσταση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών πραγματοποιήθηκε το 1985 στο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και Υδρογραφική Υπηρεσία Στρατού). Ακολούθησαν το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, το Πανεπιστήμιο Πατρών, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), καθώς επίσης πολλές δημόσιες υπηρεσίες και Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Το 1989 δημιουργήθηκαν οι πρώτες ιδιωτικές εταιρίες, ενώ το 1995 ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ) ξεκίνησε την υλοποίηση του Εθνικού Κτηματολογίου που βασίζεται σε ΣΓΠ. Στα πλαίσια του έργου συστάθηκαν ειδικές επιτροπές που ασχολούνται με τη σύνταξη τευχών προδιαγραφών για τον τρόπο παράδοσης των ψηφιακών στοιχείων. Από το σημείο αυτό το Ελληνικό Δημόσιο ανέθεσε πλήθος μελετών όπου ζητείται η παράδοση ψηφιακών αρχείων σε ΣΓΠ. Παράλληλα ανέθεσε σε μελετητικά γραφεία τη δημιουργία ενιαίων ψηφιακών υποβάθρων που καλύπτουν το σύνολο της χώρας σε κλίμακες των 1:5000 και

1:50000. Τα τελευταία χρόνια υλοποιούνται από τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα πολλά ερευνητικά προγράμματα που προσθέτουν εμπειρία και γνώσεις στους Έλληνες ερευνητές και μελετητές.

Σήμερα, οι κύριοι κρατικοί φορείς που χρησιμοποιούν τα ΣΓΠ και διαθέτουν στοιχεία σε ψηφιακή μορφή είναι η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού είναι στενά συνδεδεμένη με τη χαρτογραφία στην Ελλάδα. Συγκροτήθηκε με βασική αποστολή τη σύνταξη του τοπογραφικού χάρτη της χώρας, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς και γενικότερους αναπτυξιακούς σκοπούς. Αρχικά, η αποστολή της προσανατολίστηκε στην εκτέλεση των αναγκαίων γεωδαιτικών, τοπογραφικών, φωτογραμμετρικών και χαρτογραφικών εργασιών για την κάλυψη των επιτακτικών αναγκών των Ενόπλων Δυνάμεων σε χαρτογραφικά προϊόντα και λοιπά τεχνικά στοιχεία και δεδομένα. Διαθέτει σε Δημόσιες Υπηρεσίες και σε ιδιώτες τοπογραφικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες, διαγράμματα, συντεταγμένες τριγωνομετρικών, βαρυτομετρικά και γεωμαγνητικά στοιχεία, τα οποία αποτελούν το βασικό υπόβαθρο της μελέτης και της κατασκευής όλων των μεγάλων τεχνικών έργων της χώρας. Επίσης, εκτελεί γεωδαιτικές, τοπογραφικές, κτηματολογικές και αεροφωτογραφικές εργασίες για λογαριασμό υπηρεσιών του ευρύτερου δημόσιου τομέα. Τα χαρτογραφικά υπόβαθρα που διαθέτει καλύπτουν το σύνολο σχεδόν του Ελληνικού χώρου σε κλίμακες 1:5000, 1:50000, 1:100000 και διαγράμματα πόλεων σε 1:10000. Επίσης, το Υπουργείο Γεωργίας, η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία ΕΣΥΕ, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), και άλλοι φορείς διαθέτουν χωρικά στοιχεία για την Ελληνική επικράτεια.

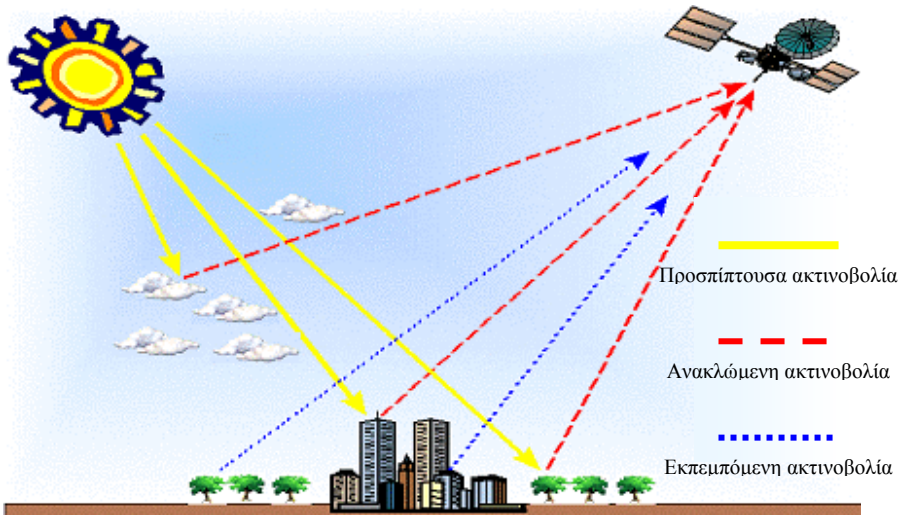
Οι κύριοι φορείς που διαθέτουν ψηφιακή χωρική πληροφορία στην Κρήτη, είναι ο Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης (ΟΑΝΑΚ), ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (ΟΑΔΥΚ), το Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΚΘΕ), το Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας Ηρακλείου (ΙΤΕ) και το Εργαστήριο Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών (ΙΜΣ) του ΙΤΕ στο Ρέθυμνο.

2.5 Τηλεπισκόπηση

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών βρίσκονται σε άμεση αλληλεπίδραση με τις επιστήμες της γεωπληροφορικής, όπου τα στοιχεία εισόδου–εξόδου είναι ψηφιακά και αναφέρονται στον χώρο. Έτσι η λειτουργία τους είναι στενά συνδυασμένη με τις επιστήμες της Τηλεπισκόπησης, της Φωτογραμμετρίας, της Γεωδαισίας, της Χαρτογραφίας, της Πληροφορικής και της Γεωστατιστικής.

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης ασχολείται με τη μέτρηση των γεωμετρικών και θεματικών ιδιοτήτων των αντικειμένων του γήινου περιβάλλοντος. Η τεχνολογία της σύγχρονης Τηλεπισκόπησης ξεκίνησε με την εφεύρεση της φωτογραφικής μηχανής. Αναπτύχθηκε πολύ από το 1960 και έπειτα, παράλληλα με τη μεγάλη ανάπτυξη της επιστήμης της πληροφορικής, την εξέλιξη των δορυφορικών συστημάτων και τον ανταγωνισμό που προήλθε στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου.

Ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε επαφή με τον στόχο (Μερτίκας, 1999).



Σχήμα 2.5: Η αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με το στόχο και την ατμόσφαιρα. Με κίτρινη συνεχή γραμμή απεικονίζεται η ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια, με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται η ανακλώμενη ενέργεια του στόχου και με μπλε διακεκομμένη γραμμή η εκπεμπόμενη ενέργεια γειτονικών στόχων.

Κύριος σκοπός της Τηλεπισκόπησης είναι η μέτρηση και απεικόνιση της επιφάνειας της γης, η κατανομή των διαφόρων αντικειμένων και φαινομένων στον χώρο και ο καθορισμός της θέσης και των ιδιοτήτων του.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι το μέσο με το οποίο η πληροφορία μεταβιβάζεται από το αντικείμενο στο τηλεπισκοπικό σύστημα απεικόνισης, το οποίο μπορεί να βρίσκεται είτε πάνω σε αεροπλάνο είτε σε δορυφόρο. Διακρίνεται σε διάφορες φασματικές ζώνες ανάλογα με το μήκος κύματος (Πίνακας 2.3). Κύριες φασματικές ζώνες ανίχνευσης στην τηλεπισκόπηση αποτελούν οι ζώνες του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ζώνες αυτές εμφανίζουν τον μέγιστο ηλιακό φωτισμό. Επιπλέον οι διαθέσιμοι ανιχνευτές καταγράφουν σε αυτές την ανακλώμενη ακτινοβολία των στόχων της επιφάνειας της γης.

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα εικόνων των αντικειμένων του γήινου περιβάλλοντος, μπορούν να είναι είτε σε κλασική αναλογική φωτογραφική μορφή, είτε σε ψηφιακή μορφή. Στα ψηφιακά δεδομένα η κάθε ψηφίδα παριστάνει τμήμα της επιφάνειας της γης. Το μέγεθος της εξαρτάται από το σύστημα λήψης της εικόνας. Κάθε ψηφίδα εκφράζεται από την τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την απεικονιζόμενη περιοχή κατά τη στιγμή της λήψης και που είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη γήινη επιφάνεια και την ατμόσφαιρα που παρεμβάλλεται (Σχήμα 2.5).

Πίνακας 2.3: Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Φασματική ζώνη	**Μήκος κύματος λ**
Ακτίνες γάμμα	<0,03 nm
Ακτίνες Χ	0,03 nm – 300 nm
Υπεριώδης ακτινοβολία	0,30 μm – 0,38 μm
Ορατό (V)	0,38 μm- 0,72 μm
Εγγύς υπέρυθρο (NIR)	0,72 μm – 1,30 μm
Μέσο υπέρυθρο	1,30 μm - 3 μm
Άπω υπέρυθρο	7,00 μm - 15 μm
Μικροκύματα	0,3 cm - 30 cm
Ραδιοφωνικά κύματα	≥ 30 cm

Οι αναλογικές αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε τοπογραφικές αποτυπώσεις, σε μελέτες της επιστήμης των μηχανικών, στην ενημέρωση των υπάρχοντων χαρτών, στη σχεδίαση θεματικών χαρτών κ.ά. Η επεξεργασία τους γίνεται με τις γνωστές μεθόδους της φωτογραμμετρίας και φωτοερμηνείας. Αντίθετα, η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων εικόνας πραγματοποιείται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εξαιτίας του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνουν και που καθιστά δύσκολη και χρονοβόρα την επεξεργασία τους με τις κλασικές μεθόδους.

2.5.1 Η τηλεπισκοπική διαδικασία

Οι γνώσεις που απαιτούνται για την κατανόηση της τηλεπισκοπικής διαδικασίας ομαδοποιούνται σε πέντε κατηγορίες.

Ο στόχος αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο στην τηλεπισκοπική διαδικασία. Περιλαμβάνει τα γεωλογικά, υδρολογικά, βιολογικά και πολιτισμικά στοιχεία που όλα μαζί συνδυάζονται, ώστε να δημιουργήσουν ένα μωσαϊκό. Τα χαρακτηριστικά αυτά αλλάζουν από τόπο σε τόπο και ανάλογα με την εποχή, ώστε ο στόχος να έχει γεωγραφική και χρονική δυναμική.

Η ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία που φτάνει στον δέκτη διέρχεται υποχρεωτικά μέσα από την ατμόσφαιρα. Η υγρασία, η σκόνη, η ατμοσφαιρική ρύπανση και άλλα στοιχεία συνεισφέρουν στην ατμοσφαιρική απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας οδηγούν σε διάθλαση της ενέργεια που διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα.

Το τηλεπισκοπικό σύστημα. Αποτελείται από το αεροπλάνο ή τον δορυφόρο, τον δέκτη και την τελική εικόνα, η οποία όμως είναι ατελής. Το τηλεπισκοπικό σύστημα δεν καταγράφει όλη την έκταση φωτεινότητας στην εικόνα, ενώ επίσης περιέχει γεωμετρικά σφάλματα στην αναπαράσταση του στόχου. Το μέγεθος και η ποιότητα των σφαλμάτων ποικίλλει από δέκτη σε δέκτη, ώστε ο ερμηνευτής της εικόνας να πρέπει να γνωρίζει αυτά τα σφάλματα και να είναι ικανός να τα διορθώσει ή να τα λάβει υπόψη του κατά την ερμηνευτική διαδικασία.

Η ερμηνευτική διαδικασία είναι ο τρόπος εξέτασης των συμβατικών φωτογραφιών ή των δορυφορικών εικόνων, με σκοπό την αναγνώριση διαφόρων αντικειμένων ή φαινομένων που απεικονίζονται σε αυτές και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ο ερμηνευτής των εικόνων πρέπει να κατέχει γνώσεις που αφορούν τα μεγέθη, τα σχήματα, τις σχετικές θέσεις των αντικειμένων, καθώς και τις εποχιακές τους αλλαγές.

Ο τελικός χρήστης. Η πληροφορία την οποία δίνει ο ερμηνευτής, εξαρτάται από τις πρακτικές ανάγκες του τελικού χρήστη. Αν για παράδειγμα τελικός χρήστης είναι μια υπηρεσία σχεδιασμού πόλεως και απαιτεί ένα θεματικό χάρτη χρήσεων γης, είναι βασικό να γνωρίζει τις κατηγορίες χρήσεων γης.

2..2 Αρχές της Τηλεπικόπησης

Η ποιότητα μιας εικόνας επηρεάζεται από δύο σημαντικούς παράγοντες: τη διαχωριστική ικανότητα και τη συχνότητα δειγματοληψίας. Η διαχωριστική ικανότητα σχετίζεται με την ικανότητα ενός συστήματος να διαχωρίζει αντικείμενα. Διακρίνεται σε φασματική, ραδιομετρική, χωρική και διαχρονική διαχωριστική ικανότητα.

Η φασματική διαχωριστική ικανότητα εξαρτάται από το πλήθος και το εύρος των ζωνών καταγραφής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα ή ραδιομετρική ανάλυση, αναφέρεται στον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας.

Χωρική διαχωριστική ικανότητα ή χωρική ανάλυση, είναι η ικανότητα ενός συστήματος να διακρίνει αντικείμενα στη γεωμετρική τους διάσταση. Η ελάχιστη περιοχή που είναι διακριτή και αναγνωρίσιμη στην εικόνα, ονομάζεται εικονοστοιχείο ή ψηφίδα (pixel).

Η διαχρονική διαχωριστική ικανότητα ή διαχρονική ανάλυση, αναφέρεται στη συχνότητα επανάληψης λήψης εικόνας από μια περιοχή.

2.5.3 Ψηφιακή επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας

Η επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η διαδικασία κατά την οποία εκτελούνται διάφορες διεργασίες στην εικόνα, με σκοπό την εξαγωγή κατά το δυνατόν περισσότερης ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας. Η ραδιομετρική υποβάθμιση, η γεωμετρική παραμόρφωση και ο θόρυβος που υπεισέρχονται κατά τη μεταβίβαση των δορυφορικών δεδομένων στους επίγειους σταθμούς λήψης και κατά την καταγραφή τους στα ψηφιακά μέσα αποθήκευσης, περιορίζουν σημαντικά την αναγνώριση διαφόρων χαρακτηριστικών πάνω στις εικόνες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ελάττωση της ποιότητας των εξαγόμενων πληροφοριών. Σκοπός της ψηφιακής επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των παραπάνω σφαλμάτων και η βελτίωση των εικόνων. Η όλη πορεία της επεξεργασίας μιας δορυφορικής εικόνας μπορεί να χωριστεί στα εξής στάδια:

1. Ανακατασκευή της εικόνας.
2. Οπτική βελτίωση της εικόνας.
3. Αναγνώριση και ταξινόμηση προτύπου της εικόνας για την εξαγωγή πληροφοριών.

Κατά τη φάση της ανακατασκευής, η εικόνα επανασχηματίζεται από τα πρωτογενή δεδομένα. Η ανακατασκευή επιτυγχάνεται με τη διόρθωση των γεωμετρικών και ραδιομετρικών παραμορφώσεων και την αφαίρεση των θορύβων, εάν υπάρχουν. Η ποιοτική βελτίωση της εικόνας (Image enhancement) συνίσταται στην εφαρμογή διάφορων μετασχηματισμών. Η αναγνώριση προτύπου (Pattern recognition) αναφέρεται στην αυτοματοποιημένη αναγνώριση και ταξινόμηση των προτύπων της εικόνας. Κάθε εικονοστοιχείο εκτιμάται και ταξινομείται σε μία πληροφοριακή κατηγορία.

Τα δύο πρώτα στάδια επεξεργασίας, η ανακατασκευή και η ποιοτική βελτίωση της εικόνας, αποτελούν μια προεργασία-προετοιμασία της εικόνας (image preprocessing). Εκτελούνται πριν από την ερμηνεία των δεδομένων.

<u>Α. Ραδιομετρική διόρθωση της εικόνας</u>

Οι επιδράσεις στη ραδιομετρία μιας εικόνας οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως ο θόρυβος του συστήματος λήψης, η κακή ή ελαττωματική λειτουργία των

αισθητήρων και η ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα στην εικόνα είναι ότι μπορεί να εμφανισθεί απώλεια ή τονισμός μιας γραμμής ή τμήματος μιας γραμμής σάρωσης, καθώς και αυξομείωση της τιμής έντασης των ψηφίδων ενός ή όλων των διαύλων. Η ύπαρξη των σφαλμάτων αυτών δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία και στατιστική επεξεργασία των εικόνων. Σκοπός της βελτίωσης της ψηφιακής εικόνας είναι η καλύτερη ερμηνεία της. Με τροποποίηση των επιπέδων φωτεινότητας, ή της έντασης της ακτινοβολίας, γίνεται ευκολότερη η διάκριση ορισμένων χαρακτηριστικών και κατά συνέπεια και η ερμηνεία της εικόνας. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες μεθόδων ραδιομετρικής διόρθωσης.

α) Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ραδιομετρικές τεχνικές σημείου. Χρησιμοποιούν τις τιμές έντασης της ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων, δίχως να λαμβάνουν υπόψη τη σχετική θέση τους σε κάθε δίαυλο της εικόνας.

β) Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι χωρικές τεχνικές. Εφαρμόζονται στον χώρο της εικόνας από εικονοστοιχείο σε εικονοστοιχείο, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση τους σε σχέση με τα γειτονικά εικονοστοιχεία. Η τεχνική του χωρικού συνελικτικού φιλτραρίσματος χρησιμοποιεί συνελικτικές μάσκες με σκοπό τη βελτίωση της χωρικής συχνότητας και την απόσπαση είτε των χαμηλών είτε των υψηλών συχνοτήτων από την ψηφιακή εικόνα. Εδώ ανήκουν τα φίλτρα εξομάλυνσης ή διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων που προκαλούν εξομάλυνση και θόλωση στην εικόνα και αποσκοπούν στη μείωση του θορύβου. Αντίθετα τα φίλτρα ενίσχυσης ακμών ή διέλευσης υψηλών συχνοτήτων αποσκοπούν στο να τονίσουν γραμμικά στοιχεία-ακμές. Τα σημεία αυτά εμφανίζουν απότομες αλλαγές της τιμής έντασης της ακτινοβολίας από τη μια ψηφίδα στην άλλη, έχουν δηλαδή απότομες μεταβάσεις από τις χαμηλές στις υψηλές συχνότητες.

γ) Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι ραδιομετρικές τεχνικές που εφαρμόζονται στον χώρο των χωρικών συχνοτήτων, με τη χρήση μετασχηματισμών Fourier. Η ανάλυση Fourier είναι μια μαθηματική τεχνική με την οποία η εικόνα ξεχωρίζει στα στοιχεία των χωρικών συχνοτήτων της. Χρησιμοποιείται κυρίως για απομάκρυνση του συστηματικού θορύβου και για εξάλειψη του φαινομένου της λωριδοποίησης.

Β. Πολυφασματική βελτίωση

Οι ραδιομετρικές βελτιώσεις της εικόνας, είναι τεχνικές που εφαρμόζονται σε κάθε δίαυλο χωριστά. Αντίθετα, οι πολυφασματικές τεχνικές βελτίωσης χρησιμοποιούν περισσότερους από έναν διαύλους καταγραφής. Ο σκοπός της εφαρμογής των τεχνικών αυτών είναι η συμπίεση των πολυφασματικών εικόνων και η εξαγωγή νέων εικόνων, καταλληλότερων για οπτική ερμηνεία. Υπάρχουν δύο τεχνικές πολυφασματικής βελτίωσης της εικόνας. Η πρώτη είναι η τεχνική των αλγεβρικών πράξεων μεταξύ των εικόνων και η δεύτερη είναι η ανάλυση των κύριων συνιστωσών.

Οι αλγεβρικές πράξεις μεταξύ των εικόνων, αφορούν την πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό και διαίρεση μεταξύ δυο διαχρονικών εικόνων της ίδιας περιοχής ή μεταξύ των διαύλων μιας πολυφασματικής εικόνας, της ίδιας ημερομηνίας λήψης ή διαφορετικής. Για παράδειγμα η εικόνα που προκύπτει από αφαίρεση δυο εικόνων διαφορετικής ημερομηνίας λήψης, δίνει πληροφορίες για τις αλλαγές που συνέβησαν μεταξύ των δυο ημερομηνιών. Πιο συνήθης αριθμητική πράξη είναι η διαίρεση μεταξύ εικόνων ή διαύλων, λόγω της επίτευξης μείωσης των τοπογραφικών επιδράσεων. Προκύπτει δηλαδή εικόνα απαλλαγμένη από τις διαφορές φωτεινότητας λόγω του τοπογραφικού αναγλύφου.

Πολύ χρήσιμες στην εξαγωγή πληροφορίας σχετικής με τη βλάστηση είναι οι αλγεβρικές πράξεις μεταξύ του εικόνων της ορατής και υπέρυθρης ζώνης. Οι αλγεβρικές αυτές πράξεις ονομάζονται δείκτες βλάστησης, διότι χρησιμεύουν στον χαρακτηρισμό της βλάστησης και της ποιότητας της βιομάζας. Βασίζονται στα διαφορετικά φασματικά χαρακτηριστικά που εμφανίζει η υγιής βλάστηση στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.

Οι κυριότεροι δείκτες βλάστησης προκύπτουν από τις παρακάτω αριθμητικές πράξεις:

- **Δείκτης IR/R.** Προκύπτει από τη διαίρεση της εικόνας του διαύλου καταγραφής του υπέρυθρου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (IR) με την εικόνα του διαύλου του ερυθρού τμήματος (R). Αποτελεί βασικό δείκτη της ποιότητας της βλάστησης. Έπειτα από την εφαρμογή του,

προκύπτει εικόνα όπου οι φωτεινές περιοχές αναπαριστούν την υγιή βλάστηση.

- **Vegetation index (IR – R)**. Προκύπτει από την αφαίρεση της εικόνας του διαύλου καταγραφής του ερυθρού τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (R) από την εικόνα του διαύλου του υπέρυθρου τμήματος (IR). Είναι χρήσιμος δείκτης για την εκτίμηση της πυκνότητας της βλάστησης. Έπειτα από την εφαρμογή του, προκύπτει εικόνα όπου οι φωτεινές περιοχές αναπαριστούν τις περιοχές με πυκνή βλάστηση.
- **Δείκτης NDVI - [(IR-R)/(IR+R)]** Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης: Είναι δείκτης εδαφικής κάλυψης της βλάστησης. Στη νέα εικόνα που προκύπτει, οι φωτεινές περιοχές αναπαριστούν περιοχές όπου υπάρχει κάλυψη από βλάστηση.

Πίνακας 2.4: Συντομογραφίες των φασματικών ζωνών

B	Ιώδες *(blue)*
G	Πράσινο *(Green)*
R	Ερυθρό *(Red)*
NIR	Εγγύς υπέρυθρο *(Near infrared)*
IR	Υπέρυθρο *(Infrared)*

Η δεύτερη τεχνική πολυφασματικής βελτίωσης είναι ο μετασχηματισμός της πολυφασματικής εικόνας στις κύριες συνιστώσες της. Ο μετασχηματισμός αυτός ερμηνεύει τη δομή των πολυφασματικών δεδομένων με τον πίνακα συμμεταβλητότητας των αρχικών δεδομένων. Οι κύριες συνιστώσες είναι τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα συμμεταβλητότητας. Με την εφαρμογή της μεθόδου πετυχαίνεται συμπίεση της εικόνας, εξαιτίας του μετασχηματισμού από τον πολυδιάστατο χώρο των τιμών των εντάσεων ακτινοβολίας, σε έναν τρισδιάστατο χώρο. Το πλεονέκτημά της είναι η μη απώλεια πληροφορίας.

Γ. Γεωμετρικές διορθώσεις

Οι γεωμετρικές παραμορφώσεις της εικόνας επηρεάζουν τη γεωμετρία της, δηλαδή την προβολή, την κλίμακα και τον προσανατολισμό της. Οφείλονται στον δέκτη, στον

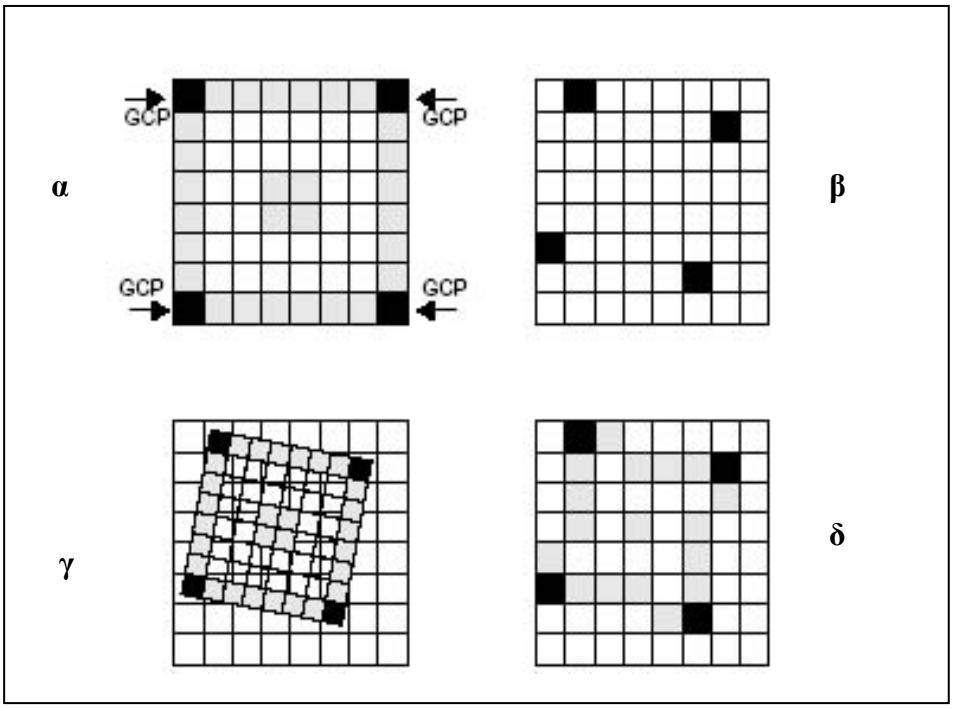
προσανατολισμό του δορυφόρου και στη φύση της πραγματικής εικόνας του εδάφους, όπως για παράδειγμα το ανάγλυφο.

Οι πολυφασματικές ψηφιακές εικόνες μετά τη διόρθωση των συστηματικών γεωμετρικών σφαλμάτων, συγκρινόμενες με ένα χάρτη της περιοχής που απεικονίζουν, εμφανίζουν διαφορετική γεωμετρία. Στην πραγματικότητα έχουν ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Για να αποκτήσουν χαρτογραφικές ιδιότητες, είναι απαραίτητος ο συσχετισμός τους με κάποιο χάρτη ή εικόνα που βρίσκονται σε ένα υπαρκτό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές.

Η διαδικασία μετασχηματισμού της εικόνας σε χάρτη της ίδιας περιοχής, ονομάζεται γεωαναφορά της εικόνας (image rectification ή georeference). Η εγγραφή της εικόνας (image registration) εφαρμόζεται μεταξύ δυο εικόνων της ίδιας περιοχής αλλά διαφορετικής ημερομηνίας λήψης, ή μεταξύ δυο εικόνων της ίδιας περιοχής και ημερομηνίας λήψης, αλλά που καταγράφηκαν σε διαφορετικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (διαφορετικός φασματικός δίαυλος) ή από διαφορετικό δέκτη. Η εγγραφή των δυο εικόνων είναι χρήσιμη στη διαπίστωση αλλαγών όταν πρόκειται για διαχρονικές εικόνες της ίδια περιοχής.

Βασική προϋπόθεση εφαρμογής των παραπάνω μετασχηματισμών, είναι η εύρεση κοινών σταθερών σημείων (ground control points-GCP) μεταξύ της εικόνας και του χάρτη ή μεταξύ των δύο εικόνων. Κατά την τεχνική του γεωμετρικού μετασχηματισμού, η μία εικόνα (ή χάρτης) λαμβάνεται ως αναφορά, ενώ η δεύτερη προσαρμόζεται στην πρώτη ώστε να αποκτήσει το ίδιο σύστημα συντεταγμένων με αυτή. Η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης (RMS) αναφέρεται στην ικανότητα σύμπτωσης κάθε σημείου της μιας εικόνας με το αντίστοιχο σημείο της άλλης εικόνας (ή του χάρτη).

Μετά από κάθε γεωμετρικό μετασχηματισμό, επαναπροσδιορίζονται οι τιμές έντασης της ακτινοβολίας για όλα τα εικονοστοιχεία, στις νέες θέσεις. Η διαδικασία αυτή γίνεται με μια μέθοδο παρεμβολής και ονομάζεται επαναδειγματοληψία (resampling) της εικόνας. Συνήθως χρησιμοποιούνται η μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor), η διαγραμμική παρεμβολή (bilinear interpolation), ή η δικυβική παρεμβολή (bicubic interpolation).



Σχήμα 2.6: Στο σχήμα α φαίνεται η θέση των σημείων GCP σε τμήμα της αρχικής αδιόρθωτης εικόνας. Στο σχήμα β φαίνεται η θέση των ίδιων σημείων στην εικόνα αναφοράς. Το σχήμα γ δείχνει την γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα, ενώ στο δ φαίνονται οι αντιστοιχίες των τιμών ανακλαστικότητας των εικονοστοιχείων στις νέες θέσεις, μετά την εφαρμογή της επαναδειγματοληψίας.

Δ. Ταξινόμηση εικόνας

Τα δεδομένα που λαμβάνονται με τα τηλεπισκοπικά συστήματα είναι πολλά. Έτσι η κλασική μέθοδος της οπτικής ερμηνείας τους δεν είναι εφαρμόσιμη, μια και αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία. Για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης και ερμηνείας της δορυφορικής εικόνας, απαιτείται η χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων ψηφιακής επεξεργασίας. Η διαδικασία που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, ονομάζεται ταξινόμηση. Πρόκειται για την καταχώρηση των εικονοστοιχείων σε ένα ορισμένο πλήθος ατομικών τάξεων, με βάση τις φασματικές τιμές τους. Ο σκοπός της ταξινόμησης είναι ο προσδιορισμός των τάξεων και των ορίων διάκρισης μεταξύ τους. Η καταχώρηση μιας άγνωστης ψηφίδας σε μια τάξη, σχετίζεται με τη φασματική της σχέση με κάθε τάξη. Η σχέση των φασματικών τάξεων με τις πληροφοριακές τάξεις προσδιορίζεται με τη βοήθεια εργασίας πεδίου, με χάρτες της περιοχής μελέτης, ή με φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών της ίδιας περιοχής.

Η διαδικασία της ταξινόμησης ολοκληρώνεται σε δύο στάδια. Σε πρώτο στάδιο, το σύστημα εκπαιδεύεται ώστε να μπορεί να αναγνωρίζει τα πρότυπα (ψηφίδες) στην εικόνα. Η εκπαίδευση είναι η διαδικασία κατά την οποία προσδιορίζονται τα κριτήρια με τα οποία θα αναγνωρισθούν τα πρότυπα. Στο δεύτερο στάδιο ακολουθεί η ταξινόμηση με τη βοήθεια των κριτηρίων που υπολογίστηκαν στο πρώτο στάδιο για κάθε μία τάξη. Το υποσύνολο για το οποίο υπάρχουν πληροφορίες ονομάζεται εκπαιδευτική σειρά (training set). Κατά την ταξινόμηση, η εκπαιδευτική σειρά χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση του συστήματος για την αναγνώριση των υπόλοιπων προτύπων.

Αν ένα υποσύνολο είναι γνωστό, τότε η ταξινόμηση ονομάζεται καθοδηγούμενη ή επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification). Στην περίπτωση όμως που τα υποσύνολα είναι άγνωστα. τότε η ταξινόμηση ονομάζεται αυτόματη (unsupervised classification).

Στην καθοδηγούμενη ταξινόμηση οι ομάδες των ψηφίδων ονομάζονται πληροφοριακές τάξεις επειδή σχετίζονται με πραγματικούς τύπους κάλυψης γης. Στην αυτόματη ταξινόμηση οι ομάδες αυτές ονομάζονται φασματικές τάξεις, επειδή προσδιορίζονται μόνο με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά των ψηφίδων .

Στην **καθοδηγούμενη ταξινόμηση** ακολουθούνται τα εξής στάδια:

- Επιλογή του πλήθους και είδους των πληροφοριακών τάξεων
- Επιλογή και λήψη των δειγμάτων από κάθε τάξη (λήψη εκπαιδευτικής σειράς και εκπαίδευση του συστήματος).
- Χρήση των δειγμάτων για τον προσδιορισμό των παραμέτρων-κριτηρίων για τη δημιουργία του ταξινομητή. Το σύνολο των παραμέτρων κάθε τάξης με τη βοήθεια των οποίων ταξινομούνται οι υπόλοιπες ψηφίδες της εικόνας, ονομάζεται φασματική ταυτότητα.
- Με τη χρήση των κριτηρίων, δηλαδή τη φασματική ταυτότητα της κάθε τάξης, ταξινομούνται όλες οι ψηφίδες της εικόνας στις αντίστοιχες τάξεις.
- Παραγωγή θεματικής εικόνας

Το πρώτο στάδιο, δηλαδή η επιλογή του πλήθους και είδους των τάξεων είναι μάλλον υποκειμενική και εξαρτάται από το σκοπό και την περιοχή μελέτης. Για παράδειγμα,

αν απαιτείται να μελετηθούν τα διάφορα είδη δασών, π.χ. τα φυλλοβόλα και τα κωνοφόρα δένδρα λαμβάνονται σαν δύο διαφορετικές τάξεις. Σε μία άλλη μελέτη όπου οι τύποι των δασών δεν είναι απαραίτητο να μελετηθούν, ταξινομούνται σε μία πληροφοριακή τάξη, σαν δάσος.

Ακολουθεί η επιλογή και η λήψη των εκπαιδευτικών δειγμάτων από πρότυπα, με γνωστή την τάξη πληροφορίας όπου ανήκουν. Για τη λήψη μιας αποδεκτής ταξινόμησης τα δείγματα εκπαίδευσης κάθε τάξης πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και πλήρη, ώστε να παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού των στατιστικών στοιχείων τα οποία είναι απαραίτητα στη διαδικασία της ταξινόμησης.

Μετά από τον υπολογισμό των στατιστικών στοιχείων των δειγμάτων εκπαίδευσης κάθε τάξης, τα οποία υπολογίσθηκαν από όλους τους διαύλους της πολυφασματικής εικόνας, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι δίαυλοι στον χώρο των οποίων οι τάξεις έχουν καλύτερη διάκριση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επιλογή διαύλων. Το όφελος από την επιλογή αυτή είναι ότι στην ταξινόμηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνον οι δίαυλοι στους οποίους τα δείγματα των τάξεων έχουν καλύτερη διάκριση.

Στην **ανεξάρτητη ταξινόμηση**, δεν υπάρχουν πληροφορίες για την περιοχή μελέτης. Γι' αυτό, τα πρότυπα εκπαίδευσης επιλέγονται αυτόματα με βάση τις φασματικές τους τιμές ή με τη βοήθεια μιας τεχνικής ομαδοποίησης των ψηφίδων της εικόνας, όπου κάθε ομάδα θεωρείται και μία τάξη. Με την τεχνική της ομαδοποίησης λαμβάνονται όλες οι πιθανές τάξεις στην εικόνα. Οι τάξεις αποκτούν φυσική σημασία όταν αντιστοιχηθούν σε ομάδες πληροφορίας

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι για ομαδοποίηση που χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια ομοιότητας. Ένα κριτήριο είναι η φασματική ευκλείδεια απόσταση της ψηφίδας από κάθε ομάδα. Αφού υπολογιστούν οι φασματικές αποστάσεις, κάθε ψηφίδα κατατάσσεται στην ομάδα από την οποία απέχει τη μικρότερη φασματική ευκλείδεια απόσταση. Άλλα κριτήρια ομαδοποίησης των ψηφίδων είναι η απόσταση Mahalanobis και η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας.

2.5.4 Λογισμικά ψηφιακής επεξεργασίας των εικόνων

Η ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων απαιτεί ένα σύστημα που να παρέχει ένα σύνολο συναρτήσεων για την επεξεργασία, τη διαχείριση, την αποθήκευση και την εμφάνιση των εικόνων σε μια οθόνη. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ακόμη η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ του αναλυτή και του συστήματος. Για το σκοπό αυτό έχουν κατασκευαστεί διάφορα λογισμικά πακέτα. Τα λογισμικά αυτά πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, δηλαδή επιτρέπουν την επισκόπηση και αποθήκευση δορυφορικών εικόνων, την ψηφιακή διόρθωσή τους και την ταξινόμηση των επιπέδων πληροφορίας. Επιτρέπουν ακόμη τις μετατροπές διαφόρων μορφών αρχείων, αλλά και την επικοινωνία και συμβατότητα με προγράμματα γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.

Μερικά από τα πιο γνωστά προγράμματα ψηφιακής επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων είναι το ER-Mapper, το ERDAS και το ENVI. Χρησιμοποιείται ακόμα η ειδική επέκταση του προγράμματος ArcView, που ονομάζεται Image Analyst. Ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά στην Ελλάδα, λόγω του φιλικού περιβάλλοντος εργασίας του, είναι το ERDAS της εταιρίας IMAGINE. Η έκδοση 8.4 αυτού του προγράμματος, χρησιμοποιήθηκε σε διάφορες διεργασίες επεξεργασίας και ταξινόμησης των δεδομένων της συγκεκριμένης εργασίας.

2.5.5 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης

Η Τηλεπισκόπηση έχει πλήθος εφαρμογών σε πολλούς τομείς επιστημών και ιδιαίτερα στις γεωεπιστήμες. Χρησιμοποιείται στην ωκεανογραφία για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της θαλάσσιας επιφάνειας και τη χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα, στην οικολογία για τον εντοπισμό και παρακολούθηση περιβαλλοντικών προβλημάτων, στη γεωλογία για τον εντοπισμό κοιτασμάτων και ορυκτών πόρων, την ανίχνευση τεκτονικών δομών, την παρακολούθηση μικρομετακινήσεων εδαφών και τη χαρτογράφηση της γεωμορφολογίας και του υδρογραφικού συστήματος, στη δασολογία για την ανίχνευση ειδών βλάστησης, την ανίχνευση της υγρασίας της βιομάζας και την παρακολούθηση της ποιότητας και υγείας της βλάστησης, κ.ά.

Στον τομέα της οικολογίας και για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη, η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί δέκτες για τη λήψη

δεδομένων πάνω από εκτενείς περιοχές, όπου απαιτείται συνεχής κάλυψη. Οι πληροφορίες αυτές σε συνδυασμό με επιφανειακές μετρήσεις, συντελούν στον εντοπισμό προβλημάτων όπως οι επιφανειακοί και θαλάσσιοι ρύποι από απόβλητα αποχετεύσεων και βιομηχανικά οξέα, καθώς επίσης στην πρόβλεψη της μετακίνησης και διασποράς τους. Επιπλέον τα όργανα της τηλεπισκόπησης είναι σε θέση να μετρήσουν τις συγκεντρώσεις και τις μετακινήσεις των ρύπων του ατμοσφαιρικού αέρα σε αστικές περιοχές, τα ποσοστά της εκπομπής χημικών αποβλήτων από βιομηχανίες και τις εκπομπές αερίων από ηφαιστειακές εκρήξεις, δασικές πυρκαγιές και ανεμοθύελλες. Πολύ σημαντική είναι η συμβολή της Τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων. Οι πετρελαιοκηλίδες ανιχνεύονται εξαιτίας της φασματικής συμπεριφοράς της ακτινοβολίας που ανακλάται από αυτές. Ο δείκτης διάθλασης μιας πετρελαιοκηλίδας είναι λίγο μικρότερος από αυτό του καθαρού ύδατος στο ορατό ή υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, ή εμφανίζεται ελαφρώς ψυχρότερη. Επιπλέον συστήματα ραντάρ είναι σε θέση να ανιχνεύσουν την εξομάλυνση που επιφέρει το επίστρωμα του πετρελαίου στον κυματισμό της θαλάσσιας επιφάνειας.

Στον τομέα της Γεωλογίας, η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται στη βελτίωση και ανασύνταξη των γεωλογικών χαρτών με την αναγνώριση της λιθολογίας, των ασυνεχειών και γραμμώσεων. Εικόνες του δορυφόρου Landsat βοηθούν στην αποτύπωση του τοπογραφικού αναγλύφου και του υδρογραφικού δικτύου, εξαιτίας των σκιάσεων που δημιουργούνται λόγω της χαμηλής γωνίας ύψους κατά την ώρα λήψης των εικόνων. Επίσης εικόνες ραντάρ χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των λιθολογικών και εδαφικών τύπων. Εξαιτίας μάλιστα της ευαισθησίας των συστημάτων αυτών σε αλλαγές της κλίσης των πετρωμάτων, επιτρέπουν την αναγνώριση πτυχωσιγενών γεωλογικών δομών όπως τα σύγκλινα, αντίκλινα καθώς και διαρρήξεις των πετρωμάτων που συνδέονται άμεσα με την πιθανή ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου σε βαθύτερους ορίζοντες. Ψευδοχρωματικές εικόνες του πολυφασματικού δορυφόρου Landsat χρησιμεύουν στην αναγνώριση ζωνών εξαλλοίωσης υδροθερμικών πετρωμάτων και κατά συνέπεια στον εντοπισμό κοιτασμάτων που συνδέονται με αυτές.

Όσον αφορά την επιστήμη της δασολογίας και γεωπονίας, δορυφορικά δεδομένα εικόνας από πολυφασματικούς δέκτες χρησιμοποιούνται στην εύρεση των μεταβολών

των φασματικών χαρακτηριστικών της βιομάζας. Εξάγονται έτσι πληροφορίες για την κατάσταση της υγείας και ηλικίας της βλάστησης, την πυκνότητά της, καθώς και τις συνθήκες υγρασίας των φυλλωμάτων. Ακόμη, διεξάγονται πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τα είδη της βλάστησης, που χρησιμοποιούνται σε αποτυπώσεις χαρτών χρήσης γης και γεωικανότητας.

Η πιο σημαντική όμως συμβολή της Τηλεπισκόπησης είναι η δυνατότητα παρακολούθησης διαχρονικών μεταβολών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι δορυφόροι Τηλεπισκόπησης είναι ηλιοσύγχρονοι, που σημαίνει ότι βρίσκονται σε τροχιές που είναι σύγχρονες με την τροχιά του Ηλίου. Έτσι τα δεδομένα συλλέγονται την ίδια ώρα της ημέρας και ο δορυφόρος επαναλαμβάνει την κάλυψη της ίδιας περιοχής σε τακτά χρονικά διαστήματα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η συνεχής ενημέρωση των στοιχείων και η παρακολούθηση διάφορων φαινομένων, ανάλογα πάντα με το σκοπό και με τη διαχρονική ανάλυση του δορυφόρου που χρησιμοποιείται. Έτσι, η παρακολούθηση γεωδυναμικών φαινομένων συντελεί στη σωστή πρόληψη και προγραμματισμό των διεργασιών εξόρυξης, με σκοπό την αποφυγή μείωσης των αποθεμάτων σε κοιτάσματα και υδάτινους πόρους. Ακόμη, επιτρέπεται η παρακολούθηση και επίβλεψη ηφαιστειακών διεργασιών, η εξερεύνηση γεωθερμικών πεδίων και ο υπολογισμός της παρεχόμενης γεωθερμικής ενέργειας, η παρακολούθηση μετακινήσεων εδαφών, ο εντοπισμός και η παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών κλπ.

Στοιχεία Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται ακόμη στην αποτύπωση ορίων αστικών κέντρων και την ανασύνταξη τοπογραφικών χαρτών, στην καταγραφή της κτηματικής περιουσίας, στο κτηματολόγιο, στην κατασκοπεία, σε στρατιωτικές επιχειρήσεις κλπ.

Η χρήση της Τηλεπισκόπισης στον δημόσιο τομέα εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η ομοιογένεια των δεδομένων, η φθηνή κάλυψη με δορυφορικά δεδομένα μεγάλων επιφανειών και η γρήγορη συλλογή και ανανέωση της πληροφορίας. Παρόλα αυτά κρίνεται απαραίτητη η εξασφάλιση ορισμένων προϋποθέσεων ώστε η χρήση της να είναι αποτελεσματική. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι η καλή οργάνωση των δομών λειτουργίας, ο συντονισμός των ομάδων εργασίας, η ύπαρξη οργανωμένου εξοπλισμού και ειδικευμένου προσωπικού, η επίτευξη εύκολης πρόσβασης σε συμπληρωματικά δεδομένα και η ομαλή επικοινωνία με συναφείς ερευνητικούς φορείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Φυσικές Καταστροφές

Περιβάλλον είναι το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες (Ν. 1650 της 10/16.10.1986-Φ.Ε.Κ. 160, τ. Α΄). Επομένως, οποιαδήποτε αλλοίωση και καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος, θέτει σε κίνδυνο όλους εκείνους τους παράγοντες που εξαρτώνται από αυτό.

Η έννοια της επικινδυνότητας περιέχει την πιθανότητα να συμβεί ένα επικίνδυνο γεγονός, σε συνδυασμό με την αποτίμηση της επίδρασής του. Οι επικίνδυνες καταστροφές διακρίνονται στις φυσικές καταστροφές που οφείλονται σε φυσικά αίτια, όπως είναι οι σεισμοί, οι τροπικοί κυκλώνες ή η παράκτια διάβρωση και στις καταστροφές που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, όπως είναι οι ρύπανση των υδάτων, η υφαλμύρωση των νερών ή μια τρομοκρατική ενέργεια. Τις περισσότερες φορές μια καταστροφή πραγματοποιείται ξαφνικά, όπως στην περίπτωση της εκδήλωσης ενός σεισμικού φαινομένου. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου η καταστροφή εξελίσσεται με αργό ρυθμό, όπως στις περισσότερες περιβαλλοντικές καταστροφές.

Ένας κοινά αποδεκτός ορισμός χαρακτηρίζει τους φυσικούς κινδύνους ως "εκείνα τα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος, τα οποία είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και που προκαλούνται από εξωγενείς δυνάμεις" (Burton, 1978). Πιο συγκεκριμένα, ο όρος φυσικός κίνδυνος αναφέρεται σε όλα τα ατμοσφαιρικά, υδρολογικά, γεωλογικά φαινόμενα και φαινόμενα πυρκαγιών που εξαιτίας της θέσης εκδήλωσής τους, της δριμύτητας και της συχνότητας επανάληψής τους, έχουν επιπτώσεις στους ανθρώπους, τα οικοδομήματα και τις δραστηριότητές τους.

Η έννοια του φυσικού κινδύνου περιέχει και την ανθρώπινη συμμετοχή. Ένα φυσικό γεγονός που δεν έχει επιπτώσεις στον άνθρωπο, είναι ένα φυσικό φαινόμενο αλλά όχι ένας φυσικός κίνδυνος. Ένα φυσικό φαινόμενο που εμφανίζεται σε μια κατοικημένη περιοχή αποτελεί ένα επικίνδυνο γεγονός. Ένα επικίνδυνο γεγονός που προκαλεί σημαντικές ανθρώπινες απώλειες, καταστροφές σε δομημένο περιβάλλον ή σε

πολιτισμικά μνημεία, αποτελεί μια φυσική καταστροφή. Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κανένα ανθρώπινο ενδιαφέρον, τα φυσικά φαινόμενα δεν αποτελούν κινδύνους, ούτε οδηγούν σε καταστροφές. Ο ορισμός αυτός βρίσκεται σε αντίθεση με την επικρατούσα αντίληψη για τους φυσικούς κινδύνους, ως αναπόφευκτο δεινό που προκαλείται από τις δυνάμεις της φύσης. Μετατοπίζει το φορτίο των αιτιών από τις αμιγώς φυσικές διαδικασίες στην ταυτόχρονη παρουσία ανθρώπινων δραστηριοτήτων και φυσικών γεγονότων.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Χαλαζόπτωση, Τυφώνες, Κεραυνοί, Τροπικές καταιγίδες, Ανεμοστρόβιλοι

ΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Διαρρήξεις ρηγμάτων, Εδαφική κίνηση, Πλευρικές ροές εδαφών, Ρευστοποιήσεις εδαφών, Τσουνάμις

ΛΟΙΠΟΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ / ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Ολισθήσεις βραχοτεμαχίων, Κατολισθήσεις εδαφών, Υποθαλάσσιες ολισθήσεις, Καθιζήσεις

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Παράκτιες πλημμύρες, Ερημοποίηση, Αφαλάτωση, Ξηρασία, Διάβρωση και ιζηματογένεση, Καταστροφές από χείμαρρους

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Εκτοξεύσεις τέφρας (σκόνη, τόφφοι, πυροκλαστικά υλικά), Ροές λάβας, Λασποροές, Εκτοξεύσεις ηφαιστειακών αερίων

ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Δασικές πυρκαγιές

Σχήμα 3.1: Οι σημαντικότερες φυσικές καταστροφές

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι η ανθρώπινη επέμβαση στα φυσικά οικοσυστήματα έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη συχνότητα και τη δριμύτητα των φυσικών κινδύνων. Για παράδειγμα, η υπερβόσκηση ελαττώνει τις δυνατότητες αντοχής του εδάφους ενάντια στη διάβρωση και είναι ένα σαφές παράδειγμα μιας επέμβασης που μειώνει τη δυνατότητα ενός οικοσυστήματος να προστατευθεί.

3.1.1. Εκτίμηση επικινδυνότητας φυσικών καταστροφών με χρήση ΣΓΠ

Υπάρχουν πολλοί τρόποι εκτίμησης της επικινδυνότητας εκδήλωσης φυσικών καταστροφών. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι μέσω της μελέτης των στατιστικών περασμένων γεγονότων και της αποτίμησης της καταστροφής από την εκδήλωσή τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές φυσικές καταστροφές εμφανίζουν μια συχνότητα επανάληψης σε ορισμένες περιοχές. Παρόλα αυτά, ορισμένα φαινόμενα δεν ακολουθούν τον κανόνα της επανάληψης. Στην ιδανική περίπτωση, τα μοντέλα επικινδυνότητας χρησιμοποιούν πληροφορίες από παρελθοντικά γεγονότα, σε συνδυασμό με μοντέλα της εξέλιξης της φυσικογεωγραφίας και των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών της περιοχής.

Σε περίπτωση έλλειψης δεδομένων από παρελθοντικά περιστατικά φυσικών καταστροφών, ένας τρόπος εκτίμησης του φυσικού κινδύνου είναι η ανάλυση των αιτιών που τον προκαλούν. Ο καθορισμός των αιτιών που προκαλούν μια φυσική καταστροφή μπορεί να είναι αποτέλεσμα επιτόπου έρευνας σε συνδυασμό με την βιβλιογραφική έρευνα. Συχνά, δεν είναι εφικτή η συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων και δεδομένων για τη σωστή εκτίμηση και καταγραφή των αιτιών, λόγω έλλειψης αυτών από τις δημόσιες αρχές. Άλλες φορές το κόστος απόκτησής τους είναι αρκετά υψηλό και η διαδικασία χορήγησής τους χρονοβόρα. Έτσι, η εκτίμηση της επικινδυνότητας από περιβαλλοντικές καταστροφές γίνεται κάθε φορά με τα διαθέσιμα δεδομένα.

Ένας χάρτης επικινδυνότητας μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας τρία συστατικά: (1) τις αξίες (2) την πιθανότητα εκδήλωσης και (3) τους κινδύνους.

1. Αξίες

Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός των αξιών. Οι αξίες καθορίζονται με βάση το σκοπό της μελέτης. Αναφέρονται δηλαδή στο είδος και τη σημαντικότητα των τομέων που επηρεάζονται από τη φυσική καταστροφή, π.χ. σύνολο ανθρώπινων και οικιστικών απωλειών από την εκδήλωση μιας καταστροφής. Για παράδειγμα σε μια μελέτη ανάλυσης επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές, υπολογίζεται η πυκνότητα των οικισμών με σκοπό τη διαπίστωση των περισσότερο πυκνοκατοικημένων περιοχών. Αν πρόκειται για μελέτη προστατευόμενων περιοχών ή ειδών, τότε η

μελέτη αξιών αφορά στον καθορισμό των ορίων εμφάνισής τους και την αξιολόγηση της σημαντικότητάς τους.

2. Πιθανότητα εκδήλωσης

Στην περίπτωση που διατίθενται στοιχεία παρελθοντικών δεδομένων, αυτά μπορεί να αναλυθούν για τη διαπίστωση της συχνότητας του φαινομένου και των τάσεων εκδήλωσής του. Ο συσχετισμός των τάσεων με τη γεωμορφολογία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, οδηγεί στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις συνθήκες και τις αιτίες εκδήλωσης του φαινομένου.

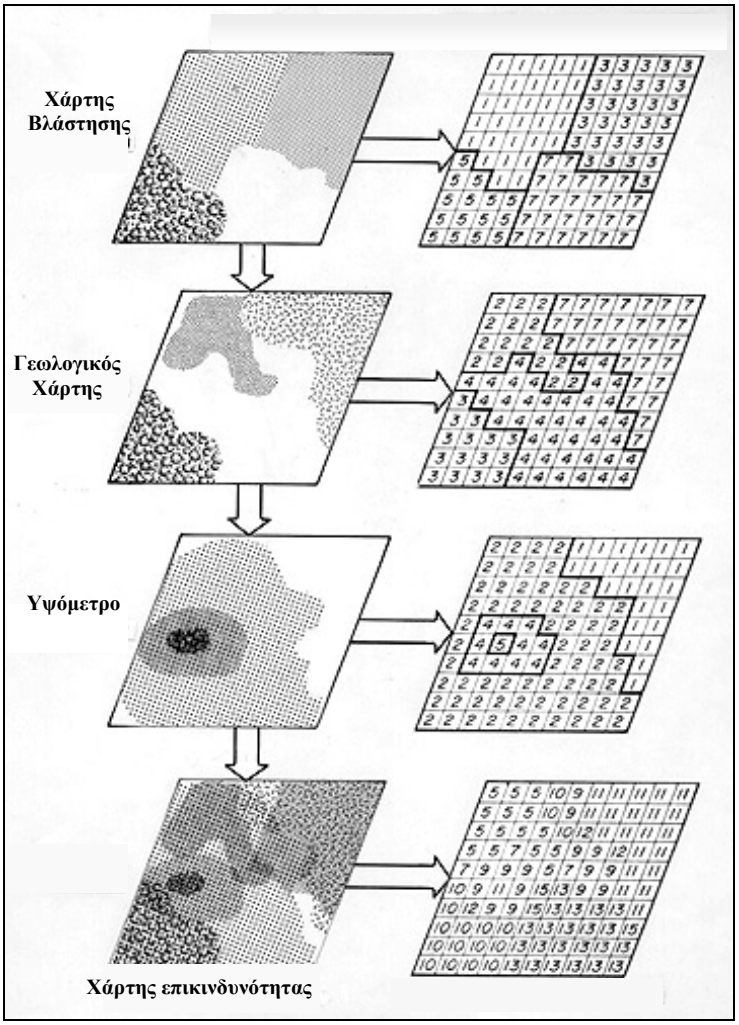
3. Κίνδυνοι

Το τελικό βήμα είναι ο καθορισμός των αιτιών που οδηγούν στην εκδήλωση ή την αύξηση του κινδύνου. Μελετώνται ξεχωριστά όλοι εκείνοι οι παράμετροι (γεωμορφολογικοί, κλιματικοί, κοινωνικοί, κ.ά.) που επιδρούν στην εκδήλωση μιας φυσικής καταστροφής και διαπιστώνεται η γεωγραφική και ποσοτική κατανομή των πιο επικίνδυνων συνθηκών. Αναλύονται δηλαδή οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης του φαινομένου και οι αντίστοιχες ποιοτικές και ποσοτικές τιμές των γεωλογικών, κλιματολογικών και κοινωνικών δεδομένων που αυξάνουν την πιθανότητα εκδήλωσης κινδύνου.

Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι τρεις παράμετροι, μεταξύ των ιδιοτήτων που περιγράφουν μια γεωγραφική περιοχή, είναι ουσιαστικοί για τον καθορισμό του κινδύνου σε αυτήν. Έστω ότι ο κίνδυνος είναι οι δασικές πυρκαγιές και οι παράγοντες που τον επηρεάζουν είναι η βλάστηση, η γεωλογία και το υψόμετρο.

Δεδομένα που αφορούν τη βλάστηση και την καύσιμη ύλη χρησιμεύουν στην εύρεση πυκνών και εύφλεκτων περιοχών. Ορισμένοι τύποι γεωλογικών πετρωμάτων, είναι ευνοϊκότεροι από κάποιους άλλους ως προς την εκδήλωση των επικίνδυνων φαινομένων. Επίσης συγκεκριμένα υψόμετρα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση και διάδοση του φαινομένου.

Για την εύρεση της επικινδυνότητας της περιοχής, χρησιμοποιείται η αριθμητική αξιολόγηση και επαναταξινόμηση των θεματικών χαρτών των παραγόντων, ανάλογα με την επικινδυνότητά τους.



Σχήμα 3.2: Παράδειγμα σύνθεσης των θεματικών χαρτών των παραμέτρων, για τη δημιουργία του τελικού χάρτη επικινδυνότητας.

Οι αριθμητικές τιμές του υψομέτρου ταξινομούνται σε μια κλίμακα αυξανόμενου κινδύνου (για παράδειγμα από 1 έως 5) και τα γεωλογικά πετρώματα και οι τύποι βλάστησης σε μια κλίμακα για παράδειγμα από 1 έως 8. Έτσι δημιουργούνται οι τρεις θεματικοί χάρτες, του υψομέτρου, της γεωλογίας και της βλάστησης.

Τέλος, οι θεματικοί χάρτες προστίθενται και συνιστούν τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας. Μετά τη σύνθεση των χαρτών, οι τιμές επικινδυνότητας των εικονοστοιχείων των επιμέρους χαρτών αθροίζονται. Το αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης, στον οποίο τα εικονοστοιχεία με τα υψηλότερα αποτελέσματα, υποδεικνύουν τις πιο επικίνδυνες πιθανές περιοχές.

3.1.2 Εφαρμογή στην εργασία

Στην παρούσα εργασία αναλύεται η επικινδυνότητα εκδήλωσης διάφορων περιβαλλοντικών κινδύνων. Ο σκοπός της μελέτης είναι η προστασία αρχαιολογικών θέσεων στο Νομό Λασιθίου. Επομένως η αξία που πρέπει να καθοριστεί είναι οι αρχαιολογικές θέσεις. Για την αξιολόγηση πιθανού κινδύνου καταστροφών από την εκδήλωση φυσικού κινδύνου, χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά η βάση δεδομένων του ψηφιακού αρχαιολογικού χάρτη του Λασιθίου (Sarris et al., 2002).

Από τη μελέτη της βάσης δεδομένων σχετικά με την κατάσταση προστασίας και συντήρησης των αρχαιολογικών θέσεων, αλλά και την κατανομή τους ανάλογα με την τυπολογία τους, διαπιστώθηκαν οι κίνδυνοι από τους οποίους κινδυνεύουν περισσότερο. Επιπλέον ιστορικές ενδείξεις και μαρτυρίες των αρχαιολόγων του ΙΜΣ που μετέβηκαν στην περιοχή μελέτης, αποτέλεσαν σημαντική βοήθεια στην τελική επιλογή των παραγόντων επικινδυνότητας.

Τέλος, καθοριστική στην επιλογή ήταν η δυνατότητα εύρεσης και απόκτησης δεδομένων. Έτσι, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα μελετήθηκε η επίδραση των ακόλουθων φυσικών κινδύνων στα αρχαιολογικά μνημεία:

- Σεισμοί.
- Κατολισθήσεις.
- Δασικές πυρκαγιές.
- Διάβρωση-ερημοποίηση.

Για την καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη, κρίνεται απαραίτητη η παράθεση κάποιων βασικών εννοιών των κυριότερων φυσικών κινδύνων και η ανάλυση των αιτιών που τους προκαλούν.

3.2 Σεισμοί

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που εκδηλώνεται τις περισσότερες φορές, ξαφνικά και χωρίς προειδοποίηση ενώ συνήθως δεν υπάρχουν πολλά περιθώρια για προφύλαξη και δράση. Άμεση ή έμμεση συνέπεια είναι οι απώλειες ανθρώπινων

ζωών και υλικών αγαθών. Τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών είναι είτε συνέπειες των αιτιών γένεσης των σεισμικών κυμάτων (π.χ. ηφαιστειακή δράση, κατακρήμνιση υπόγειων εγκοίλων), είτε συνέπειες της διέλευσης και δράσης των σεισμικών κυμάτων από τον χώρο παρατήρησης (π.χ. κατολισθητικά φαινόμενα, καθιζήσεις, ρευστοποιήσεις εδαφών, εδαφικές διαρρήξεις). Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προκαλέσουν μεγαλύτερα προβλήματα και ζημιές από αυτά που προκάλεσε η σεισμική δόνηση. Στο σεισμό της Καλαμάτας (μεγέθους 6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ) τα υλικά της κατολίσθησης έφραξαν τον οδικό άξονα Καλαμάτας-Σπάρτης. Το 1970 σε σεισμό στο Περού (μεγέθους 7,7 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ) αντίστοιχα φαινόμενα προκάλεσαν το θάνατο σε 18.000 ανθρώπους.

Σημαντικές είναι ακόμη οι βλάβες που προκαλούν οι σεισμοί στα ιστορικά μνημεία που αποτελούν την πολιτιστική κληρονομιά κάθε χώρας. Στον Ελληνικό χώρο έχουν αναφερθεί πολλές περιπτώσεις καταστροφής μνημείων, όπως αρχαίων πόλεων, εκκλησιών, αρχοντικών και αγαλμάτων. Ο σεισμός (μεγέθους 7,2 της κλίμακας Ρίχτερ) που έπληξε τη Ρόδο το 227 π.Χ. προκάλεσε πολλές καταστροφές και γκρέμισε το γνωστό άγαλμα του Κολοσσού. Το 66 μ.Χ. σεισμός μεγέθους 7 της κλίμακας Ρίχτερ κατέστρεψε την Κνωσό και προκάλεσε πολλές καταστροφές στη Φαιστό. Ο σεισμός (Μ=7) που σημειώθηκε στη Χαλκιδική το 1932 προξένησε πολλές καταστροφές σε ιστορικές μονές του Αγίου Όρους, όπως στη μονή Κουτλουμουσίου, στη μονή Σταυρονικήτα και στη μονή Κασταμονίτου. Τέλος, στο σεισμό (Μ=7,2) του 1953, τα νησιά του Ιονίου πελάγους υπέστησαν ανεπανόρθωτες πολιτιστικές καταστροφές. Στη Ζάκυνθο και στην Κεφαλονιά καταστράφηκαν εκκλησίες, καμπαναριά και νεοκλασικά αρχοντικά.

Οι οικονομικές συνέπειες των σεισμών είναι πολύ μεγάλες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο ετήσιος μέσος όρος δαπανών για αποκατάσταση περιοχών που επλήγησαν από φυσικά καταστροφικά γεγονότα σε παγκόσμια κλίμακα κατά το χρονικό διάστημα 1987-1996, ανέρχεται στο ποσό των 136,6 δισ. δολαρίων. Από αυτά, τα 62,3 δισ. δολάρια αφορούν τις οικονομικές επιπτώσεις των σεισμών που είναι οι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των υπόλοιπων φυσικών καταστροφών.

Για να κατανοήσουμε όμως καλύτερα τα αποτελέσματα των σεισμών, τις κοινωνικές τους συνέπειες και τα μέτρα προστασίας από αυτούς, είναι απαραίτητο να δοθούν κάποιες βασικές έννοιες σχετικά με το φυσικό αυτό φαινόμενο. Έτσι παρακάτω

δίνονται κάποια στοιχεία για τα αίτια και τον τρόπο γένεσης σεισμικών φαινομένων, καθώς και για τις έννοιες της έντασης και του μεγέθους του σεισμού. Κρίνεται επίσης απαραίτητη η αναφορά ορισμένων σύγχρονων απόψεων της γεωλογίας και των γεωλογικών-σεισμολογικών δεδομένων του Ελλαδικού χώρου.

3.2.1 Βασικές έννοιες για τους σεισμούς

Σεισμός είναι η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά τη διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων από φυσικές αιτίες που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Η θεωρία που ερμηνεύει ικανοποιητικά το σύνολο των γεωλογικών και γεωφυσικών παρατηρήσεων, που σχετίζονται με την ενεργό τεκτονική δράση και κατά συνέπεια και με τη σεισμική δράση, είναι αυτή που περιγράφει την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών οφείλεται πιθανόν σε οριζόντιες εφαπτομενικές κινήσεις που ασκούνται στον πυθμένα τους από τα θερμικά ρεύματα μεταφοράς, τα οποία δημιουργούνται στον ασθενοσφαιρικό μανδύα. Οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλλού αποκλίνουν, αλλού συγκλίνουν και αλλού κινούνται παράλληλα. Στις περιοχές όπου οι λιθοσφαιρικές πλάκες αποκλίνουν, θερμό ασθενοσφαιρικό υλικό αναβλύζει στην επιφάνεια, ψύχεται, στερεοποιείται και οδηγεί έτσι στη δημιουργία νέας λιθόσφαιρας. Στις περιοχές όπου οι λιθοσφαιρικές πλάκες ολισθαίνουν, η κίνηση γίνεται κατά μήκος κατακόρυφων ρηγμάτων μετασχηματισμού. Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών, η πυκνότερη από τις δύο βυθίζεται κάτω από την άλλη μέχρι να λιώσει η πρώτη μέσα στον θερμό μανδυακό υλικό.

Αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι η αργή παραμόρφωση των πετρωμάτων στις παρυφές τους. Για τον λόγο αυτό, στα πετρώματα που βρίσκονται κοντά στις περιοχές αυτές συσσωρεύονται μεγάλα ποσά δυναμικής ενέργειας και αναπτύσσονται τάσεις που συνεχώς αυξάνουν. Όταν οι τάσεις αυξηθούν τόσο, ώστε να υπερβούν το όριο αντοχής του λιθοσφαιρικού υλικού, επέρχεται θραύση των πετρωμάτων. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται απότομη σχετική κίνηση των δύο τμημάτων που έχουν προκύψει, κατά μία επιφάνεια μέχρι να ισορροπήσουν σε νέες θέσεις. Η επιφάνεια αυτή είναι το σεισμικό ρήγμα. Τη χρονική αυτή στιγμή της κίνησης, προκαλείται ο σεισμός.

Ο χώρος όπου εκδηλώνεται η διάρρηξη των πετρωμάτων μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί ως σημείο και ονομάζεται εστία του σεισμού. Το ίχνος της κατακόρυφης προβολής της εστίας πάνω στην επιφάνεια της γης είναι το επίκεντρο, ενώ η απόστασή του από την εστία ονομάζεται εστιακό βάθος.

Οι εστίες των σεισμών βρίσκονται είτε κοντά στην επιφάνεια είτε σε βάθος πολλών χιλιομέτρων. Εντοπίζονται έως και τα 720 χιλιόμετρα, βάθος που μπορεί να φτάσει η καταδυόμενη λιθόσφαιρα διατηρώντας τις ελαστικές της ιδιότητες. Ανάλογα με το **εστιακό βάθος**, σι σεισμοί διακρίνονται σε επιφανειακούς όταν το εστιακό βάθος είναι μικρότερο από 60 km, ενδιάμεσου βάθους όταν το εστιακό βάθος κυμαίνεται μεταξύ 60 και 160 km, και μεγάλου βάθους όταν το εστιακό βάθος είναι μεγαλύτερο από 160 km. Οι ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους σεισμοί χαρακτηρίζονται ως πλουτώνιοι. Οι επιφανειακοί σεισμοί είναι αυτοί που προκαλούν συνήθως τις μεγαλύτερες καταστροφές.

Για να υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης των σεισμών δημιουργήθηκε η ανάγκη υπολογισμού μίας ποσότητας που να τους χαρακτηρίζει. Έτσι ορίστηκε το **μέγεθος** (M) του σεισμού που είναι το μέτρο της ενέργειας που εκλύεται από την εστία κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης. Προσδιορίζεται με μετρήσεις παραμέτρων (πλατών, περιόδων, διάρκειας) των σεισμικών κυμάτων που παράγονται κατά τη γένεση του σεισμού (Παπαζάχος, 1989). Για τον υπολογισμό του μεγέθους των σεισμών επινοήθηκαν διάφορες κλίμακες. Οι πιο γνωστές είναι: η κλίμακα τοπικού μεγέθους M_L (κλίμακα Richter) και η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους M_S ενώ υπάρχουν και οι κλίμακες: χωρικού μεγέθους m_b, μεγέθους διάρκειας M_T και μεγέθους σεισμικής ροπής M_W.

Οι σεισμοί που προκαλούν βλάβες έχουν τις περισσότερες φορές μέγεθος μεγαλύτερο από 5 βαθμούς της κλίμακας Richter. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις ενός σεισμού στους ανθρώπους και στις κατασκευές εξαρτώνται και από άλλους παράγοντες. Αυτοί είναι το βάθος της εστίας, η θέση του επικέντρου, η κατασκευή, το έδαφος θεμελίωσης της κατασκευής, η γειτνίαση με ενεργά ρήγματα κ.λπ..

Ο σεισμός της Πάρνηθας (7-9-1999) είχε σχετικά μικρό μέγεθος (M=5,9), όμως προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε πολλές περιοχές του λεκανοπεδίου της Αττικής γιατί το επίκεντρο ήταν κοντά σε πυκνοκατοικημένη περιοχή, ορισμένα κτήρια ήταν

ακατάλληλα ή με ανεξέλεγκτες επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό τους ενώ κάποια άλλα ήταν κτισμένα σε ακατάλληλο έδαφος θεμελίωσης. Ο μεγαλύτερος ίσως σεισμός που έπληξε τον ελληνικό χώρο είχε μέγεθος 8,2 Richter και σημειώθηκε στις 21 Ιουλίου του 365 μ.Χ., προκαλώντας μεγάλες καταστροφές σε περιοχές της Μεσογείου (Πελοπόννησο, Κρήτη, Αίγυπτο, Σικελία, Δαλματία). Το συχνότερα παρατηρούμενο μέγιστο μέγεθος σεισμού ετησίως στην Ελλάδα είναι το 6,3.

Μία άλλη ποσότητα που αποτελεί μέτρο των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων και πιο συγκεκριμένα μέτρο των βλαβών της σεισμικής δόνησης στους ανθρώπους και στις τεχνικές κατασκευές, είναι η **ένταση** του σεισμού. Με τον όρο μακροσεισμική ένταση εννοούμε μια εμπειρική ποσότητα που βασίζεται στα αποτελέσματα των σεισμών. Είναι φθίνουσα συνάρτηση της απόστασης για συγκεκριμένο σεισμό και μετριέται σε κλίμακες.

Οι εμπειρικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της έντασης είναι: η τροποποιημένη δωδεκαβάθμια κλίμακα Mercalli (MM, 1931), η δωδεκαβάθμια MSK (1964) που προτάθηκε από τους Medvedev, Sponheuer, Karnik και η οκταβάθμια JMA (Japanese Meteorological Agency) που χρησιμοποιείται από τους Ιάπωνες. Το 1992 το Συμβούλιο της Ευρώπης υιοθέτησε μία νέα κλίμακα που αποτελεί εξέλιξη της MSK και έχει προσαρμοστεί σε ευρωπαϊκά δεδομένα. Η κλίμακα αυτή είναι η EMS (European Macroseismic Scale).

Η ένταση ενός σεισμού είναι διαφορετική από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται κυρίως από την απόσταση της περιοχής αυτής από την εστία του σεισμού. Εξαρτάται ακόμη από από πολλές παραμέτρους, όπως το μέγεθος και το εστιακό βάθος, την περίοδο, τη διάρκεια και το πλάτος των σεισμικών κυμάτων, το είδος του εδάφους, τις γεωλογικές δομές και την κλίση των στρωμάτων, το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, το είδος και την ποιότητα των τεχνικών κατασκευών και την ιδιοπερίοδο των κτηρίων και του εδάφους.

Οι παράγοντες που λαμβάνονται κυρίως υπόψη στην εκτίμηση των σεισμικών εντάσεων είναι οι επιπτώσεις που είχε ο σεισμός στην ανθρώπινη ζωή, στα κτίρια και τεχνικά έργα και στην επιφάνεια του εδάφους. Για την εκτίμηση των βαθμών έντασης στις κλίμακες των εντάσεων, λαμβάνονται υπόψη η ηλικία, η ποιότητα και το είδος των κατασκευών. Η μέγιστη ένταση του σεισμού καλείται επικεντρική ένταση και

παριστάνεται με το σύμβολο I_0. Μεταξύ αυτής και του μεγέθους Μ του σεισμού ισχύουν στατιστικές σχέσεις της μορφής

$$I_0 = \alpha + \beta M \qquad (3.1)$$

όπου τα α και β είναι σταθερές. Για τους επιφανειακούς σεισμούς του ελληνικού χώρου βρέθηκαν οι τιμές α = 1,23 και β = 1,18 (Παπαϊωάννου, 1984).

Ο τρόπος κατανομής των σεισμικών εντάσεων εξαρτάται και από το εστιακό βάθος του σεισμού. Ο ρυθμός ελάττωσης της έντασης όταν αυξάνεται η επικεντρική απόσταση, είναι μεγαλύτερος στους επιφανειακούς σεισμούς παρά στους σεισμούς βάθους. Η κατανομή των εντάσεων σεισμών ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους είναι γενικά ανώμαλη. Η μέγιστη ένταση είναι μικρή και δεν παρατηρείται συνήθως κοντά στο επίκεντρο. Επιπλέον, το εμβαδόν της μακροσεισμικής περιοχής, δηλαδή της περιοχής στην οποία έγινε αισθητός ο σεισμός είναι μεγάλο σε σχέση με το αντίστοιχο εμβαδόν της μακροσεισμικής περιοχής επιφανειακού σεισμού του ίδιου μεγέθους (Παπαζάχος, 1989).

Ο προσδιορισμός της έντασης ενός σεισμού σε διάφορες περιοχές επιτρέπει τη χάραξη ισόσειστων καμπυλών, ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές στις οποίες ο σεισμός προκάλεσε τις ίδιες βλάβες, είχε δηλαδή την ίδια ένταση.

3.2.2 Σεισμικότητα ελληνικού χώρου

Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στο όριο επαφής και σύγκλισης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Για το λόγο αυτό, η ενεργός τεκτονική είναι έντονη, όπως εξάλλου αποδεικνύει η μεγάλη σεισμικότητα, η παραμόρφωση των διαφόρων γεωλογικών ζωνών και τα ηφαιστειακά φαινόμενα που παρατηρούνται στην περιοχή. Η σεισμικότητα ενός τόπου καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των σεισμών και τα μεγέθη τους. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα, από άποψη σεισμικότητας, κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και την Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, μετά την Ιαπωνία, Νέες Εβρίδες, Περού, νησιά Σολομώντα και Χιλή.

Βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου είναι το Ελληνικό τόξο. Το Ελληνικό τόξο (τόξο του Αιγαίου) αποτελεί το όριο επαφής της Ευρασιατικής

λιθοσφαιρικής πλάκας, τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο, και της Αφρικανικής πλάκας, τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Οι δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν στην περιοχή αυτή με σχετική ταχύτητα 2,5 εκατοστά το χρόνο, με συνέπεια την καταβύθιση της ωκεάνιας πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου.



Σχήμα 3.3: Το Ελληνικό τόξο (Παπανικολάου Δ., 1998).

Το θέμα της σεισμικής δραστηριότητας στο Αιγαίο και των αιτίων της είναι αρκετά πολύπλοκο. Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι η σεισμική δραστηριότητα στο Αιγαίο είναι αυξημένη εξαιτίας:

- συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στη σύγκλιση της Αφρικανικής (Ανατ. Μεσόγειος) λιθοσφαιρικής πλάκας με την αντίστοιχη Ευρασιατική (Αιγαίο). Η σύγκλιση αυτή προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο Ν. Αιγαίο.
- συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στην αριστερόστροφη περιστροφή της Απουλίας πλάκας (Αδριατικής). Η περιστροφή προκαλεί τη γένεση

επιφανειακών σεισμών κατά μήκος των δυτικών ακτών της Κεντρικής Ελλάδας, της Αλβανίας και της πρώην Γιουγκοσλαβίας.

- συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται κυρίως στην κίνηση της Τουρκικής λιθοσφαιρικής πλάκας (Ανατολίας) προς τα δυτικά, που με τη σειρά της η κίνηση αυτή οφείλεται στην προς Βορρά κίνηση της Αραβικής πλάκας.
- οριζόντιων εφελκυστικών δυνάμεων που έχουν διεύθυνση βορρά-νότου και αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του Αιγαίου εξαιτίας της οριζόντιας κίνησης των ρευμάτων μεταφοράς.



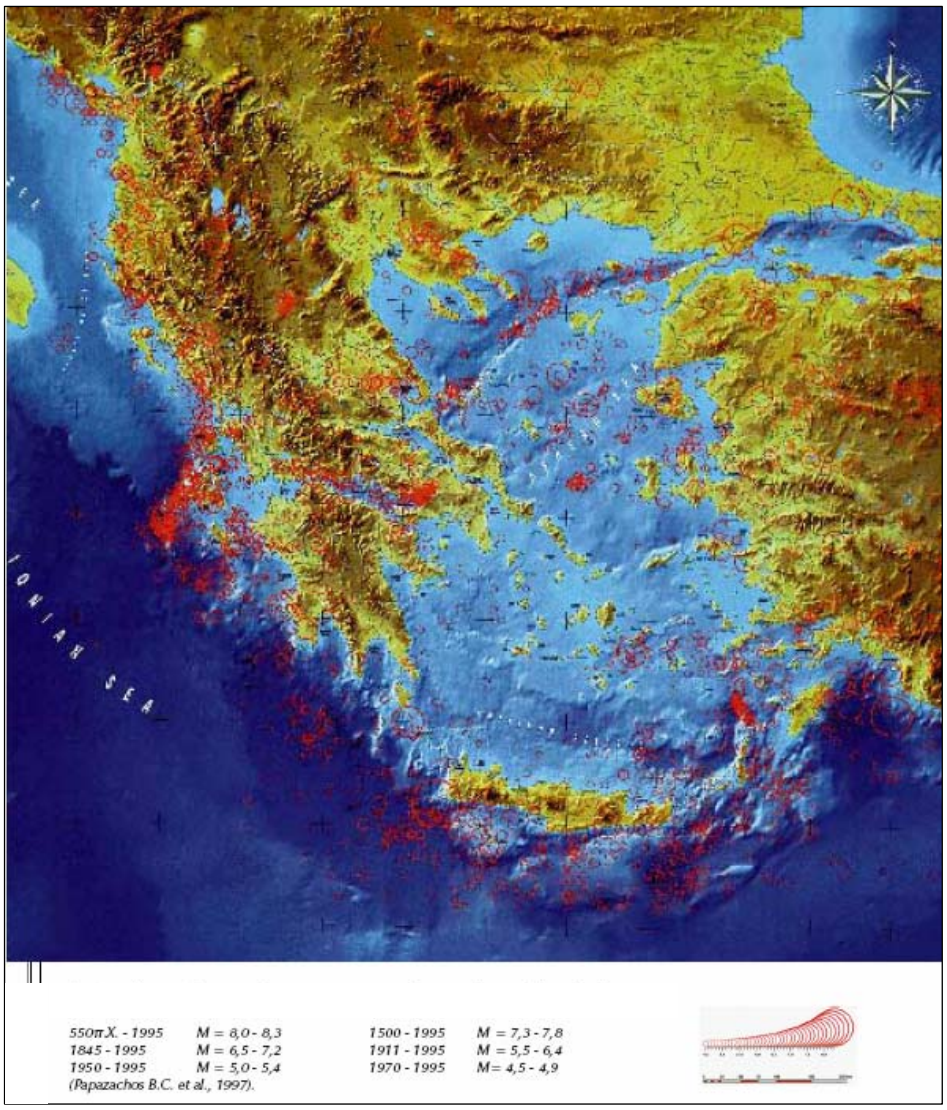
Σχήμα 3.4: Σχηματική αποτύπωση των δυνάμεων που ασκούνται στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Οι συμπιεστικές δυνάμεις Σ_1, Σ_2 και Σ_3 που ασκούν οι γειτονικές λιθοσφαιρικές πλάκες στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου απεικονίζονται με τα κόκκινα βέλη. Οι εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας με τα κίτρινα βέλη (Παπαζάχος Β., 1989).

3.2.3 Σεισμικές ζώνες Ελλάδας

Παρατηρώντας τη γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών στον ελληνικό χώρο (Σχήμα 3.5) προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο και στις γύρω περιοχές εμφανίζουν σημαντική διασπορά. Παρόλα αυτά, τα περισσότερα διατάσσονται κατά μήκος μίας τοξοειδούς ζώνης στην περιοχή του ελληνικού τόξου (Δ. Αλβανία, νησιά Ιονίου πελάγους, Κρήτη, Κάρπαθος, Ρόδος, Ν.Δ

Τουρκία). Σημαντική σεισμική δραστηριότητα παρατηρείται επίσης και στην περιοχή του Β. Αιγαίου και της Β.Δ. Ανατολίας



Σχήμα 3.5: Χάρτης που δείχνει την κατανομή των επικέντρων των σεισμών της Ελλάδας από το 550 π.Χ. έως το 1995 μ.Χ.. (Papazachos B.C. et al, 1997).

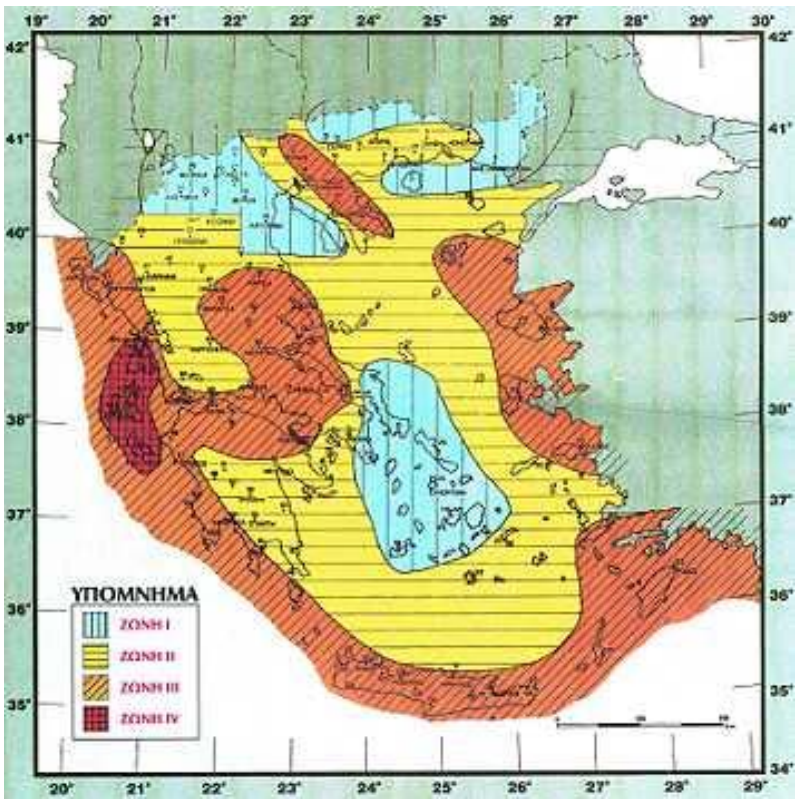
- οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους εκδηλώνονται στην περιοχή του Ν. Αιγαίου. Τα επίκεντρα διατάσσονται σε μία ζώνη παράλληλη με το ελληνικό τόξο, ενώ οι εστίες βρίσκονται πάνω στη ζώνη Benioff η οποία κλίνει με γωνία περίπου 35ο από το κυρτό προς το κοίλο μέρος του τόξου, από την Ανατ. Μεσόγειο προς το Αιγαίο πέλαγος. Τα εστιακά τους βάθη φτάνουν έως 160km περίπου.

Η κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών (βάθος μικρότερο των 60 km) οριοθετεί διάφορες σεισμικές ζώνες. Η κυριότερη είναι αυτή που εκτείνεται κατά μήκος της εξωτερικής (κοίλης) πλευράς του ελληνικού τόξου, δηλαδή, ακτές δυτικής

Ελλάδας, Ιόνια νησιά, ΝΔ Πελοπόννησος, νότια Κρήτη, Κάρπαθος, Ρόδος. Άλλες σημαντικές ζώνες έχουν διεύθυνση Ανατολή - Δύση, όπως Β. Αιγαίου, Θεσσαλίας - Σποράδων, Πατραϊκού - Κορινθιακού, κλπ.

Ο Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας που ισχύει σήμερα σχεδιάστηκε την περίοδο 1986-1989, στα πλαίσια σχετικού προγράμματος που είχε αναθέσει ο Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας (ΟΑΣΠ) σε σεισμολογικούς φορείς της χώρας (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, ΙΤΣΑΚ, Πανεπιστήμιο Αθήνας, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης), και άρχισε να εφαρμόζεται μαζί με τον νέο αντισεισμικό κανονισμό (ΝΕΑΚ) το 1995.

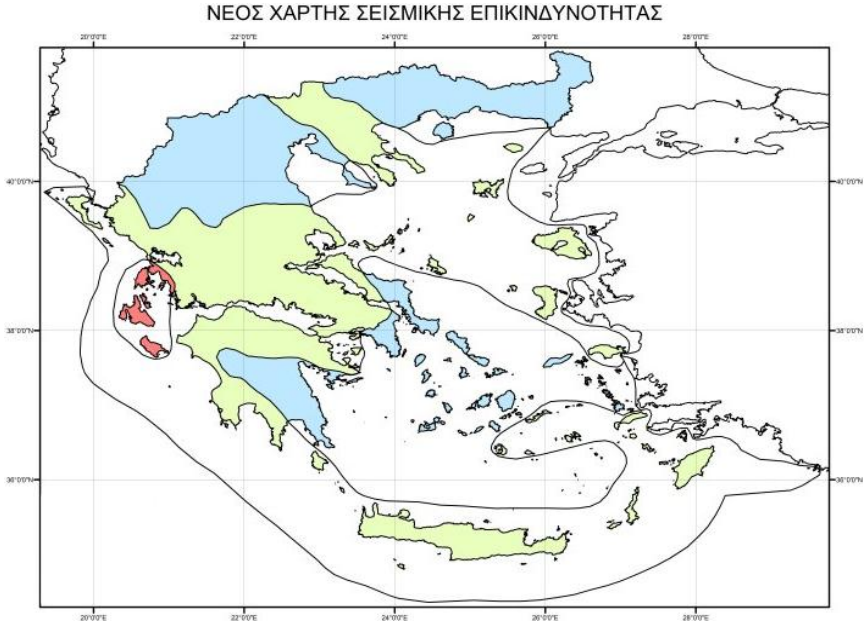
Σύμφωνα με αυτό τον χάρτη (Σχήμα 3.6), ο Ελληνικός χώρος κατανέμεται σε 4 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III, IV), με αντίστοιχες τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0,12 g για τη πρώτη ζώνη, 0,16 g για τη δεύτερη ζώνη, 0,24 g για την τρίτη ζώνη και 0,36 g για την τέταρτη ζώνη (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας). Όπως προκύπτει από τον χάρτη, η Κρήτη ανήκει στην τρίτη ζώνη, μια ζώνη πολύ υψηλής σεισμικότητας. Ο χάρτης συνοδεύεται από πίνακα 136 πόλεων και οικισμών και της ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία ανήκουν.



Σχήμα 3.6: Ο παλιός χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του ΟΑΣΠ

Κατά τη δεκαπενταετία 1986-2001 οι καταστροφικοί σεισμοί που έπληξαν τον Ελληνικό χώρο, (Κοζάνη-Γρεβενά 1995, Αίγιο 1995, Κόνιτσα 1996, Αθήνα 1999, Σκύρος 2001 και άλλοι) άλλαξαν σε πολλές περιπτώσεις τα δεδομένα στα οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός του ισχύοντος μέχρι σήμερα χάρτη.

Με στόχο αφενός να αξιοποιηθεί η επιστημονική γνώση που έχει προκύψει την τελευταία δεκαετία και να ενσωματωθεί στον αντισεισμικό κανονισμό και αφετέρου να κωδικοποιηθούν οι επιστημονικές εξελίξεις στη μελέτη των σεισμικών φαινομένων στην Ελλάδα, ο ΟΑΣΠ ανέθεσε στους πέντε σεισμολογικούς φορείς της χώρας (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, ΙΤΣΑΚ, Πανεπιστήμιο Αθήνας, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, Πανεπιστήμιο Πάτρας) το πρόγραμμα «Συλλογή και επεξεργασία σεισμολογικών δεδομένων για τη σύνταξη του Νέου Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Χώρας». Το πρόγραμμα παρακολούθησε και συντόνισε δεκαμελής επιστημονική ομάδα, η οποία και καθόρισε τις προδιαγραφές για την εκπόνηση του νέου χάρτη. Τα αποτελέσματά του κατατέθηκαν στον ΟΑΣΠ τον Μάρτιο του 2002. Στη συνέχεια ο ΟΑΣΠ ανέθεσε σε επιστημονική επιτροπή το σχεδιασμό του Νέου Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας, ο οποίος θα συμπεριληφθεί στον Αντισεισμικό Κανονισμό και θα αρχίσει να ισχύει από τις αρχές του 2004 (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Ο νέος χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του ΟΑΣΠ.

3.2.4 Σχέσεις απόσβεσης της σεισμικής κίνησης

Το μέγεθος της εδαφικής κίνησης που προκαλείται από ισχυρούς σεισμούς και που έχει ως συνέπεια τις βλάβες στις κατασκευές, είναι πολύπλοκη συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με τον τρόπο έκλυσης της ενέργειας στη σεισμική εστία, όσο και με τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Η γνώση των φυσικών νόμων, σύμφωνα με τους οποίους η κατανέμεται η ένταση ενός σεισμού γύρω από το επίκεντρο, δηλαδή η εξασθένηση, αποτελεί τη βάση πολλών μελετών εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου σε ένα τόπο.

Η εξασθένηση των εντάσεων των σεισμών έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές τόσο στο διεθνή όσο και στον Ελληνικό χώρο. Πολλοί ερευνητές εξετάζουν την εξασθένηση των εντάσεων σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού, με την επικεντρική απόσταση ή με το εστιακό βάθος. Οι μελέτες που βασίζονται στο βάθος του εστιακού σεισμού εμφανίζουν πολλά μειονεκτήματα στην εφαρμογή τους, που οφείλονται στην έλλειψη ακρίβειας στον καθορισμό του βάθους. Επίσης οι σχέσεις που συνδέουν τις εντάσεις με τις επικεντρικές αποστάσεις δεν θεωρούνται αξιόπιστες όταν εφαρμόζονται σε μικρές επικεντρικές αποστάσεις.

Η εκπόνηση και υιοθέτηση σχέσεων απόσβεσης των τιμών των παραμέτρων της ισχυρής σεισμικής κίνησης (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση pga, μέγιστη εδαφική ταχύτητα pgv και μετάθεση pgd) αποτελεί ένα σημαντικό στάδιο σε κάθε μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας. Έχουν γίνει κατά καιρούς πολλές προσπάθειες στην Ελλάδα για την εκπόνηση σχέσεων απόσβεσης. Μια τέτοια σχέση στην απλή της μορφή, δίνει τη μεταβολή της παραμέτρου της σεισμικής κίνησης σε συνάρτηση με την απόσταση (ανελαστική και γεωμετρική απόσβεση) και το μέτρο ισχύος του σεισμού (μέγεθος). Η επίδραση πρόσθετων παραγόντων, όπως είναι ο μηχανισμός γένεσης, η διάρκεια της διάρρηξης, οι εδαφικές συνθήκες και άλλοι, απαιτούν τη χρήση μεγάλου όγκου δεδομένων.

Η πρώτη σχέση απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης προτάθηκε από τους Milne και Davenport το 1969. Στη συνέχεια ο Esteva (1970) πρότεινε σχέση που έλαβε ευρείας εφαρμογής. Και οι δύο σχέσεις λάμβαναν υπόψη μόνο τη γεωμετρική απόσβεση, δηλαδή μόνο τον παράγοντα της απόστασης από το επίκεντρο του σεισμού. Όμως, η αύξηση του όγκου δεδομένων και η εγκατάσταση νέων

πολυάριθμων δικτύων επιταχυνσιογράφων, είχε ως συνέπεια την εκπόνηση καινούριων πιο πολύπλοκων σχέσεων απόσβεσης που λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες. Στον Ευρωπαϊκό-Μεσογειακό χώρο οι σημαντικότερες προσπάθειες έγιναν από τους Ambaseys και Bommer (1991), Ambaseys (1995), Sabetta και Pugliese (1996), Ambaseys et al., (1996), Rinaldis et al., (1998).

Στην Ελλάδα από τις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα άρχισε η εγκατάσταση δικτύου επιταχυνσιογράφων από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΓΙ). Από το 1982 το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) λειτουργεί το μεγαλύτερο δίκτυο επιταχυνσιογράφων στον Ελληνικό χώρο. Άλλοι φορείς που εγκατέστησαν επιταχυνσιογράφους είναι το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Ακόμη, η ΔΕΗ λειτουργεί ειδικά δίκτυα στις θέσεις των παραγωγικών μονάδων της. Στην Κρήτη, το Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Ινστιτούτου έχουν εγκαταστήσει δίκτυο επιταχυνσιογράφων για την παρακολούθηση των σεισμικών επιταχύνσεων.

Η πρώτη σχέση απόσβεσης με βάση τις καταγραφές του Ελληνικού χώρου, προτάθηκε από τον Παπαϊωάννου (1984) με χρήση 14 επιταχυνσιογράφων. Το 1991 ο Θεοδουλίδης πραγματοποίησε μια εκτενή ανάλυση από ένα δείγμα 53 καταγραφών και κατέληξε σε σχέσεις απόσβεσης των μέγιστων οριζόντιων και κατακόρυφων τιμών της εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης για δύο εδαφικές κατηγορίες. Οι σχέσεις αυτές περιλαμβάνουν αβεβαιότητες και αποκλίσεις λόγω των περιορισμών στην επεξεργασία ψηφιοποίησης και διόρθωσης των καταγραφών ισχυρής κίνησης και της γενικής ταξινόμησης των τοπικών εδαφικών συνθηκών των θέσεων καταγραφής σε δύο μόνο κατηγορίες (αλλούβια και βράχος). Την τελευταία δεκαετία όμως, η εγκατάσταση νέων επιταχυνσιογράφων ψηφιακής τεχνολογίας και η ανάπτυξη μετασεισμικών δικτύων ισχυρής κίνησης, έχουν αυξήσει σημαντικά τον αριθμό των καταγραφών και έχουν περιορίσει τα σφάλματα στον καθορισμό των επικεντρικών αποστάσεων.

Το 2001 οι Παπαζάχος Κ., Παπαϊωάννου Χ. και άλλοι, εκπόνησαν νέες σχέσεις απόσβεσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με βάση το σύνολο

των διαθέσιμων και αξιόπιστων δεδομένων από καταγραφές του εθνικού δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ, του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου και του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ, για το χρονικό διάστημα από το 1973 έως και το 1999. Οι ελληνικές καταγραφές ισχυρής κίνησης που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται κατά κύριο λόγο από σεισμούς κανονικών και δεξιόστροφων σεισμικών κυμάτων.

Με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες για τις τοπικές εδαφικές συνθήκες στις θέσεις καταγραφής έγινε ταξινόμηση των θέσεων σε τρεις κατηγορίες που προτάθηκε από το NEHRP (1994) και το UBC (1997) με σκοπό να περιοριστούν τα σφάλματα στην εκτίμηση των εδαφικών συνθηκών.

Έτσι με βάση τη γεωλογία του Ελληνικού χώρου, οι εδαφικές κατηγορίες των σταθμών καταγραφής κατατάχθηκαν σε 5 βασικές τάξεις, A, B, C, και D. Για τον Ελληνικό χώρο το σύνολο των σταθμών αντιστοιχεί μόνο στις κατηγορίες B, C και D, οι οποίες τελικά υιοθετήθηκαν για την εύρεση των σχέσεων απόσβεσης (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Κατάταξη εδαφικών τύπων με βάση την ταξινόμηση UBC (1997).

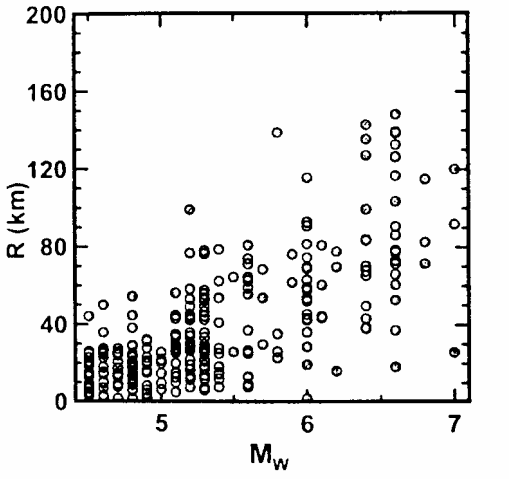
ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**	**ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ (m/sec)**
A	Πολύ σκληρά πετρώματα	>5000
B	Πετρώματα	2500-5000
C	Μαλακό έδαφος	1200-2500
D	Συνεκτικά εδάφη	600-1200

Από τις διαθέσιμες πληροφορίες για τους καταγεγραμμένους σεισμούς, χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι σεισμοί με μέγεθος σεισμικής ροπής $M \geq 4,5$, δεδομένου ότι σεισμοί μικρότερου μεγέθους δεν έχουν σημαντικά μακροσεισμικά αποτελέσματα και ενδιαφέρον για τις τεχνικές κατασκευές.

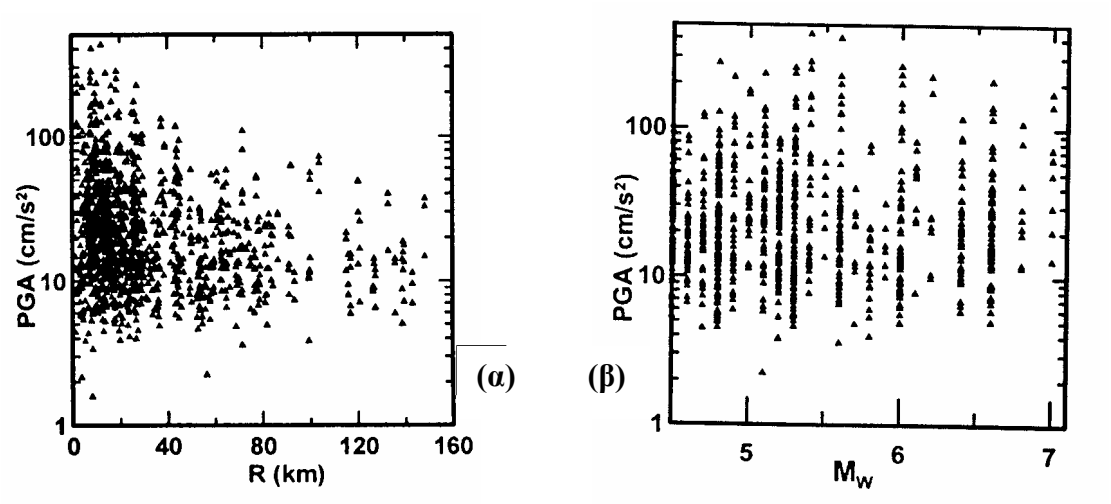
Για τη συμπλήρωση της βάσης δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν 744 καταγραφές σεισμικής κίνησης του Ελληνικού χώρου, οι οποίες κάλυπταν αποστάσεις από 2 ως 120 km και μεγέθη από 4,5 ως 7, καθώς και στοιχεία για τις παραμέτρους των σεισμών (επίκεντρα, μέγεθος) και για τις τοπικές εδαφικές συνθήκες των σταθμών καταγραφής. Στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται η κατανομή των μεγεθών ροπής M_w με

την επικεντρική απόσταση καταγραφής για το επιλεχθέν σύνολο δεδομένων. Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια κανονικότητα και συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων που δημιουργεί δυσκολίες στον υπολογισμό των σχέσεων απόσβεσης. Για μικρά μεγέθη ($4.0 \leq M_w \leq 5.0$) υπάρχουν καταγραφές σε μικρές σχετικά αποστάσεις, περίπου ως τα 40 km. Σεισμοί με μεγάλα μεγέθη καταγράφονται σε μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις. Για σεισμούς με μεγέθη $M_w \geq 6.0$ υπάρχουν διαθέσιμες καταγραφές σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 20-40 km, δηλαδή υπάρχει έλλειψη παρατηρήσεων ισχυρών σεισμών στο κοντινό πεδίο (Σχήμα 3.8).

Στο Σχήμα 3.9(α) παρουσιάζονται οι καταγεγραμμένες τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση (R). Παρατηρείται μια πύκνωση των τιμών για αποστάσεις έως 40 km με αντίστοιχες τιμές PGA ως και 100 cm/sec^2. Μεγάλες τιμές επιτάχυνσης παρατηρούνται σε μικρές αποστάσεις από το επίκεντρο και μικρές επιταχύνσεις σε μεγάλες αποστάσεις από αυτό. Το γεγονός είναι αναμενόμενο διότι οι μεγάλες τιμές επιτάχυνσης παρατηρούνται μακριά από το κοντινό πεδίο μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως σε σεισμούς με έντονα φαινόμενα κατευθυντικότητας, ειδικές εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής κ.λ.π.. Αντίστοιχες παρατηρήσεις ισχύουν και για το Σχήμα 3.9(β) που απεικονίζει την κατανομή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με το μέγεθος ροπής (M_w) των καταγραφών ισχυρής σεισμικής κίνησης.



Σχήμα 3.8: Κατανομή των επικεντρικών αποστάσεων (R) σε συνάρτηση με το μέγεθος ροπής (M_w) των καταγραφών ισχυρής σεισμικής κίνησης που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία Παπαζάχου Κ. και Παπαϊωάννου Χ (2001).



Σχήμα 3.9: Κατανομή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση (R) και σε συνάρτηση με το μέγεθος ροπής (M_w) των καταγραφών ισχυρής σεισμικής κίνησης που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία Παπαζάχου Κ. και Παπαϊωάννου Χ. (2001).

Για τον καθορισμό των σχέσεων απόσβεσης οι Παπαζάχος Κ., και Παπαϊωάννου Χ (2001), εξέτασαν τις ακόλουθες σχέσεις:

$$LnY = c_0 + c_1 M_w + c_2 \ln(R+R_0) + c_3 S \qquad (3.2)$$

$$LnY = c_0 + c_1 M_w + c_2 \ln(R^2+h_0^2)^{1/2} + c_3 S \qquad (3.3)$$

Ο όρος S περιγράφει την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών και οι σταθερές c_0, c_1 c_2 και c_3 είναι παράμετροι του μοντέλου. Οι σχέσεις (3.2) και (3.3) είναι σχεδόν ταυτόσημες. Η μόνη διαφορά είναι ότι η δεύτερη σχέση χρησιμοποιεί την υποκεντρική απόσταση $(R^2+h_0^2)^{1/2}$, όπου h_0 είναι το ενεργό βάθος του σεισμού, δηλαδή το βάθος έκλυσης της σεισμικής ενέργειας. Υιοθετήθηκε η τιμή h_0 = 7 km που αντιστοιχεί τόσο στο μέσο όρο των βαθών των σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν όσο και στο μέσο ενεργό βάθος που έχει υπολογιστεί από μακροσεισμικά αποτελέσματα του Ελληνικού χώρου (Παπαζάχος και Παπαϊωάννου, 1997). Ομοίως υιοθετήθηκε η τιμή R_0 = 6 km. Για τις PGV και PGD, οι τιμές h_0 και R_0 που υιοθετήθηκαν είναι αντίστοιχα 5 και 6 km.

Όσον αφορά τις εδαφικές συνθήκες, οι σχέσεις (3.2) και (3.3) οδηγούν σε μια ανάγκη ποσοτικοποίησης της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην ισχυρή

σεισμική κίνηση μέσω ενός απλού γραμμικού όρου. Χρησιμοποιήθηκε μια απλή γραμμική αντιστοιχία $B \Leftrightarrow S=0$, $C \Leftrightarrow S=1$ και $D \Leftrightarrow S=2$ για τους τρεις τύπους εδαφικών συνθηκών, κατά UBC 1997. Η αντιστοιχία αυτή είναι αυθαίρετη, αφού δεν είναι απαραίτητο η ποσοτική επίδραση της μετάβασης $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$ να είναι ίδια.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω παραμέτρους υπολογίστηκαν κατάλληλες σχέσεις απόσβεσης για τις μέγιστες οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής επιτάχυνσης PGA, ταχύτητας PGV και μετάθεσης PGD, οι οποίες δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\ln PGA = 4.16 + 0.69M_W - 1.24\ln(R+6) + 0.12S \pm 0.70 \quad (3.4)$$

$$\ln PGA = 3.52 + 0.70M_W - 1.14\ln(R^2+7^2)^{1/2} + 0.12S \pm 0.70 \quad (3.5)$$

$$\ln PGV = -1.51 + 1.11MW - 1.20\ln(R+5) + 0.29S \pm 0.80 \quad (3.6)$$

$$\ln PGV = -2.08 + 1.13MW - 1.11\ln(R2+62)1/2 + 0.29S \pm 0.80 \quad (3.7)$$

$$\ln PGD = -6.63 + 1.66MW - 1.34\ln(R+5) + 0.50S \pm 1.08 \quad (3.8)$$

$$\ln PGD = -7.26 + 1.68MW - 1.34\ln(R2+62)1/2 + 0.50S \pm 1.08 \quad (3.9)$$

Ο τελευταίος όρος κάθε σχέσης δίνει με τη μορφή μεταβολής το τυπικό σφάλμα κάθε σχέσης, το οποίο υπολογίστηκε από τα δεδομένα. Γενικά όλες οι σχέσεις απόσβεσης εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά. Χαρακτηριστική θεωρείται η επίδραση των εδαφικών συνθηκών που οδηγεί σε συστηματική ενίσχυση της ισχυρής σεισμικής κίνησης σε πιο μαλακά εδάφη, σε σύγκριση με τα πιο βραχώδη εδάφη. Οι προτεινόμενες εμπειρικές σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα διάστημα αποστάσεων $5 \leq R(km) \leq 120$ και μεγεθών $4.5 \leq M \leq 7.0$.

3.3 Κατολισθήσεις

Οι κατολισθήσεις είναι γεωλογικά φαινόμενα, αφού σχετίζονται άμεσα με τις μεταβολές της γήινης επιφάνειας, όσον αφορά τη μορφολογία της και τη γεωλογική της δομή. Ως κατολισθητικά φαινόμενα, χαρακτηρίζονται γενικά οι κινήσεις πετρωμάτων ή εδαφικού υλικού με διάφορη ταχύτητα, από μια υψηλότερη θέση μιας

κλιτύος, προς μία χαμηλότερη, υπό την επίδραση της βαρύτητας και αφού έχει προηγουμένως διαταραχθεί η κατάσταση ισορροπίας της κλιτύος.

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων αποτελεί μια από τις περισσότερο καταστροφικές φυσικές καταστροφές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι επιπτώσεις από την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων είναι ιδιαίτερα οδυνηρές τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Οι καταστροφές μπορούν να διακριθούν σε :

- **Άμεσες**: Ανθρώπινες απώλειες, καταστροφές οικιστικών–κοινωφελών-βιομηχανικών εγκαταστάσεων, συγκοινωνιακών και τηλεπικοινωνιακών γραμμών, δικτύων κοινής ωφέλειας, καλλιεργούμενων και δασικών εκτάσεων.

- **Έμμεσες**: Δημιουργία κοινωνικής αναστάτωσης, μείωση της τοπικής βιομηχανικής και αγροτικής παραγωγικότητας, γενικότερες οικονομικές επιπτώσεις από την διακοπή των συγκοινωνιακών γραμμών, πιθανές πλημμύρες από καταστροφή κοίτης κ.ά.

Πρέπει να τονιστεί επίσης ότι οι ζημιές από κατολισθητικά φαινόμενα είναι ιδιαίτερα μεγάλες συγκρίνοντας τις με άλλες φυσικές καταστροφές, όπως σεισμούς, πλημμύρες κ.ά.. Έτσι, στο σεισμό της Αλάσκα του 1964 οι περισσότερες ζημιές οφείλονταν κυρίως σε κατολισθητικά φαινόμενα, παρά στις απευθείας ζημιές που επέφερε η σεισμική δόνηση στις κατασκευές (Schuster, 1976). Στην Ιαπωνία, για την περίοδο 1967–1983, ο μέσος ετήσιος όρος νεκρών από κατολισθητικά φαινόμενα ήταν 150, ενώ από όλες τις φυσικές καταστροφές μαζί (σεισμούς, πλημμύρες, κατολισθήσεις κ.λ.π.) ήταν 250 (Slope Failures Division, Japanese Ministry of Construction, -JMS-1984).

3.3.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε διάφορα είδη ανάλογα με το μηχανισμό γένεσης και κίνησης. Το σύστημα ταξινόμησης του **Varner** (1980) λαμβάνει υπόψη τον τύπο της κίνησης και τον τύπο του υλικού. Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης διακρίνει τις κατολισθήσεις σε καταπτώσεις, ανατροπές, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις, ροές και σύνθετες κινήσεις. Ανάλογα με το υλικό που κατολισθαίνει, τις διακρίνει σε κατολισθήσεις σε βραχώδες υπόβαθρο και σε κατολισθήσεις σε μηχανικά εδάφη.

Όσον αφορά την ταξινόμηση με βάση έναν ομοιόμορφο τρόπο μηχανικής συμπεριφοράς και ενιαίας αντιμετώπισης, χωρίς να λαμβάνεται τόσο υπόψη ο γεωλογικός παράγοντας, χρησιμοποιείται η ταξινόμηση του International Cooperation Agency του Japan Technical Erosion Center (J.I.C.A., 1984) και της Japan Road Association (J.R.A, 1984). Σύμφωνα με αυτήν, οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε τέσσερις τύπους, ως εξής:

► Κατολισθήσεις ολισθαίνουσας μάζας μικρού πάχους:

Εδώ ανήκουν οι κατολισθήσεις το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά τα 3–4 m. Το ολισθαίνων έδαφος είναι πολύ έντονα διαταραγμένο και κορεσμένο σε νερό. Συνήθως σχετίζονται με έντονες βροχοπτώσεις.

► Κατολισθήσεις μικρής κλίμακας–Αστοχίες πρανούς:

Το σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης έχει γενικά σχήμα τόξου κύκλου. Συμβαίνουν συνήθως ύστερα από διενέργεια εκσκαφών και σε μέρη όπου συγκεντρώνεται υπόγειο νερό. Είναι επίσης πιθανό να ενεργοποιηθούν έπειτα από σεισμούς ή και από εκτεταμένες βροχοπτώσεις.

► Κατολισθήσεις μεγάλης κλίμακας:

Οι κατολισθήσεις αυτού του τύπου, παρουσιάζουν σε τομή το σχήμα πολλαπλού τόξου. Η εδαφική μάζα αποτελείται από ενιαίους αλληλοεπηρεαζόμενους όγκους. Το βάθος τους κυμαίνεται από 15-30 m και το συνολικό τους μήκος συχνά υπερβαίνει τα 500 m. Η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται στο στρώμα που διαχωρίζει το σταθερό, συνήθως βραχώδες υπόβαθρο από την ολισθαίνουσα εδαφική μάζα. Οφείλονται αρκετά συχνά στη μακροχρόνια τροφοδότηση του υπόγειου ορίζοντα με νερό από τη βροχή και το λιώσιμο του χιονιού.

► Κατολισθήσεις βραχωδών μαζών:

Εκδηλώνονται κατά μήκος ασθενών επιπέδων (ασυνεχειών) ελαττωμένης αντοχής και εξελίσσονται σχετικά γρήγορα. Η μορφολογική διαπίστωση των ορίων της κατολίσθησης είναι πολύ δύσκολη. Τα γενεσιουργά τους αίτια είναι οι σεισμοί, οι εκσκαφές και οι πλευρικές πιέσεις του νερού.

3.3.2 Αιτίες εκδήλωσης κατολισθήσεων

Μια κατολίσθηση δεν μπορεί να αποδοθεί σε ένα μόνο αίτιο. Οι παράγοντες που οδηγούν σε κατολισθητικά φαινόμενα είναι η γεωλογία μιας περιοχής, η εδαφική κάλυψη, η θερμοκρασία του επιφανειακού εδάφους, το υπόγειο νερό, η κλίση του εδάφους, το υψόμετρο κ.ά. Στο σύνολο σχεδόν των περιπτώσεων η δράση των αιτιών είναι συνδυασμένη και περίπλοκη. Τα αίτια κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Σύσταση και δομή των γεωλογικών σχηματισμών
- Γεωμορφολογία
- Κλιματικές συνθήκες
- Ανεξάρτητοι εξωτερικοί παράγοντες που: α) αυξάνουν τη διατμητική τάση και β) μειώνουν τη διατμητική αντοχή.

1. Σύσταση και δομή των γεωλογικών σχηματισμών.

Οι περισσότερο επικίνδυνοι σχηματισμοί για εκδήλωση κατολισθήσεων είναι οι ακόλουθοι: χαλαροί άμμοι, μάργες, αργιλικά πετρώματα, χαλαρά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, οργανικά ιζήματα, υλικά αποσάθρωσης, σχιστοκερατολιθική διάπλαση, φλύσχης, γύψοι, λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι και αποσαθρωμένοι σχιστόλιθοι και γρανίτες. Η κατολισθητικότητα επηρεάζεται ακόμη από το βαθμό συνεκτικότητας των πετρωμάτων, τη διογκωσιμότητά τους, το πάχος και τη διάταξη των στρωμάτων, την ύπαρξη ασυνεχειών και τον προσανατολισμό αυτών, την παρουσία ζωνών διάρρηξης, σχιστότητας, φύλλωσης, συστηματικών διακλάσεων κ.λ.π. Επίσης μεγάλο ρόλο παίζει η εναλλαγή των πετρωμάτων των γεωλογικών σχηματισμών και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που εναλλάσσονται ψαθυρά με συμπαγή, καθώς επίσης και διαπερατά με αδιαπέρατα. Η ετερογένεια αυτή μειώνει τη διατμητική αντοχή.

2. Γεωμορφολογία και περιβάλλον.

Η μεταβολή της κλίσης ή του ύψους ενός πρανούς επιφέρει μεταβολή στην ισορροπία των τάσεων του πετρώματος και προκαλεί αύξηση των δυνάμεων που προκαλούν μετατόπιση τεμαχίων. Μπορεί να προκληθεί με έκπλυση και αφαίρεση υλικών από τη βάση του πρανούς λόγω φαινομένων διάβρωσης ή λόγω της δράσης ηπειρογενετικών

τεκτονικών κινήσεων. Επίσης προκαλείται τεχνητώς με εκχωμάτωση της βάσης του πρανούς, ή με διάφορες άλλες κατασκευαστικές διεργασίες.

3. Κλιματικές συνθήκες.

Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στην εκδήλωση των κατολισθήσεων είναι η συχνότητα, αλλά και η ένταση των βροχοπτώσεων. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις εκδηλώνονται σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Ακόμη, η θερμοκρασία του επιφανειακού εδάφους το καθιστά πιο επιρρεπές σε κατολίσθηση. Έχει διαπιστωθεί ότι η θερμοκρασία αυτή έχει άμεση σχέση με το βάθος του υπόγειου υδροφορέα. Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες (Shikada, 1994), τα εδάφη που ολισθαίνουν εμφανίζουν θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 24^0 C και 26^0 C.

4. Ανεξάρτητοι εξωτερικοί παράγοντες που αυξάνουν τη διατμητική τάση.

α) *Ξαφνική πρόσθετη επιφόρτιση*. Έχει σα συνέπεια την αύξηση της δύναμης μετατόπισης τεμαχίων και την αύξηση της τάσης του νερού στους πόρους συνεκτικών εδαφών. Συντελείται με μεταφορά και απόθεση υλικών λόγω της βαρύτητας σε επικλινείς περιοχές με τη μορφή κορημάτων, ή λόγω της δράσης του επιφανειακού νερού κυρίως κατά μήκος χειμάρρων και ποταμών. Άλλοι λόγοι είναι η κατασκευή κτιρίων–μεγάλων τεχνικών έργων, η δημιουργία επιχωμάτων για τεχνικά έργα, η αύξηση της βλάστησης στην περιοχή, η απόρριψη αδρανών ή άλλων υλικών κλπ.

β) *Μείωση πλευρικής αντιστήριξης πρανούς*. Συντελείται με ανθρώπινες δραστηριότητες (όπως εκσκαφή του πόδα, πτώση στάθμης τεχνητών λιμνών κ.ά..), διάβρωση του πόδα του πρανούς (λόγω ροής ποταμών ή δράσης θαλασσίων κυμάτων), υπόγειες διαβρώσεις, σύνθλιψη υποκείμενων πλαστικών σχηματισμών, και εκδήλωση προηγούμενων καταπτώσεων, ολισθήσεων, καθιζήσεων ή μεγάλων ρηγματώσεων που δημιουργούν νέα ασταθή πρανή.

γ) *Αύξηση της κλίσης του πρανούς*. Η προοδευτική αύξηση της κλίσης του πρανούς προκαλεί αύξηση των διατμητικών τάσεων. Μπορεί να οφείλεται στη διαδικασία εξέλιξης του γήινου αναγλύφου, το οποίο διαρκώς μεταβάλλεται, αλλά και σε ανθρώπινη παρέμβαση.

δ) *Σεισμοί και τεχνητές δονήσεις*. Προκαλούν κραδασμούς και ταλαντώσεις στα πετρώματα και επηρεάζουν την ισορροπία των πρανών. Ανάλογες δράσεις προκαλούνται από εκρήξεις με μεγάλη περιεκτικότητα εκρηκτικών, καθώς και από μηχανές που προκαλούν κραδασμούς.

ε) *Ανάπτυξη πλευρικών τάσεων*. Πλευρικές τάσεις οφείλονται σε ύπαρξη υδροστατικής πίεσης σε ρωγμές και έγκοιλα, στο πάγωμα του νερού των ρωγμών και των πόρων και στη διόγκωση των αργίλων, λόγω ενυδάτωσής τους.

4. Ανεξάρτητοι εξωτερικοί παράγοντες που μειώνουν τη διατμητική τάση.

α) *Δράση του υπόγειου νερού.* Το υπόγειο νερό κινούμενο, επιφέρει στα τεμαχίδια του εδάφους μια πίεση που οδηγεί σε ελάττωση της σταθερότητας του πρανούς. Το υπόγειο νερό μπορεί ακόμα να παρασύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων. Έτσι, ελαττώνεται η εσωτερική σύνδεση των μορίων και η συνοχή του πετρώματος.

β) *Δράση του μετεωρικού νερού*. Το νερό της βροχής και του χιονιού εισέρχεται στις κατατμήσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η υδροστατική πίεση των πόρων στα χαλαρά πετρώματα. Έτσι, ελαττώνεται η συνοχή του πετρώματος.

γ) *Επίδραση παγετού.* Με τον παγετό μεγαλώνει κατά 9% ο όγκος του υπόγειου νερού μέσα στις κατατμήσεις. Οι υπάρχουσες κατατμήσεις λοιπόν διευρύνονται, ενώ δημιουργούνται και νέες.

δ) *Αποσάθρωση*. Η μηχανική και η χημική αποσάθρωση, ελαττώνουν συνεχώς τη συνοχή του πετρώματος.

ε) *Μεταβολή της βλάστησης.* Οι ρίζες των φυτών και των δέντρων, συντελούν στη σταθεροποίηση του εδάφους. Μεταβολή επομένως της βλάστησης των πρανών (λόγω πυρκαγιών ή εκχερσώσεων εδαφών) προκαλεί ελάττωση της συνοχής τους.

στ) *Επίδραση πανίδας.* Ορισμένοι ζωικοί οργανισμοί προκαλούν μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων, λόγω του πυκνού επίγειου συστήματος οπών που διανοίγουν ή λόγω της χημικής διάβρωσης.

3.3.3 Συχνότητα των κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο και επιπτώσεις τους

Στην Ελλάδα, λόγω της πολυσύνθετης γεωλογικής κατασκευής της και της έντονης τεκτονικής, έχουν σημειωθεί κατά καιρούς αρκετές κατολισθήσεις. Οι μεγάλες κλιματολογικές διαφοροποιήσεις και οι ακραίες κλιματολογικές συνθήκες, η έντονη διαφοροποίηση στη λιθοστρωματογραφική διάρθρωση, η έντονη τεκτονική παραμόρφωση και η υψηλή σεισμικότητα είναι οι κυριότερες αιτίες εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων στη χώρα μας.

Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί η κατολίσθηση στο Μικρό Χωριό Καρπενησίου που εκδηλώθηκε το 1963 και προκάλεσε το θάνατο 13 ανθρώπων και την καταστροφή του χωριού. Η κατολίσθηση κατά μήκος της εθνικής οδού Αθηνών–Λαμίας στο ύψος της Μαλακάσας που έλαβε χώρα το 1995, επέφερε σημαντική οικονομική επιβάρυνση στην Εθνική Οικονομία με ποσά άνω του 1 δισεκατομμυρίου δραχμών. Από την κατολίσθηση αυτή καταστράφηκε τμήμα του οδοστρώματος μήκους 80 μέτρων καθώς και η σιδηροδρομική γραμμή του ΟΣΕ. Το Νοέμβριο του 1997, έπειτα από έντονη βροχόπτωση σημειώθηκε κατολίσθηση στη Νέα Εθνική Οδό Θεσσαλονίκης–Σερρών, σε ένα τμήμα μήκους 160 μέτρων. Η κατολίσθηση αχρήστευσε τότε για μεγάλο χρονικό διάστημα το τμήμα αυτό της Εθνικής οδού. Παρόμοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί σε τμήματα των εθνικών οδών Κορίνθου-Πατρών, Πρέβεζας–Ηγουμενίτσας, στα Τέμπη, στο τμήμα του δρόμου Αρχαίας Συκεώνας–Καλαβρύτων, Ρεθύμνου–Αγ. Γαλήνης κ.ά..

Η εμπειρία και η εξέλιξη των γεωεπιστημών έχει αποδείξει ότι η γεωλογική κατάσταση είναι στενά συνδεδεμένη με τα καταστροφικά φαινόμενα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.1, όπου αναγράφονται οι συχνότητες των κατολισθήσεων σε ποσοστά επί τοις εκατό στις διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας, η ζώνη της Πίνδου και η Πελαγονική πλήττονται περισσότερο από όλες τις ζώνες. Αντίθετα το φαινόμενο θεωρείται πιο σπάνιο στην Περιροδοπική ζώνη.

Στη Δυτική Ελλάδα (Πελαγονική ζώνη, ζώνη Πίνδου) η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών, η σχετικά πρόσφατη ηλικία σχηματισμού τους και η νεοτεκτονική δράση, σε συνδυασμό με το μεγάλο ποσοστό των βροχοπτώσεων, δημιούργησαν ευνοϊκές συνθήκες για την εκδήλωση κατολισθήσεων μεγάλης συχνότητας. Αντίθετα

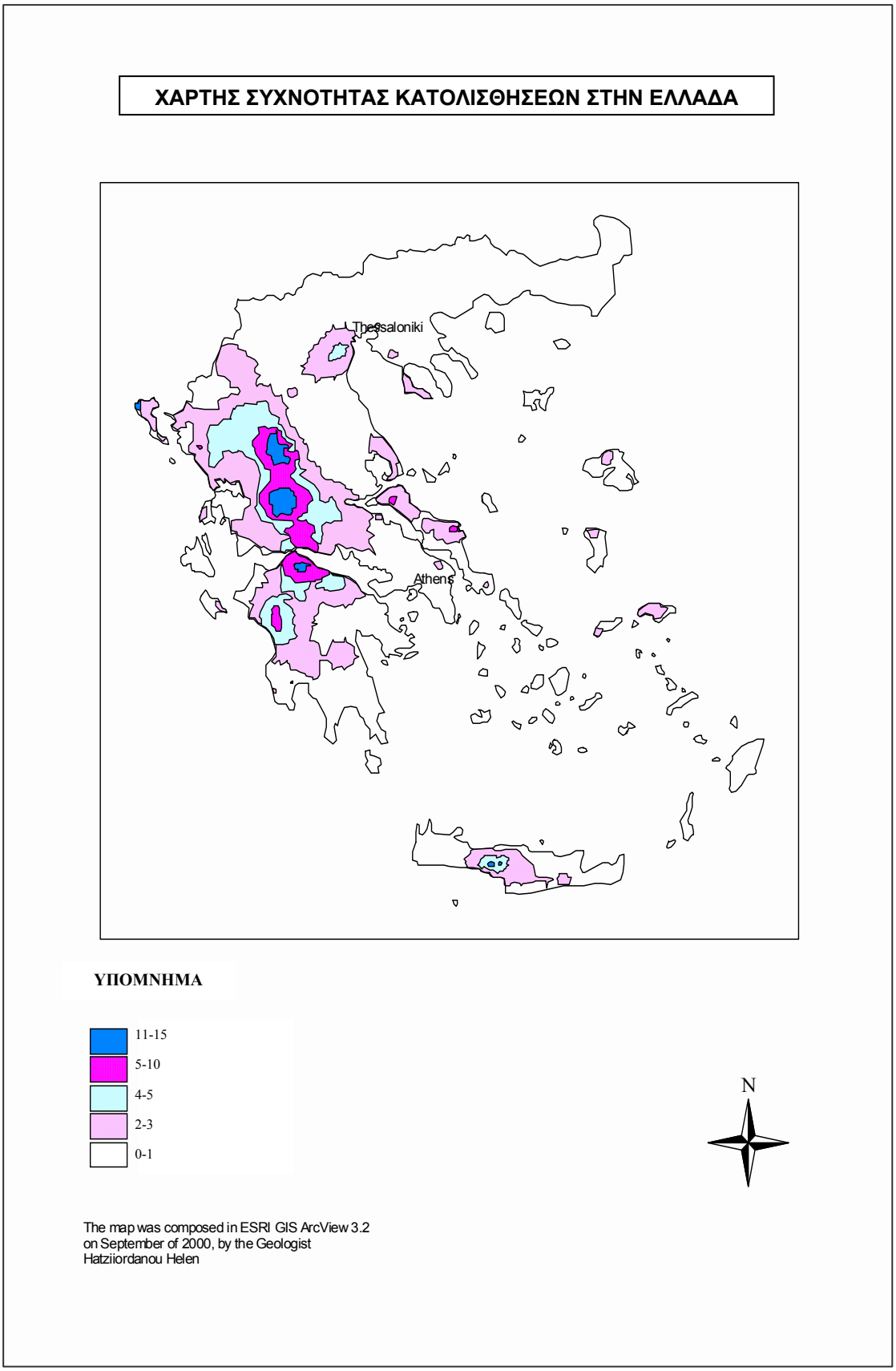
στην Ανατολική Ελλάδα (Περιροδοπική), που αποτελείται κυρίως από συμπαγή και συνεκτικά πετρώματα μεγάλου πάχους (κρυσταλλοσχιστώδες προαλπικό υπόβαθρο), το φαινόμενο εμφανίζεται μειωμένο. Επιπλέον το χαμηλότερο ανάγλυφο, οι μικρότερης έντασης βροχοπτώσεις και η πιο ήπια τεκτονική, δεν επιβαρύνουν τόσο την κατάσταση.

Πίνακας 3.2: Συχνότητες κατολισθήσεων στις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (%) (κατά R. Oliveira, L. F. Rodrigues, A. G. Coelho & A. P. Cunha)

Γεωτεκτονική ζώνη	**Συχνότητα %**
ΡΟΔΟΠΗΣ	3.00
ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ	0.33
ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗ	0.00
ΑΞΙΟΥ	2.66
ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ	41.67
ΠΑΡΝΑΣΣΟΥ	4.00
ΠΙΝΔΟΥ	36.67
ΓΑΒΡΟΒΟΥ	4.33
ΙΟΝΙΟΣ	5.00
ΠΑΞΩΝ	2.33

Από καταγραφές των αρμόδιων κρατικών φορέων (Υπουργείο Βιομηχανίας, Υπουργείο Συντονισμού, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, Υπουργείο Γεωργίας, ΙΓΜΕ, Πανεπιστήμια κλπ.) διαπιστώθηκε ότι την μεταπολεμική περίοδο εκδηλώθηκαν στον ελληνικό χώρο πάνω από 500 κατολισθήσεις. Ο συνολικός αριθμός θα πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερος, δεδομένου ότι ο παραπάνω αριθμός αφορά μόνο κατολισθήσεις κατά μήκος του οδικού δικτύου και μέσα σε οικιστικούς χώρους, δηλαδή κατολισθήσεις με κάποια οικονομική ή κοινωνική επίπτωση. Παρά το γεγονός όμως ότι το φαινόμενο των κατολισθήσεων στην Ελλάδα είναι εξαιρετικά εκτεταμένο, δεν υπάρχουν συστηματικά καταγεγραμμένες οι ζημιές.

Έρευνα του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής του ΑΠΘ, έδειξε ότι το ετήσιο κόστος ανέρχεται σε εκατοντάδες χιλιάδες ευρώ. Είναι επομένως φυσικό, το φαινόμενο να απασχολεί αρκετά τους γεωεπιστήμονες, προς αποφυγή των δυσμενών κοινωνικών και οικονομικών συνεπειών.



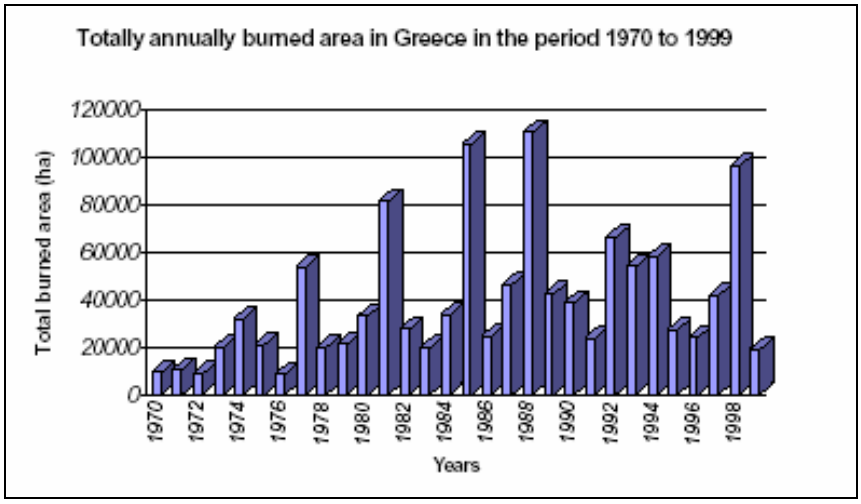
Σχήμα 3.10: Χάρτης συχνότητας των κατολισθήσεων του Ελλαδικού χώρου (Πηγή: Περιοδικό ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ 58/1989).

3.4 Δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα σε διεθνές επίπεδο. Οι επιπτώσεις τους είναι μεγάλες σε κοινωνικό, οικολογικό και οικονομικό επίπεδο. Περιλαμβάνουν ζημιές σε φυσικούς πόρους (βλάστηση, έδαφος, υδατικοί πόροι), ενώ συνοδεύονται και από απώλειες ανθρώπινων ζωών, πανίδας και ιδιοκτησιών. Αποτελούν σημαντικό παράγοντα περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, μια και η ανάπτυξή τους συνοδεύεται από εκλύσεις διοξειδίου του άνθρακα και άλλων θερμοκηπικών αερίων. Συντελούν έτσι σε μεγάλο βαθμό στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας και στην αύξηση της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας και της κατώτερης ατμόσφαιρας και συνεπώς στη μεταβολή του κλίματος της γης.

Η καταστροφή της χλωρίδας των δασών από τις πυρκαγιές έχει έμμεσες επιπτώσεις στην εξισορρόπηση της υγρασίας και στη ρύθμιση του περιβάλλοντος του πλανήτη. Η βλάστηση συμβάλλει στη μετακίνηση αερίων μαζών, στη θερμοκρασιακή εναλλαγή κατά τη διάρκεια της ημέρας και συντελεί στη σταθεροποίηση του μικροκλίματος ενός τόπου. Τέλος, δημιουργεί και συντηρεί το γόνιμο έδαφος και υποστηρίζει την αναπαραγωγή και τον εμπλουτισμό της βιόσφαιρας καθώς και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Υπολογίζεται ότι ο θάνατος ενός φυτικού είδους και οι συνέπειές του πάνω στις τροφικές αλυσίδες μπορεί να οδηγήσει σε εξαφάνιση πάνω από τριάντα είδη ζώων.

Τα τελευταία χρόνια διάφοροι λόγοι συνετέλεσαν στην αύξηση των πυρκαγιών παγκοσμίως. Οι Μεσογειακές χώρες πλήττονται από αυτό το φυσικό φαινόμενο σε μεγάλο βαθμό ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Στην Ελλάδα, τον Ιούλιο του 1997 μεγάλο τμήμα του δάσους Σέιχ-Σου της Θεσσαλονίκης καταστράφηκε από πυρκαγιά, με αποτέλεσμα η πόλη να κινδυνεύει από τις πλημμύρες παρόλες τις προσπάθειες αποκατάστασης και αναδάσωσης που γίνονται. Το καλοκαίρι του 2000, το νησί της Σάμου υπέστη τις καταστροφικές συνέπειες της φωτιάς, με απώλειες ιδιοκτησιών και ανθρώπινων ζωών. Γίνεται επομένως αντιληπτό πόσο επιτακτική είναι η ανάγκη ύπαρξης αποτελεσματικών συστημάτων παρακολούθησης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών.



Σχήμα 3.11: Καμένες εκτάσεις από πυρκαγιές στην Ελλάδα, τη χρονική περίοδο 1970-1999.

3.4.1 Αιτίες εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές οφείλονται κυρίως στην ανθρώπινη επέμβαση και πιο σπάνια σε περιπτώσεις κεραυνών. Η ανεξέλεγκτη καύση καλλιεργειών για γεωργικούς σκοπούς και η απροσεξία πολλών διερχόμενων μπορεί να αποτελέσει την βασική αιτία έναρξης πυρκαγιάς σε ένα δάσος. Δεν αποκλείονται επίσης και τα φαινόμενα "επιτήδειου" εμπρησμού για λόγους εκμετάλλευσης της πληγείσας περιοχής.

Ανεξάρτητα όμως από την αιτία πρόκλησης μιας πυρκαγιάς, ο βαθμός διάδοσής της και η ευκολία στην καταστολή και έλεγχο της πυρκαγιάς εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες. Αυτοί είναι:

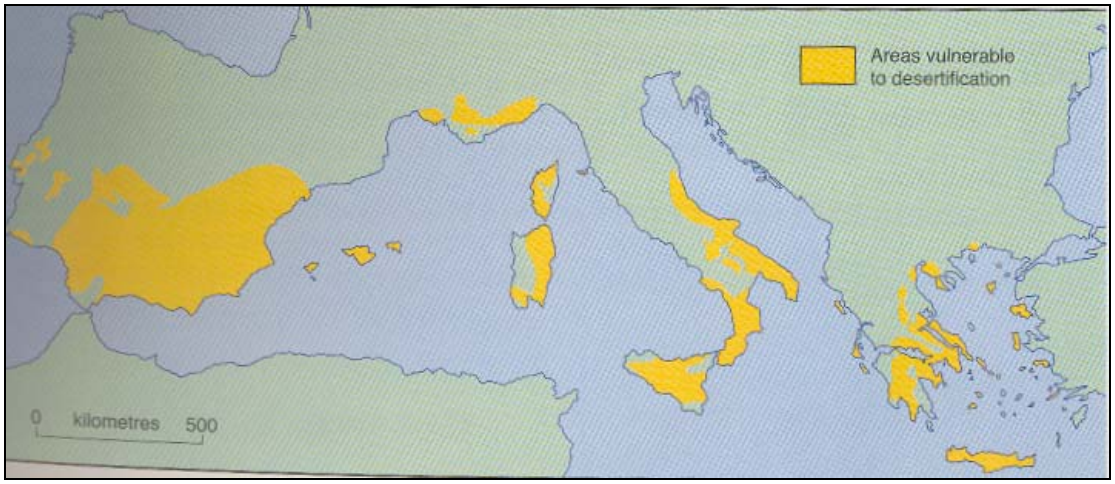
- Η καύσιμη ύλη.
- Η γεωμορφολογία της περιοχής.
- Οι αποστάσεις από το υδρογραφικό δίκτυο.
- Οι κλιματικές συνθήκες.

Το είδος της βλάστησης του δάσους που αποτελεί την καύσιμη ύλη, επηρεάζει τόσο την εκδήλωση όσο και την επέκταση των ορίων της πυρκαγιάς. Έχει παρατηρηθεί ακόμη, ότι σε περιοχές με ομαλές κλίσεις η διάδοση της πυρκαγιάς γίνεται σε ελάχιστο χρόνο. Οι υδάτινοι αποδέκτες και το υδρογραφικό δίκτυο δρουν επιβραδυντικά στη διάδοση της πυρκαγιάς. Τέλος, το κλίμα θεωρείται από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση και διάδοση των πυρκαγιών. Ο

συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών, με χαμηλά ποσοστά υγρασίας της ατμόσφαιρας και με αυξημένους ανέμους επιταχύνει τη διαδικασία διάδοσης της πυρκαγιάς και καθιστά το έργο των μονάδων καταστολής της δύσκολο.

3.5 Ερημοποίηση και διάβρωση

Ερημοποίηση είναι η υποβάθμιση των πόρων στα ξηρά εδάφη που δημιουργεί περιβάλλον ερήμου. Συντελείται από ένα σύνολο αλληλένδετων ενεργειών, σε συνδυασμό με την ανθρώπινη επέμβαση. Πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο έχει προκαλέσει ιδιαίτερη ανησυχία τα τελευταία χρόνια στους επιστήμονες. Θεωρείται ότι συνδέεται με το φαινόμενο της αλλαγής του παγκόσμιου κλίματος και υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming), το οποίο οδηγεί σε ξηρασία και διάβρωση των εδαφών. Ως ξηρασία καλείται οποιαδήποτε ξηρή περίοδος σε έναν φυσικό κλιματολογικό κύκλο. Στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και στις συνθήκες που το οδηγούν σε αποσάθρωση και διάβρωση.



Σχήμα 3.12: Χάρτης των ευρωπαϊκών χωρών της Μεσογείου, που με κίτρινο χρώμα δείχνει τις περιοχές που είναι ευάλωτες προς ερημοποίηση.

3.5.1 Έδαφος

Το έδαφος αποτελεί το μέσο που χρειάζονται τα φυτά ως:

α) στήριγμα του ριζικού τους συστήματος

β) τόπο εφοδιασμού των ριζών με οξυγόνο

γ) μέσο για τη διατήρηση των μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τις βιολογικές διεργασίες των φυτών (ένζυμα, βακτήρια, κ.ά.).

δ) τροφοδότη των φυτών με νερό.

ε) πηγή τροφοδοσίας των φυτών και όλων των ζώντων οργανισμών με τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά.

Από το έδαφος αντλούν τα φυτά με το ριζικό τους σύστημα μεγάλες ποσότητες μακροστοιχείων (άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και θείο) καθώς και μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων (σίδηρος, μαγγάνιο, χαλκός, ψευδάργυρος, βόριο και μολυβδαίνιο). Υπό φυσικές συνθήκες το ανώτερο εξωτερικό όριο του εδάφους είναι τα οργανικά υπολείμματα, ενώ το κατώτερο εσωτερικό είναι το μητρικό πέτρωμα. Άρα συνίσταται από τα πετρώματα και τις οργανικές ύλες. Κάθε έδαφος διαθέτει την ικανότητα στήριξης μιας καθορισμένης ποσότητας φυτικής μάζας.

Η διαδικασία σχηματισμού νέου εδάφους ονομάζεται εδαφογένεση. Για την εδαφογένεση απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η παραμονή των προϊόντων της αποσάθρωσης του εδάφους ή μέρους αυτών στον τόπο της δράσης. Φαινόμενα όμως, όπως η έκπλυση με το νερό δρουν ενάντια στην εδαφογένεση και επιτείνουν το φαινόμενο της απογύμνωσης και διάβρωσης.

Διακρίνουμε τρία είδη αποσάθρωσης των πετρωμάτων: τη φυσική ή μηχανική αποσάθρωση, τη χημική και τη βιολογική αποσάθρωση.

<u>Φυσική αποσάθρωση</u>

Φυσική ή μηχανική αποσάθρωση καλείται ο κατακερματισμός των πετρωμάτων λόγω της επίδρασης φυσικών δυνάμεων. Οι κύριοι παράγοντες της φυσικής ή της μηχανικής αποσάθρωσης είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και ο άνεμος. Η θέρμανση των πετρωμάτων και των ορυκτών προκαλεί διαστολή και συστολή τους. Αναπτύσσονται έτσι τάσεις μεταξύ των θερμών και των ψυχρότερων τμημάτων του πετρώματος. Αυτό οδηγεί σε δημιουργία σχισμών ή ρωγμών στα πετρώματα. Η δράση του νερού στη φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων, οφείλεται στην ιδιότητα του νερού να αυξάνει σε όγκο, όταν έρθει σε μορφή πάγου.

Χημική αποσάθρωση

Αποτέλεσμα της χημικής αποσάθρωσης είναι η δημιουργία σωματιδίων διαφορετικής σύστασης από την αρχική τους. Οι σπουδαιότεροι παράγοντες της χημικής αποσάθρωσης είναι η διάλυση, η οξείδωση, η ενυδάτωση και η υδρόλυση.

Κατά τη διάλυση χημικών συστατικών σχηματίζονται κενά κωνικού σχήματος στην επιφάνεια του εδάφους (δολίνες και πόλγες). Το φαινόμενο της διάλυσης οφείλεται στην παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στο εδάφους, το οποίο αντιδρά με το $CaCO_3$ των ασβεστολίθων. Ο μετασχηματισμός του $CaCO_3$ οδηγεί στο σχηματισμό όξινου ανθρακικού άλατος, που είναι διαλυτό και μεταφέρεται σε κατώτερους εδαφικούς ορίζοντες. Η υδρόλυση είναι η αντίδραση των ιόντων του νερού (H^+ και OH^-) με τα άλατα. Κατά την υδρόλυση επέρχεται διάσπαση των αλάτων σε οξέα και βάσεις.

Βιολογική αποσάθρωση

Από τις βιολογικές διεργασίες των μικρόζωων, των ριζών κ.ά. σχηματίζεται στο έδαφος διοξείδιο του άνθρακα CO_2 που προκαλεί αντίδραση με το $CaCO_3$ των πετρωμάτων και κατά συνέπεια χημική αποσάθρωση. Επίσης οι ουσίες που εκκρίνονται από τα βακτήρια και τους μύκητες είναι δυνατό να επιδράσουν αποσαθρωτικά πάνω στα πετρώματα και τα ορυκτά. Ομοίως συμβαίνει με τα φύκη και τις λειχήνες.

3.5.2 Διάβρωση του εδάφους

Η διάβρωση του εδάφους είναι το αποτέλεσμα του διαμελισμού (αποσάθρωσης) και στη συνέχεια της μετακίνησης και απομάκρυνσης του χώματος από τα επιφανειακά στρώματα με τη δύναμη του νερού και του αέρος.

Η επιφανειακή ροή του νερού έχει ως συνέπεια τον μη εμπλουτισμό των υδροφόρων οριζόντων, την αύξηση της ποσότητας των φερτών υλικών (στερεομεταφορά) και της ιζηματογένεσης στις κοίτες και στις εξόδους (δέλτα) των ποταμών, τη μείωση της χωρητικότητας των υδατικών λεκανών και την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων.

Το φαινόμενο της διάβρωσης με τη δράση του νερού, είναι περισσότερο έντονο σε επικλινείς εκτάσεις με δυνατές βροχές. Αντίθετα η διάβρωση που προκαλείται από τον άνεμο λαμβάνει χώρα κυρίως σε επίπεδες περιοχές ή περιοχές με ομαλές κλίσεις πρανών.

Το φαινόμενο της έκπλυσης των εδαφών με το επιφανειακό νερό, είναι ιδιαίτερα έντονο σε περιοχές με εναλλαγές ξηρού και υγρού κλίματος κατά τη διάρκεια του έτους. Τότε η απογύμνωση υπερέχει της διαδικασίας της αποσάθρωσης και εδαφογένεσης, με αποτέλεσμα την απομάκρυνση των ανώτερων εδαφικών οριζόντων. Όταν το φαινόμενο επιτείνεται, υπάρχει ο κίνδυνος αποκάλυψης του μητρικού πετρώματος. Στο στάδιο αυτό της τελικής απογύμνωσης των εδαφών, είναι εξαιρετικά δύσκολη η ανάπτυξη νέας βλάστησης και πραγματοποιείται μόνο με ειδικές οικολογικές παρεμβάσεις και έπειτα από μεγάλο χρονικό διάστημα αναμονής.

Στις μεσογειακές χώρες, εξαιτίας της μακροχρόνιας και έντονης γεωργικής εκμετάλλευσης παρατηρούνται συχνά μεγάλες ασβεστολιθικές επιφάνειες χωρίς έδαφος, εξαιτίας της έντονης απογύμνωσης.

Η έκταση της διάβρωσης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- τη βροχή και την επιφανειακή απορροή,
- τη διαβρωσιμότητα του εδάφους,
- την κλίση του εδάφους,
- το εδαφικό βάθος,
- την εδαφοκάλυψη και κατεργασία.

Βροχοπτώσεις

Οι έντονες βροχές συνεπάγονται μεγαλύτερη κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής, που είναι δυνατόν να χαράξει το υπόστρωμα και να μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες υλικού. Πολύ σημαντικός είναι και ο ρόλος των εποχιακών διακυμάνσεων των βροχοπτώσεων. Σε ορισμένες περιοχές οι βροχοπτώσεις είναι έντονες μόνο μια συγκεκριμένη εποχή του χρόνου, ενώ το υπόλοιπο χρονικό διάστημα το κλίμα είναι ξηρό. Στην περίπτωση αυτή η επιφανειακή απορροή και η μεταφορά υλικών είναι μεγαλύτερη.

Διαβρωσιμότητα

Η δομή του εδάφους καθορίζεται από τις σχετικές αναλογίες άμμου, αργίλου και ιλύος. Η δομή επηρεάζει τη διαπερατότητα του εδάφους. Μεγάλη περατότητα σημαίνει ότι μικρότερη ποσότητα επιφανειακού νερού ρέει στην επιφάνεια του εδάφους.

Κλίσεις πρανών

Η εδαφική διάβρωση που οφείλεται στο νερό αυξάνεται με την αύξηση της κλίσης των πετρωμάτων και με την αύξηση του μήκους της επιφάνειας του πρανούς. Αντίθετα η αιολική διάβρωση του εδάφους, δεν σχετίζεται με την κλίση των πετρωμάτων. Ένας τρόπος μείωσης της κλίσης και της επιφάνειας του πρανούς και κατά συνέπεια του φαινομένου της διάβρωσης είναι η δημιουργία αναβαθμίδων και η καλλιέργεια σε αυτές. Ένας άλλος τρόπος μείωσης της διάβρωσης είναι η πυκνή δενδροφύτευση. Τα δέντρα με το ριζικό τους σύστημα συγκρατούν το έδαφος, ενώ παράλληλα το τροφοδοτούν με οργανικά υλικά που το κάνουν λιγότερο ευάλωτο σε διάβρωση. Τα εδάφη που είναι πλούσια σε οργανικά, αποτελούνται από συμπαγή συσσωματώματα με κύριο χαρακτηριστικό τους το μεγάλο πορώδες, που επιτρέπει τη δίοδο και αποθήκευση νερού στους βαθύτερους ορίζοντες.

Βάθος εδάφους

Ο βαθμός επίδρασης της ατμόσφαιρας και της βιόσφαιρας στο έδαφος μειώνεται με το βάθος. Το εδαφικό βάθος έχει άμεση σχέση με τη γεωργική εκμετάλλευση της περιοχής. Στα πλαίσια της προστασίας του εδάφους, η εκμετάλλευση πρέπει είναι προσαρμοσμένη στον τύπο του εδάφους. Δεν ενδείκνυται η εκμετάλλευση εδαφών με ετήσιες απαιτητικές καλλιέργειες, όταν αυτά χαρακτηρίζονται ως αβαθή και η κλίση της επιφάνειάς τους είναι μεγαλύτερη από 5 %. Τα πεδινά εδάφη τα οποία έχουν ικανοποιητικό βάθος είναι τα πλέον κατάλληλα για τις ετήσιες καλλιέργειες.

Ανάλογα με το βάθος των οριζόντων τους, τα εδάφη διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες δίδονται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Κατηγορίες εδαφών ως προς το εδαφικό βάθος.

Κατηγορίες εδαφών	Βάθος σε cm
αβαθή εδάφη	**< 30**
σχετικά βαθιά εδάφη	**30 - 100**
βαθιά εδάφη	**100 – 150**
πολύ βαθιά εδάφη	**> 150**

Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης εκφράζουν την κοινωνικο-οικονομική κατάσταση μιας περιοχής. Η διάκρισή τους αφορά περιοχές που χρησιμοποιούνται για οικιστικούς σκοπούς, για βιομηχανικούς, για γεωργικούς, για δασικούς κλπ. Οι κυριότερες κατηγορίες χρήσεων γης είναι: αστική, καλλιεργούμενες εκτάσεις, βοσκοτόπια και δάση.

Όσον αφορά την επίδραση των καλλιεργούμενων εκτάσεων στη διάβρωση, έχει διαπιστωθεί ότι η καλλιέργεια ενός μόνο είδους σε μια περιοχή, οδηγεί σταδιακά σε διάβρωση. Καταρχήν, όταν καλλιεργείται ένα είδος βλάστησης, αυτό συνεπάγεται την ταυτόχρονη συγκομιδή του την ίδια εποχή του χρόνου και επομένως την απογύμνωση μεγάλης έκτασης του εδάφους. Έτσι το έδαφος εκτίθεται περισσότερο διότι τα όμβρια ύδατα δεν συγκρατούνται από αυτό μέσω του ριζικού συστήματος της βλάστησης, αλλά ρέουν επιφανειακά. Περιοχές με μεγάλες κλίσεις που εμφανίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο διάβρωσης, και περιοχές με πετρώματα ευάλωτα στη διάβρωση, είναι προτιμότερο να καλύπτονται μόνιμα από καλλιέργειες διαφόρων ειδών. Η τεχνική που θέτει σε λιγότερο κίνδυνο τα εδάφη, είναι η φύτευση με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αφήνονται κενά μεταξύ των διαφορετικών καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες σε σειρές (π.χ αμπέλια), αφήνουν μεγάλα τμήματα εδάφους ακάλυπτα και εκτεθειμένα στην επιφανειακή απορροή.

Η υπερβόσκηση είναι επίσης ένα σημαντικό πρόβλημα που μειώνει τη βιοποικιλότητα και απογυμνώνει τα εδάφη, κάνοντάς τα πιο ευάλωτα στη διάβρωση. Επιπλέον, η καταπάτηση της όχθης των ποταμών από τα ζώα κατά την ανεξέλεγκτη βοσκή τους, οδηγεί σε πρόωρη ιζηματογένεση στα ποτάμια και διάβρωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Σημαντικότητα Λασιθίου

Η Κρήτη κατέχει μια μοναδική γεωγραφική θέση στην Ανατολική Μεσόγειο. Κατέστη από πολύ νωρίς το σταυροδρόμι τριών ηπείρων, της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής που συνέθεταν τον τότε αρχαίο κόσμο. Οι ακτές της δεν είναι όλες προσπελάσιμες. Οι ακτές της Νότιας Κρήτης είναι σχεδόν όλες απόκρημνες με μόνη σημαντική εξαίρεση τον κόλπο της Μεσσαράς. Σύμφωνα μάλιστα με τον Αριστοτέλη η κύρια επικοινωνία της Κρήτης και οι εμπορικές συναλλαγές πραγματοποιούνταν από τα λιμάνια των βορειοανατολικών ακτών της. Η επικοινωνία με την υπόλοιπη Ελλάδα από τη βορειοδυτική πλευρά της ήταν δύσκολη και επικίνδυνη για την ναυσιπλοΐα. Επιπλέον η εγγύτητα του ανατολικού τμήματος με τα νησιά Κάσος, Κάρπαθος και Ρόδος και με την Μικρά Ασία, συνετέλεσε σε μεγάλη ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας στην Ανατολική Κρήτη.

Υπάρχει επίσης η άποψη (Σπυριδάκης, 1970) ότι εάν οι πρώτοι κάτοικοι της Κρήτης προέρχονται από την Ασία, ακολούθησαν αυτή τη σχετικά εύκολη πρόσβαση στο νησί ώστε να θεωρείται σχεδόν βέβαιη η διαχρονική επικοινωνία με τους λαούς της Μέσης Ανατολής. Αυτή η γέφυρα επικοινωνίας σε συνδυασμό με την γεωγραφική της θέση αποτέλεσε και το λόγο για τον οποίο η αρχαία πόλη της Ιτάνου στο Βορειοανατολικό άκρο της Κρήτης, απόκτησε μεγάλη στρατηγική σημασία, με αποτέλεσμα να δεσπόζει στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου. Γεωγραφικά, η Ίτανος βρίσκεται σε μια περιοχή ανάμεσα σε δύο κόλπους, στον ένα από τους οποίους πιθανολογείται η ύπαρξη αρχαίου λιμανιού. Στην περιοχή υπάρχουν τα ερείπια αρχαίων κτισμάτων που μαρτυρούν την ύπαρξη της πόλης στους ελληνιστικούς και ρωμαϊκούς χρόνους. Από την ύπαρξη των ερειπίων δύο ή πιθανώς τριών άλλων εκκλησιών, φαίνεται ότι η πόλη άνθησε κατά την πρώιμη Χριστιανική εποχή.

Ιστορικά, η Ανατολική Κρήτη αναφέρεται ως η περιοχή των αυτοχθόνων Κρητών ή αλλιώς περιοχή των Ετεοκρητών, που ήταν και οι παλιότεροι κάτοικοι της νήσου. Η περιοχή τους, η ανατολική Κρήτη είχε κυριότερες πόλεις την Πραισό, την Ιεράπυτνα, την Ίτανο, την Λατώ κλπ. Στο νοτιοανατολικό τμήμα της Κρήτης κυριαρχούσαν σύμφωνα με ιστορικές πηγές (Σπυριδάκης, 1970) δυο βασικές πόλεις, η Ιεράπυτνα

και η Πραισός. Η Πραισός ήταν η πόλη που κυριαρχούσε στην περιοχή, ακολουθώντας επεκτατική πολιτική που ανάγκασε τους κατοίκους της Ιτάνου να ζητήσουν την Αιγυπτιακή βοήθεια. Μερικές από τις πρώτες ενδείξεις για Αιγυπτιακή παρουσία στην Ίτανο δίνονται από ερείπια γρανιτικών κολόνων και από την ύπαρξη πληθώρας φοινίκων. Κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους, όλη η νότια Κρήτη (Γόρτυνα, Ιεράπυτνα, Ίτανος), απέκτησε στρατηγική σημασία για τους Ρωμαίους λόγω της σχετικά εύκολης επικοινωνίας με την Αλεξάνδρεια και τις άλλες αιγυπτιακές και γειτονικές περιοχές. Οι επαφές της Κρήτης με την Μέση Ανατολή και Αίγυπτο ήταν μεγάλης σημασίας τόσο για την εξέλιξη της ίδιας της Κρήτης όσο και για τον τότε δυτικό κόσμο.

Η Κρήτη κατάφερε να γίνει μια γέφυρα που ένωσε τον τότε ανατολικό με το δυτικό κόσμο της εποχής, αποτελώντας έτσι μεταφορέα πολιτισμικών στοιχείων και καθιστώντας τα αρχαιολογικά της ευρήματα εξαιρετικής σημασίας.

4.2 Αρχαιότητες Νομού Λασιθίου



<u>Σχήμα 4.1:</u> Χάρτης νου νομού Λασιθίου με τις κυριότερες αρχαιολογικές θέσεις.

Αρχαιολογική Περιοχή Λατούς

Η Λατώ ήταν μία από τις σημαντικότερες πόλεις-κράτη Δωριέων στην Κρήτη. Ήταν κτισμένη ανάμεσα σε δύο λόφους, σε σημείο που της παρείχε προστασία από τυχόν επιδρομές αλλά και εποπτεία μιας μεγάλης περιοχής του κόλπου Μιραμπέλλου. Την περιέκλειε μια διπλή ακρόπολη. Στην "Αγορά", έναν ανοικτό χώρο που περιλαμβάνει μια βαθιά τετράγωνη δεξαμενή και ένα μικρό ορθογώνιο ναό χωρίς κίονες, βρέθηκαν πολλά ειδώλια του 6ου αιώνα π.Χ.



Σχήμα 4.2: Άποψη της αρχαιολογικής περιοχής της πόλης Λατώ.

Δικταίον Άντρον

Στη βόρεια πλαγιά της οροσειράς της Δίκτης, σε υψόμετρο 1025 m, βρίσκεται το σπήλαιο του Ψυχρού, γνωστό και ως Δικταίον Αντρον, χώρος πανάρχαιας λατρείας, από τους σημαντικότερους και επιβλητικότερους της Κρήτης. Σε αυτό οδηγεί ανηφορικό λιθόστρωτο μονοπάτι, που περνά μέσα από πυκνό δάσος από δρυς (quercus perbescens), κρητικούς σφένδαμους (acer creticum), πουρνάρια (quercus coccifera) και πολλών ειδών θάμνους. Το σπήλαιο αποτελείται από δυο τμήματα, το Άνω Σπήλαιο, που μοιάζει μάλλον με βραχοσκεπή χωρίς σταλαγμιτικό διάκοσμο, και το Κάτω Σπήλαιο, που αποτελείται από πέντε μικρούς και μεγάλους θαλάμους. Στο βάθος του υπάρχει μικρή λίμνη που περιβάλλεται από μεγάλες και εντυπωσιακές στήλες σταλακτιτών και σταλαγμιτών.

Αρχαιολογική περιοχή Βασιλικής

Ο οικισμός της Βασιλικής, ένας από τους πρώτους μινωικούς οικισμούς με πολεοδομική οργάνωση, καταλαμβάνει τις πλαγιές και την κορυφή χαμηλού λόφου που βρίσκεται κοντά στο χωριό Βασιλική, πολύ κοντά στον μινωικό οικισμό των Γουρνιών. Ξεκινά την ύπαρξή του στην Πρωτομινωική ΙΙ εποχή (2600-2300 π.Χ.) και

οφείλει την ακμή του όχι μόνο στη σημαντική του θέση, από όπου γίνεται διέλευση του Ισθμού της Ιεράπετρας, αλλά στην εύφορη πεδιάδα της περιοχής. Το κεντρικό κτήριο του οικισμού καταστράφηκε από πυρκαγιά γύρω στο 2300 π.Χ. Υπήρξε όμως μεταγενέστερα ανακατάληψη του λόφου, αφού ανακαλύφθηκε ένα Μεσομινωικό κτήριο (2200-1900 π.Χ.) καθώς και ίχνη κατοίκησης κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους. Ένα από τα σημαντικότερα μνημεία και αρχιτεκτονικά σύνολα της περιοχής είναι το επονομαζόμενο "σπίτι του Λόφου". Πρόκειται για πολύ μεγάλο οικοδόμημα, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί πρόδρομος των μεταγενέστερων μινωικών ανακτόρων.

Αρχαιολογική περιοχή Χαμαιζίου

Σε κωνοειδή λόφο γνωστό ως Σουβλωτό Μουρί, βρίσκεται το μοναδικό ελλειπτικό σπίτι της Μεσομινωικής (2100-2000 π.Χ εποχής). Πρόκειται για ενδιάμεσο τύπο μεταξύ κυκλικού και ορθογώνιου κτηρίου. Σώζονται δύο οικοδομικές φάσεις. Τα παλαιότερα κτήρια, που ανήκουν στους Πρωτομινωικούς (2800-2300 π.Χ.) χρόνους εκτείνονται και έξω από την ανατολική πλευρά του πρώιμου οικοδομήματος και πρόκειται για κατοικίες Μινωιτών αγροτών. Η εύρεση ειδωλίων δημιούργησε την υπόνοια ότι πρόκειται για ιερό κορυφής, φαίνεται όμως πως στην πραγματικότητα ήταν οικιακό ιερό που είχε ενσωματωθεί στην οικία.



Σχήμα 4.3: Αρχαιολογικός χώρος Τρυπητού



Σχήμα 4.4:Αρχαιολογικός χώρος Χαμαιζίου.

Αρχαιολογικός χώρος Τρυπητού

Στη μικρή χερσόνησο Τρυπητός, 3 km ανατολικά της Σητείας, ανακαλύφθηκε πόλη ελληνιστικών χρόνων (μέσα 4ου-μέσα 1ου π.Χ. αιώνα), που φαίνεται να καταλαμβάνει ολόκληρη τη χερσόνησο. Ίσως πρόκειται για την αρχαία πόλη της Σητείας, την Ητεία. Σύμφωνα με μαρτυρίες, το 1960, οι ιδιοκτήτες διαμόρφωσαν τη

χερσόνησο σε χώρους για καλλιέργεια, χρησιμοποιώντας μηχανικά μέσα που προκάλεσαν εκτεταμένες καταστροφές στις αρχαιότητες.

Αρχαιολογική περιοχή Παλαίκαστρου

Στο βορειότερο άκρο της ανατολικής ακτής της Κρήτης υπάρχει ένας μινωικός οικισμός, που ήκμασε κατά την διάρκεια της Υστερομινωικής περιόδου (1550-1220 π.Χ.). Ανακαλύφθηκαν και λείψανα της Πρωτομινωικής και Μεσομινωικής εποχής (3000-1550 π.Χ.), κυρίως νεκροταφεία, που περιλαμβάνουν καλά δομημένα οστεοφυλάκια αλλά και ερείπια αρκετά μεγάλων κατοικιών. Η πόλη καταλάμβανε έκταση μεγαλύτερη από 50.000 m^2, ήταν ατείχιστη και πυκνοκατοικημένη. Κατά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο καταστράφηκαν ορισμένες από τις συνοικίες που είχαν ανασκαφεί, ενώ πολλές καταστροφές προξένησε μηχανικός εκσκαφέας αργότερα. Πολλά από τα σπίτια της μινωικής πόλης καταστράφηκαν από πυρκαγιά. Τα ευρήματα από το Παλαίκαστρο εκτίθενται στο Μουσείο Σητείας.

Αρχαιολογική περιοχή Ζάκρου

Το ανάκτορο της Ζάκρου είναι το τέταρτο σε μέγεθος της Μινωικής Κρήτης. Βρισκόταν σε σημαντικό στρατηγικό σημείο, σε ασφαλισμένο κολπίσκο, και αποτελούσε κέντρο εμπορικών ανταλλαγών με τις χώρες της Ανατολής, όπως διαπιστώθηκε από τα ευρήματα (χαυλιόδοντες ελέφαντα, φαγεντιανή, χαλκός, κλπ). Αποτελείται από δύο κύριες οικοδομικές φάσεις.



Σχήμα 4.5:Το ανάκτορο της Ζάκρου

Το παλαιότερο ανάκτορο κτίσθηκε το 1900 π.Χ. περίπου, ενώ το νεότερο γύρω στο 1600 π.Χ. και καταστράφηκε όπως και τα άλλα κέντρα της Μινωικής Κρήτης, στα 1450 π.Χ. Στο χώρο δεν έγινε νέα οικοδόμηση, εκτός από κάποιες καλλιέργειες.

Αρχαιολογική περιοχή Λεύκης (Κουφονήσι)

Η Λεύκη ήταν σημαντικός σταθμός αλιείας σπόγγων και κυρίως επεξεργασίας της πορφύρας (κοχύλια από τα οποία λάμβαναν την πολύτιμη και πανάκριβη βαθυκόκκινη βαφή). Ταυτόχρονα η γεωγραφική της θέση ήταν στρατηγικής σημασίας, με συνέπεια να αποτελέσει κατά την αρχαιότητα σημείο αντιπαράθεσης μεταξύ των πόλεων της Ιτάνου και της Ιεράπυτνας. Η κατοίκηση στο νησί ήταν συνεχής από τους Πρωτομινωικούς χρόνους (3000-2200 π.Χ.) έως τους Παλαιοχριστιανικούς και ερημώθηκε τον 4ο μ.Χ. αιώνα. Οι ελάχιστες παρεμβάσεις (με καλλιέργειες κυρίως και κτηνοτροφία) παρέχουν τη δυνατότητα διατήρησης των αρχαιοτήτων, διότι το νησί έμεινε ακατοίκητο. Το 1976 άρχισε συστηματική ανασκαφή του νησιού από τον Ν. Παπαδάκη της ΚΔ΄ Εφορείας Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων που συνεχίζεται ως σήμερα. Στη βορειοανατολική άκρη του Κουφονησιού, απέναντι από το νησάκι Μάρμαρα και σε μικρή απόσταση από την παραλία, οι ανασκαφές έφεραν στο φως ένα καλά διατηρημένο λίθινο θέατρο. Στο νότιο μέρος του νησιού υπάρχει ο ναός, που όμως στο μεγαλύτερο μέρος του έχει καταστραφεί εξαιτίας της χρήσης των λίθων του για την οικοδόμηση του γειτονικού κτηρίου του φάρου.

Βυζαντινά μνημεία

Μονή Τοπλού

Η ιστορική μονή Τοπλού του 15ου αιώνα, κατέρρευσε από σεισμό το 1612 και ανοικοδομήθηκε με την οικονομική ενίσχυση των Βενετών. Επιπλέον, καταστράφηκε και ερημώθηκε από τους Τούρκους μετά την κατάκτηση της Κρήτης. Οι εργασίες αναστήλωσης, στερέωσης και αποκατάστασης έχουν πραγματοποιηθεί από την 13η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων. Λειτουργεί ως Μονή, ενώ παράλληλα υπάρχει χώρος Μουσείου.

Σπιναλόγκα

Η Σπιναλόγκα είναι μια νησίδα στην είσοδο του κόλπου της Ελούντας, όπου κατά την αρχαιότητα υπήρχε φρούριο των Ολουνιτών. Το 1579 κτίσθηκε από τους Βενετούς ισχυρότατο φρούριο, το οποίο παρέμεινε στην κυριαρχία τους και μετά την κατάληψη

της Κρήτης από τους Τούρκους το 1669. Αναστηλωτικές εργασίες από την 13η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων έγιναν σε μεμονωμένα παλαιά κτίσματα.

4.2.1 Ψηφιακός Αρχαιολογικός Χάρτης Λασιθίου

Ο ψηφιακός αρχαιολογικός χάρτης του Νομού Λασιθίου περιλαμβάνει περίπου 1000 αρχαιολογικές θέσεις, που χρονολογούνται κυρίως από τη Νεολιθική έως και τη Ρωμαϊκή περίοδο (Sarris *et al.,* 2002). Από αυτές, περισσότερες από 200 αρχαιολογικές θέσεις αποτυπώθηκαν με δέκτες GPS. Οι υπόλοιπες θέσεις ψηφιοποιήθηκαν και έγινε υπέρθεση αυτών στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους που δημιουργήθηκε από στερεοσκοπικές εικόνες SPOT.

Ο αρχαιολογικός χάρτης υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Εφαρμοσμένης Έρευνας (Υποπρόγραμμα 1) του Περιφερειακού Επιχειρησιακού Προγράμματος Κρήτης (1994-1999) και χρηματοδοτήθηκε από την Περιφέρεια Κρήτης μέσω του δεύτερου Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης. Την εκτέλεση του έργου ανέλαβε το Εργαστήριο Γεωφυσικής–Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών που ανήκει στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (Ι.Τ.Ε.). Το έργο αφορά τη δημιουργία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, το οποίο περιλαμβάνει διάφορα επίπεδα πληροφοριών, με στόχο την αποτύπωση και ηλεκτρονική αρχειοθέτηση των σημαντικότερων αρχαιολογικών χώρων της ευρύτερης περιοχής του Νομού Λασιθίου.

Το τελικό προϊόν αποτελείται από μία ολοκληρωμένη γεωγραφική βάση δεδομένων, στα πρότυπα ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, των πολιτιστικών πόρων του Νομού Λασιθίου. Ο ηλεκτρονικός αρχαιολογικός χάρτης της περιοχής έχει υπόβαθρο ένα μωσαϊκό χαρτών (τοπογραφικοί, γεωλογικοί, χρήσης γης, ψηφιακό μοντέλο εδάφους) και δορυφορικών εικόνων SPOT και Landsat, τα οποία πλαισιώνουν με δισδιάστατες απεικονίσεις την κατανομή των αρχαιολογικών θέσεων. Η γεωγραφική βάση δεδομένων περιλαμβάνει κατάλογο των σημαντικότερων αρχαιολογικών θέσεων του Νομού Λασιθίου, περιβαλλοντικές πληροφορίες, χρονολόγηση, γενικές πληροφορίες, αναφορές και φωτογραφικό υλικό από τις αρχαιολογικές θέσεις. Το ΣΓΠ προσφέρει τη δυνατότητα σύνθεσης των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών και την απεικόνιση διαφορετικών θεματικών χαρτών των

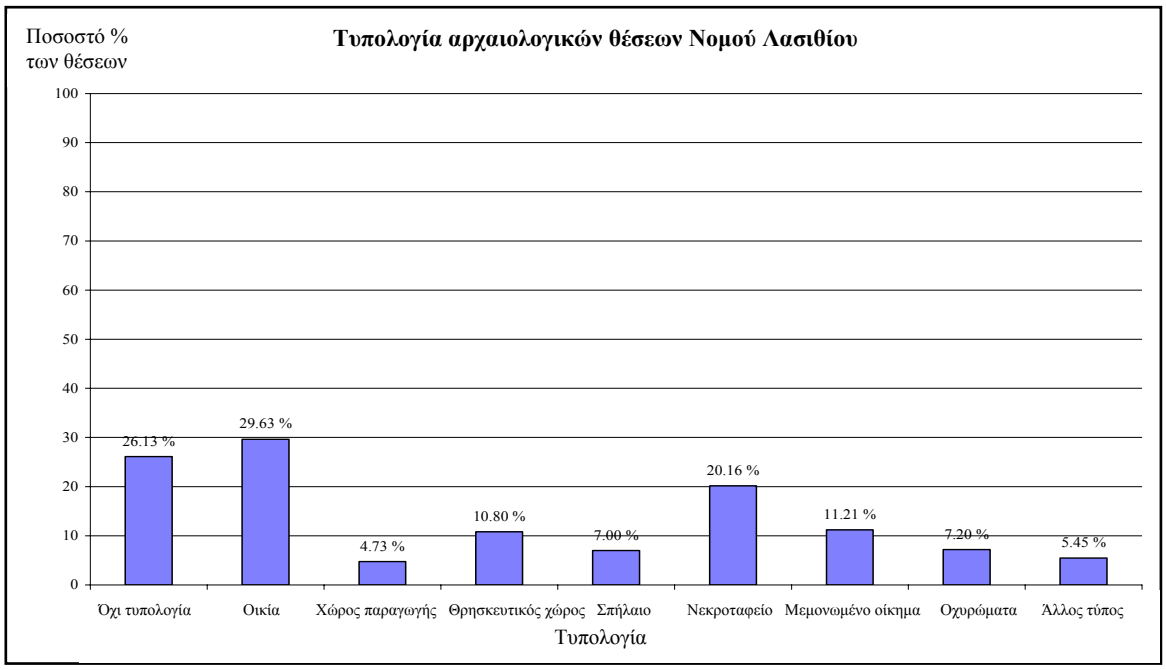
αρχαιολογικών θέσεων της περιοχής. Μέσω της χαρτογράφησης των γεωμορφολογικών και αρχαιολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής, το σύστημα αυτό έχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την επαλήθευση θεωρητικών αρχαιολογικών μοντέλων κατοίκησης, την αξιοποίηση και εκμετάλλευση των πολιτιστικών πόρων, την προστασία των μνημείων και την παράλληλη οικιστική και τουριστική ανάπτυξη της περιοχής, χωρίς αυτή να αποτελεί απειλή για τους αρχαιολογικούς χώρους και τις ζώνες προστασίας.

4.2.2 Ανάλυση της αρχαιολογικής βάσης δεδομένων

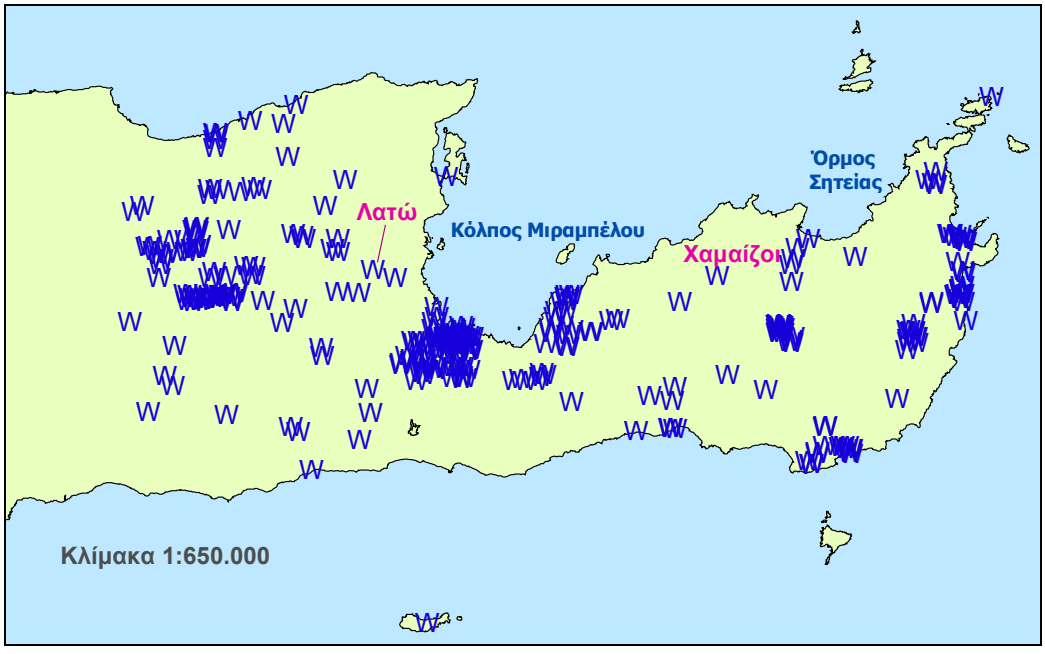
Η αρχαιολογική βάση πληροφοριών περιλαμβάνει 972 αρχαιολογικές θέσεις, 717 από τις οποίες έχουν γνωστές συντεταγμένες. Οι αρχαιολογικές θέσεις ταξινομήθηκαν σε εννέα ευρύτερες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο και την χρήση τους (θέσεις εγκατάστασης, μεμονωμένα κτήρια, λατρευτικοί χώροι, οχυρωματικά μνημεία, σπήλαια, εργαστήρια/θέσεις παραγωγής, θέσεις άγνωστης τυπολογίας/επιφανειακών ερευνών, νεκροταφεία, και άλλες κατηγορίες/απροσδιόριστου τύπου). Στόχος της ταξινόμησης είναι η μελέτη της συσχέτισης μεταξύ διαφορετικών παραγόντων επικινδυνότητας ανάλογα με τον τύπο των θέσεων.

Αυτοψίες που πραγματοποιήθηκαν από το ΙΤΕ στους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους επιβεβαίωσαν την ύπαρξη 209 θέσεων από ένα σύνολο 320. Από αυτές μόνο οι 30 ήταν περιφραγμένες από την Αρχαιολογική Υπηρεσία και μόνο οι 89 βρέθηκαν σε σχετικά καλή κατάσταση διατήρησης. Μόλις 327 από τις 972 θέσεις είναι κηρυγμένες αρχαιολογικές θέσεις

Η χωρική ένωση του ψηφιοποιημένου χάρτη χρήσης γης με τις τοπογραφικά οριοθετημένες αρχαιολογικές θέσεις του νομού Λασιθίου έδωσε πληροφορίες σχετικά με τη γεωμορφολογική φυσιογραφία των θέσεων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των θέσεων βρίσκεται σε αποστρογγυλευμένες κορυφές και χαρακτηρίζεται από ομαλές και μεσαίες κλίσεις. Περίπου ένα 35% αυτών απειλούνται από τις γεωργικές δραστηριότητες, ενώ ανάλογο ποσοστό βρίσκεται σε περιοχές με φυσική βλάστηση (χορτολίβαδα, φρύγανα, κ.α.).



Σχήμα 4.6: Τυπολογική ταξινόμηση των αρχαιολογικών θέσεων (Νεολιθική – Ρωμαϊκή περίοδος).

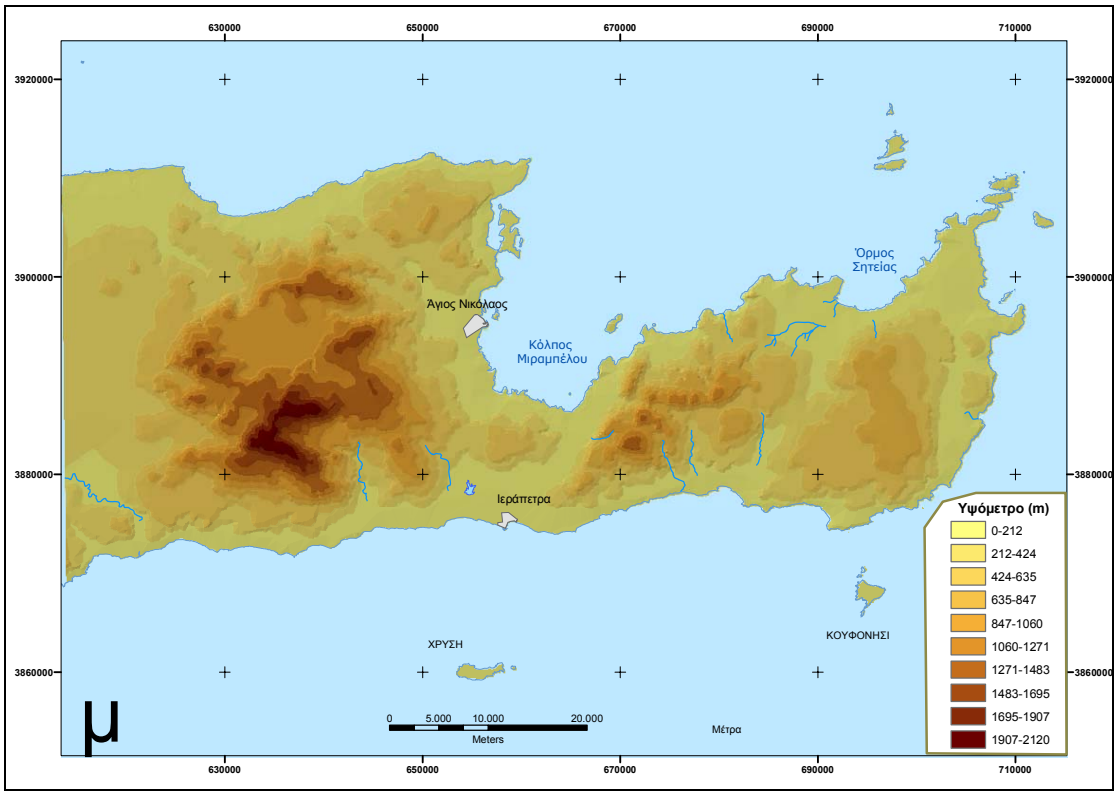


Σχήμα 4.7: Χάρτης του νομού Λασιθίου όπου παριστάνονται οι αρχαιολογικές θέσεις, όπως προέκυψε από το πρόγραμμα ArcView.

4.3 Γεωλογία Νομού Λασιθίου

4.3.1 Γεωμορφολογία

Ο Νομός Λασιθίου καταλαμβάνει το ανατολικότερο τμήμα της Κρήτης. Η μορφολογία του εδάφους σ' όλη την έκταση του νομού, χαρακτηρίζεται από το διαρκώς εναλλασσόμενο τοπίο. Το κλίμα είναι ήπιο μεσογειακό, χωρίς απότομες εποχιακές μεταπτώσεις. Περιβάλλεται από τρία πελάγη, το Κρητικό από βόρεια, το Λιβυκό από νότια, και το Καρπάθιο από ανατολικά. Κύριος ορεινός όγκος είναι η οροσειρά της Δίκτυς (ή Λασιθιώτικα όρη). Το ορεινό αυτό συγκρότημα αποτελείται από πολλές κορυφές, μεταξύ των οποίων η υψηλότερη της Δίκτυς, του Αφέντη Χριστού και του Λαζάρου. Μεταξύ των κορυφών παρεμβάλλεται το οροπέδιο του Λασιθίου, με έκταση 40 km^2.



Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατος χάρτης αναγλύφου του νομού Λασιθίου, όπως προέκυψε από επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) με την επέκταση 3D Analyst του προγράμματος ArcGIS 8.1.

Η οροσειρά της Δίκτυς αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα, των οποίων η καρστική διάβρωση συνετέλεσε στην διαμόρφωση του σημερινού πολύπλοκου αναγλύφου, με πλήθος χαραδρώσεων και βυθισμάτων.

Το μεγαλύτερο καρστικό βύθισμα αποτελεί η πόλγη του οροπεδίου του Λασιθίου, η οποία πιθανότατα σχηματίστηκε εντός μιας τεκτονικής τάφρου, διότι μεταξύ των υποκείμενων λεπτοπλακωδών (αυτόχθονων) ασβεστόλιθων και των υπερκείμενων παχυστρωματώδων (αλλόχθονων) ασβεστόλιθων, παρεμβάλλονται υδατοστεγή σχιστολιθικά πετρώματα. Οι παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι καλύπτονται μερικώς από φλύσχη. Τα αδιαπέρατα αυτά σχιστολιθικά στρώματα εκτείνονται και εκτός του οροπεδίου, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η διείσδυση των όμβριων υδάτων εντός των λεπτοπλακωδών ασβεστόλιθων και ο σχηματισμός καρστικών σπηλαίων. Οι πλακώδεις αυτόχθονες ασβεστόλιθοι της ζώνης Τριπόλεως εμφανίζονται μόνο στο βορειοανατολικό τμήμα του οροπεδίου. Στο δυτικό τμήμα της οροσειράς της Δίκτυς, επικρατούν οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι με κερατολιθικές εναλλαγές.

Στη χερσόνησο της Σητείας υπάρχουν δυο ορεινά συγκροτήματα, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται η τεκτονική τάφρος της Σητείας. Το δυτικό ορεινό συγκρότημα ονομάζεται "Όρη Σητείας" και διακρίνεται στο Όρος Όρνόν και στα όρη Θρυπτής. Το Ορνόν έχει διεύθυνση Α-Δ και αποτελείται κυρίως από πλακώδεις ασβεστολίθους (αυτόχθονη σειρά), ενώ η Θρυπτή έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και αποτελείται από τα ανώτερα στρώματα των πλακωδών ασβεστολίθων και από αλλόχθονες δολομιτικούς ασβεστόλιθους.

Ανατολικά της τεκτονικής τάφρου της Σητείας βρίσκεται το ανατολικό ορεινό συγκρότημα που αρχίζει νότια του όρμου της Σητείας και καταλήγει στα παράλια του Λιβυκού πελάγους. Αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες κυρίως της ζώνης Τριπόλεως και σε ορισμένες περιοχές από μεταβατικά ανθρακικά ιζήματα, τα οποία είναι αλλόχθονα και παχυστρωματώδη. Η καρστική διάβρωση είναι εμφανής στο οροπέδιο της Ζήρου το οποίο αποτελεί πόλγη (Φυτρολάκης 1975). Ο πυθμένας της αποτελείται από νεογενή ιζήματα και φλύσχη και οι παρυφές της από ανθρακικά πετρώματα.

Γενικά παρατηρώντας τη μορφολογία της ορεινής και ημιορεινής ζώνης της Κρήτης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το "καρστ" της Κρήτης αναπτύσσεται εντονότερα και

με μεγαλύτερη ποικιλία μορφών και φαινομένων στις περιοχές όπου αφθονούν τα παχυστρωματώδη αλλόχθονα ανθρακικά ιζήματα (ενότητα Τρυπαλίου ή ζώνη Τριπόλεως). Η ύπαρξη των καρστικών φαινομένων σε αυτές τις περιοχές προκαλεί μια άγρια βραχώδη μορφολογική εικόνα με δύσβατα βυθίσματα και πολύπλοκο ανάγλυφο. Αντίθετα, όπου επικρατεί η αυτόχθονη σειρά των πλακωδών ασβεστόλιθων, το "καρστ" δεν είναι έντονο με συνέπεια το ανάγλυφο της περιοχής να είναι πιο ομαλό, χωρίς ιδιαίτερες εξάρσεις και ταπεινώσεις.

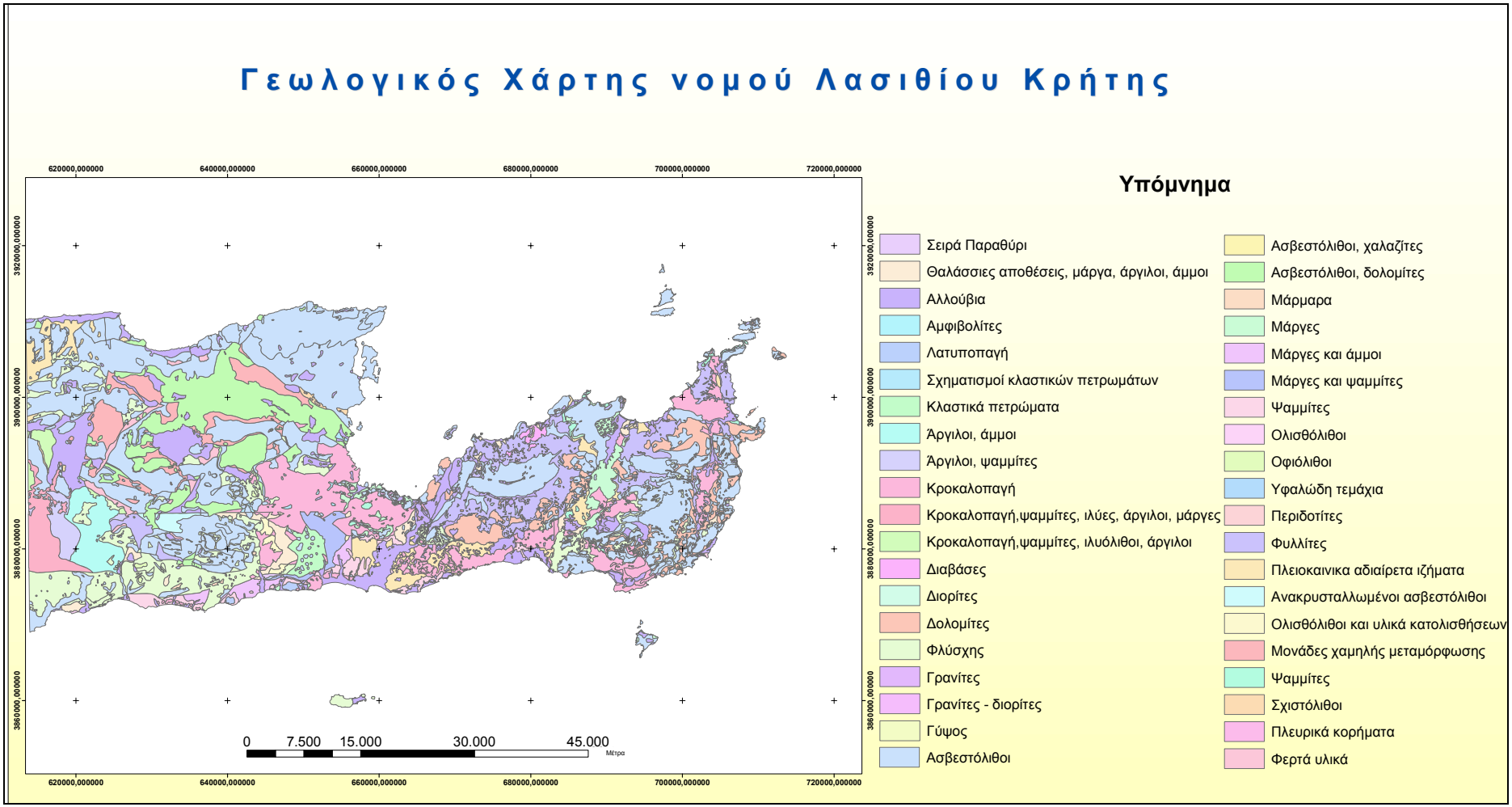
Η διαφορά της καρστικότητας οφείλεται στο γεγονός ότι οι αλλόχθονες ασβεστόλιθοι είναι περισσότερο τεκτονισμένοι εξαιτίας της επώθησης και επιπλέον είναι παχυστρωματώδεις χωρίς υδατοστεγείς ή δυσδιάλυτες ενστρώσεις. Έτσι η διαλυτική δράση συγκεντρώνεται στα επίπεδα των ρηγμάτων και των διακλάσεων με αποτέλεσμα η διάλυση να είναι εντονότερη και να προχωρά σε μεγαλύτερα βάθη.

Αντίθετα, στους πλακώδεις ασβεστόλιθους όπου παρεμβάλλονται λεπτές σχιστολιθικές ενστρώσεις το νερό βρίσκει διέξοδο παράλληλα προς τα επίπεδα της στρώσης και η διαλυτική του δράση κατανέμεται πλευρικά προς όλες τις διευθύνσεις. Η κατανομή αυτή επιβραδύνει τη διάβρωση σε βάθος.

4.3.2 Στρωματογραφίες και τεκτονικές ενότητες Κρήτης

Βάσει των ερευνών που έχουν διεξαχθεί από το 1972 και έπειτα, έχει αποδειχθεί ότι η στρωματογραφική δομή της Κρήτης είναι αρκετά πολύπλοκη. Η σειρά πετρωμάτων προ-Νεογενούς περιόδου συνιστά ένα επωθημένο κάλυμμα, από αμεταμόρφωτα αλπικά πετρώματα ανάμεσα σε δυο ζώνες μεταμόρφωσης. Τα κατώτερα στρώματα του καλύμματος έχουν υποστεί μεταμόρφωση υπό συνθήκες υψηλής πίεσης κατά τη διάρκεια του Ολοιγοκαίνου-Άνω Μειοκάινου (Seidel et al., 1982).

Στην Ανατολική Κρήτη η μετα-ορογενετική ιζηματογένεση ξεκίνησε με την απόθεση των χερσογενών κλαστικών υλικών του Μέσω Μειοκαίνου και ακολουθήθηκε από ποταμολιμναία ιζήματα και ιζήματα ανοιχτής θάλασσας του Ανώτατου Μειοκαίνου, που κάλυψαν τις λεκάνες της Ιεράπετρας, της Σητείας και της Αγ. Φωτιάς [Fortuin (1977) και Postma et al. (1993)].



Σχήμα 4.9: Γεωλογικός χάρτης του νομού Λασιθίου. Ο χάρτης προέκυψε από το πρόγραμμα της ESRI ArcGIS 8.1

Για την καλύτερη κατανόηση της Γεωλογίας του Λασιθίου, παρουσιάζονται παρακάτω οι κυριότερες στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες της Κρήτης:

1. Ενότητα Κρήτης-Μάνης (πλακώδεις ασβεστόλιθοι). Αποτελεί την αυτόχθονη γεωλογική ενότητα της Κρήτης.
2. Ενότητα Τρυπαλίου. Αποτελεί αλλόχθονη σειρά και συγκεκριμένα το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα.
3. Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Αποτελεί το δεύτερο τεκτονικό κάλυμμα.
4. Ενότητα Τριπόλεως. Είναι το τρίτο τεκτονικό κάλυμμα.
5. Ενότητα Ωλονού-Πίνδου. Είναι το τέταρτο τεκτονικό κάλυμμα.
6. Ενότητα οφιολίθων και κρυσταλλοσχιστοδών. Είναι το ανώτερο σύνθετο τεκτονικό κάλυμμα.

Η ενότητα Κρήτης-Μάνης αποτελεί τη σχετικά αυτόχθονη γεωτεκτονική ενότητα, πάνω στην οποία έχουν επωθηθεί όλες οι υπόλοιπες αλλόχθονες ενότητες. Αποτελείται από τη σειρά στρωμάτων Φόδελε, τη σειρά στρωμάτων Σισών, στρωματολιθικό δολομίτη, τα στρώματα του Γκίγκιλου, τους πλακώδεις ασβεστόλιθους γνωστούς και ως σειρά Plattenkalk (Chalikiopoulos L., 1903) και μεταφλύσχη.

Η ενότητα Τρυπαλίου θεωρείται ότι αποτελεί λιθοφασική πλευρική μετάβαση της ενότητας Κρήτης-Μάνης. Αποτελείται κυρίως από ανθρακικά ιζήματα αβαθούς θάλασσας, όπως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και γραουβάκες και ενίοτε παρεμβάλλονται κερατολιθικές ενστρώσεις. Η δεύτερη επωθημένη σειρά είναι η ενότητα φυλλιτών-χαλαζιτών, η οποία είναι επωθημένη είτε απευθείας επάνω στην ενότητα Τρυπαλίου, είτε επάνω στα ανώτερα τμήματα (πλακώδεις ασβεστόλιθους και μεταφλύσχη) της ενότητας Κρήτης-Μάνης. Η ενότητα αποτελείται στο κατώτερο τμήμα της από γύψο, γραουβάκες και σκουρόχρωμους δολομιτικούς και αργιλικούς ασβεστόλιθους. Το ανώτερο τμήμα αποτελείται από εναλλαγές φυλλιτών και χαλαζιτών. Στην Ανατολική Κρήτη, δεν είναι τόσο εξαπλωμένη η κατώτερη στρωματογραφική σειρά. Η ενότητα Τριπόλεως αποτελεί το τρίτο τεκτονικό κάλυμμα που επικάθεται πάνω στη σειρά φυλλιτών-χαλαζιτών. Η ενότητα Ωλονού-Πίνδου είναι επωθημένη είτε επάνω στην ενότητα Τριπόλεως, είτε επάνω στην ενότητα φυλλιτών-χαλαζιτών, αλλά ποτέ απευθείας πάνω στην αυτόχθονη ενότητα Κρήτης-Μάνης. Η ενότητα αυτή δεν εμφανίζει μεγάλη εξάπλωση. Στην Ανατολική Κρήτη εμφανίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του ορεινού συγκροτήματος

της Δίκτυς και στο οροπέδιο Ζήρου Σητείας (σειρά της Μαγκασσά). Η ενότητα οφιολίθων και κρυσταλλοσχιστοδών αποτελεί την ανώτερη αλλόχθονη γεωτεκτονική ενότητα της Κρήτης, ηλικίας Ανώτερου Κρητιδικού. Χαρακτηρίζεται ως σύνθετο τεκτονικό κάλυμμα, εξαιτίας της πολυμορφίας και των ανομοιογενών τεκτονικών και λιθολογικών χαρακτηριστικών της. Αποτελείται από οφιόλιθους (κυρίως σερπεντινίτες, περιδοτίτες, βασάλτες, γάββρους, δολερίτες κλπ.) οι οποίοι συνοδεύονται από μεταμορφωμένα πετρώματα (αμφιβολίτες, βιοτιτικούς γνεύσιους, φυλλίτες, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, κ.ά.) ή από μη μεταμορφωμένα ιζήματα (ασβεστόλιθους και φλύσχη). Το τεκτονικό αυτό κάλυμμα συναντάται κυρίως στην Κεντρική Κρήτη.

Τέλος, ακολουθούν οι νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις, από τις οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον οι θαλάσσιοι σχηματισμοί των νότιων και ανατολικών ακτών της Κρήτης.

4.3.3 Τεκτονική Εξέλιξη Κρήτης

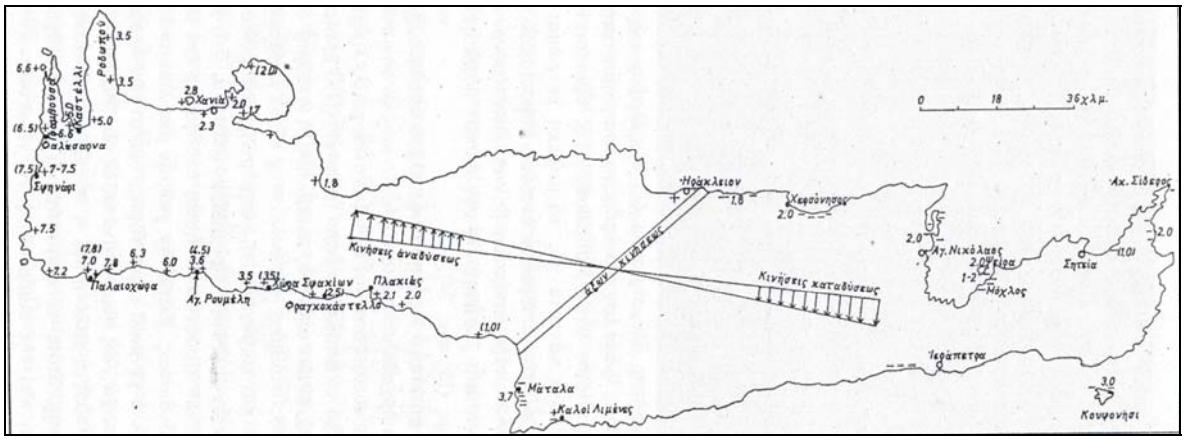
Το νησί της Κρήτης τοποθετείται στο νότιο τμήμα του ελληνικού τόξου και αντιστοιχεί στη συγκλίνουσα ζώνη ανάμεσα στην βυθιζόμενη Αφρικανική πλάκα και την αναδυόμενη πλάκα του Αιγαίου. Ειδικά η Ανατολική Κρήτη βρίσκεται στο χώρο της σχετικής κίνησης των δυο πλακών, η οποία είναι κανονική στο κεντροδυτικό τμήμα της, σε αντίθεση με το ανατολικότερο τμήμα που αποτελεί τη ζώνη υποβύθισης.

Μεταξύ των τεκτονικών γεγονότων του Αλπικού κύκλου διακρίνονται:

α) Πτυχογόνος τεκτονική και ρηγματογόνος τεκτονική. Μια από τις κύριες τεκτονικές ζώνες του Λασιθίου είναι η τεκτονική τάφρος της Ιεράπετρας. Ακόμη πολύ σημαντικά από τεκτονική άποψη θεωρούνται τα μεγάλα ρήγματα της νότιας παράκτιου περιοχής και η τεκτονική τάφρος της Σητείας.

β) Σύγχρονες αναδύσεις και καταβυθίσεις. Ξεκίνησαν κατά τους ιστορικούς χρόνους (μετά τον $3^{ο}$ αιώνα μ.Χ.) και συνεχίζονται έως και τους σημερινούς χρόνους. Ο Spratt (1865) πρώτος πιστοποίησε ότι στη Δυτική Κρήτη οι παλιές ακτογραμμές βρίσκονταν ψηλότερα από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Επιπλέον παρατήρησε ότι στην Ανατολική Κρήτη πολλά αρχαία κτίσματα βρέθηκαν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα γεγονότα αυτά αποδόθηκαν σε ανύψωση της Δυτικής Κρήτης και

καταβύθιση της Ανατολικής. Διαπιστώθηκε ότι η καταβύθιση στην Κεντρική και Ανατολική Κρήτη είναι της τάξης των 2 m. Ο Δερμιτζάκης (1972 και 1973) διαπίστωσε νέες θέσεις ανύψωσης της ακτογραμμής στην ανατολική ακτή της χερσονήσου Γραμβούσας του νομού Χανίων, ενώ στην δυτική ακτή αυτής και συγκεκριμένη στη θέση Μπάλο, παρατήρησε καταβύθιση. Βορειότερα στην ίδια χερσόνησο παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ανύψωση (6,6 m) στην ανατολική ακτή αυτής, από ότι στην δυτική ακτή (1,2 m). Έτσι διαπιστώθηκε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι ανυψώσεις και καταβυθίσεις εμφανίζουν τοπικό χαρακτήρα και ότι οφείλονται στην επίδραση της σεισμικής ενέργειας, των τεκτονικών παραγόντων και της ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας. Το 1980, ο Φυτρολάκης μελέτησε πολλές παράκτιες θέσεις της Κρήτης και πραγματοποίησε μετρήσεις των διαφορών στάθμης. Έτσι προέκυψε το Σχήμα 4.10, όπου απεικονίζονται οι θέσεις στις οποίες παρατηρήθηκε ανύψωση (με το σύμβολο της πρόσθεσης +) και οι θέσεις στις οποίες παρατηρήθηκε καταβύθιση (ε το σύμβολο της αφαίρεσης -).



Σχήμα 4.10: Κινήσεις ανάδυσης και καταβύθισης γύρω από τον άξονα Ηρακλείου-Τυμπακίου. Οι αριθμοί δείχνουν το μέγεθος της κίνησης σε m. (Φυτρολάκης 1980).

Σύμφωνα με αυτή την άποψη η Κρήτη στρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (Ηράκλειο-Τυμπάκι). Σε αυτή την κίνηση το νησί δεν συμμετέχει ως ενιαία συμπαγής και σταθερή μάζα, αλλά ως ένα σύστημα τεκτονικών τεμαχών. Η θέση του άξονα επιλέχθηκε λόγω της ύπαρξης ακραίων σημείων αντίστροφης κίνησης εκατέρωθεν της, αλλά και διότι στα νεογενή στρώματα της περιοχής αυτής βρέθηκαν πολλά μικρορήγματα με οριζόντιες γραμμώσεις. Η ερμηνεία της φοράς της κίνησης είναι πιθανό να συνδέεται και με την γεωλογική θέση της Κρήτης σε σχέση με τη λιθοσφαιρική πλάκα της Αφρικής. Το νησί της Κρήτης τοποθετείται στο νότιο τμήμα

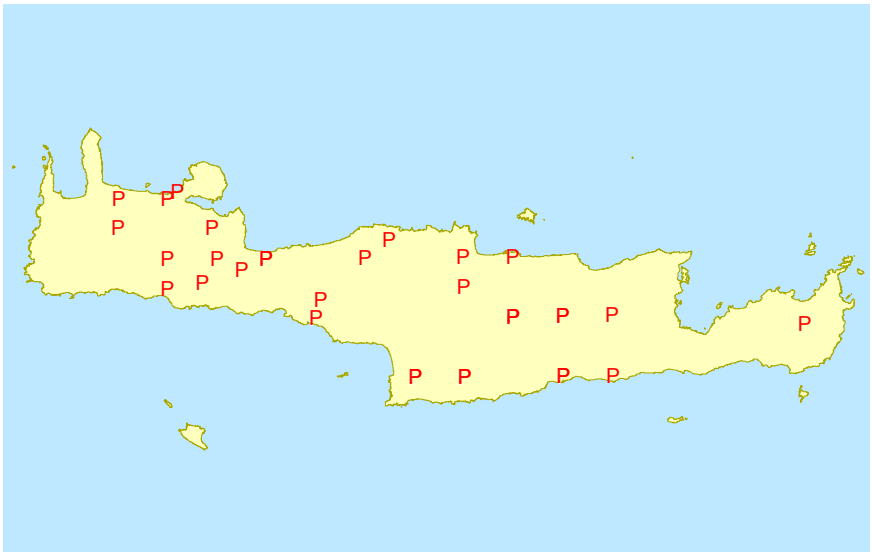
του Ελληνικού τόξου και αντιστοιχεί στην συγκλίνουσα ζώνη ανάμεσα στην βυθιζόμενη Αφρικανική πλάκα και την αναδυόμενη πλάκα του Αιγαίου. Πιστεύεται ότι η καταβύθιση της Αφρικανική λιθοσφαιρικής πλάκας ίσως να προκαλεί αντίστοιχη ανύψωση της Δυτικής Κρήτης. Ειδικά η Ανατολική Κρήτη βρίσκεται στο χώρο της σχετικής κίνησης των δυο πλακών, η οποία είναι κανονική στο κεντροδυτικό τμήμα της, σε αντίθεση με το ανατολικότερο τμήμα που αποτελεί τη ζώνη υποβύθισης.

Δεδομένου της τελευταίας μέγιστης ανύψωσης της τάξης των 7,8 m που συνέβη στην Νοτιοδυτική Κρήτη και της έναρξης των κινήσεων ανάδυσης κατά το 300 μ.Χ., προκύπτει μια μέση ετήσια ανύψωση της τάξης των 4,5 mm.

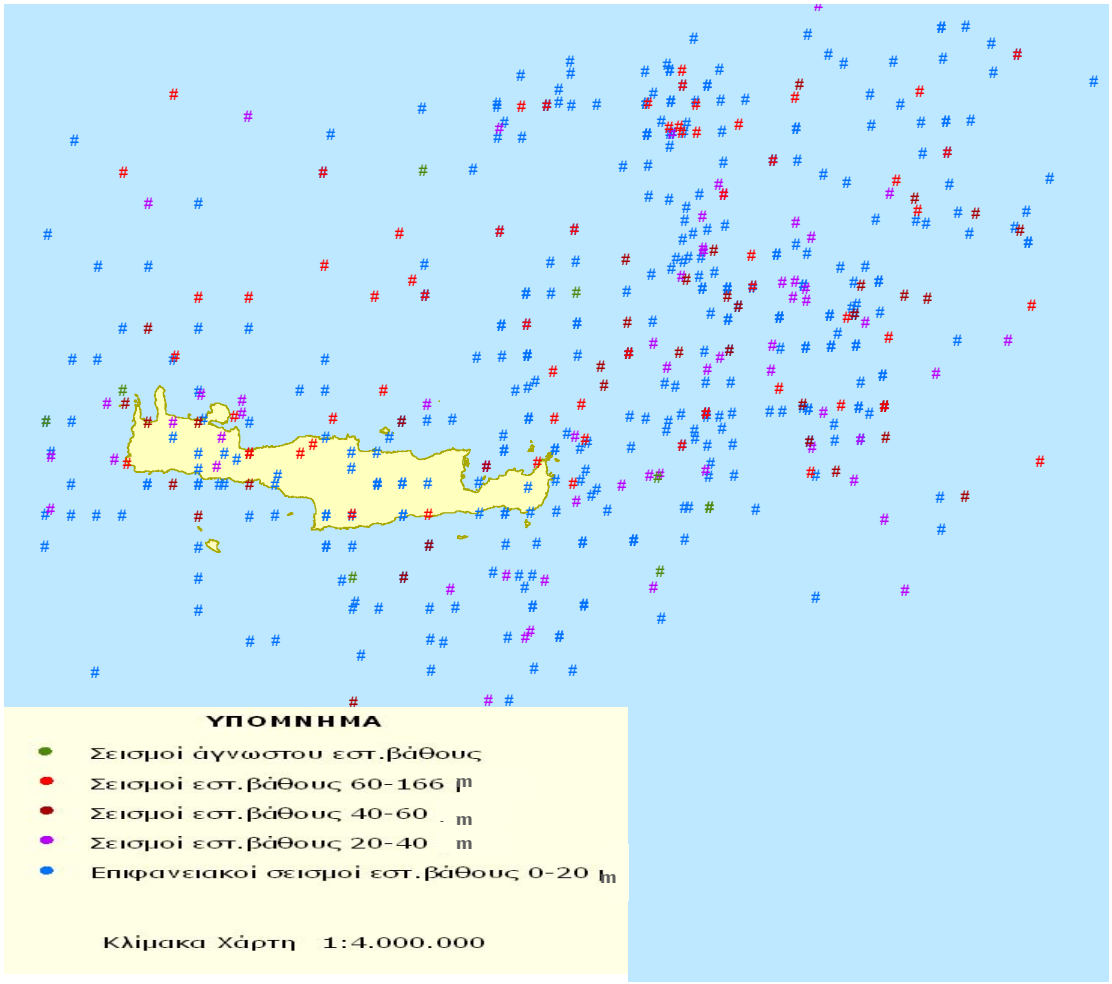
4.4 Σεισμοί παρελθόντος

Ιστορικά στοιχεία (πριν από το 1950) της σεισμικής δραστηριότητας της Κρήτης συλλέχθηκαν από τους Papazachos & Papazachou (1997) και Papazachos *et al* (1997). Για τους σεισμούς που σημειώθηκαν τα τελευταία 50 χρόνια χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών (http://www.gein.noa.gr/services/cat.html).

Οι πίνακες με τα δεδομένα των σεισμικών φαινομένων του ευρύτερου χώρου της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 1908-2001 με μεγέθη άνω των 4,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, βρίσκονται στο παράρτημα Α της εργασίας.



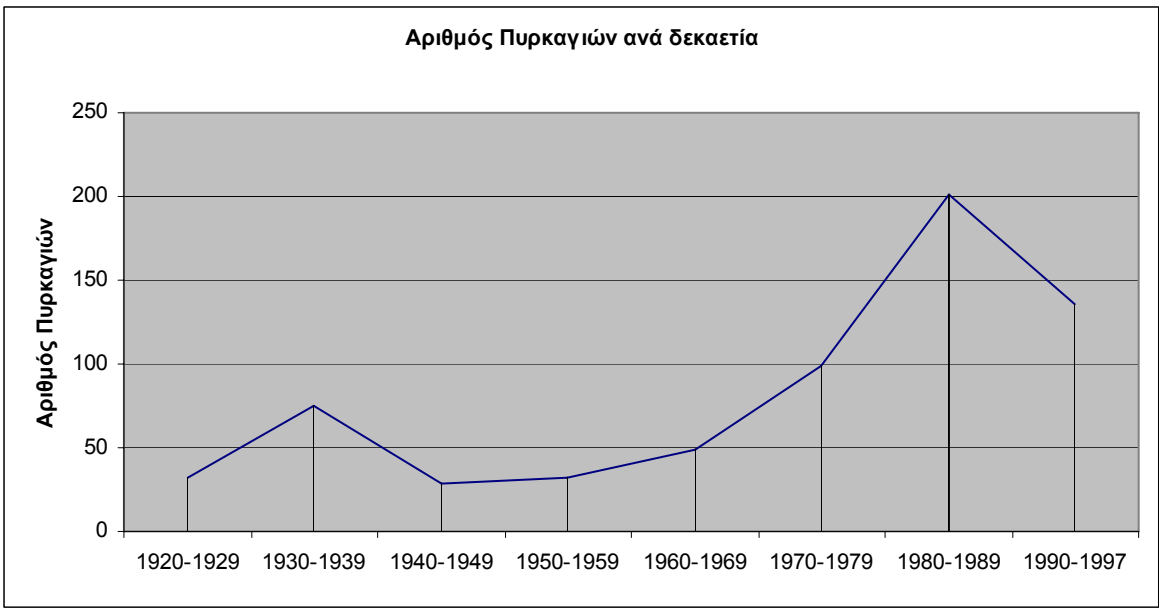
Σχήμα 4.11: Επίκεντρα των σεισμών που εκδηλώθηκαν στον ηπειρωτικό χώρο της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 1923-2001.



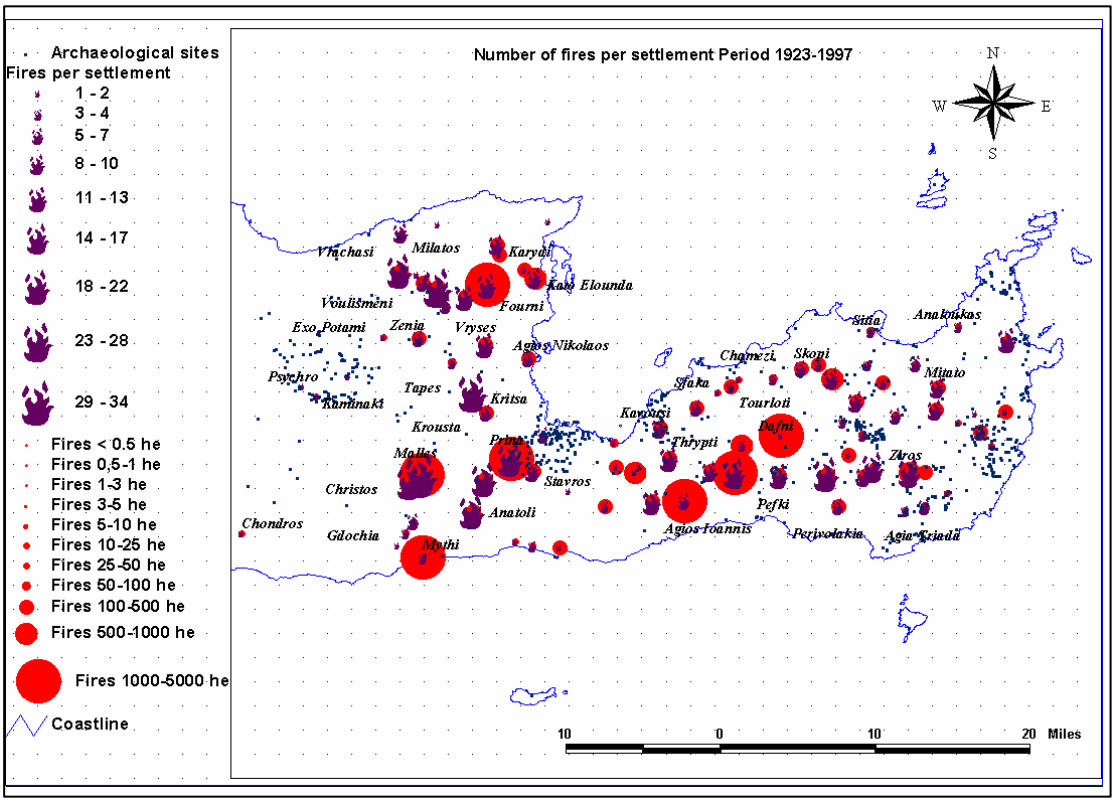
Σχήμα 4.12: Επίκεντρα των σεισμών που εκδηλώθηκαν στον ευρύτερο χώρο της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 1923-2001. Η χρωματική κωδικοποίηση υποδείχνει το εστιακό τους βάθος σε μέτρα.

4.5 Φαινόμενα δασικών πυρκαγιών

Η αυξητική τάση των πυρκαγιών κατά τα τελευταία χρόνια αποτελεί μία πρόσθετη απειλή των αρχαιολογικών μνημείων. Από αποδελτίωση που πραγματοποιήθηκε στα αρχεία της Διεύθυνσης Δασών του Υπουργείου Γεωργίας για τα έτη 1923-1997, προέκυψε ότι τις τελευταίες δεκαετίες στο Λασίθι σημειώθηκε αύξηση άνω του 200% στις δασικές-αγροτικές πυρκαγιές, σε σύγκριση με τις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Στο Παράρτημα Α, βρίσκονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες με τα δεδομένα των δασικών πυρκαγιών του νομού Λασιθίου για τα έτη 1923-1997. Λόγω μη καταγραφής των ακριβών συντεταγμένων των ορίων των πυρκαγιών και των καμένων εκτάσεων από τη Διεύθυνση Δασών, δίνονται απλά οι ονομασίες των δασών που κάηκαν και οι θέσεις των ευρύτερων περιοχών όπου εκδηλώθηκαν οι πυρκαγιές.



Σχήμα 4.13: Αριθμός πυρκαγιών στην περιοχή του Λασιθίου ανά δεκαετία, για την χρονική περίοδο 1923 έως 1997.



Σχήμα 4.14: Θεματικός χάρτης που αναπαριστά τα περιστατικά πυρκαγιών στο νομό Λασιθίου για την περίοδο 1923-1997 με βάση τη συχνότητα του φαινομένου και τα μεγέθη των εκτάσεων που αποτεφρώθηκαν από αυτές.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η πυρκαγιά εκδηλώθηκε σε πευκόδεντρα, φρύγανα και θάμνους. Η σημαντική αύξηση του φαινομένου τις τελευταίες δεκαετίες (1970-2000) πιθανολογείται ότι συνδέεται με την αυξητική τάση της μέγιστης θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τη μείωση των βροχοπτώσεων, κατά το ίδιο χρονικό διάστημα (Σχήμα 4.13).

4.6 Μετεωρολογικά στοιχεία

Δεδομένα που αφορούν τη μέση και μέση μέγιστη θερμοκρασία και βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και τις τιμές βροχοπτώσεων, συλλέχθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία με στόχο να αναδείξουν τις κλιματολογικές τάσεις που επικρατούν στην περιοχή. Οι πίνακες και οι γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων, περιλαμβάνονται στο παράρτημα Α της εργασίας.

Οι πληροφορίες συλλέχθηκαν από 12 μετεωρολογικούς σταθμούς που καλύπτουν όλη την έκταση της Κρήτης για τη χρονική περίοδο μεταξύ 1931 και 2000. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί απεικονίζονται στον χάρτη του Σχήματος 4.15. Πρόκειται για τους μετεωρολογικούς σταθμούς των Χανίων, της Παλαιόχωρας, του Βάμου, της Σούδας, του Ρεθύμνου, των Ανωγείων, του Τυμπακίου, του Ηρακλείου, των Τζερμιάδων, του Καστελίου, της Ιεράπετρας και της Σητείας.



Σχήμα 4.15: Χάρτης της Κρήτης όπου παριστάνονται οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών, όπως προέκυψε από το πρόγραμμα ArcInfo 8.1.

Attributes of Μετεωρολογικοί Σταθμοί Κρήτης

Όνομα Σταθμού	X	Y
Ανώγεια	580179,4	3904533,457
Βάμος	518008,712	3918981,218
Ηράκλειο	607395,571	3910363,19
Ιεράπετρα	658029,58	3874126,903
Καστέλι	621227,441	3895748,167
Παλαιόχωρα	471037,095	3898676,667
Ρέθυμνο	546796,713	3911691,741
Σητεία	691027,358	3896953,974
Σούδα	510425,648	3933756,501
Τζερμιάδες	634883,235	3895941,677
Τυμπάκι	569811,815	3873022,848
Χανιά	502874,424	3928205,444

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of

Σχήμα 4.16: Πίνακας ιδιοτήτων που συνοδεύει τον χάρτη του προηγούμενου Σχήματος, όπως προέκυψε από το πρόγραμμα ArcGIS 8.1. Η πληροφορία σχετικά με το όνομα κάθε απεικονιζόμενου μετεωρολογικού σταθμού περιλαμβάνεται στο πεδίο Όνομα Σταθμού. Η πληροφορία θέσης των μετεωρολογικών σταθμών περιλαμβάνεται στα πεδία X (γεωγραφικό πλάτος σε ΕΓΣΑ 87) και Y (γεωγραφικό μήκος σε ΕΓΣΑ 87).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Για τη μελέτη και ανάλυση των παραμέτρων επικινδυνότητας αλλά και τη δημιουργία των τελικών χαρτών επικινδυνότητας, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά προγράμματα GIS της εταιρίας ESRI. Συγκεκριμένα, στα πρώτα στάδια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το ArcView 3.2 με τις βασικές επεκτάσεις του Spatial Analyst και 3D Analyst. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η πιο σύγχρονη και βελτιωμένη έκδοση, ArcGIS 8.1 Desktop. Επίσης, για την ανάλυση και επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ERDAS IMAGINE 8.4.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από έτοιμα ψηφιακά υπόβαθρα χαρτών της περιοχής Λασιθίου, δορυφορικές εικόνες Landsat TM και βάσεις δεδομένων σε μορφή MsAccess και Excel.

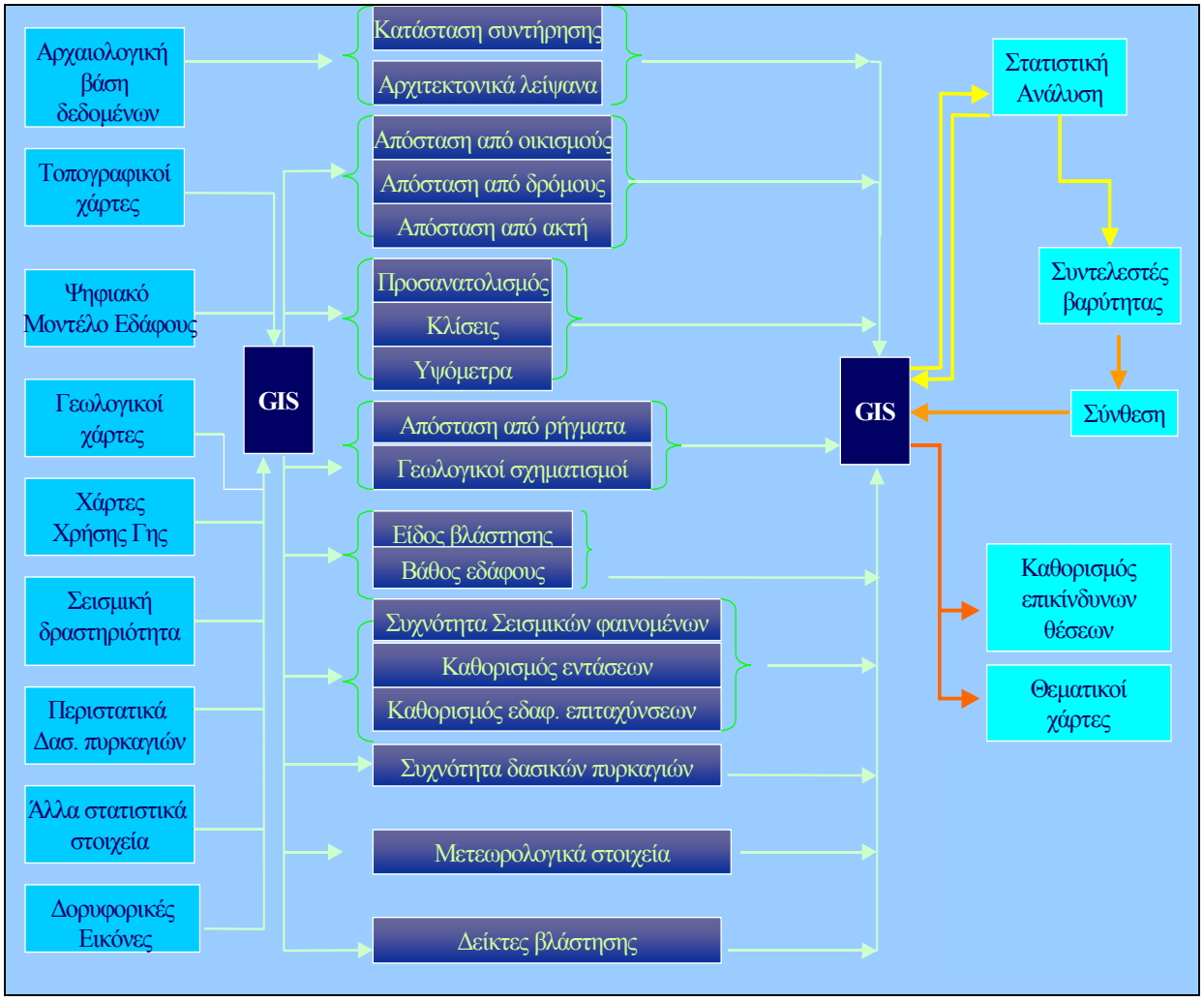
5.1 Μεθοδολογία

Με βάση την αρχαιολογική βάση δεδομένων και λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως η μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών, η σεισμική δραστηριότητα, η εγγύτητα σε γεωμορφολογικά, γεωλογικά χαρακτηριστικά, υδρογραφικό και οδικό δίκτυο και σε αστικά κέντρα, δημιουργήθηκε ένα ομοίωμα (μοντέλο) επικινδυνότητας σε σχέση με τις αρχαιολογικές θέσεις. Σκοπός είναι η δημιουργία ενός τοπολογικού πληροφοριακού συστήματος, με δυνατότητα παρακολούθησης των περιβαλλοντικών μεταβλητών και οριοθέτησης των περιοχών που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά την προστασία των αρχαιολογικών μνημείων. Τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε είναι τα εξής:

- Χρήση ήδη ψηφιοποιημένων δεδομένων και δημιουργία νέων επιπέδων πληροφοριών από τα γεωλογικά, υδρολογικά, αρχαιολογικά, σεισμολογικά και άλλα δεδομένα (Σχήμα 5.1). Επεξεργασία, ανάλυση και ταξινόμηση των πληροφοριών και μετατροπή των διανυσματικών δεδομένων σε δεδομένα κυψελωτής μορφής.
- Επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων, δημιουργία θεματικών χαρτών και γραφημάτων και εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και συμπερασμάτων.
- Ανάλυση των παραμέτρων επικινδυνότητας που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μια φυσική καταστροφή και τοποθέτηση των ανάλογων βαρών (διαδικασία

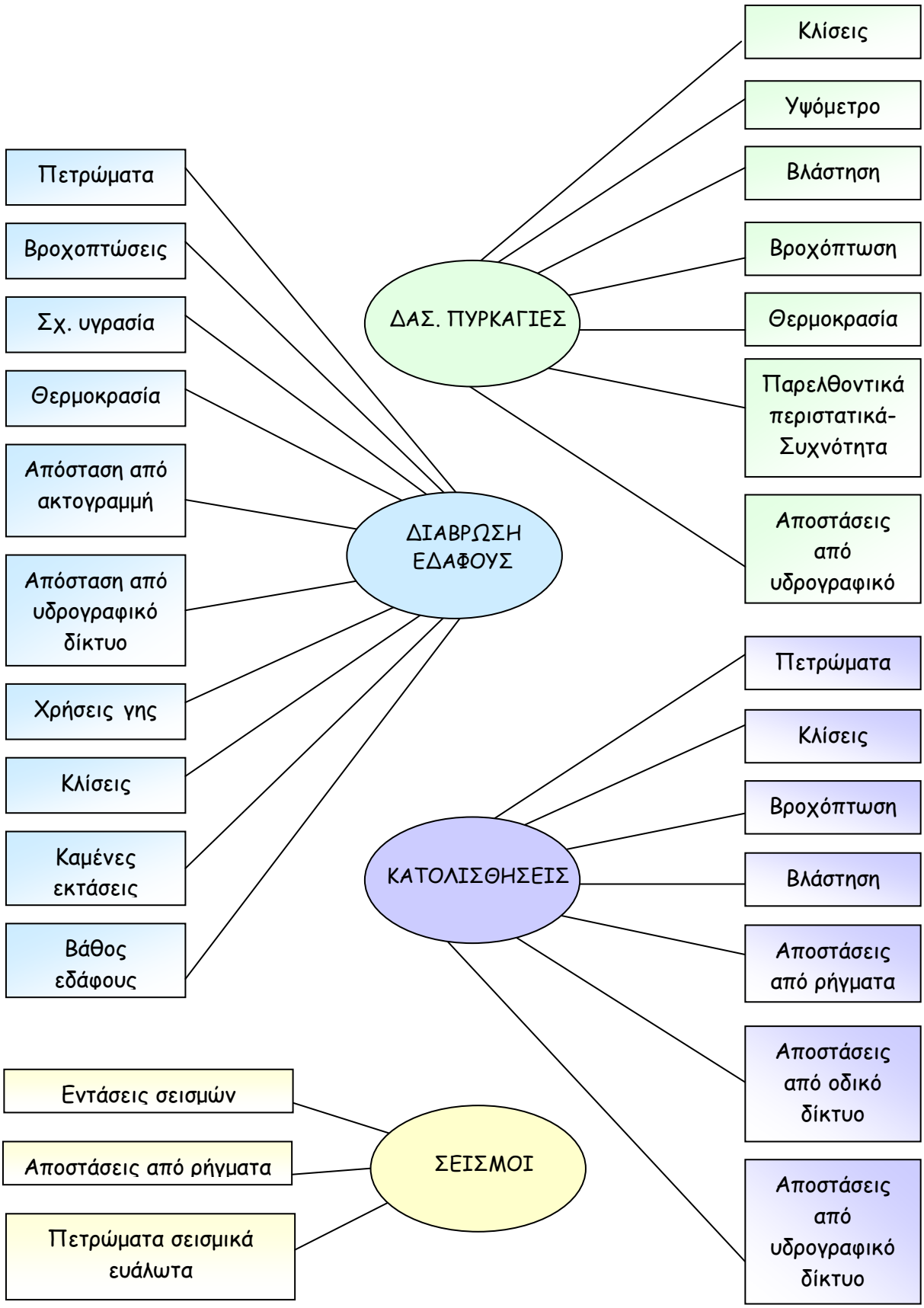
weightening) (Σχήμα 5.2), που αντιστοιχούν στη συμβολή κάθε παράγοντα στην εκδήλωση του φυσικού κινδύνου.

- Υπέρθεση των διαφορετικών επιπέδων πληροφοριών και σύνθεσή τους με χρήση της ειδικής επέκτασης του προγράμματος ArcView, Spatial Analyst, με σκοπό τη δημιουργία χαρτών με ζώνες επικινδυνότητας για κάθε ένα παράγοντα ξεχωριστά αλλά και χαρτών επικινδυνότητας κάθε μιας φυσικής καταστροφής από σύνθεση των επιμέρους θεματικών παραγόντων.



Σχήμα 5.1: Το διάγραμμα ροής που ακολουθήθηκε και απεικονίζει τα διαθέσιμα δεδομένα και την ανάλυση τους για την εξαγωγή των θεματικών χαρτών επικινδυνότητας.

Η επιλογή των παραγόντων κάθε φυσικής καταστροφής, βασίστηκε στη βιβλιογραφια, αλλά και σε ιστορικές ενδείξεις και μαρτυρίες των αρχαιολόγων του ΙΜΣ που μετέβηκαν στην περιοχή μελέτης. Ο περιορισμός στην επιλογή περισσότερων παραγόντων, οφείλεται στη δυσκολία εύρεσης και απόκτησης των δεδομένων.



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα που δείχνει σχηματικά τις παράμετρους που αναλύθηκαν για την εκτίμηση του κινδύνου από κάθε φυσική καταστροφή.

5.2 Επεξεργασία δεδομένων και ανάλυση παραγόντων επικινδυνότητας

5.2.1 Ανθρώπινος παράγοντας

Εκτός από την επίδραση των φυσικών καταστροφών στα αρχαιολογικά μνημεία και στις θέσεις εμφάνισής τους, πολύ σημαντική είναι η επίδραση της ανθρώπινης παρουσίας και επέμβασης. Από το σύνολο των 922 αρχαιολογικών θέσεων, μόνο 327 είναι κηρυγμένες αρχαιολογικές θέσεις και από αυτές μόνο οι 30 είναι περιφραγμένες από την Αρχαιολογική Υπηρεσία.

Αυτοψίες που πραγματοποιήθηκαν στους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους επιβεβαίωσαν τη εγγύτητα αρκετών θέσεων σε δρόμους ευρείας κυκλοφορίας, σε αστικά κέντρα, τουριστικά καταλύματα και κτηνοτροφικές εκτάσεις. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις διαπιστώθηκε σοβαρός κίνδυνος από καταπάτηση των αφύλακτων αρχαιολογικών θέσεων από κοπάδια κτηνοτρόφων. Οι θέσεις που απέχουν κοντινή απόσταση από ανθρώπινες δραστηριότητες και οικοδομικά ή τεχνικά έργα, βρέθηκαν σε ιδιαίτερα κακή κατάσταση διατήρησης. Οι φωτογραφίες που απεικονίζονται στα Σχήματα 5.3 και 5.4 επιβεβαιώνουν την ανεξέλεγκτη καταπάτηση τεσσάρων αρχαιολογικών θέσεων.



Σχήμα 5.3: Αρχαιολογικές εμφανίσεις στη θέση Κληματαριά, δίπλα στο κύριο οδικό δίκτυο. Κάτω δεξιά διακρίνεται η κεραία GPS.

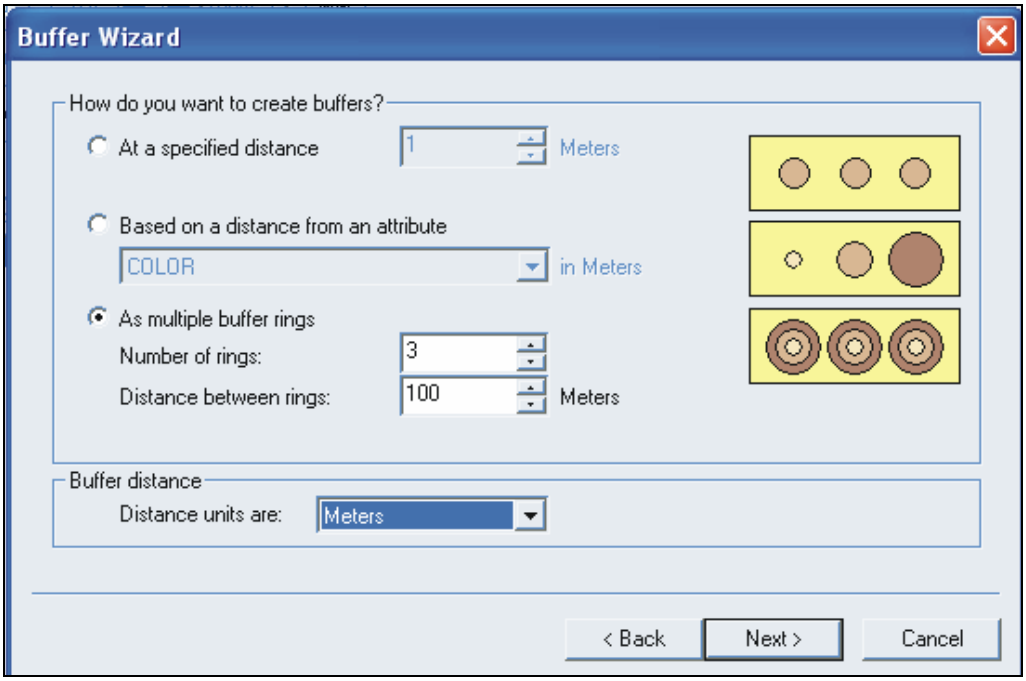


Σχήμα 5.4:. Αρχαιολογικές θέσεις που βρέθηκαν σε κακή κατάσταση. Πάνω αριστερά, η θέση Μόχλος όπου οι αρχαιότητες απειλούνται από τη συνεχόμενη επέκταση του δομημένου περιβάλλοντος για τουριστικούς σκοπούς. Κάτω αριστερά, στη θέση Βάγιες νεότερη αγροτική κατοικία κτίστηκε στα θεμέλια Μινωικής αρχιτεκτονικής κατασκευής. Δεξιά, κτηνοτροφική μονάδα σε κοντινή απόσταση από αφύλακτη αρχαιολογική εμφάνιση, στη θέση Βακλιάς.

Για το λόγο αυτό κρίθηκε, ότι έπρεπε να μελετηθούν οι αποστάσεις των αρχαιολογικών θέσεων ως προς το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα νέα επίπεδα πληροφορίας που παριστάνουν συγκεκριμένες αποστάσεις από το κύριο και δευτερεύον οδικό δίκτυο και από τους οικισμούς. Έπειτα, διαπιστώθηκαν οι αρχαιολογικές θέσεις οι οποίες βρίσκονται μέσα σε αυτές τις προκαθορισμένες αποστάσεις.

Η δημιουργία των ζωνών επιρροής είναι μια διαδικασία εύρεσης των αποστάσεων γύρω από τα χαρακτηριστικά ενός επιπέδου πληροφορίας και γραφικής παρουσίασής τους μέσω της εξαγωγής τους σε νέο αρχείο. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται η εντολή "Create Buffers" του προγράμματος ArcView 3.2, ή η αντίστοιχη "Buffer Wizard" του πιο σύγχρονου προγράμματος ArcGIS 8.1. Με τη βοήθεια του οδηγού δημιουργίας που προσφέρεται από το πρόγραμμα (Σχήμα 5.5), επιλέγονται βήμα προς βήμα οι ιδιότητες που θα έχει το νέο αρχείο εξόδου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται αρχεία

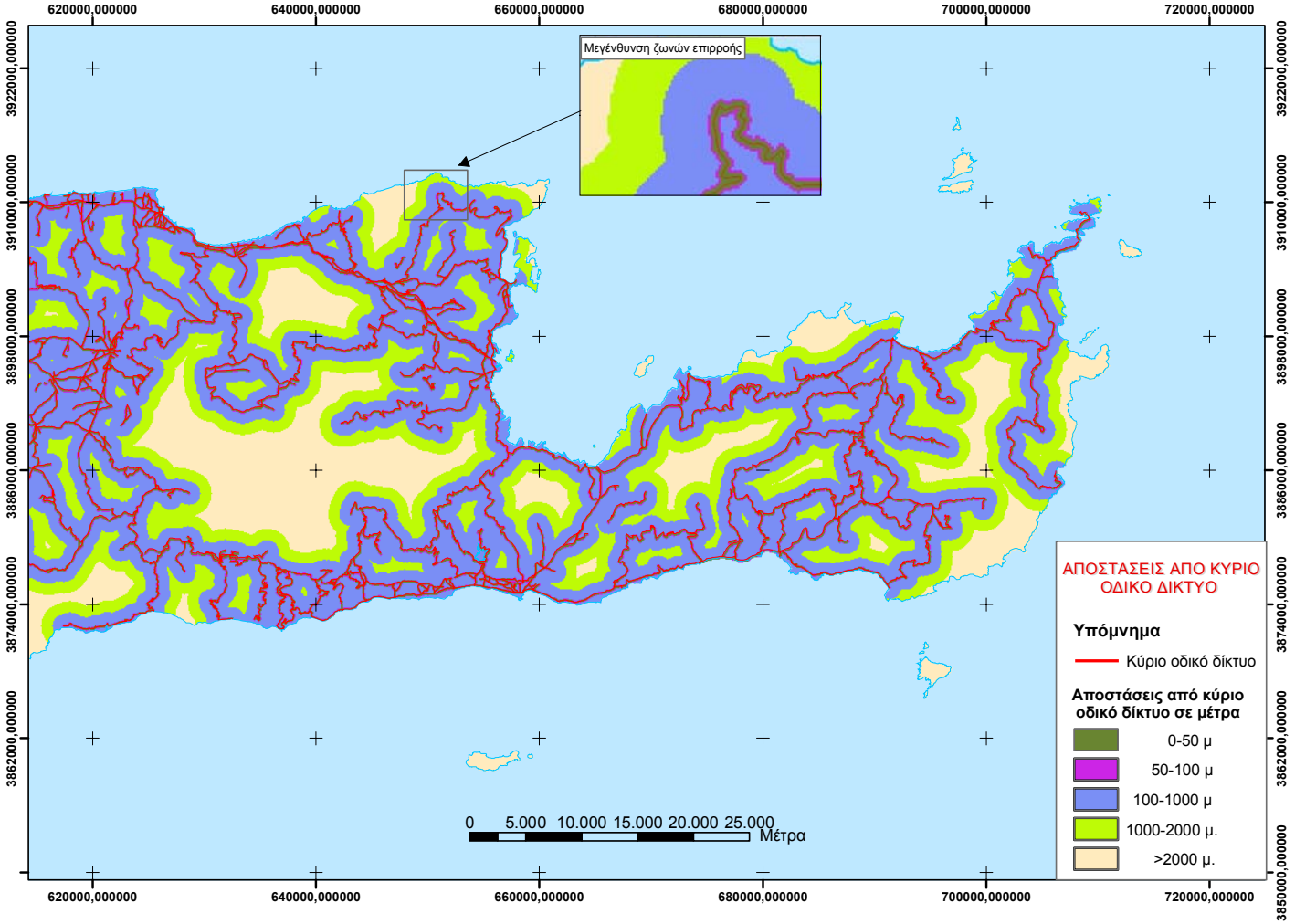
διανυσματικής πολυγωνικής μορφής. Ανάλογα με τις επιλογές που χρήστη και το είδος της μελέτης, το νέο αρχείο εξόδου μπορεί να αποτελεί είτε μία, είτε πολλαπλές ζώνες σε συγκεκριμένη απόσταση από το γραμμικό, σημειακό ή πολυγωνικό χαρακτηριστικό του επιπέδου πληροφορίας.



Σχήμα 5.5: Ο οδηγός δημιουργίας ζωνών επιρροής (Buffer Wizard).

Η εύρεση των αποστάσεων γύρω από τα χαρακτηριστικά ενός επιπέδου πληροφορίας μπορεί να γίνει και με χρήση της επέκτασης του ArcView (ή του ArcGIS) που επιτρέπει χωρική ανάλυση των δεδομένων και ονομάζεται Spatial Analyst. Χρησιμοποιείται η εντολή "Find Distance" του μενού επιλογών "Analysis" του προγράμματος ArcView 3.2. Αντίστοιχα στο πρόγραμμα ArcGIS 8.1 χρησιμοποιείται η εντολή "Distance–Straight line" από τη γραμμή εργαλείων Spatial Analyst. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας επιφάνειας κυψελωτής μορφής δεδομένων, που απεικονίζει κυκλικές ζώνες σε διάφορες αποστάσεις από το κύριο διανυσματικό δεδομένο στο οποίο εφαρμόστηκε η εντολή.

Στο συγκεκριμένο στάδιο, για την εύρεση των αποστάσεων γύρω από το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς, αλλά και σε ανάλογες περιπτώσεις χωρικής ανάλυσης στην πορεία της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η επέκταση Spatial Analyst. Με βάση το ψηφιακό υπόβαθρο των κύριων δρόμων, δημιουργήθηκαν 5 κυκλικές ζώνες επιρροής γύρω από κάθε δρόμο του νομού (Σχήμα 5.6).

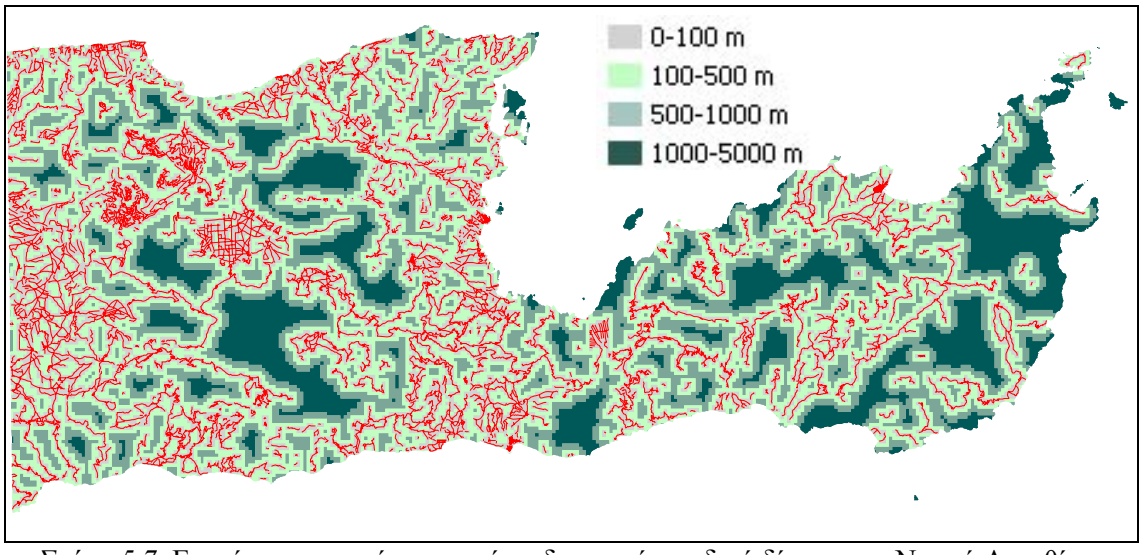


Σχήμα 5.6 : Θεματικός χάρτης των αποστάσεων γύρω από το κύριο οδικό δίκτυο του Ν. Λασιθίου.

Η πρώτη ζώνη αντιστοιχεί σε αποστάσεις από 0 έως 50 m από το οδικό δίκτυο, η δεύτερη σε αποστάσεις από 50 έως 100 m, η τρίτη από 100 έως 1000 m, η τέταρτη από 1000 έως 2000 m και η πέμπτη σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 2000 m. Χρησιμοποιώντας την εντολή Reclassify από το μενού εντολών του Spatial Analyst, είναι δυνατή η επαναταξινόμηση των δεδομένων εξόδου. Η επαναταξινόμηση στοχεύει στην αντιστοίχηση κωδικοποιημένων τιμών για τις ψηφίδες που ανήκουν σε κάθε μια κυκλική επιφάνεια. Για παράδειγμα, όλες οι ψηφίδες που απέχουν απόσταση από 0 έως 50 m από τους δρόμους, μετά την επαναταξινόμηση λαμβάνουν την κωδικοποιημένη τιμή 1, οι ψηφίδες που απέχουν απόσταση από 50 έως 100 m από τους δρόμους, λαμβάνουν την τιμή 2, κ.ο.κ. Στη συνέχεια η κυψελωτή επιφάνεια που προέκυψε, μετατράπηκε σε διανυσματική μορφή στα όρια της ακτογραμμής του Ν. Λασιθίου.

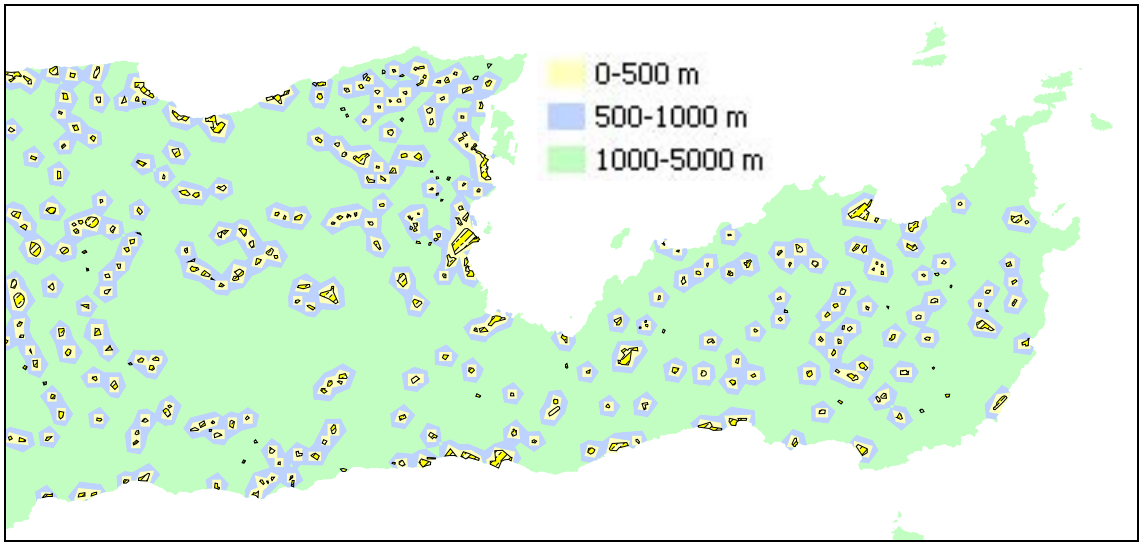
Ανάλογη διαδικασία ακολουθήθηκε και για την εύρεση αποστάσεων γύρω από το δευτερεύον οδικό δίκτυο και γύρω από τους οικισμούς (Σχήματα 5.7 και 5.8).

Για το δευτερεύον οδικό δίκτυο του νομού, δημιουργήθηκαν 4 ζώνες που αντιστοιχούν σε αποστάσεις από 0 έως 100 m, 100 έως 500 m, 500 έως 1000 και 1000 έως 5000 m.



Σχήμα 5.7: Επιφάνεια αποστάσεων από το δευτερεύων οδικό δίκτυο του Νομού Λασιθίου.

Αντίστοιχα για τους οικισμούς, δημιουργήθηκαν 3 ζώνες που αντιστοιχούν σε αποστάσεις από 0 έως 500 m, 500 έως 1000 και 1000 έως 5000 m.

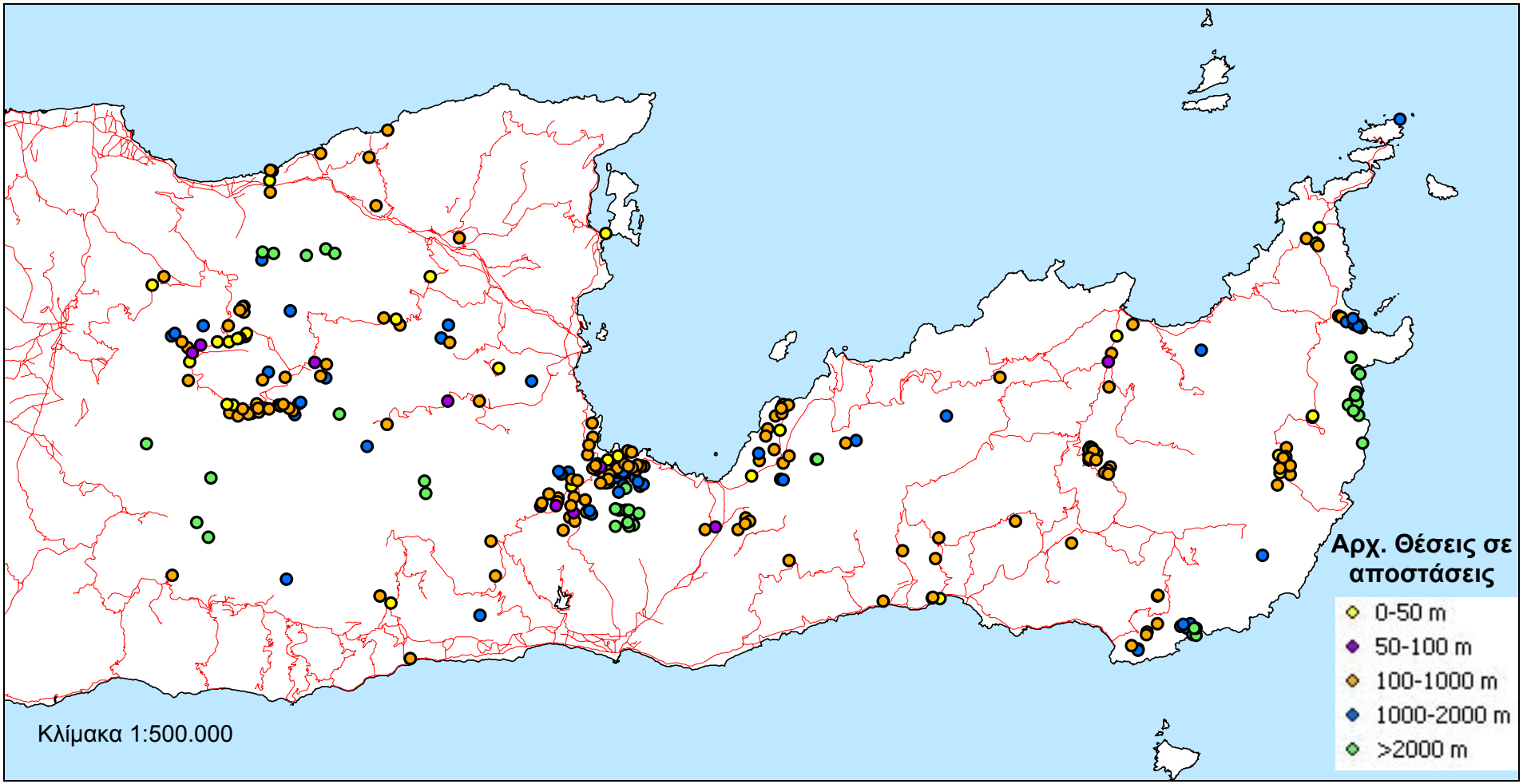


Σχήμα 5.8: Επιφάνεια αποστάσεων από τους οικισμούς του Νομού Λασιθίου.

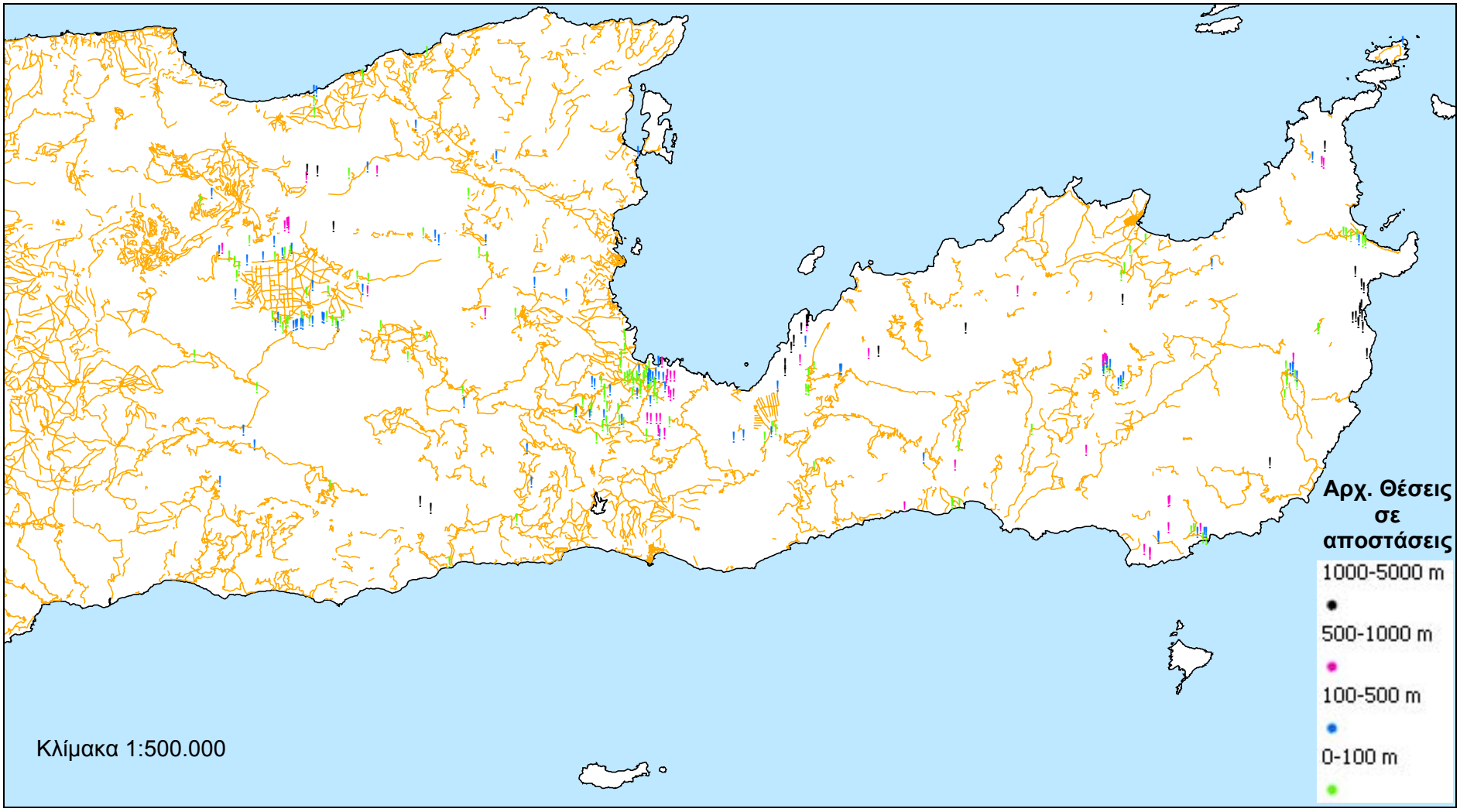
Η εύρεση της χωρικής σχέσης των χαρακτηριστικών ενός επιπέδου πληροφορίας ως προς τα χαρακτηριστικά ενός άλλου επιπέδου, γίνεται με τη χρήση της χωρικής αναζήτησης. Η εντολή της χωρικής αναζήτησης στο ArcView 3.2 είναι η "select by themes", ενώ στο ArcGIS 8.1 είναι η εντολή "Select by location". Μετά τη μετατροπή των κυψελωτών δεδομένων σε δεδομένα διανυσματικής μορφής, απομονώθηκε κάθε ζώνη επιρροής σε ξεχωριστό επίπεδο πληροφορίας. Έτσι, αναλύθηκε η χωρική σχέση των αρχαιολογικών θέσεων με κάθε ζώνη επιρροής και για τις τρεις περιπτώσεις. Διαπιστώθηκαν δηλαδή οι αρχαιολογικές θέσεις που περιέχονται στις ζώνες επιρροής και άρα οι αποστάσεις τους από τους δρόμους και τους οικισμούς.

Προέκυψε ότι το 9% περίπου των θέσεων βρίσκεται σε απόσταση 0 έως 50 m από το κύριο οδικό δίκτυο, 5% από τις οποίες δεν προστατεύεται από την Αρχαιολογική Υπηρεσία. Το 4% των θέσεων βρίσκεται σε απόσταση 50 έως 100 m από το κύριο οδικό δίκτυο, 55% σε απόσταση 100 έως 1000 m, το 17% σε απόσταση 1000 έως 2000 m και το 15% σε απόσταση μεγαλύτερη των 2000 m.

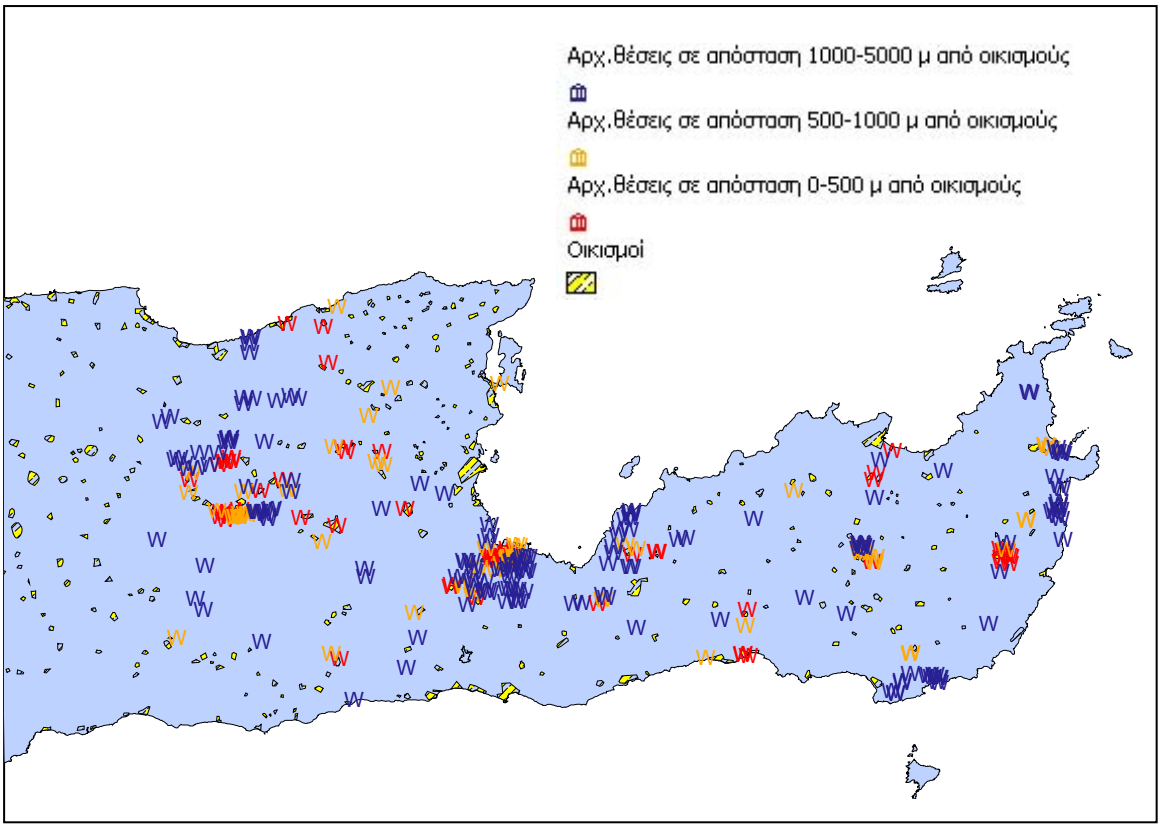
Όσον αφορά το δευτερεύον οδικό δίκτυο, 44% των θέσεων βρίσκεται στην πρώτη ζώνη επιρροής (0-100 m). Το 30% βρίσκεται στη δεύτερη ζώνη επιρροής (100-500 m), το 15% στην τρίτη ζώνη επιρροής (500-1000 m) και 11% στη ζώνη επιρροής των 1000-5000 m.



Σχήμα 5.9: Αρχαιολογικές θέσεις που βρέθηκαν στις πέντε κατηγορίες αποστάσεων από το κύριο οδικό δίκτυο του Νομού Λασιθίου.



Σχήμα 5.10: Αρχαιολογικές θέσεις που βρέθηκαν στις 4 κατηγορίες αποστάσεων από το δευτερεύων οδικό δίκτυο του Νομού Λασιθίου.



Σχήμα 5.11: Αρχαιολογικές θέσεις που βρέθηκαν στις τρεις κατηγορίες αποστάσεων από τους οικισμούς του νομού Λασιθίου.

Τέλος, όσον αφορά την εγγύτητα σε οικισμούς διαπιστώθηκε ότι το 21% των αρχαιολογικών θέσεων βρίσκεται σε απόσταση 0 έως 500 μέτρα από οικισμούς, το 22% βρίσκεται σε απόσταση 500 έως 1000 μέτρα και το 57% σε απόσταση μεγαλύτερη των 1000 μέτρων.

5.2.2 Σεισμικός παράγοντας

α) Ανάλυση σεισμικής απόσβεσης

Από τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών σχετικά με τα σεισμικά φαινόμενα της χρονικής περιόδου 1908-2001 που σημειώθηκαν στον ευρύτερο χώρο της Κρήτης (παράρτημα Α) δημιουργήθηκε η σεισμική βάση δεδομένων. Σε αυτήν εισήχθηκαν μόνο σεισμοί μεγέθους μεγαλύτερου ή ίσου με 4,5 R. Ο λόγος είναι ότι σεισμοί μικρότερου μεγέθους δεν εμφανίζουν σημαντικά μακροσεισμικά αποτελέσματα (Παπαζάχος, 1989). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των επικέντρων των σεισμών μετατράπηκαν

στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87. Η βάση περιλαμβάνει πεδία με πληροφορίες ποιοτικές και γεωγραφικές. Περιλαμβάνει δηλαδή πεδία με τις πολικές συντεταγμένες των επικέντρων των σεισμών (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) και με τις αντίστοιχες χαρτογραφικές (x και y) στο σύστημα ΕΓΣΑ 87. Περιλαμβάνει ακόμη πεδία με τα εστιακά βάθη των σεισμών, τα μεγέθη τους και την ημερομηνία εκδήλωσής τους. Οι γεωγραφικές πληροφορίες της βάσης χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογραφική απεικόνιση των επικέντρων των σεισμών με διανυσματικής μορφής δεδομένα (σημεία). Η αντιστοίχηση της βάσης δεδομένων πραγματοποιείται μέσω σύνδεσης της γλώσσας SQL και με χρήση της εντολής "Add Event Theme" του προγράμματος ArcView (ή της αντίστοιχης εντολής "Add XY data" του ArcGIS). Έτσι κάθε εγγραφή της βάσης αντιστοιχεί με ένα μοναδικό σημειακό χαρακτηριστικό του διανυσματικού επιπέδου πληροφορίας, το οποίο απεικονίζεται στην θέση που ορίζεται από τα πεδία της βάσης με την γεωγραφική πληροφορία.

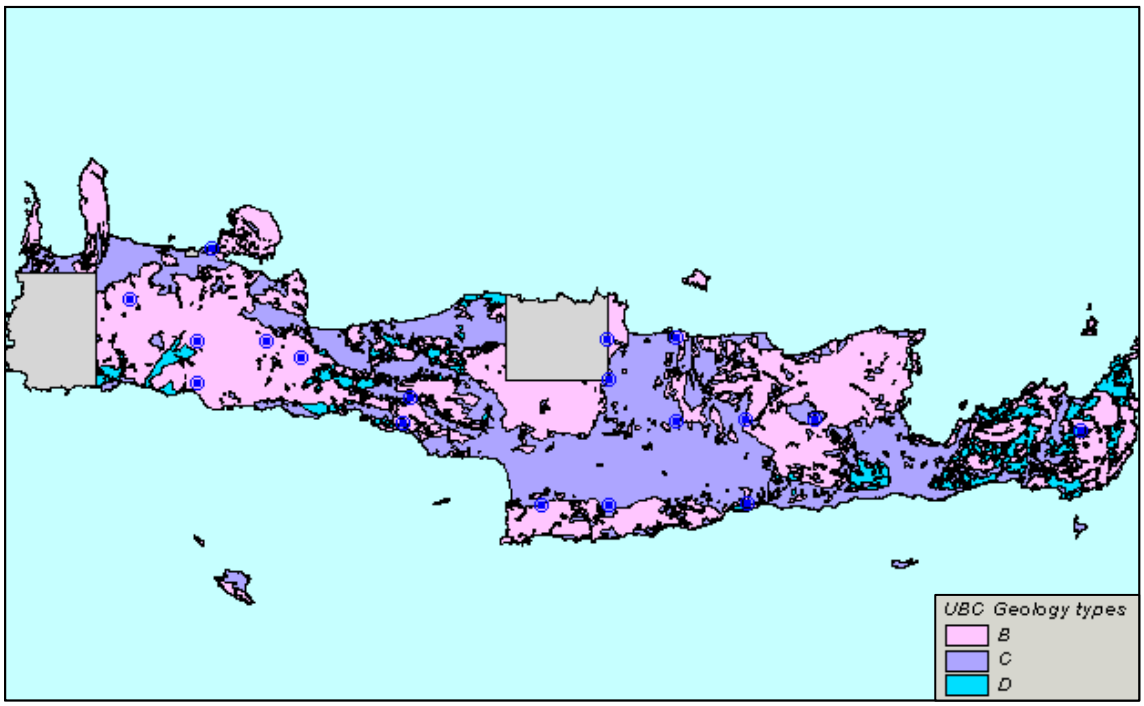
Με τον παραπάνω τρόπο, αποτυπώθηκαν τα επίκεντρα των σεισμών τόσο του θαλάσσιου όσο και του ηπειρωτικού χώρου της Κρήτης (Σχήμα 4.11). Ανάλογα με το εστιακό τους βάθος, οι σεισμοί ταξινομήθηκαν σε 3 κατηγορίες: σε επιφανειακούς σεισμούς (βάθη εστίας από 0 έως 60 km), σε σεισμούς ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους (βάθη εστίας μεταξύ 60 και 166km), και σε σεισμούς άγνωστου βάθους (μη ύπαρξη της πληροφορίας του εστιακού βάθους).

Για την ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι εμπειρικές σχέσεις των Παπαζάχου και Παπαϊωάννου (2001) που δίνουν τις τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης PGA σε συνάρτηση με το μέγεθος ροπής της σεισμικής κίνησης (M_W), την επικεντρική απόσταση (R) και τις εδαφικές συνθήκες (S). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η πρώτη σχέση, για το σύνολο των επιφανειακών καταγεγραμμένων σεισμών του παραρτήματος Α (με εστιακό βάθος 0<h<60 km).

$$\ln PGA = 4.16 + 0.69M_W - 1.24\ln(R+6) + 0.12S \pm 0.70 \qquad (5.1)$$

Για τις εδαφικές συνθήκες, ταξινομήθηκε ο γεωλογικός χάρτης της Κρήτης σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά UBC 1997 (Σχήμα 5.11) σε τρεις τάξεις, B, C και D, με αντίστοιχες τιμές για την παράμετρο S τις τιμές 0, 1 και 2. Διαπιστώθηκαν στη συνέχεια οι εδαφικές συνθήκες των επικέντρων κάθε σεισμού. Χρησιμοποιήθηκαν

μόνο οι καταγραφές των επιφανειακών σεισμών που σημειώθηκαν στον ηπειρωτικό χώρο της Κρήτης, με μεγέθη μεγαλύτερα από 4,5 R.



Σχήμα 5.11: Ο γεωλογικός χάρτης της Κρήτης μετά την ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά UBC1997. Τα γεωλογικά φύλλα Ανώγεια και Παλαιόχωρα που φαίνονται με γκρι χρώμα, δεν έχουν εκδοθεί ακόμη από το ΙΓΜΕ, γι αυτό και δεν χρησιμοποιήθηκαν στην ταξινόμηση. Αυτό δεν επηρέασε τον υπολογισμό των εδαφικών επιταχύνσεων, διότι οι περιοχές αυτές δεν περιείχαν κανένα επίκεντρο επιφανειακού σεισμού.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης PGA για τους σεισμούς αυτούς για τέσσερις διαφορετικές επικεντρικές αποστάσεις (R=5 km, 10 km, 50 km και 100 km). Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης που προέκυψαν για τις τέσσερις επικεντρικές αποστάσεις και για μεγέθη σεισμών M_w μεγαλύτερων από 4,5 R (στήλη 2 Πίνακα) που καταγράφηκαν στην Κρήτη σε περιοχές με εδαφικές συνθήκες κατά UBC 1997 (στήλη 9 Πίνακα). Οι τιμές του λογαρίθμου PGA που προέκυψαν για τις αποστάσεις των 50 και 100 km, παρουσίασαν ιδιαιτερότητες, με εμφάνιση αρνητικών και μηδενικών τιμών.

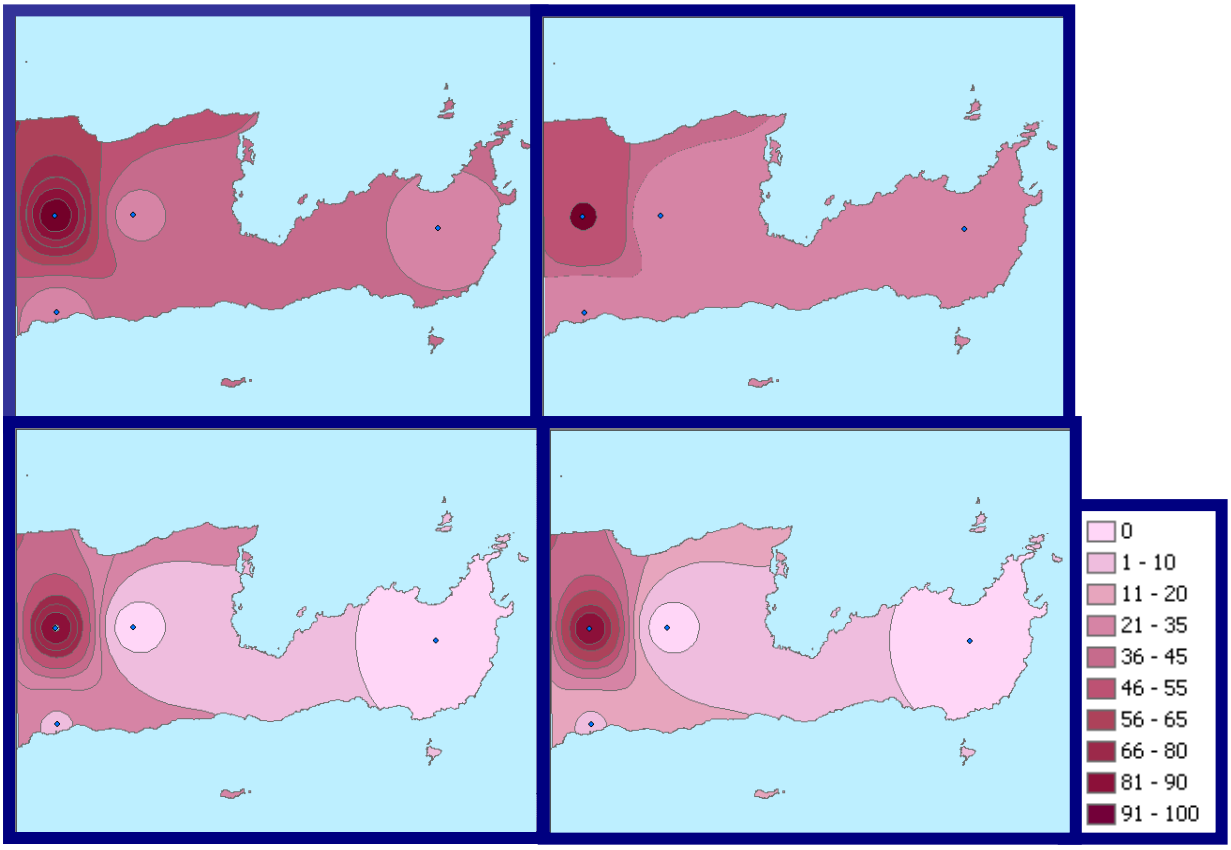
Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, τόσο μειώνεται η εδαφική επιτάχυνση της σεισμικής ενέργειας. Παρ'όλα αυτά διαπιστώνεται ότι η επίδραση των εδαφικών συνθηκών στην απόσβεση των σεισμικών κυμάτων δεν είναι τόσο μεγάλη, σε αντίθεση με το μέγεθος ροπής του

σεισμού M_w που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την εξασθένηση. Βέβαια στην περίπτωση αυτή δε λαμβάνεται υπόψη ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού, που πιθανόν να επηρεάζει και αυτός το ρυθμό απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων.

Πίνακας 5.1: Οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης, όπως υπολογίστηκαν από τη σχέση των Παπαζάχου-Παπαϊωάννου (2001)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Mw	ΒΑΘΟΣ km	PGA (5 km) cm/sec^2	PGA (10 km) cm/sec^2	PGA (50 km) cm/sec^2	PGA (100 km) cm/sec^2	ΠΕΤΡΩΜΑ	ΤΥΠΟΣ UBC(1997)
17/12/1952	6.7	10	112.170	107.770	101.500	101.500	Μεταμορφωμένα πετρώματα	B
31/3/1953	4.6	10	26.310	25.280	23.807	23.807	Ασβεστόλιθοι	B
17/10/1953	4.9	10	35.163	33.784	0.000	0.000	Μάργες	C
11/8/1954	4.9	10	32.460	31.187	29.370	29.370	Ασβεστόλιθοι	B
11/1/1955	4.9	10	32.460	31.187	29.370	29.370	Ασβεστόλιθοι - Φυλλίτες	B
8/5/1955	4.9	10	32.460	31.187	29.370	29.370	Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες	B
26/2/1959	4.5	10	24.532	23.570	22.198	22.198	Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες	B
14/5/1959	6.3	10	84.775	82.270	77.478	77.478	Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες	B
28/12/1962	4.7	10	28.722	27.112	25.533	25.533	Μεταμορφωμένα πετρώματα	B
19/4/1963	4.5	10	24.532	23.570	22.198	22.198	Μεταμορφωμένα πετρώματα	B
9/4/1965	6.1	15	74.440	71.520	67.356	67.356	Οφιόλιθοι	B
14/12/1967	4.6	0	28.502	27.660	0.000	0.000	Φλύσχης	C
5/111972	4.6	0	28.502	27.660	0.000	0.000	Αλλούβια	C
29/11/1973	6.0	13	69.407	66.686	62.800	62.800	Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες	B
29/12/1973	5.5	0	48.910	46.993	44.256	44.256	Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες	B
7/4/1974	4.6	0	28.502	25.790	0.000	0.000	Αποθέσεις ιζημάτων	C
29/7/1975	4.5	0	26.842	25.790	0.000	0.000	Φλύσχης	C
15/5/1979	5.4	0	45.604	44.256	41.680	41.680	Ασβεστόλιθοι	B
15/6/1979	5.1	0	37.337	35.873	33.784	33.784	Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες	B
13/9/1981	4.9	0	35.163	33.784	0.000	0.000	Φλύσχης	C
14/9/1981	4.8	0	30.265	29.078	27.385	27.385	Ασβεστόλιθοι	B
5/11/1997	4.7	15	30.570	29.665	0.000	0.000	Αποθέσεις ιζημάτων	C
10/32001	4.7	5	33.448	32.136	0.000	0.000	Φυλλίτες	D
27/4/1963	4.4	26	6374.111	837.147	0.000	0.000	Αποθέσεις ιζημάτων	C
25/12/68	4.8	50	14044.7	1540.712	0.000	0.000	Αποθέσεις ιζημάτων	C
4/5/1972	6.1	50	179871.862	11271.131	0.000	0.000	Αποθέσεις ιζημάτων	C
29/9/1983	4.5	35	22.198	22.198	22.198	22.198	Ασβεστόλιθοι	B
26/11/2001	5.0	24	31.500	31.500	31.500	31.500	Ασβεστόλιθοι	B

Στο Σχήμα 5.12 απεικονίζονται οι επιφάνειες των εδαφικών επιταχύνσεων των επιφανειακών σεισμών του νομού Λασιθίου, για τις διαφορετικές επικεντρικές αποστάσεις (R=5, 10, 50 και 100 km), όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα ArcView με χρήση της επέκτασης αυτού, Spatial Analyst. Με σκούρο κόκκινο παριστάνονται οι μεγάλες εδαφικές επιταχύνσεις ενώ με ροζ οι μικρές.



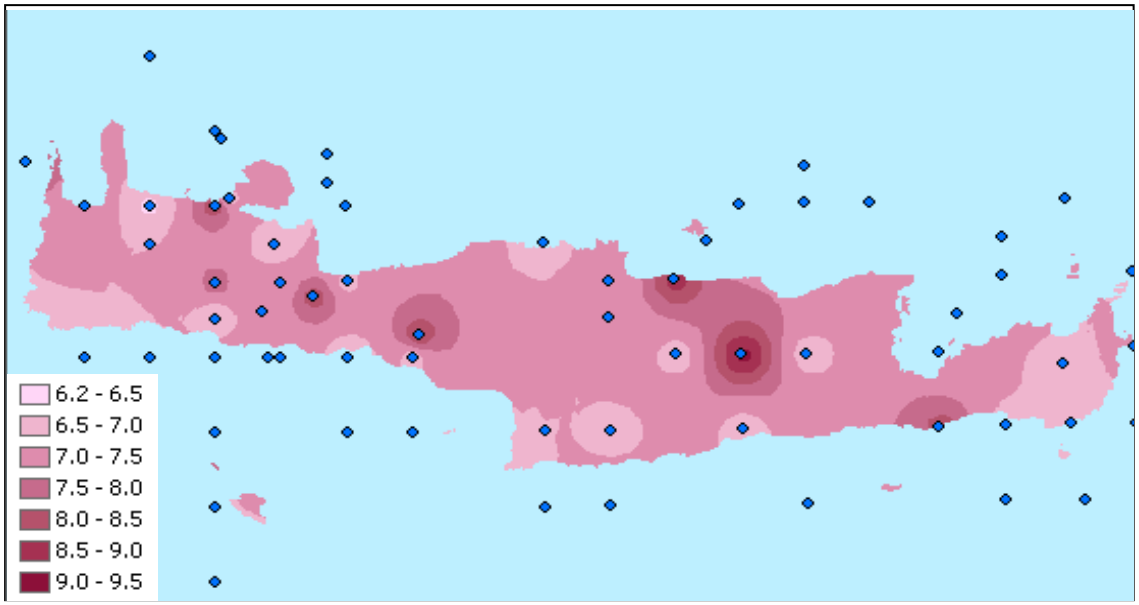
Σχήμα 5.12: Επιφάνειες των εδαφικών επιταχύνσεων (σε cm/sec^2) για επιφανειακούς σεισμούς (h=0-60km) του νομού Λασιθίου και για επικεντρικές αποστάσεις R=5km (πάνω αριστερά), R=10km (πάνω δεξιά), R=50km (κάτω αριστερά) και R=100km (κάτω δεξιά).

Για την εξαγωγή επιπλέον συμπερασμάτων για την επίδραση μόνο του μεγέθους στην ένταση των σεισμών, χρησιμοποιήθηκε και η σχέση υπολογισμού των μέγιστων εντάσεων I_0 από το μέγεθος M του σεισμού (Παπαϊωάννου 1984).

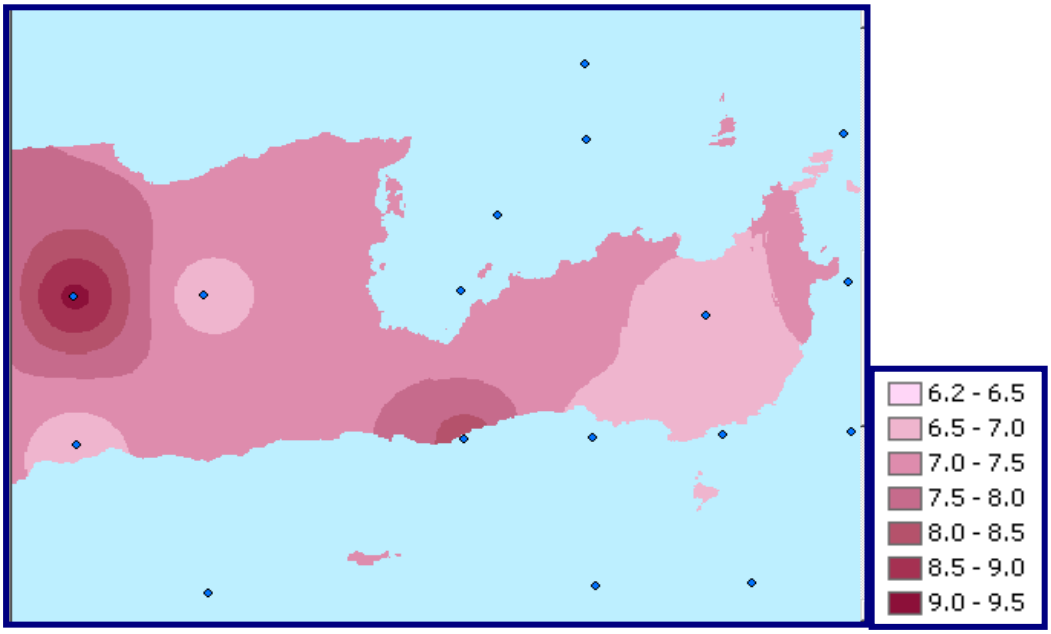
$$I_0 = \alpha + \beta M \qquad (5.2)$$

όπου τα α και β είναι σταθερές που λαμβάνουν τιμές 1,23 και 1,1 αντίστοιχα, για τους επιφανειακούς σεισμούς του ελληνικού χώρου. Η σχέση αυτή δεν λαμβάνει υπόψη το εστιακό βάθος και τις εδαφικές συνθήκες. Υπολογίστηκαν έτσι οι εντάσεις σεισμών

τόσο του ηπειρωτικού όσο και του θαλάσσιου χώρου, σε αποστάσεις 20 km από την ακτογραμμή. Με βάση τις τιμές των εντάσεων δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες των εντάσεων με χρήση του Spatial Analyst και προέκυψε ο θεματικός χάρτης των εντάσεων των σεισμών (Σχήμα 5.13).



Σχήμα 5.13: Θεματικός χάρτης των εντάσεων των επιφανειακών σεισμών της ευρύτερης περιοχής Κρήτης.



Σχήμα 5.14: Θεματικός χάρτης των εντάσεων των επιφανειακών σεισμών του Νομού Λασιθίου.

β) Γειτνίαση Ενεργών Σεισμοτεκτονικών Ρηγμάτων

Ο χαρακτηρισμός ρηγμάτων ως σεισμικώς ενεργών ή όχι, γίνεται με βάση ιστορικά, γεωφυσικά και σεισμολογικά κριτήρια. Το 1978 ο Ambraseys ταξινόμησε τα ρήγματα σε τέσσερις κατηγορίες: τα ενεργά, τα πιθανά ενεργά, τα αβέβαια ενεργά και τα αδρανή ή ανενεργά ρήγματα (Παυλίδης-Μουντράκης, 1986).

α) Ως ενεργά χαρακτηρίζονται τα ρήγματα που συνδέονται άμεσα με ισχυρούς σεισμούς (πρόσφατους ή ιστορικούς) ή σεισμικές ακολουθίες και όταν παρουσιάζουν μικρή αλλά συνεχή μετακίνηση των δύο τεμαχών τους, που διαπιστώνεται με ακριβείς γεωδαιτικές μετρήσεις. Επίσης όταν "κόβουν" πρόσφατα ιζήματα ή ηφαιστειακά πετρώματα τεταρτογενούς ηλικίας και όταν είναι συνδεδεμένα με ορισμένους ειδικούς γεωμορφολογικούς σχηματισμούς ή θερμές πηγές. Τέλος, όταν συνδέονται άμεσα με μικροσεισμούς.

β) Ως πιθανά ενεργά χαρακτηρίζονται τα ρήγματα εκείνα που συνδέονται με μικρό βαθμό συσχέτισης με μεγάλους σεισμούς ή συνηθέστερα μόνο με μικροσεισμούς. Επίσης εκείνα τα ρήγματα για τα οποία δεν υπάρχουν ιστορικές πληροφορίες για σεισμούς και εδαφικές μετακινήσεις. Τέλος, εκείνα τα ρήγματα, όπου τα νέα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά με τα οποία συνδέονται, έχουν διαβρωθεί ή δεν διακρίνονται ευκρινώς.

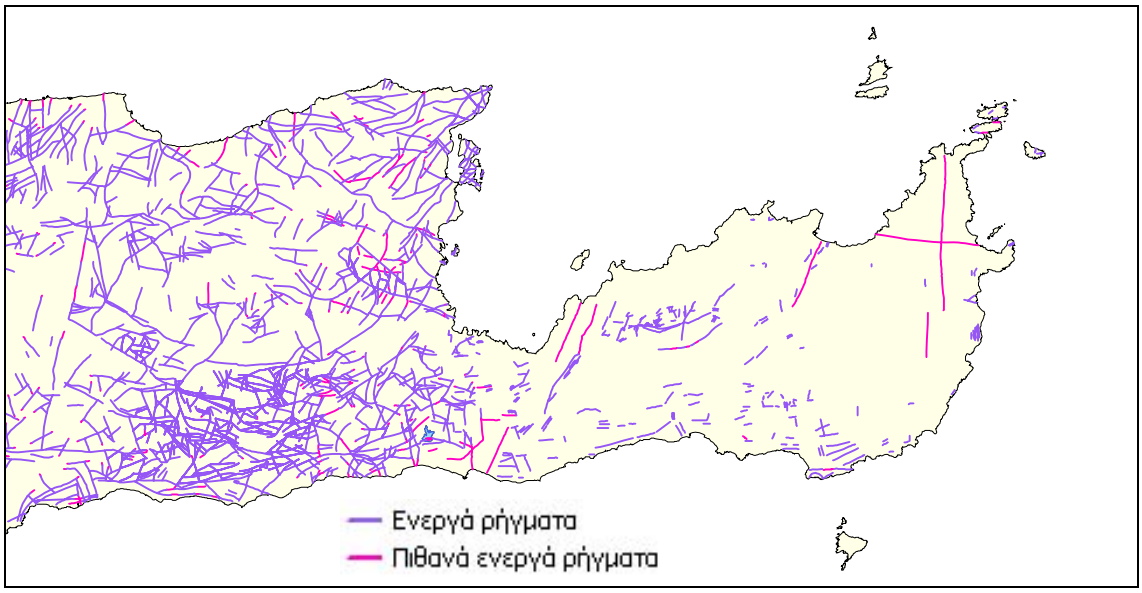
γ) Ως αβέβαια ενεργά χαρακτηρίζονται γενικά τα ρήγματα για τα οποία όλα τα παραπάνω κριτήρια δεν δίνουν ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας.

δ) Ως αδρανή ή ανενεργά ρήγματα χαρακτηρίζονται εκείνα για τα οποία δεν υπάρχουν σεισμολογικές, ιστορικές και γεωλογικές ενδείξεις δραστηριοποίησής τους στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω χαρακτηρισμοί δεν μπορεί να είναι απόλυτοι. Ιδιαίτερα στο χαρακτηρισμό κάποιου ρήγματος ως ενεργού μόνο με γεωλογικά κριτήρια πρέπει κανείς να είναι επιφυλακτικός, καθώς επίσης και για εκείνα που χαρακτηρίστηκαν τεκτονικά αδρανή, γιατί τέτοιου είδους ρήγματα αιφνιδίασαν στο παρελθόν. Από την άλλη πλευρά, ούτε όλα τα ενεργά ρήγματα είναι

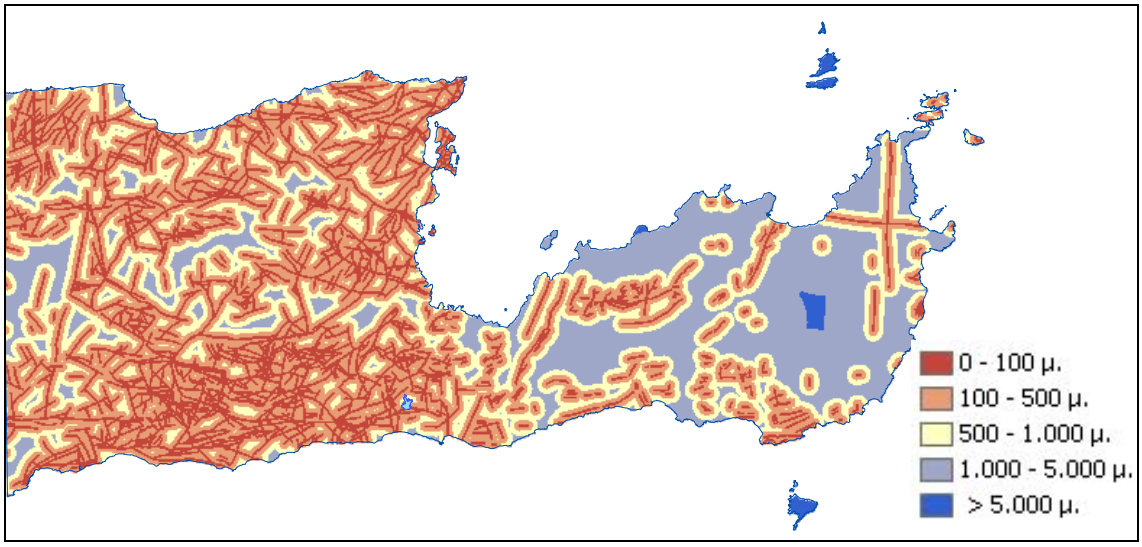
πιθανό να γεννήσουν σεισμούς, γιατί η δράση τους μπορεί να σχετίζεται με πλαστική παραμόρφωση (Παυλίδης-Μουντράκης 1986).

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 1999), τα κτήρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή τους ή διακοπή της λειτουργίας τους. Ο ΕΑΚ αναφέρει ακόμη ότι δεν επιτρέπεται η δόμηση κτισμάτων μεγάλης σπουδαιότητας στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται σεισμικώς ενεργά. Οι αρχαιολογικοί χώροι θεωρούνται εξαιρετικής σπουδαιότητας. Έτσι στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητάς τους, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη των αποστάσεων των αρχαιολογικών θέσεων από τα ενεργά και τα πιθανά ενεργά ρήγματα.

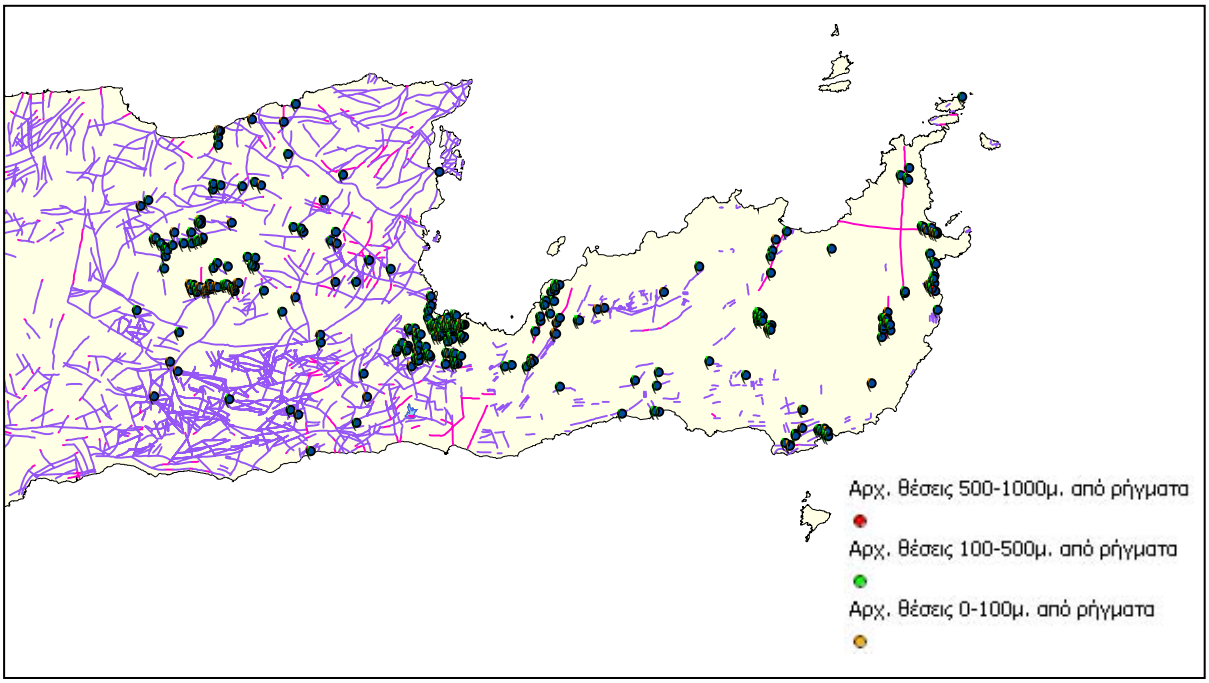


Σχήμα 5.15: Θεματικός χάρτης πιθανών και ενεργών ρηγμάτων του Νομού Λασιθίου.

Αρχικά δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες των αποστάσεων από τα ρήγματα και αυτές κατατάχθηκαν σε πέντε ζώνες, που αντιστοιχούν σε αποστάσεις από 0 έως 100 m, 100 έως 500 m, 500 έως 1000, 1000 έως 5000 m και μεγαλύτερες των 5000 m (Σχήμα 5.16). Έπειτα διαπιστώθηκε ο αριθμός των θέσεων που ανήκουν σε κάθε ζώνη εγγύτητας ως προς τα ρήγματα. Το 29% των αρχαιολογικών θέσεων βρέθηκε σε απόσταση 0 έως 100 m από τα ρήγματα, το 70,5% σε απόσταση 100 έως 500 m και το 0,5% σε απόσταση 500 έως 1000 m (Σχήμα 5.17).



Σχήμα 5.16: Επιφάνειες αποστάσεων από τα ρήγματα του Νομού Λασιθίου.



Σχήμα 5.17: Οι αρχαιολογικές θέσεις σε σχέση με τις αποστάσεις τους από τα ενεργά και πιθανά ενεργά ρήγματα του Νομού Λασιθίου.

5.2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν τη μέση και μέση μέγιστη θερμοκρασία, τη μέγιστη και συνολική βροχόπτωση και τη σχετική υγρασία (Παράρτημα Α). Μελετώντας τις τιμές που συλλέχθηκαν ανά έτος και ανά δεκαετία από 12 μετεωρολογικούς σταθμούς της Κρήτης, αναδεικνύονται οι κλιματολογικές τάσεις που επικρατούν στην περιοχή. Οι πληροφορίες καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1931 έως 2000. Μετά από τον υπολογισμό των μέσων όρων ανά δεκαετία, δημιουργήθηκε μία χρονική σειρά θεματικών χαρτών μέσω τεχνικών παρεμβολής.

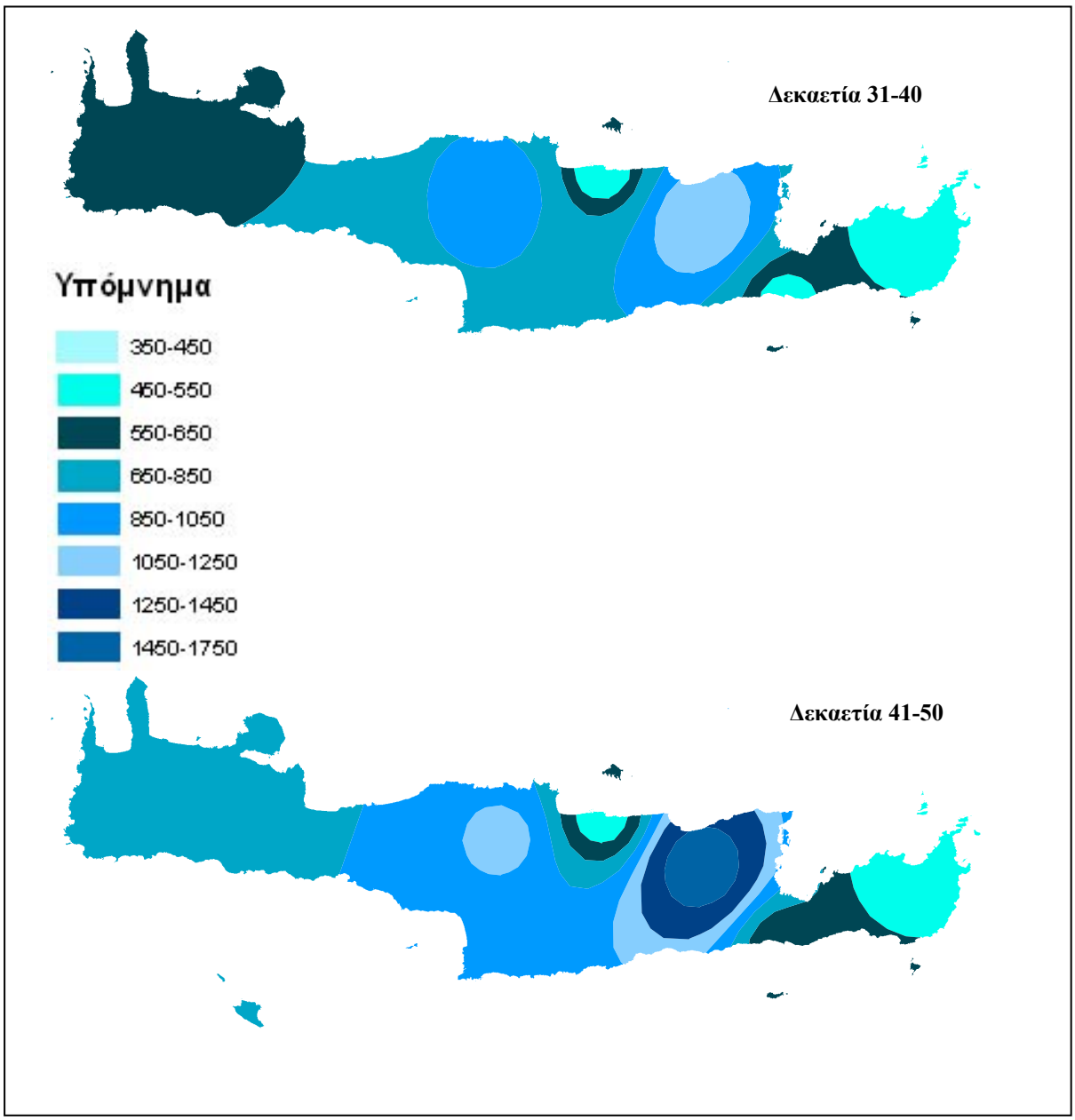
Οι τιμές των συνολικών κατακρημνισμάτων στην Κρήτη τις τελευταίες δεκαετίες, δείχνουν μια σημαντική τάση ελάττωσης σε σχέση με τις δεκαετίες 31-40 και 41-50. Το φαινόμενο εμφανίζεται πιο έντονο στην Ανατολική Κρήτη και ιδιαίτερα στο ανατολικό τμήμα του Νομού Λασιθίου. Σημαντική είναι η μείωση των βροχοπτώσεων και στο νοτιοδυτικό τμήμα του Νομού Χανίων (Σχήματα 5.18, 5.19 και 5.20).

Όσον αφορά τη μέγιστη μέση θερμοκρασία, παρατηρείται ότι κατά τη δεκαετία 1961-1971 οι θερμοκρασίες σε όλη την Κρήτη ήταν αρκετά υψηλότερες. Ακολούθησε μια μείωση της τάξης των τριών βαθμών της κλίμακας Κελσίου, που σημειώθηκε κυρίως στην κεντρική και ανατολική Κρήτη. Τη δεκαετία 1991-2000 παρατηρείται μια νέα αύξηση, της τάξης του 1 έως και 2 βαθμών σε όλο το νησί. Το φαινόμενο της εναλλαγής των μέσων θερμοκρασιών επηρεάζει έντονα την αποσάθρωση των πετρωμάτων και επιδεινώνει το φαινόμενο της διάβρωσης (Σχήμα 5.21).

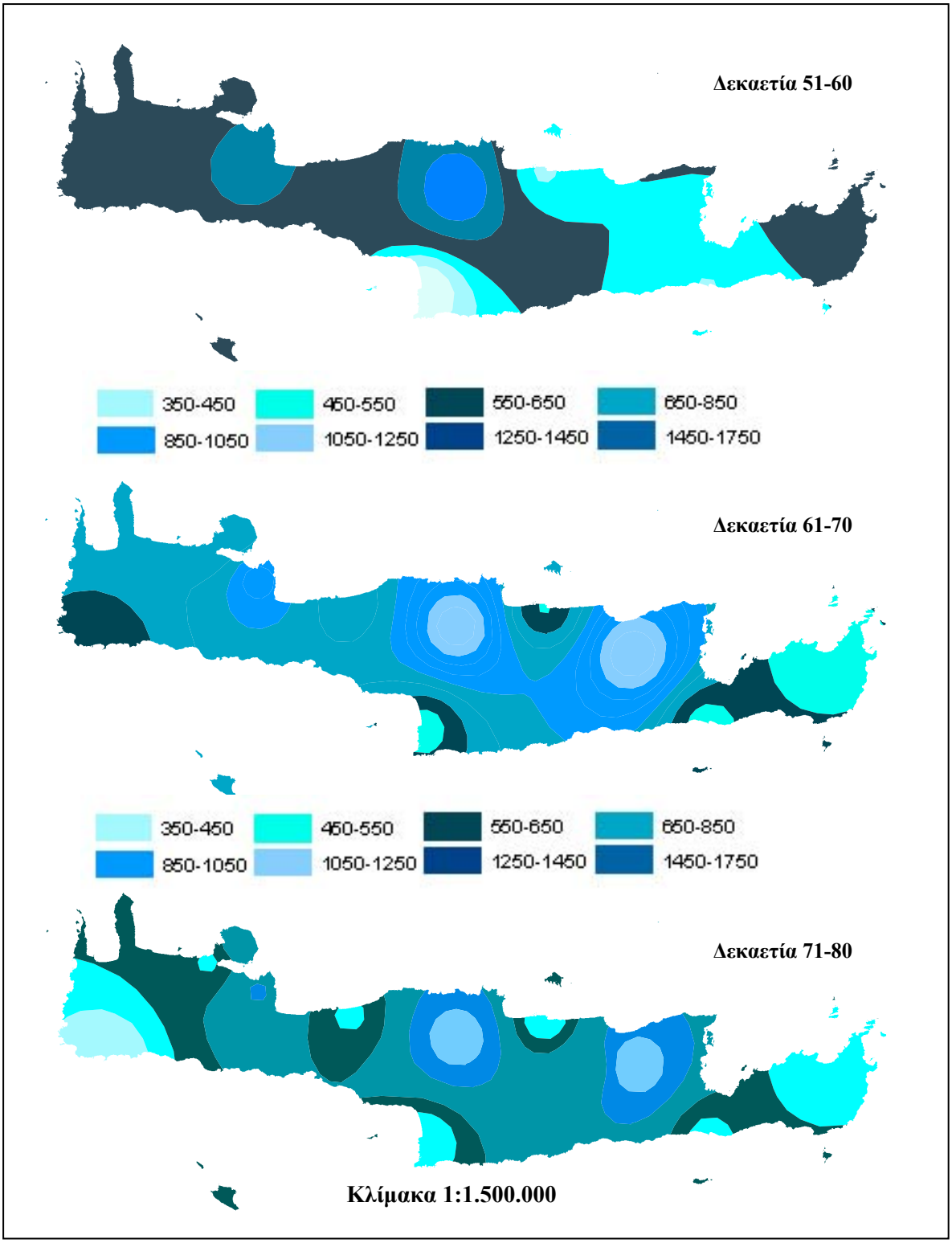
Τέλος, οι τιμές της μέγιστης σχετικής υγρασίας της Κρήτης σημείωσαν αύξηση κατά τις δεκαετίες 70 και 80, αλλά έκτοτε παρατηρείται μια συνεχής μείωση των τιμών (Σχήμα 5.22).

Διαπιστώνεται ότι η φθίνουσα πορεία των επιπέδων βροχόπτωσης, συμβαδίζει με τη μείωση της υγρασίας και την αντίστοιχη αύξηση της μέση θερμοκρασίας. Οι παράγοντες αυτοί αποτελούν κρίσιμους συντελεστές στην αύξηση των δασικών πυρκαγιών. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι τα φαινόμενα των δασικών πυρκαγιών στο Λασίθι εμφανίζονται πιο αυξημένα από το 1980 και έπειτα (Σχήμα

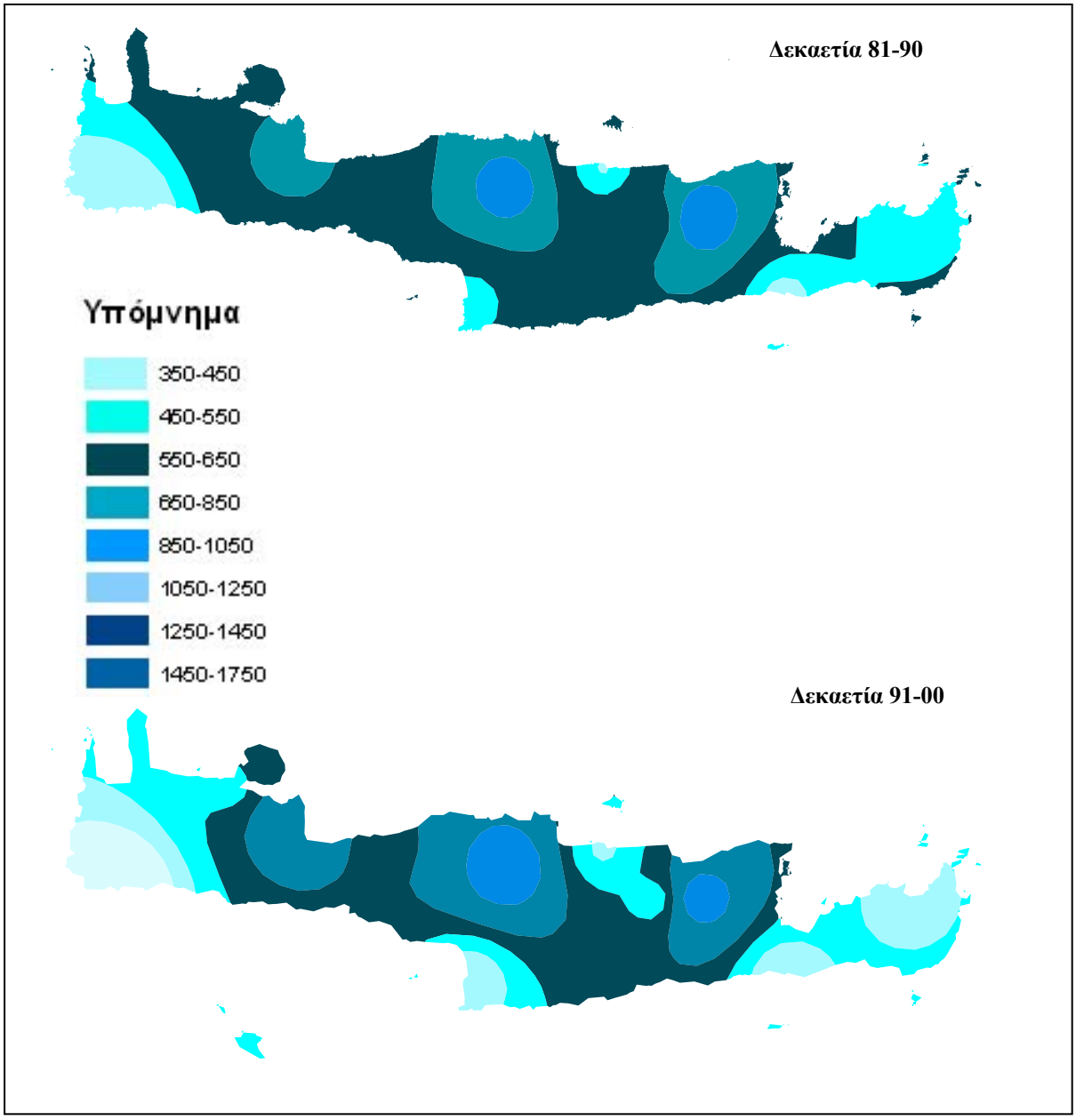
4.13). Το ίδιο χρονικό διάστημα, σημειώθηκε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας με αντίστοιχη μείωση των βροχών.



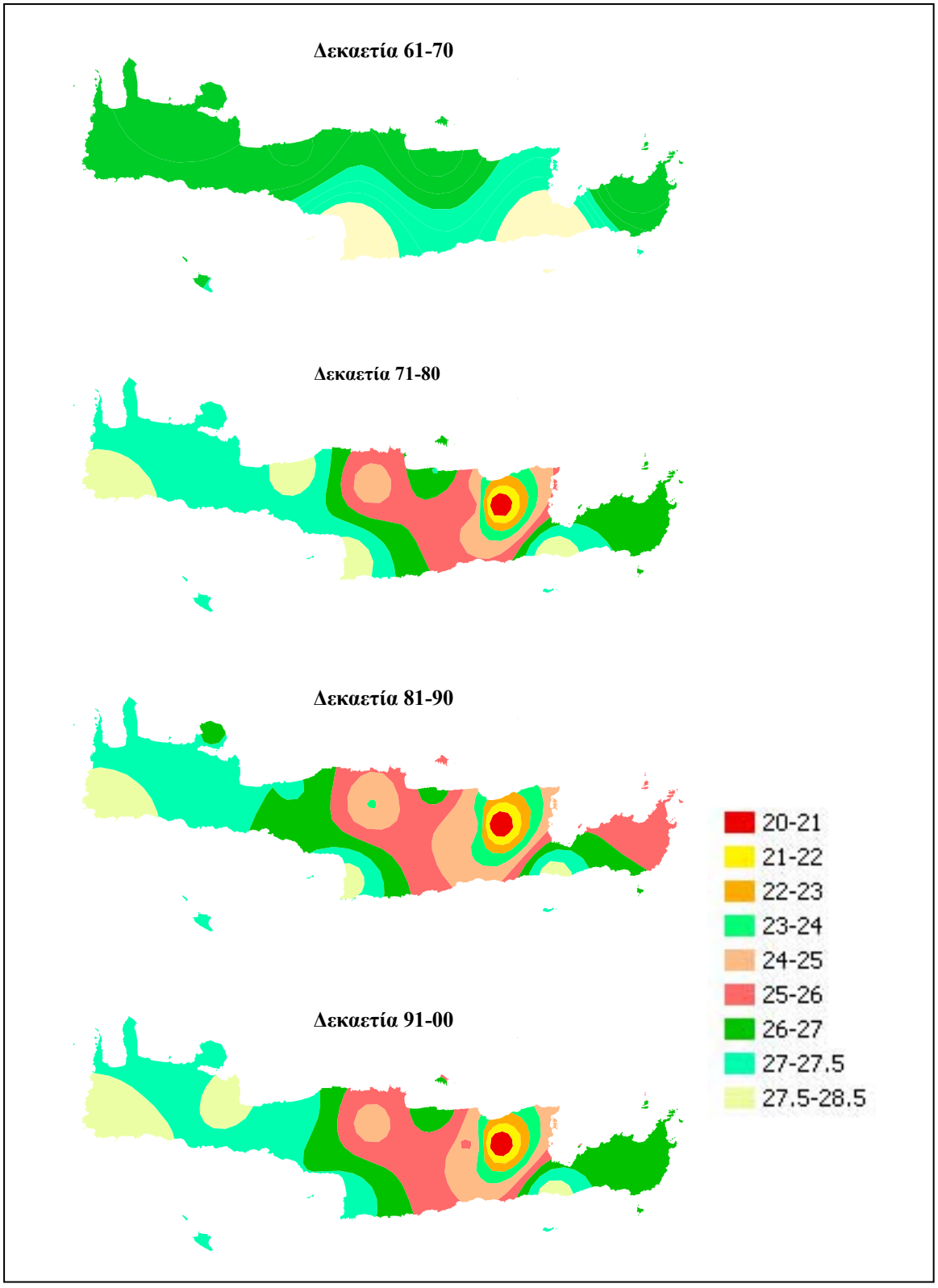
Σχήμα 5.18: Επιφάνειες συνολικών βροχοπτώσεων (mm) Κρήτης για τις δεκαετίες 1931-1940 και 1941-1950. Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:1.500.000.



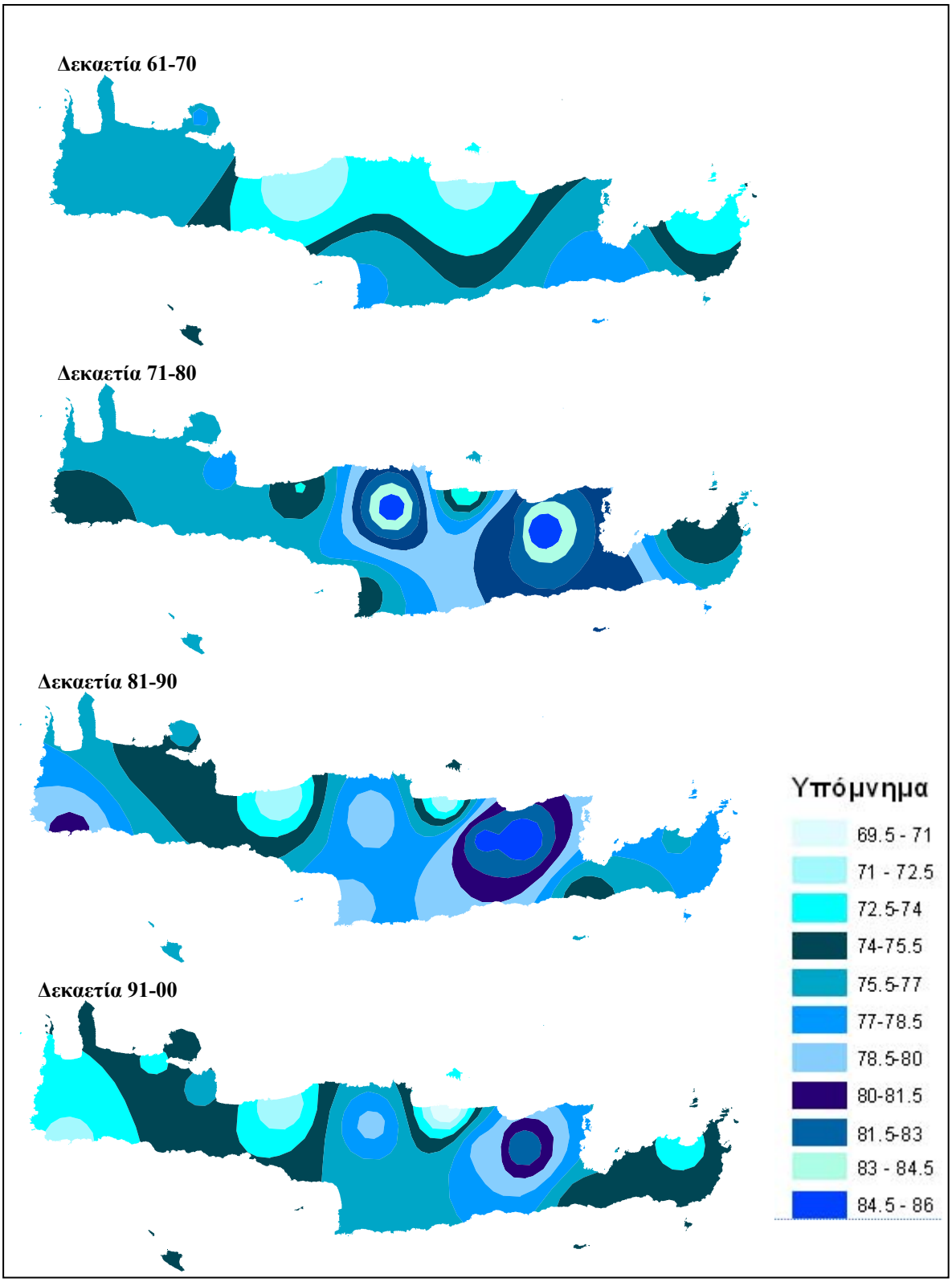
Σχήμα 5.19: Επιφάνειες συνολικών βροχοπτώσεων (mm) Κρήτης για τις δεκαετίες 51-60, 61-70 και 71-80.



Σχήμα 5.20: Επιφάνειες συνολικών βροχοπτώσεων (mm) Κρήτης για τις δεκαετίες 1981-1990 και 1991-2000. Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:1.500.000.



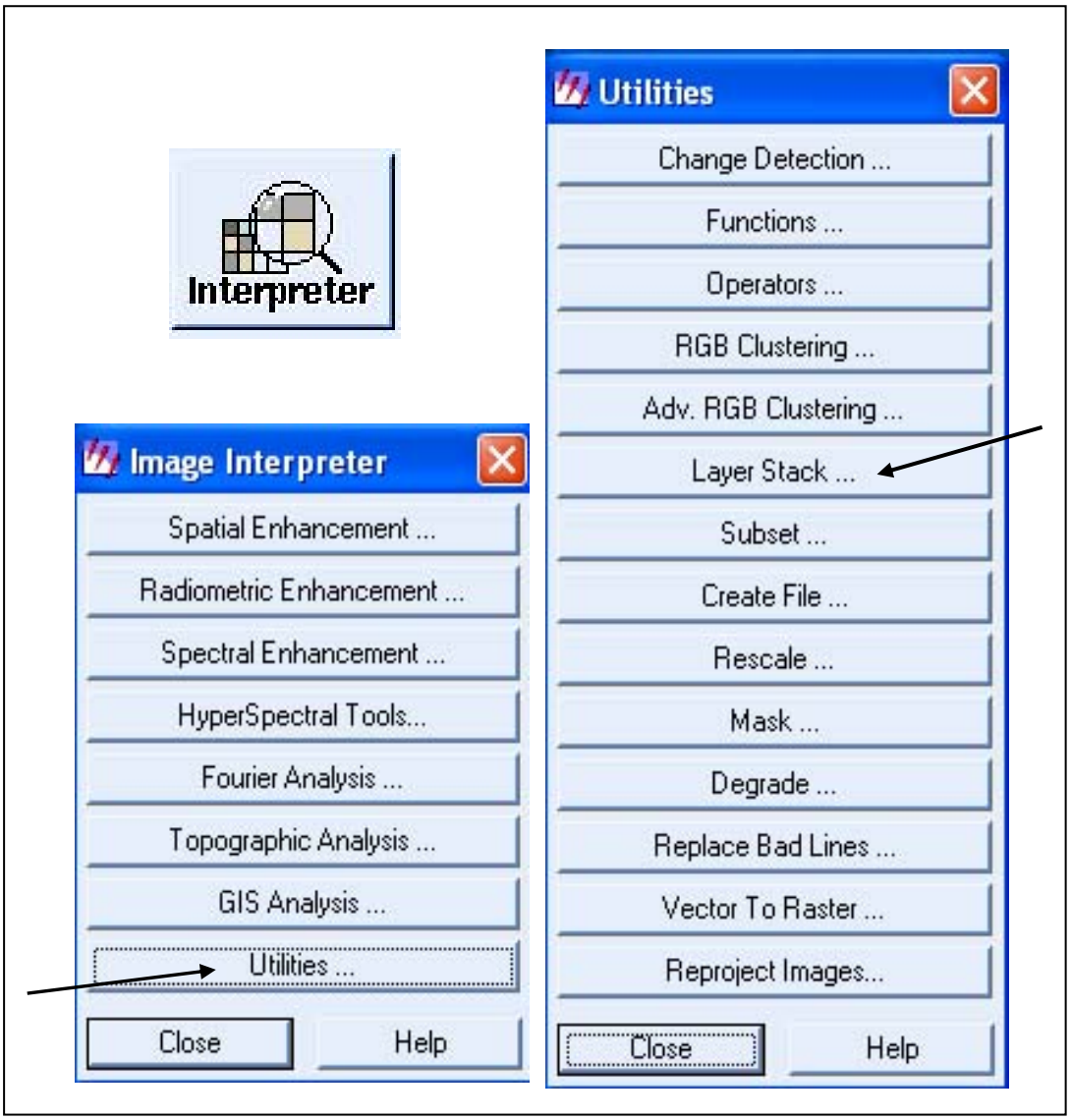
Σχήμα 5.21: Χάρτες των επιπέδων μέσης μέγιστης θερμοκρασίας (ανά δεκαετία) στην Κρήτη. Οι τιμές ακολουθούν μια συνεχόμενη αυξάνουσα τάση στο Νομό Λασιθίου, αντιστρόφως ανάλογη με την ποσοτική μείωση των βροχοπτώσεων.



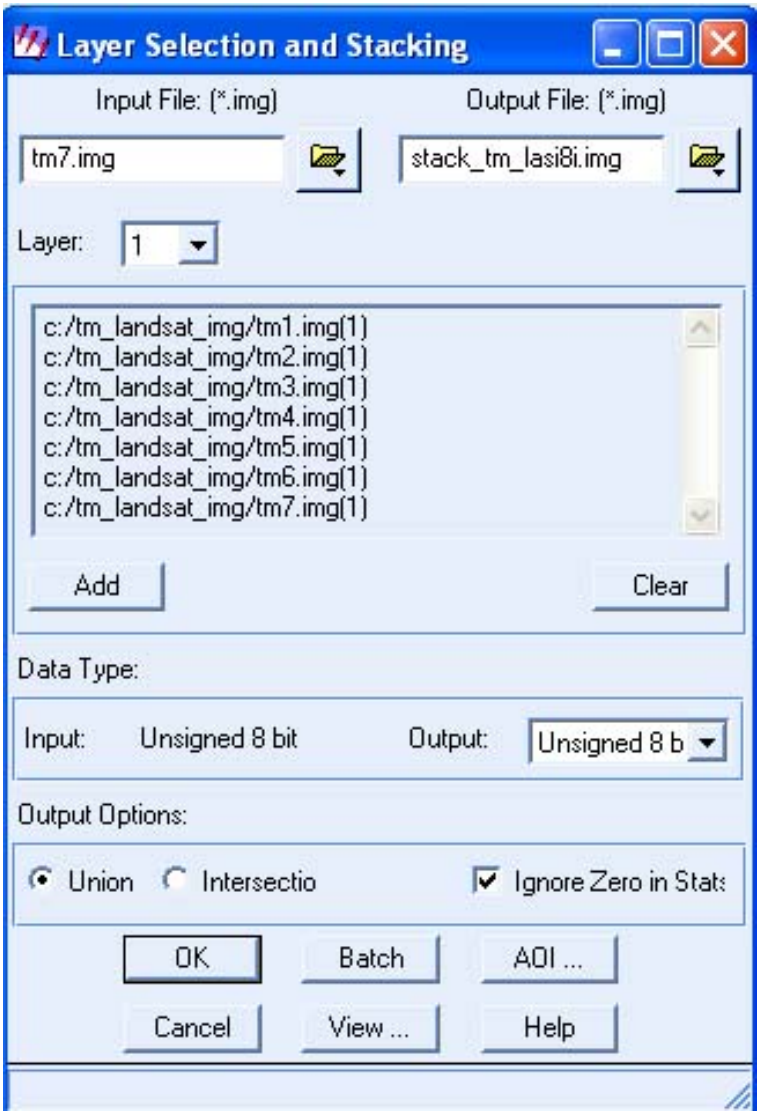
Σχήμα 5.22: Επιφάνειες μέγιστης σχετικής υγρασίας (gr/m^3) Κρήτης για τις δεκαετίες 1961-1970 και 1971-1980, 1981-1990 και 1991-2000. Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:1.500.000.

5.2.4 Επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και εξαγωγή δεικτών βλάστησης

Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα ERDAS Imagine. Χρησιμοποιήθηκαν 7 φασματικές εικόνες του θεματικού χαρτογράφου Landsat TM, οι οποίες ήταν γεωαναφερμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ 87. Οι εικόνες των 7 διαύλων του Landsat, συνενώθηκαν δημιουργώντας μια πανχρωματική εικόνα, που αποδόθηκε με χρωματική κωδικοποίηση (RGB). Η συνένωση των φασματικών εικόνων έγινε στο ERDAS, από το εικονίδιο Interpreter της βασικής σειράς εικονιδίων, επιλέγοντας το μενού εργαλείων Utilities και από εκεί, την εντολή Layer Stack.



Σχήμα 5.23: Το εικονίδιο Interpreter και τα μενού εντολών που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνένωση των 7 φασματικών διαύλων του Landsat TM.

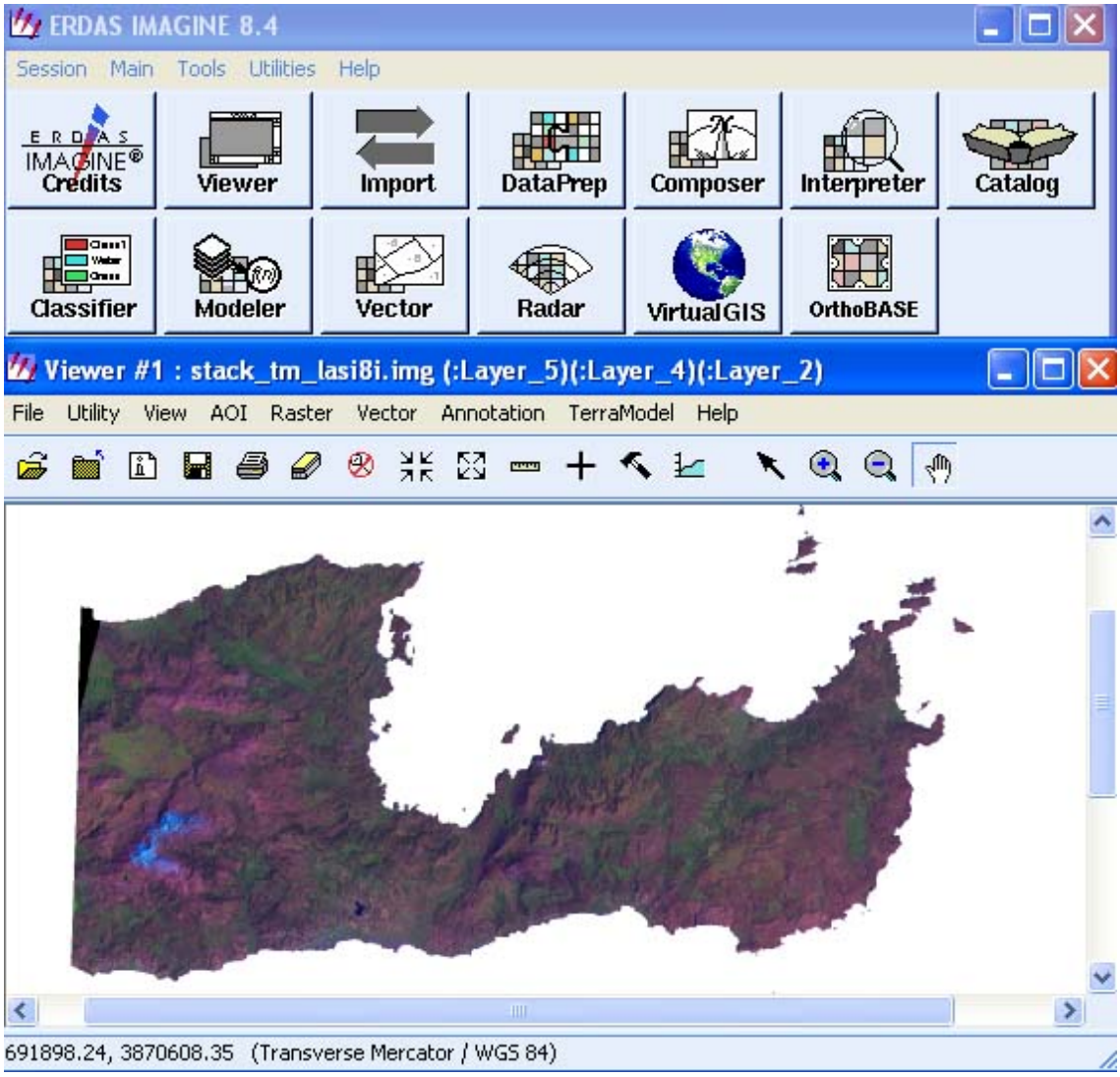


Σχήμα 5.24: Ο οδηγός επιλογής των διαύλων (Input file) για τη συνένωση και δημιουργία της πολυφασματικής εικόνας του Landsat (Output file).

Πίνακας 5.2: Οι φασματικοί δίαυλοι του δορυφόρου Landsat TM και τα αντίστοιχα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος τα οποία καταγράφονται από αυτούς.

Φασμ. Δίαυλος	**Φασματική ζώνη**	**Μήκος κύματος**
1	Μπλε	0,45-0,52 μm
2	Πράσινο	0,52-0,60 μm
3	Ερυθρό	0,63-0,69 μm
4	Εγγύς υπέρυθρο	0,76-0,90 μm
5	Μέσο υπέρυθρο	1,55-1,75 μm
6	Θερμικό υπέρυθρο	10,4-12,5 μm
7	Μέσο υπέρυθρο	2,08-2,35 μm

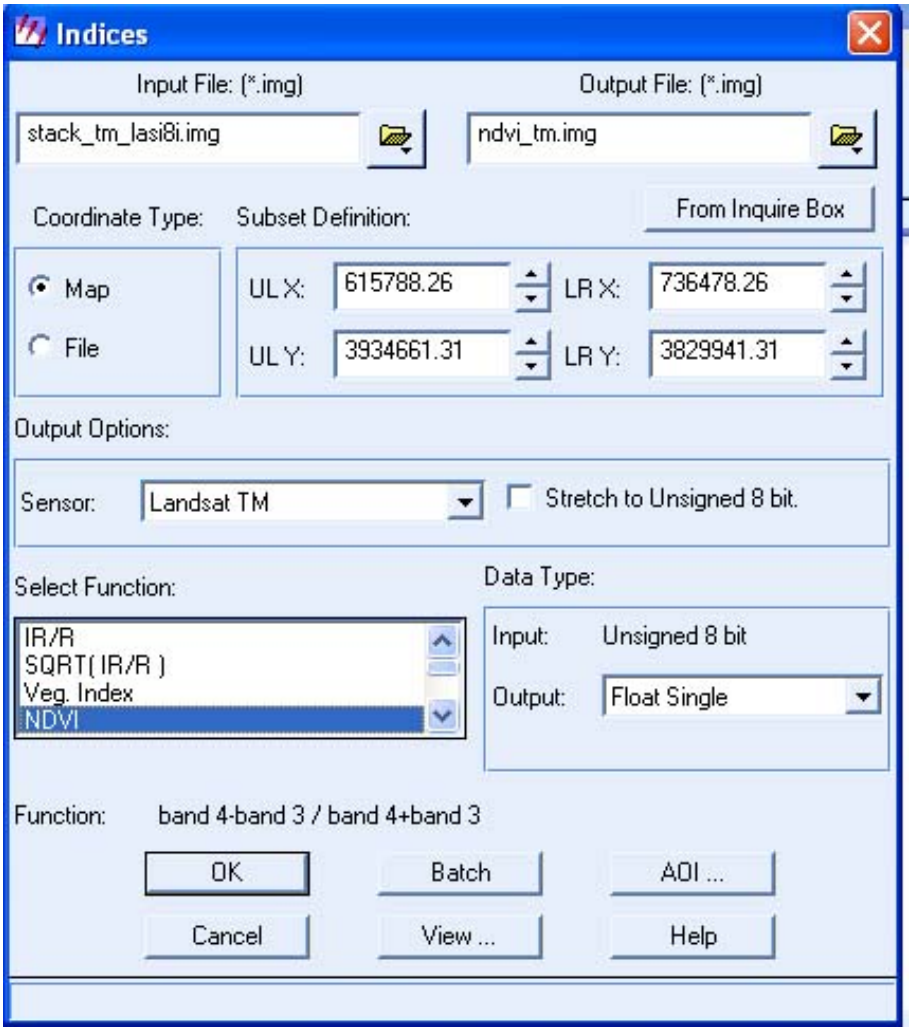
Στο Σχήμα 5.25 απεικονίζεται η ψευδοχρωματική εικόνα με τέτοιο τρόπο, ώστε ο δίαυλος 5 να απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα, ο δίαυλος 4 με πράσινο και ο δίαυλος 2 με μπλε.



Σχήμα 5.25: Η ψευδοχρωματική εικόνα του Landsat με συνδυασμό των φασματικών διαύλων 5, 4 και 2 (RGB) όπως αποδόθηκε στο πρόγραμμα ERDAS.

Η πολυφασματική δορυφορική εικόνα χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των δεικτών βλάστησης. Από αυτήν προέκυψαν οι εικόνες του δείκτη βλάστησης (vegetation index), του δείκτη IR/R και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των χαρτών στο πρόγραμμα ERDAS είναι απλή. Γίνεται από το εικονίδιο interpreter του βασικού μενού εικονιδίων, επιλέγοντας την εντολή Spectral Enhancement και στη συνέχεια την εντολή Indeces. Από το παράθυρο διαλόγου Indeces επιλέγεται η αρχική πολυφασματική εικόνα (στο πλαίσιο Input File) και ορίζεται το όνομα της εικόνας που θα προκύψει (στο πλαίσιο Output File). Έπειτα επιλέγεται ο ανιχνευτής, που στην παρούσα περίπτωση είναι ο Landsat TM. Η αλγεβρική πράξη που θα εκτελεστεί μεταξύ των φασματικών του διαύλων επιλέγεται από μία λίστα επιλογών (λίστα Select Function). Ανάλογα με τον δείκτη που επιλέγεται, αναγράφεται η αλγεβρική πράξη μεταξύ των διαύλων του εκάστοτε ανιχνευτή. Για παράδειγμα στην εφαρμογή του δείκτη NDVI, η τελική εικόνα θα είναι το αποτέλεσμα της αφαίρεσης του καναλιού 3 από το κανάλι 4, διαιρούμενο με το άθροισμα αυτών (Σχήμα 5.26).



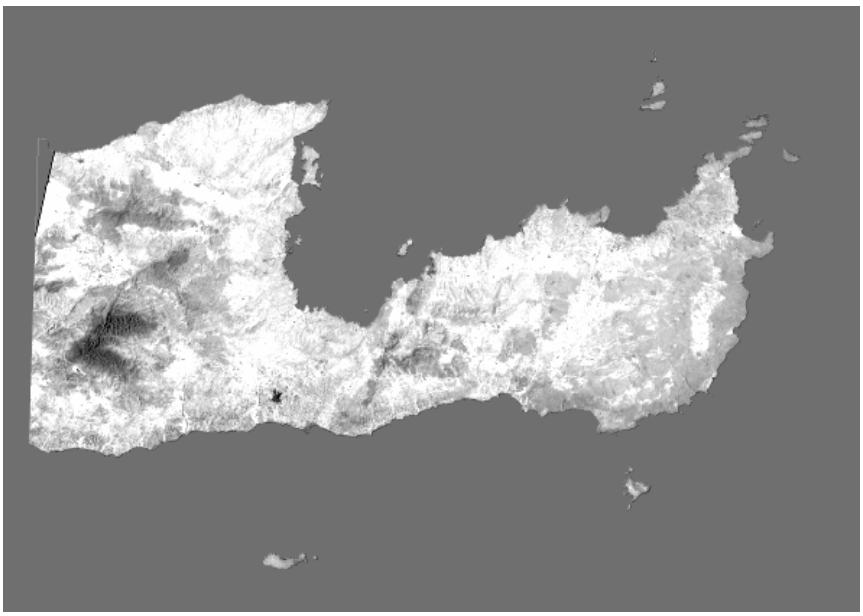
Σχήμα 5.26: Το παράθυρο διαλόγου Indeces με το οποίο προέκυψαν οι δείκτες βλάστησης.

Οι πληροφορίες που προήλθαν από τις τρεις εικόνες των δεικτών, σε συνδυασμό με τον διαθέσιμο ψηφιακό χάρτη χρήσεων γης, βοήθησαν στη διαπίστωση χρήσιμων συμπερασμάτων.

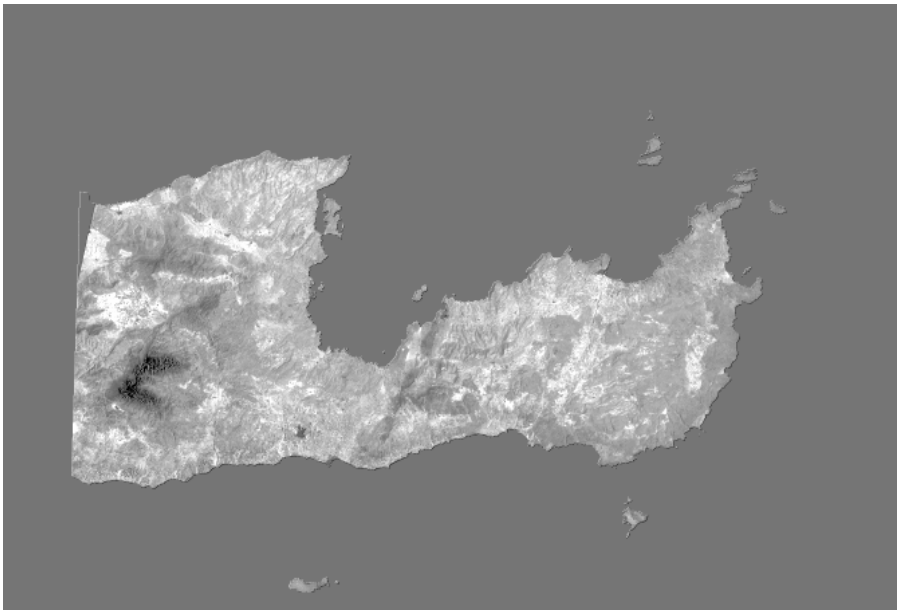
Από τον δείκτη NDVI διαπιστώθηκαν οι περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση και οι απογυμνωμένες περιοχές. Οι περιοχές που δεν καλύπτονται από βλάστηση, παρουσιάζουν μικρότερες τιμές ανακλαστικότητας και εμφανίζονται στην εικόνα περισσότερο σκοτεινές. Αντίθετα, οι περιοχές με εδαφική και φυτική κάλυψη εμφανίζονται πιο ανοιχτόχρωμες (Σχήμα 5.27).

Ο δείκτης vegetation είναι δείκτης πυκνότητας της βλάστησης. Έτσι χρησιμοποιήθηκε για τον χαρακτηρισμό των εκτάσεων που καλύπτονται από βλάστηση. Οι περιοχές που καλύπτονται από πυκνή δασώδη βλάστηση, παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ανακλαστικότητας από την αραιή βλάστηση και εμφανίζονται στην εικόνα αρκετά φωτεινές (Σχήμα 5.28).

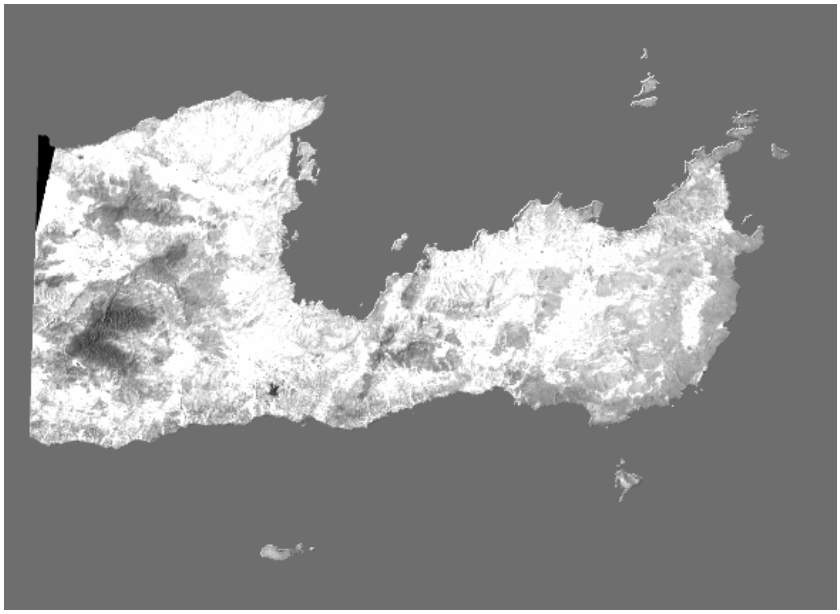
Τέλος, ο δείκτης IR/R είναι δείκτης της ποιότητας της βλάστησης. Οι περιοχές με υγιή και νεότερης ηλικίας βλάστηση, αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές φωτεινότητας της κλίμακας του γκρι. Τα πιο σκοτεινά εικονοστοιχεία, πιθανό να αντιστοιχούν είτε σε πρόσφατα καμένη βλάστηση, είτε σε εκτάσεις με καλλιέργειες μεγάλου χρονικού διαστήματος αδράνειας και ίσως υπογονιμότητας (Σχήμα 5.29).



Σχήμα 5.27: Δείκτης εδαφικής κάλυψης (NDVI).



Σχήμα 5.28: Δείκτης πυκνότητας βλάστησης (Vegetation index).



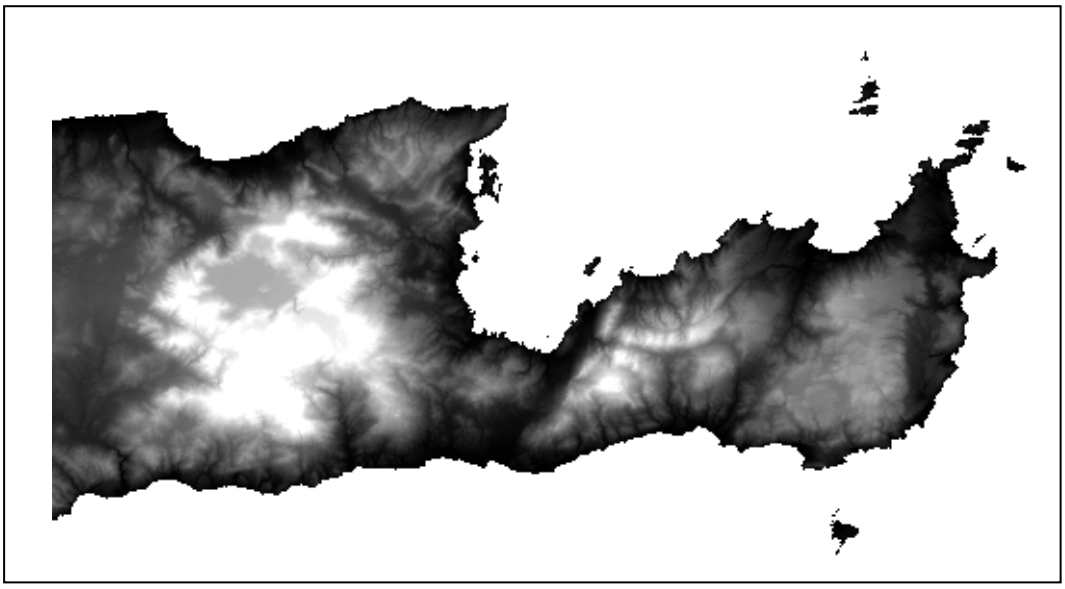
Σχήμα 5.29: Δείκτης ποιότητας βιομάζας (IR/R).

5.2.5 Επεξεργασία γεωμορφολογίας εδάφους

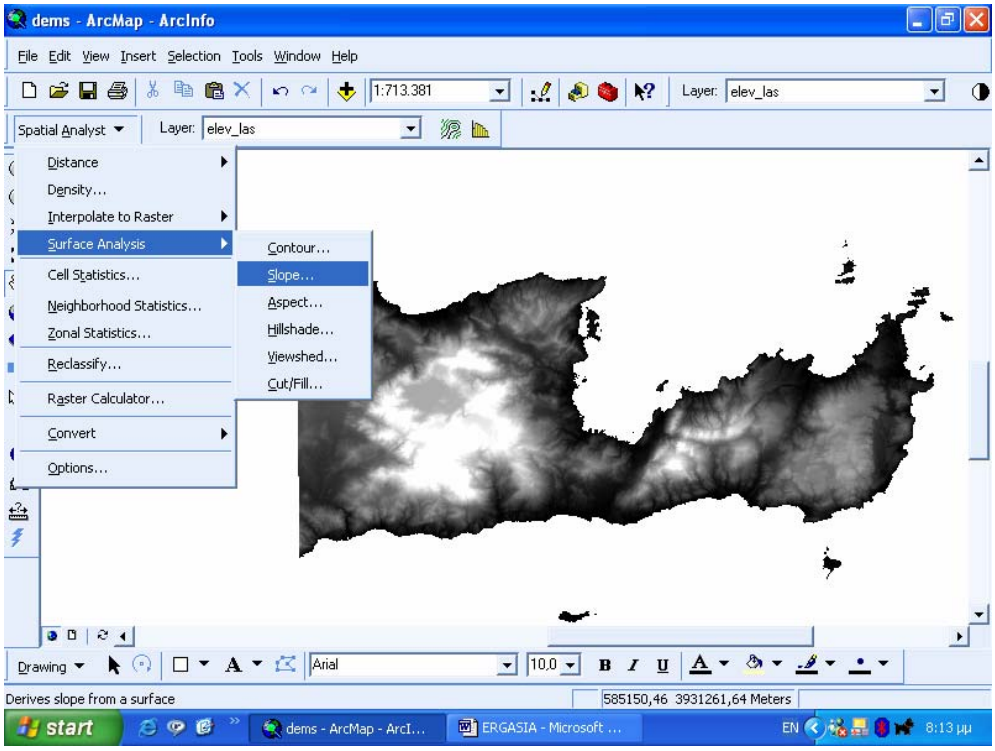
Η γεωμορφολογία του εδάφους είναι μια παράμετρος που επηρεάζει τις περισσότερες φυσικές καταστροφές, σε διαφορετικό βαθμό την κάθε μία. Διαπιστώθηκε ότι τόσο το υψόμετρο όσο και οι κλίσεις των επιφανειών του εδάφους επηρεάζουν τον κίνδυνο εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών, κατολισθητικών φαινομένων και διάβρωσης. Για την εξαγωγή των χαρτών υψομέτρου, κλίσεων, καθώς και άλλων επιφανειών,

χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους διακριτικής ανάλυσης 50x50 m (Σχήμα 5.30), που διατέθηκε από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών.

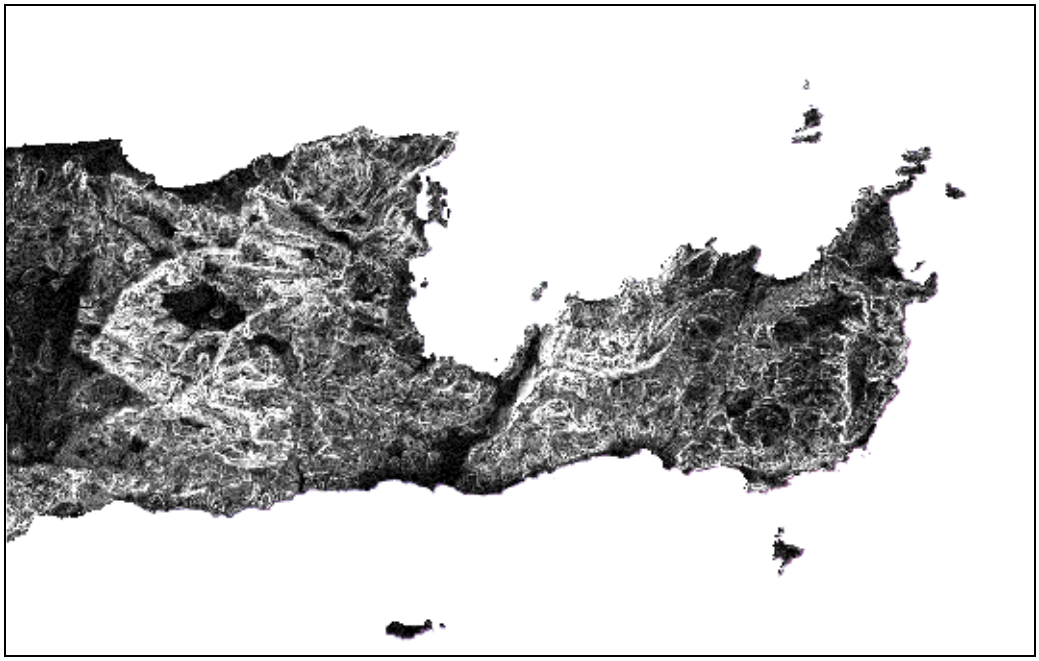
Η ανάλυση του αναγλύφου, έγινε στο Arcinfo 8.1, με χρήση της επέκτασης αυτού, Spatial Analyst (Σχήμα 5.31).



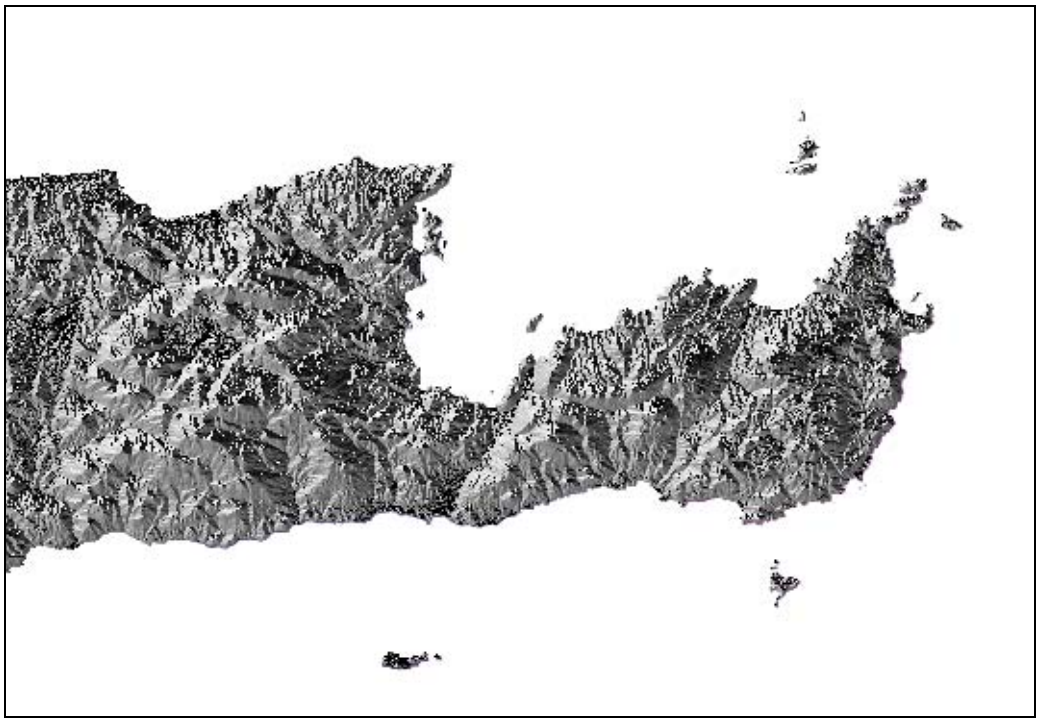
Σχήμα 5.30: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) του νομού Λασιθίου.



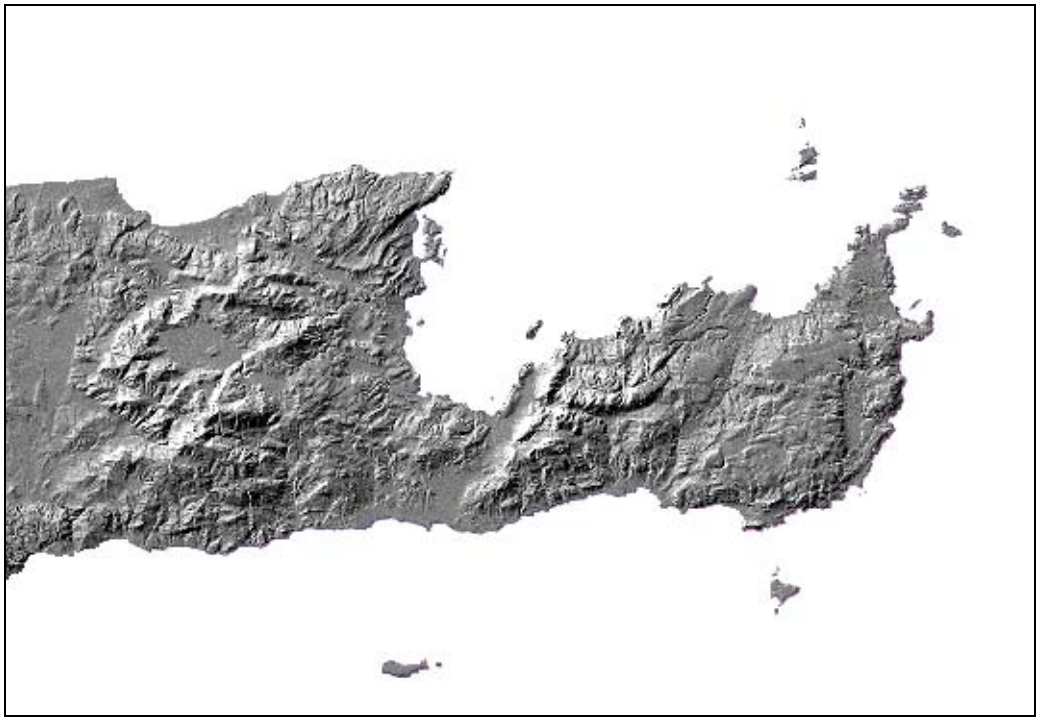
Σχήμα 5.31: Χρήση των εργαλείων της επέκτασης Spatial Analyst με σκοπό τη δημιουργία των επιφανειών κλίσεων, εκθέσεων και αναγλύφου.



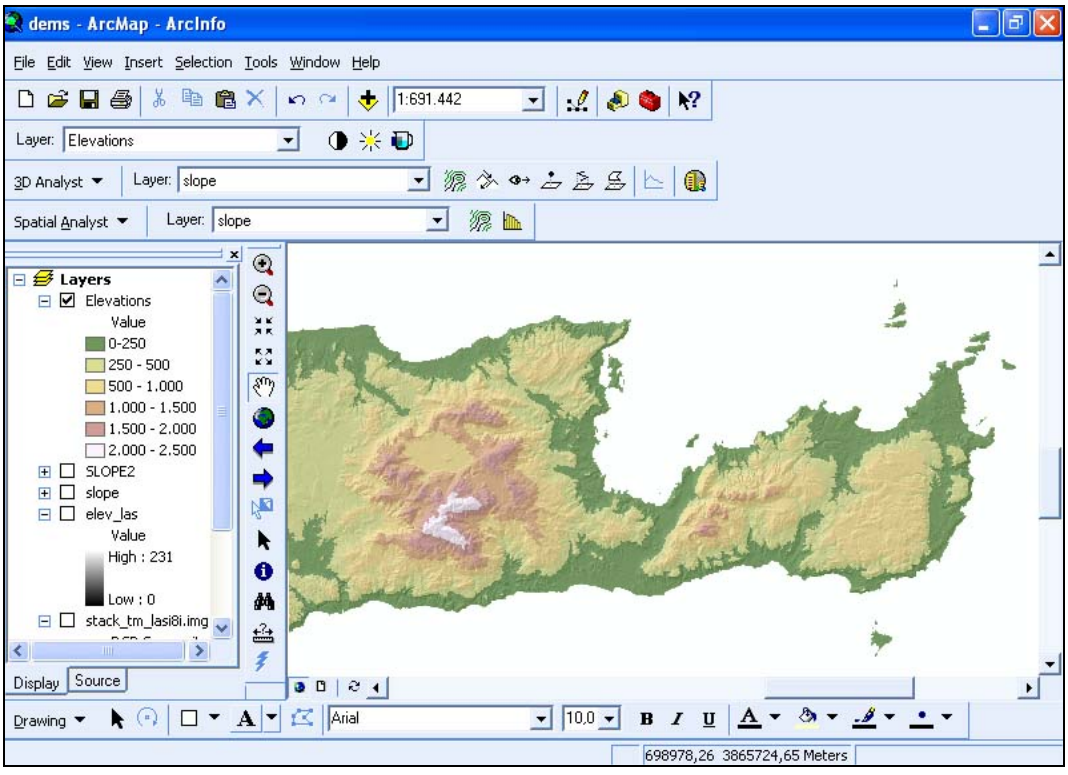
Σχήμα 5.32: Χάρτης κλίσεων, που προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).



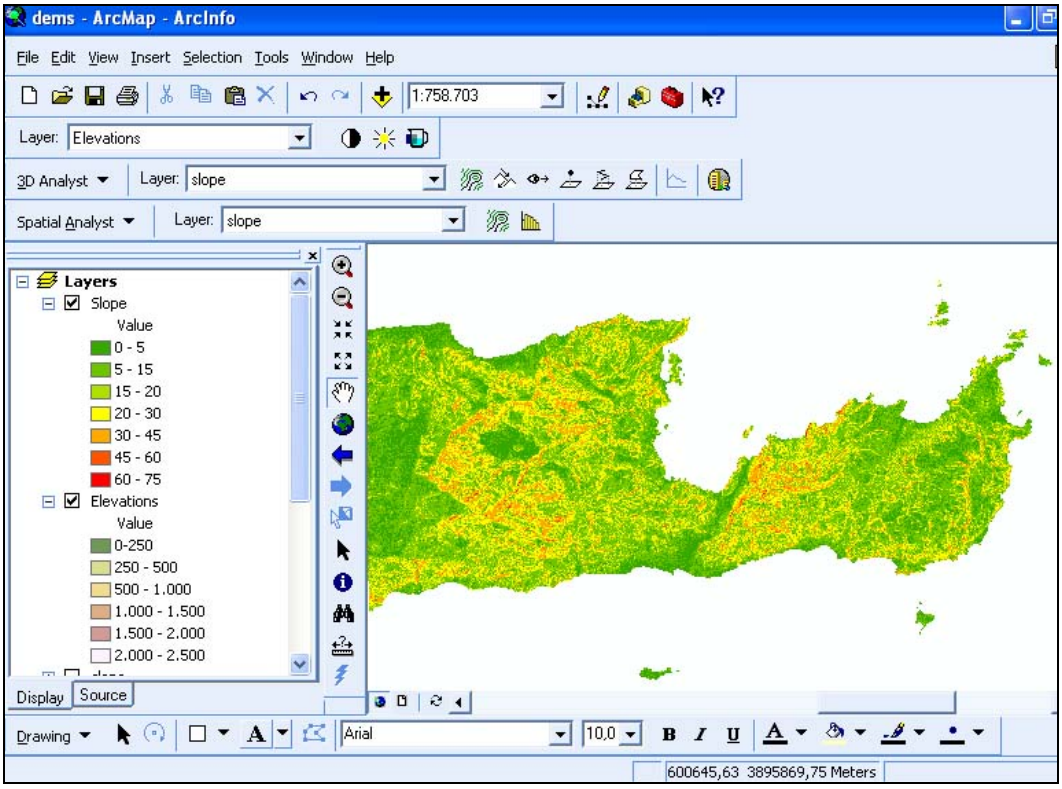
Σχήμα 5.33: Χάρτης εκθέσεων (προσανατολισμού).



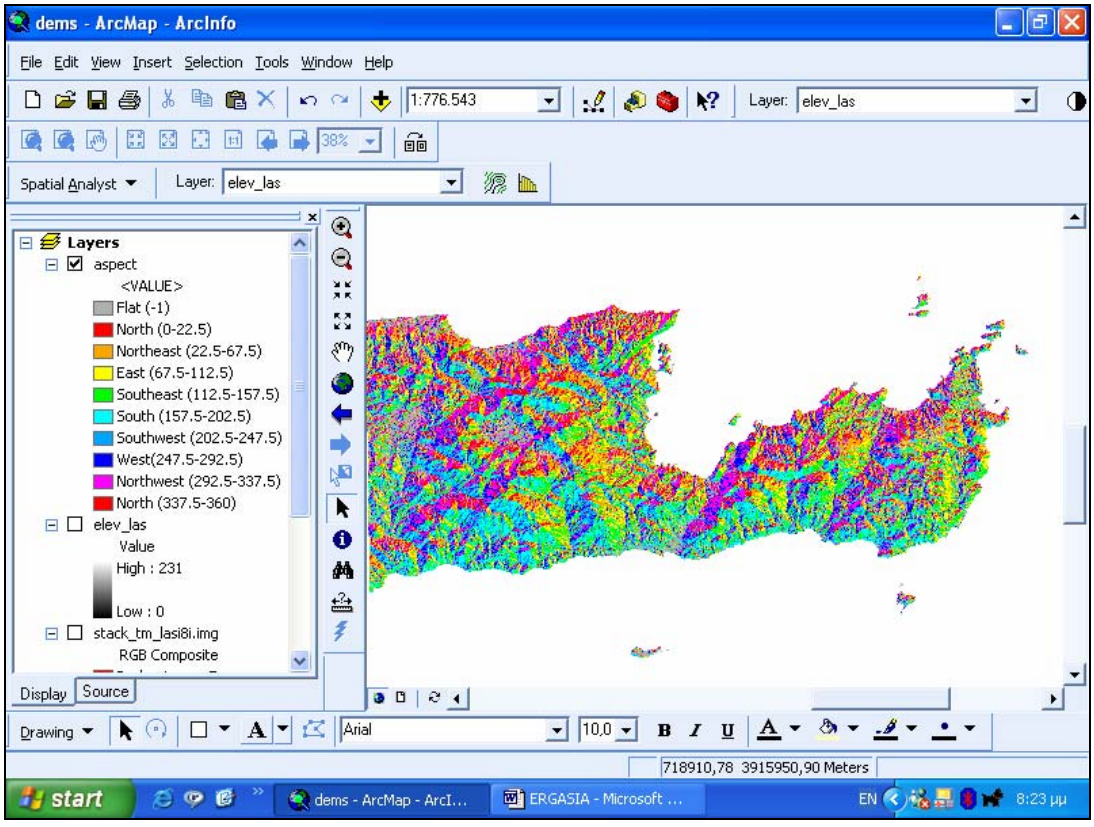
Σχήμα 5.34: Χάρτης αναγλύφου, που προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).



Σχήμα 5.35: Χάρτης υψομέτρων, όπως προέκυψε από ταξινόμηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους.



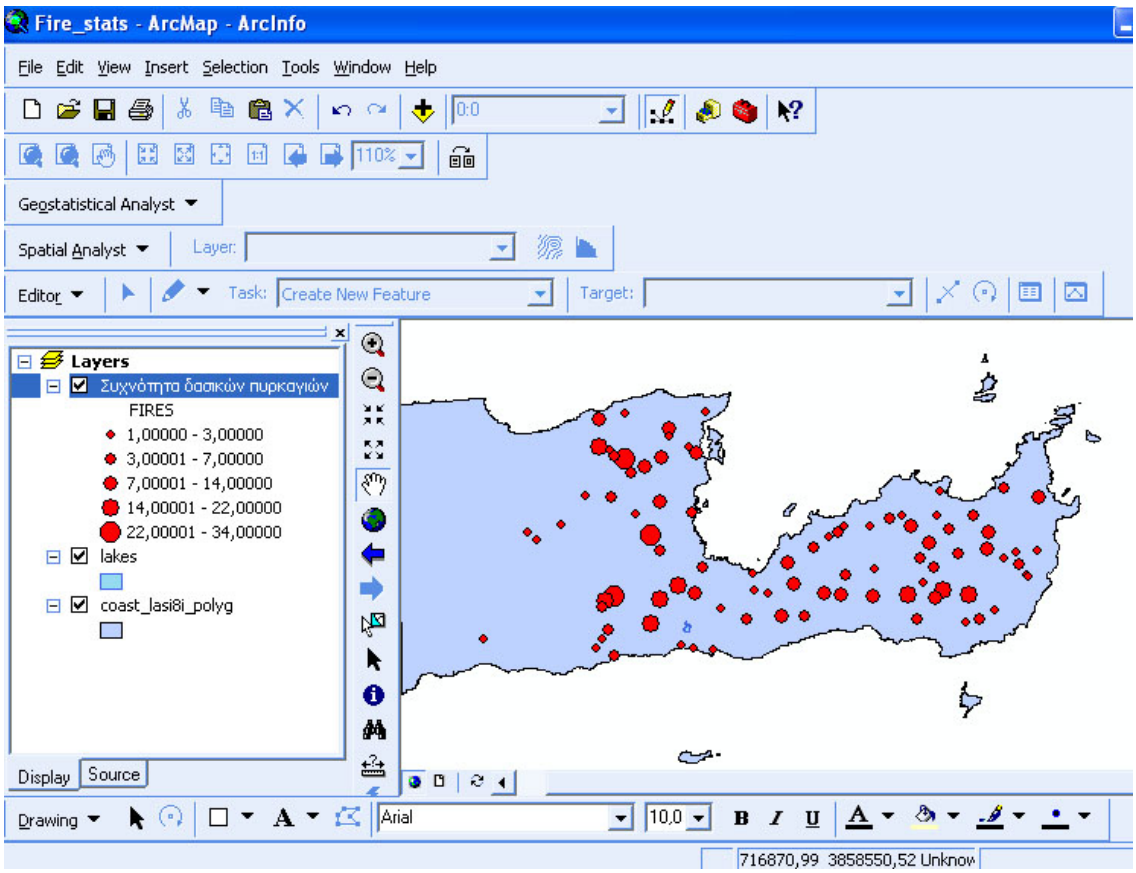
Σχήμα 5.36: Χάρτης κλίσεων (0 ^{o} -75^{o}), όπως προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.



Σχήμα 5.37: Χάρτης εκθέσεων, όπως προέκυψε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

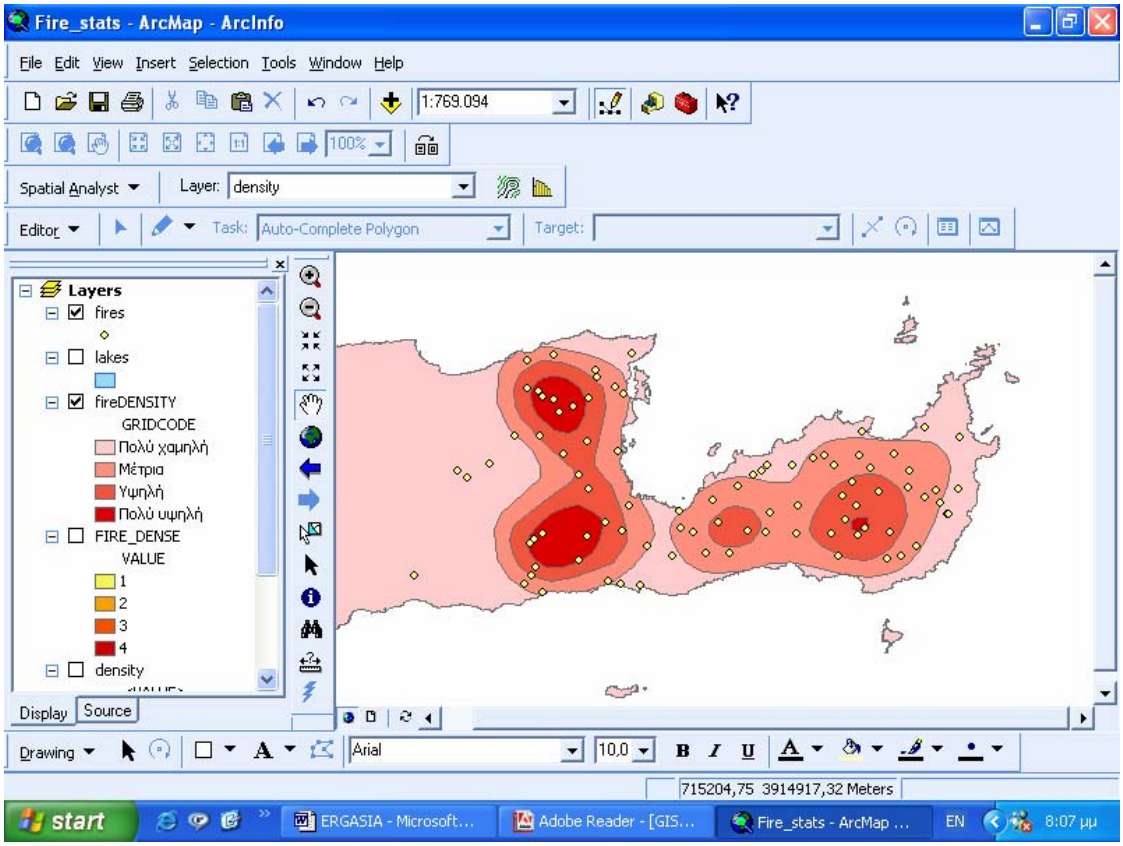
5.2.6 Δεδομένα δασικών πυρκαγιών

Εξαιτίας της απουσίας διαγραμμάτων αποτύπωσης των καμένων εκτάσεων, δημιουργήθηκαν ενδεικτικά κυκλικές ζώνες επιρροής με επίκεντρο τη θέση των πλησιέστερων χωριών και έκταση ισοδύναμη με αυτή των καμένων εκτάσεων (Σχήμα 4.14). Επίσης δημιουργήθηκε θεματικός χάρτης που απεικονίζει τις δασικές πυρκαγιές, έτσι ώστε να υπάρχει διαβάθμιση στο μέγεθος του συμβόλου με βάση τη συχνότητα, δηλαδή τον αριθμό των συνολικών πυρκαγιών που σημειώθηκαν σε κάθε θέση εκδήλωσης (Σχήμα 5.38).



Σχήμα 5.38: Το επίπεδο πληροφορίας των δασικών πυρκαγιών, σε σχέση με τη συχνότητα εκδήλωσής τους.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την επέκταση του ArcGIS Spatial Analyst και την εντολή density δημιουργήθηκε ο χάρτης πυκνότητας των περιστατικών δασικών πυρκαγιών (Σχήμα 5.39).



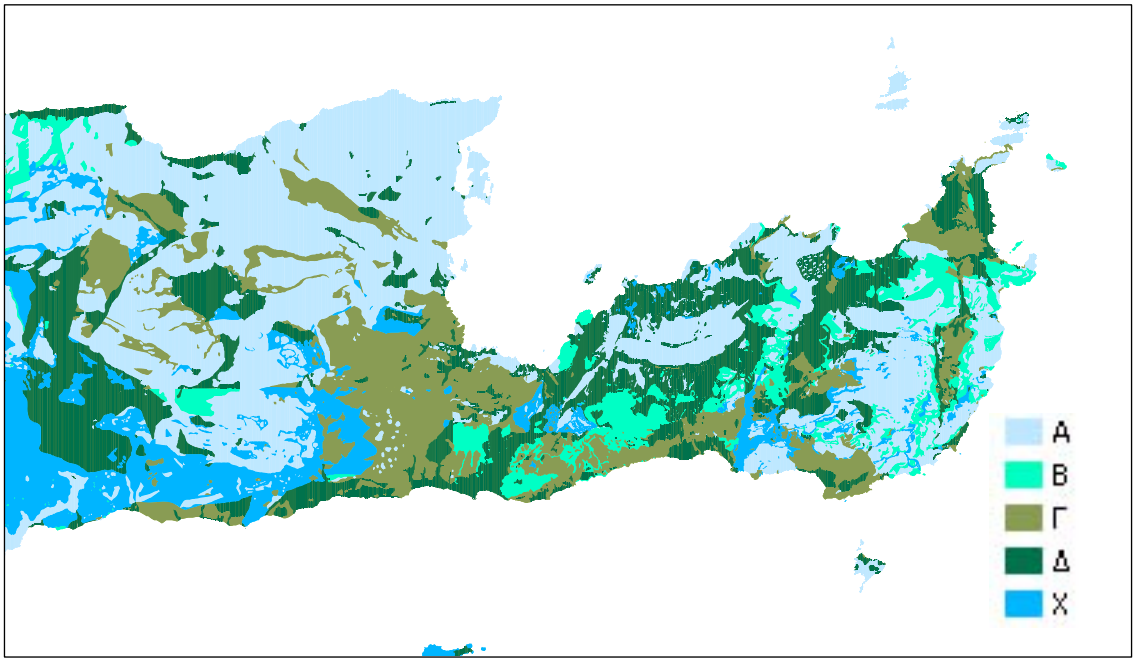
Σχήμα 5.39: Το επίπεδο πληροφορίας της πυκνότητας των δασικών πυρκαγιών.

Επιλέχθηκαν 4 τάξεις που αντιστοιχούν σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα, μέτρια πυκνότητα, υψηλή και πολύ υψηλή. Στις επιφάνειες με χαμηλή πυκνότητα, συνέβησαν συνολικά 49 περιστατικά πυρκαγιών σε ένα σύνολο 20 θέσεων, με συχνότητα εκδήλωσης πυρκαγιών σε αυτές τις θέσεις, από 1 έως 11. Στις επιφάνειες μέτριας πυκνότητας, συνέβησαν 192 περιστατικά πυρκαγιών σε σύνολο 37 θέσεων, με συχνότητα εκδήλωσης από 1 έως 14. Στις επιφάνειες με υψηλή πυκνότητα, συνέβησαν 210 περιστατικά σε σύνολο 20 θέσεων, με συχνότητα εκδήλωσης από 2 έως 25. Τέλος, στις επιφάνειες που χαρακτηρίστηκαν πολύ υψηλής πυκνότητας, συνέβησαν 172 περιστατικά πυρκαγιών σε σύνολο 11 θέσεων, με συχνότητα εκδήλωσης από 2 έως 34.

5.2.7 Τρωτότητα εδαφών και ευστάθεια πετρωμάτων

Α. Ταξινόμηση πετρωμάτων

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 1999), από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες Α, Β, Γ, Δ και Χ, που περιγράφονται στον Πίνακα 5.3. Με βάση αυτή την κατάταξη, έγινε ταξινόμηση του γεωλογικού χάρτη του Νομού Λασιθίου σε κατηγορίες τρωτότητας-ευπάθειας των πετρωμάτων.



Σχήμα 5.40: Ταξινόμηση γεωλογίας κατά ΕΑΚ 1999.

Πίνακας 5.3: Κατηγορίες Εδάφους κατά ΕΑΚ 1999.

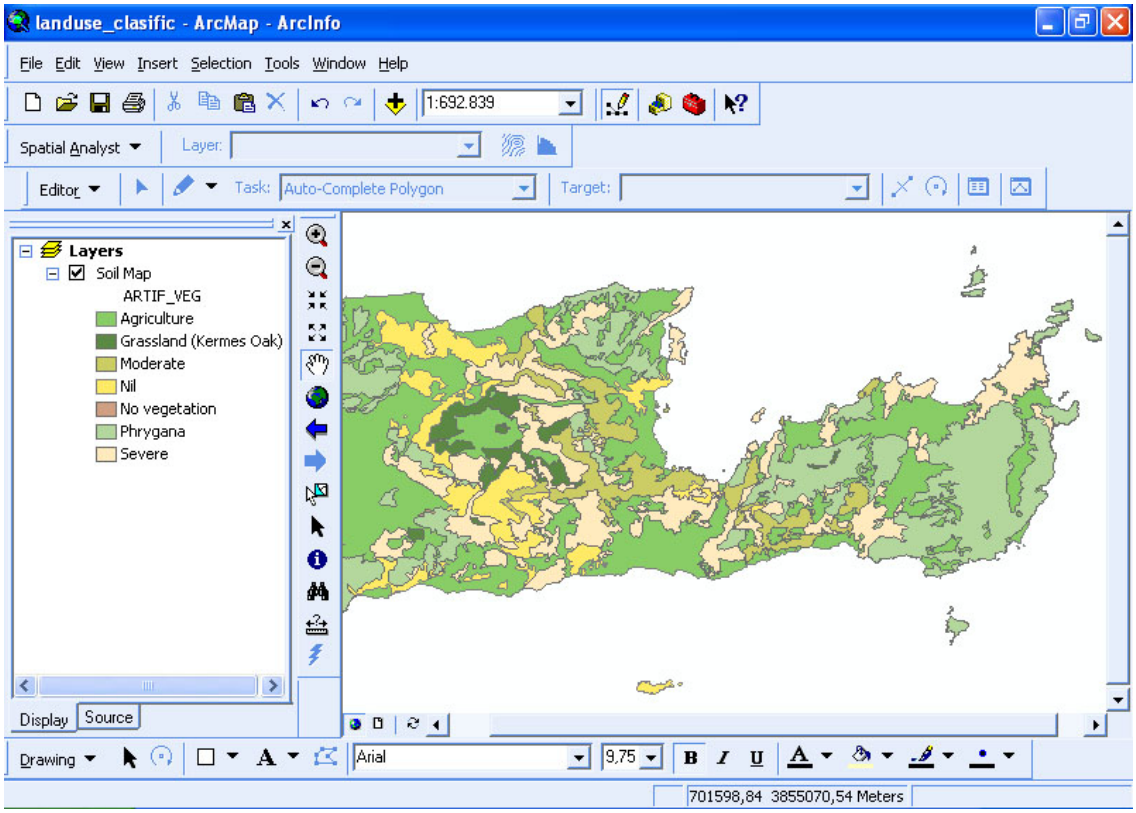
Κατηγορία	Περιγραφή
Α	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70m.

Β	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστικότητας συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m.
Χ	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπύκνωσης ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικίνδυνα μεγάλη κλίση.

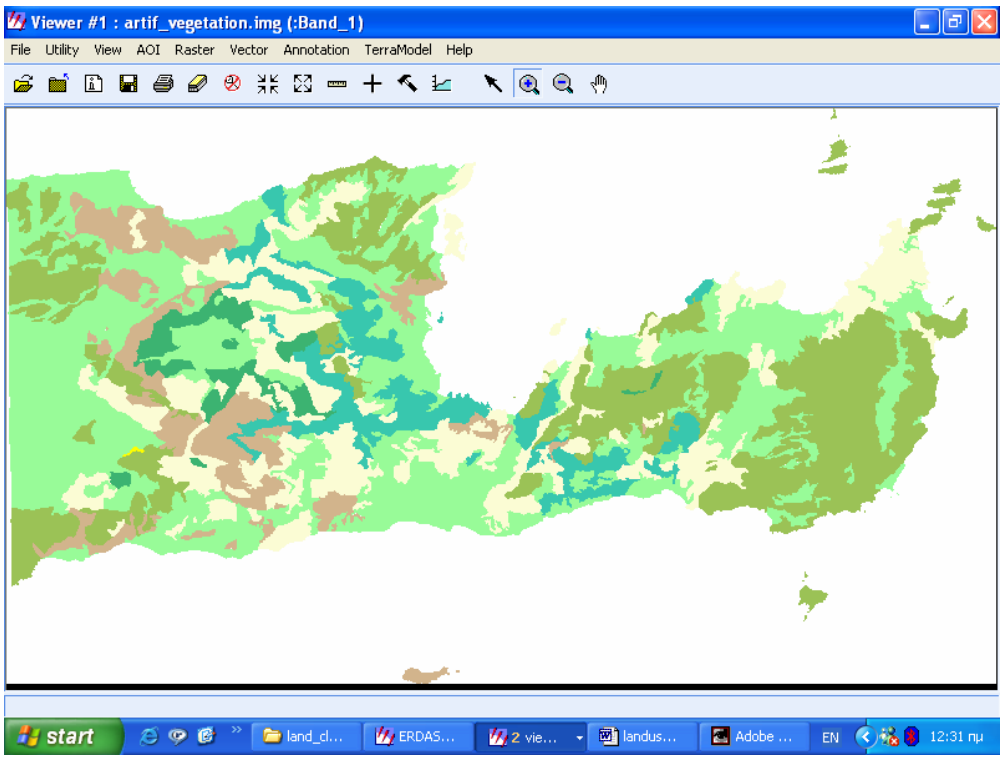
Β. Ταξινόμηση εδαφών

Ο διαθέσιμος ψηφιακός χάρτης χρήσεων γης ταξινομήθηκε στο ArcGIS. Οι τάξεις που δημιουργήθηκαν είναι: Αγροτικές Καλλιέργειες (Agriculture), Γρασίδι–ζώνη δρυός (Grassland-Kermes Oak), Μικτή (Moderate), Μηδενική χρήση (Nil), Χωρίς βλάστηση (No vegetation), Φρύγανα (Phrygana) και Συμπαγή πετρώματα (Severe) (Σχήμα 5.41). Στη συνέχεια, μέσω της υβριδικής δυνατότητας το διανυσματικό επίπεδο πληροφορίας μετατράπηκε σε ψηφιδωτής μορφής δεδομένο (Σχήμα 5.42), με σκοπό να εισαχθεί στο πρόγραμμα ERDAS IMAGINE και να διευκολύνει την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας Landsat.

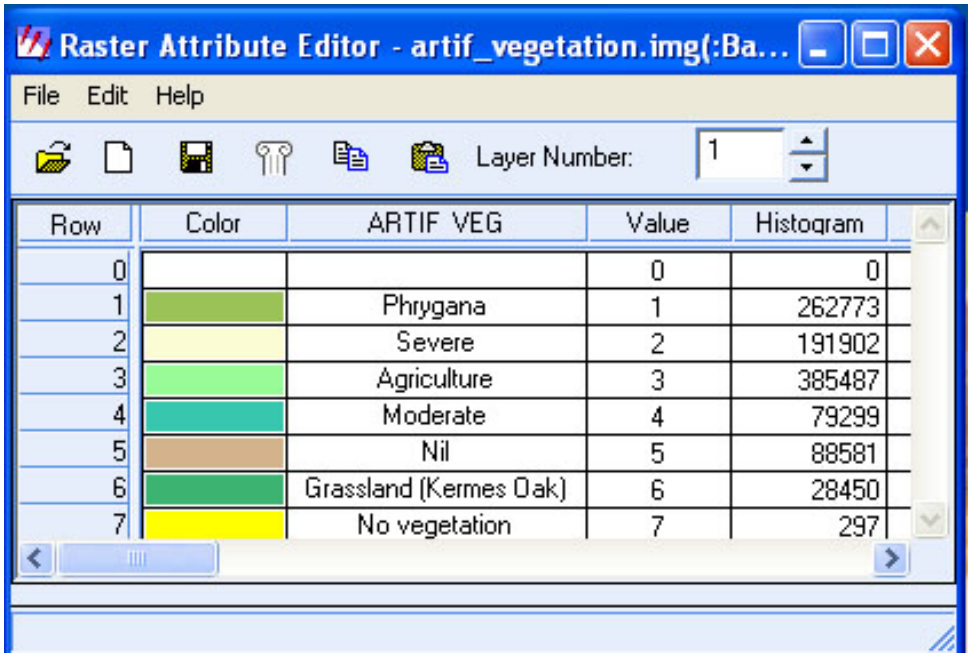
Για την πραγματοποίηση της ταξινόμησης της εικόνας Landsat, συνδυάστηκαν τόσο οι πληροφορίες από τον ήδη υπάρχοντα χάρτη, όσο και από τις εικόνες των δεικτών βλάστησης.



Σχήμα 5.41: Αρχικός χάρτης χρήσεων γης διανυσματικής μορφής, όπως αποδόθηκε από το πρόγραμμα ArcGIS.



Σχήμα 5.42: Χάρτης χρήσεων γης ψηφιδωτής μορφής, όπως αποδόθηκε από το πρόγραμμα ERDAS.

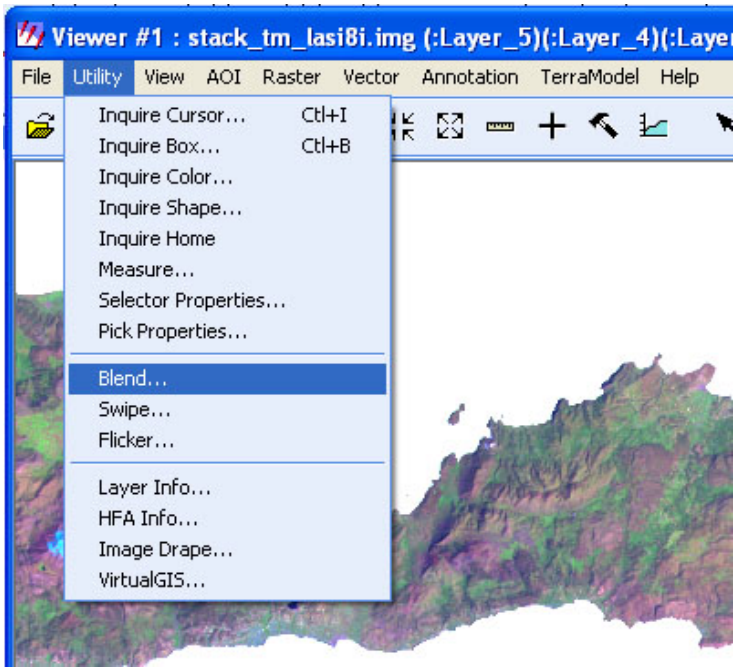


Row	Color	ARTIF VEG	Value	Histogram
0			0	0
1		Phrygana	1	262773
2		Severe	2	191902
3		Agriculture	3	385487
4		Moderate	4	79299
5		Nil	5	88581
6		Grassland (Kermes Oak)	6	28450
7		No vegetation	7	297

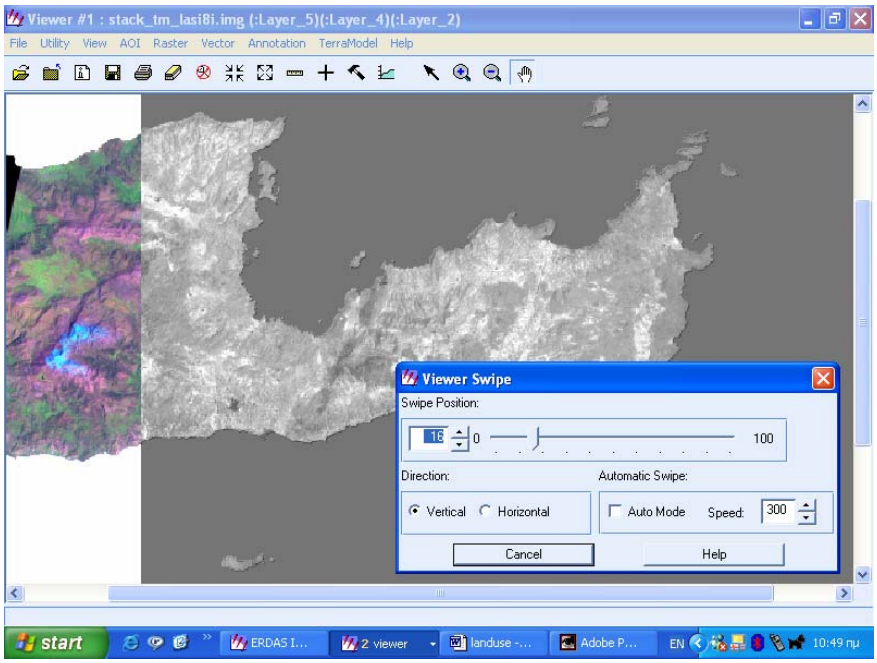
Σχήμα 5.43: Ο πίνακας που αντιστοιχεί στον χάρτη χρήσεων γης ψηφιδωτής μορφής του Σχήματος 5.42 στο ERDAS. Η στήλη Histogram δηλώνει τον αριθμό των εικονοστοιχείων της ψηφιδωτής εικόνας που ανήκουν σε κάθε μία τάξη πληροφορίας.

Το πρόγραμμα ERDAS IMAGINE δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα εισαγωγής πολλών τύπων αρχείων (tiff, bmp, dxf, jpeg, shapefile, grid). Χρησιμοποιεί ως περιβάλλον προβολής των ψηφιδωτών και διανυσματικών δεδομένων, το «Παράθυρο Προβολής» (Viewer window). Βασικά όμως αρχεία του προγράμματος είναι τα αρχεία εικόνας img. Χρήσιμα βοηθητικά εργαλεία επιτρέπουν την υπέρθεση πολλών εικόνων στο ίδιο παράθυρο προβολής και την επισκόπησή τους ταυτόχρονα. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα "γεωγραφικής σύνδεσης" (geolink) μεταξύ εικόνων που βρίσκονται σε διαφορετικά παράθυρα προβολής, με βάση τα κοινά γεωγραφικά τους χαρακτηριστικά.

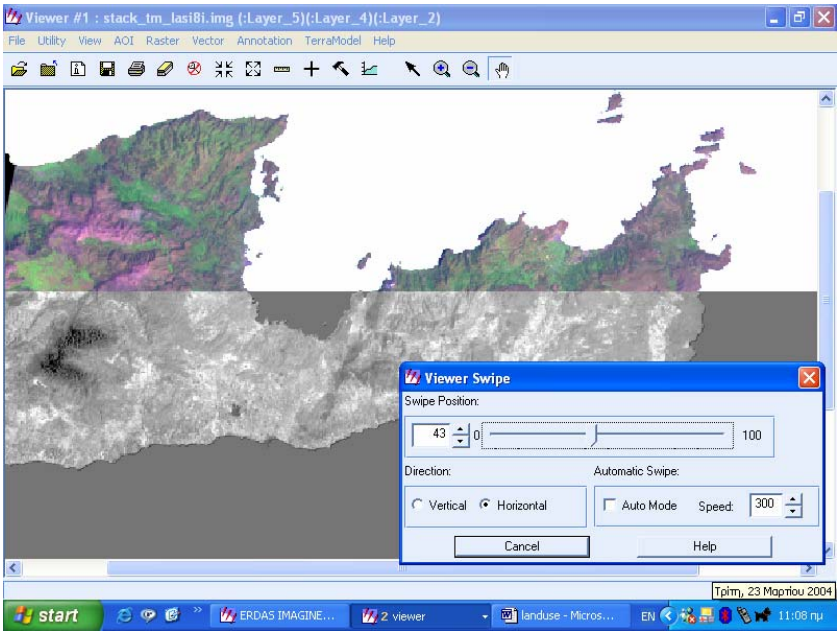
Έτσι σε ένα παράθυρο προβολής, ανοίχθηκε η πολυφασματική εικόνα του Landsat, με συνδυασμό των εικόνων των φασματικών διαύλων 5, 4 και 2. Στο ίδιο παράθυρο προβολής, ανοίχθηκαν οι τρεις εικόνες των δεικτών βλάστησης (δείκτης NDVI, IR/R και Vegetation). Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία Blend, Swipe και Flicker από τη λίστα εντολών Utility του παράθυρου προβολής, επιτεύχθηκε η ταυτόχρονη παρατήρηση των δεικτών βλάστησης και της πολυφασματικής εικόνας και η σύγκρισή τους.



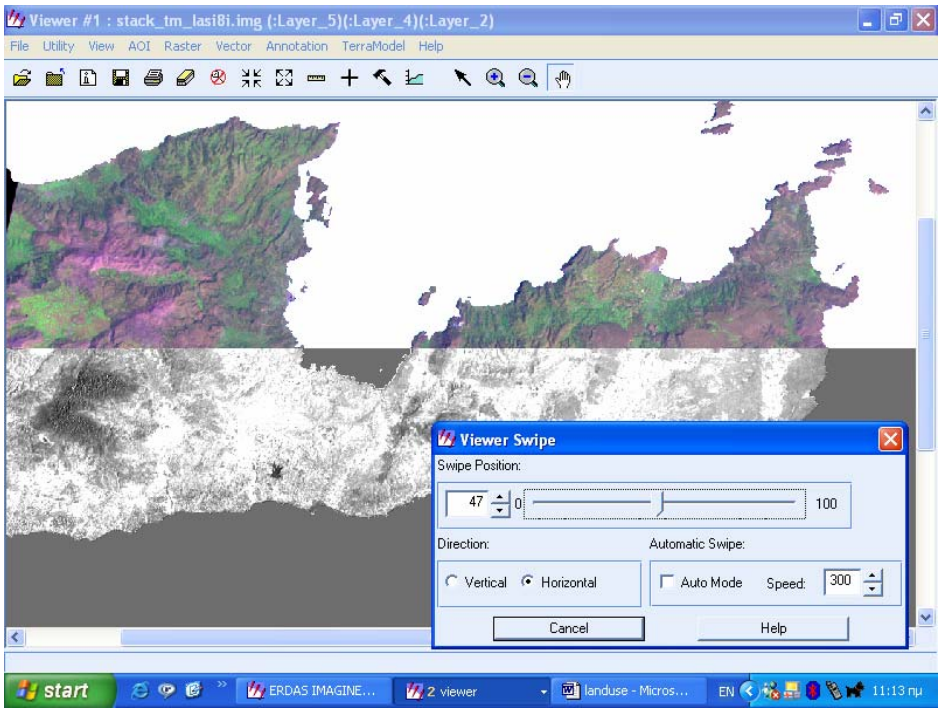
Σχήμα 5.44: Η ομάδα εργαλείων Blend, Swipe και Flicker της λίστας εντολών Utility του παράθυρου προβολής (Viewer Window).



Σχήμα 5.45: Παράθυρο προβολής με την εικόνα του δείκτη NDVI και την πολυφασματική εικόνα. Με χρήση της ράβδου ολίσθησης του εργαλείου Swipe, γίνεται ταυτόχρονη επισκόπηση των εικόνων και διαπίστωση των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε εκτάσεις καλυμμένες με βλάστηση.

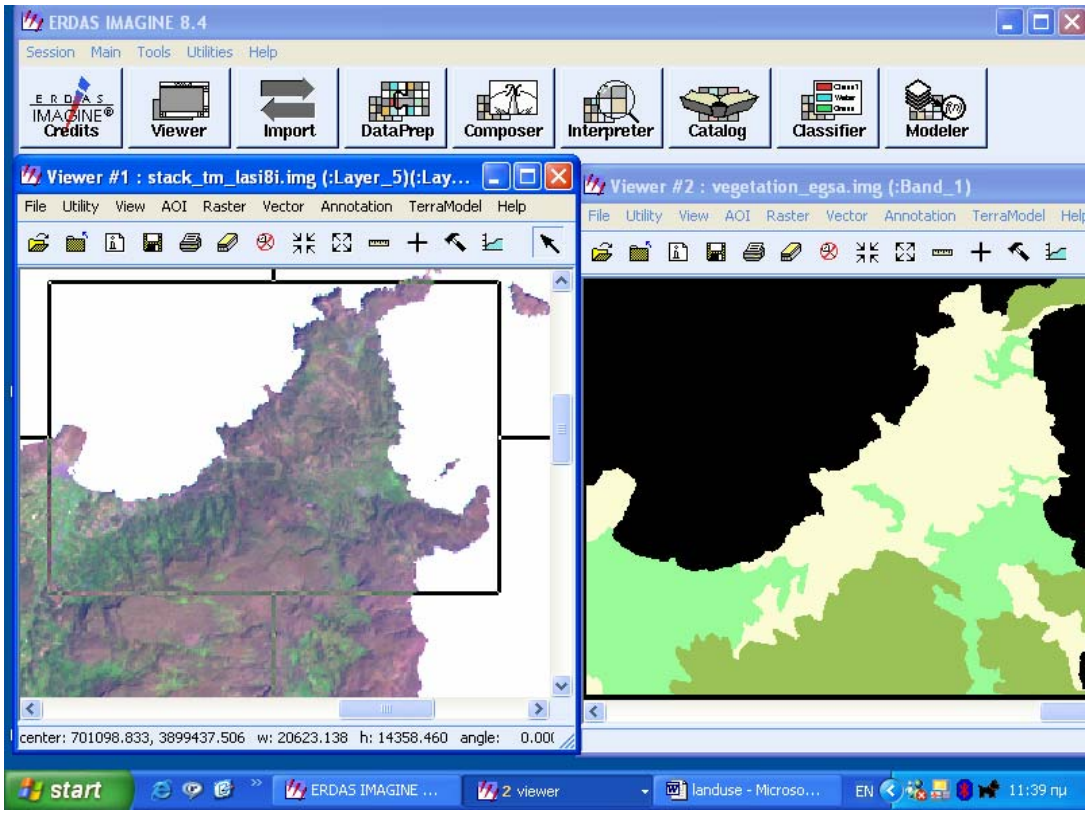


Σχήμα 5.46: Παράθυρο προβολής με την εικόνα του δείκτη Vegetation και την πολυφασματική εικόνα. Με χρήση της ράβδου ολίσθησης του εργαλείου Swipe, γίνεται διαπίστωση των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε εκτάσεις που καλύπτονται από πυκνή ή αραιή βλάστηση.

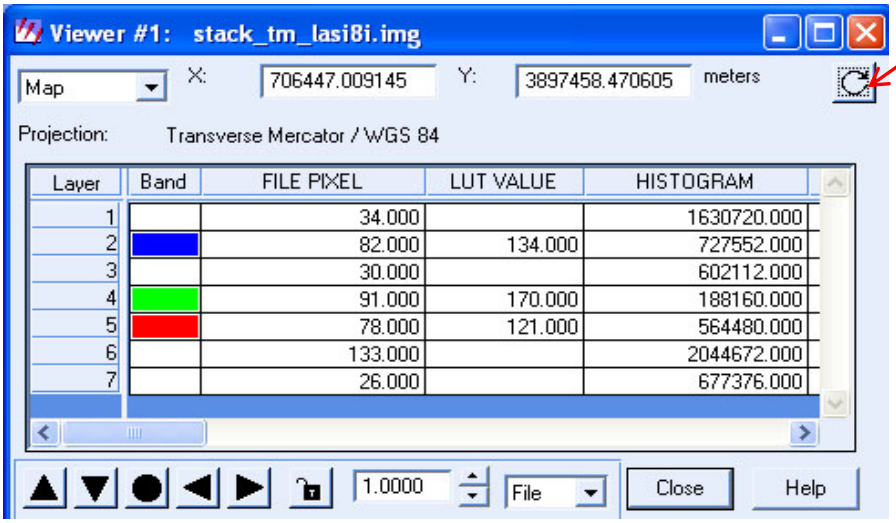


Σχήμα 5.47: Παράθυρο προβολής με την εικόνα του δείκτη IR/R και την πολυφασματική εικόνα. Με τη χρήση της ράβδου ολίσθησης του εργαλείου Swipe, γίνεται διαπίστωση των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε εκτάσεις που καλύπτονται από υγιή βλάστηση.

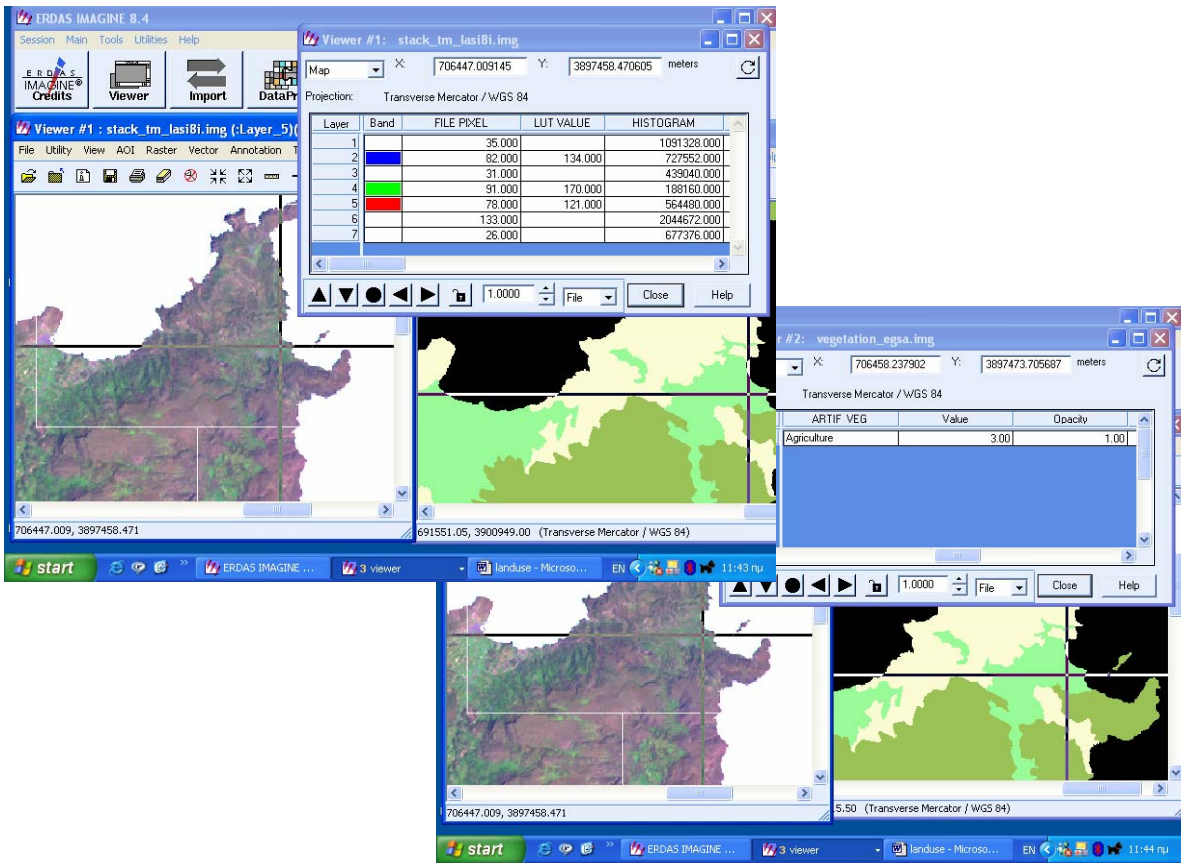
Σε ένα δεύτερο παράθυρο προβολής, ανοίχθηκε η ψηφιδωτή εικόνα των χρήσεων γης. Αυτή συνδέθηκε (με geolink) με τις εικόνες του πρώτου παράθυρου προβολής, με σκοπό τη σύγκριση των φασματικών ιδιοτήτων των εικονοστοιχείων των δορυφορικών εικόνων με κάθε τάξη πληροφορίας της ψηφιδωτής εικόνας χρήσεων γης. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε με χρήση του εργαλείου Inquire Cursor. Το εργαλείο αυτό δείχνει τις τιμές ανακλαστικότητας κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας σε κάθε δίαυλο καταγραφής. Η σύγκριση επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση ενός εικονιδίου που δίνει τις αντίστοιχες τιμές που λαμβάνει το επιλεγμένο εικονοστοιχείο στη δεύτερη εικόνα με την οποία υπάρχει η "γεωγραφική σύνδεση" (Σχήματα 5.49, 5.50 και 5.51). Η διαδικασία αυτή βοήθησε στη διαπίστωση των φασματικών ιδιοτήτων των εικονοστοιχείων της εικόνας Landsat και στην επιλογή των υποσύνολων της εικόνας που αποτέλεσαν την εκπαιδευτική σειρά του αλγορίθμου καθοδηγούμενης ταξινόμησης.



Σχήμα 5.48: "Γεωγραφική σύνδεση" διαφορετικών παράθυρων προβολής με βάση τα κοινά γεωγραφικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων των εικόνων που περιέχονται σε αυτά. Αριστερά, η πολυφασματική εικόνα και δεξιά ο χάρτης χρήσης γης.

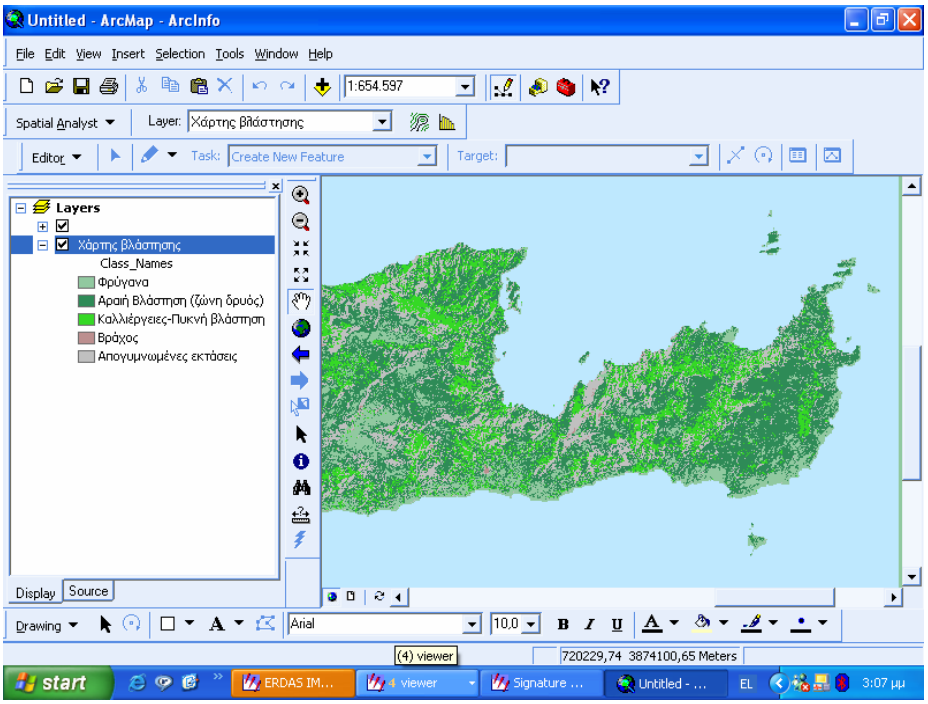


Σχήμα 5.49: Παράθυρο διαλόγου Inquire Cursor. Το εικονίδιο που δείχνει το κόκκινο βέλος (πάνω δεξιά) δίνει τις αντίστοιχες τιμές που λαμβάνει το επιλεγμένο εικονοστοιχείο στη δεύτερη εικόνα με την οποία υπάρχει η γεω-σύνδεση.



Σχήμα 5.50: Χρήση του εργαλείου Inquire Cursor σε δύο συνδεδεμένες εικόνες. Ο πίνακας πάνω δείχνει τις τιμές ανακλαστικότητας (στήλη FILE PIXEL) του επιλεγμένου εικονοστοιχείου (κέντρο μαύρου σταυρονήματος) της δορυφορικής εικόνας (αριστερά) σε κάθε δίαυλο καταγραφής (στήλη BAND). Ο πίνακας κάτω, δείχνει τις τιμές που λαμβάνει το ίδιο επιλεγμένο εικονοστοιχείο στην συνδεδεμένη εικόνα του χάρτη χρήσεων γης.

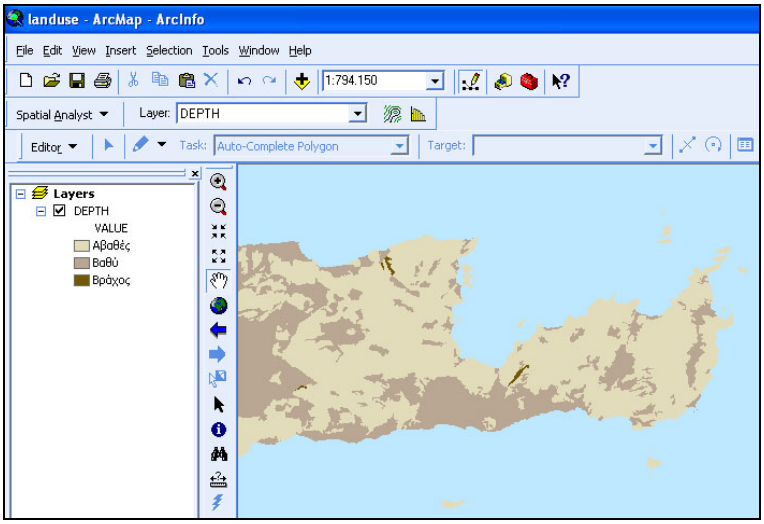
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε καθοδηγούμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης. Δημιουργήθηκαν 5 τάξεις πληροφορίας (φρύγανα, καλλιέργειες-πυκνή βλάστηση, αραιή βλάστηση-ζώνη δρυός, βράχος και απογυμνωμένες εκτάσεις). Η ταξινομημένη εικόνα που προέκυψε (Σχήμα 5.52) χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό της επικινδυνότητας από διάβρωση, κατολισθήσεις και δασικές πυρκαγιές.



Σχήμα 5.51: Ταξινομημένη εικόνα χρήσεων γης.

Γ. Εδαφικό βάθος

Ο αρχικός χάρτης χρήσεων γης ταξινομήθηκε σε τρεις κατηγορίες βάθους.

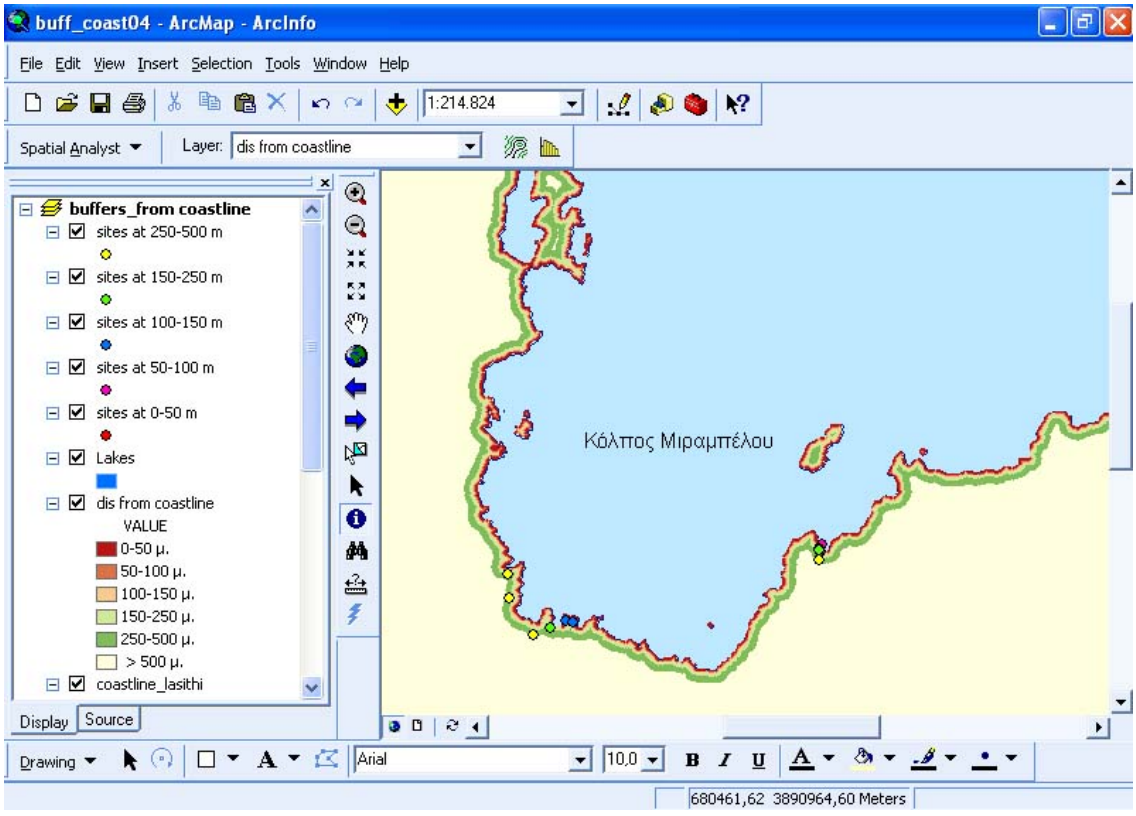


Σχήμα 5.52: Χάρτης που κατατάσσει τα εδάφη σε αβαθή, βαθιά και βραχώδη.

5.2.8 Εγγύτητα στην ακτογραμμή και στο υδρογραφικό δίκτυο

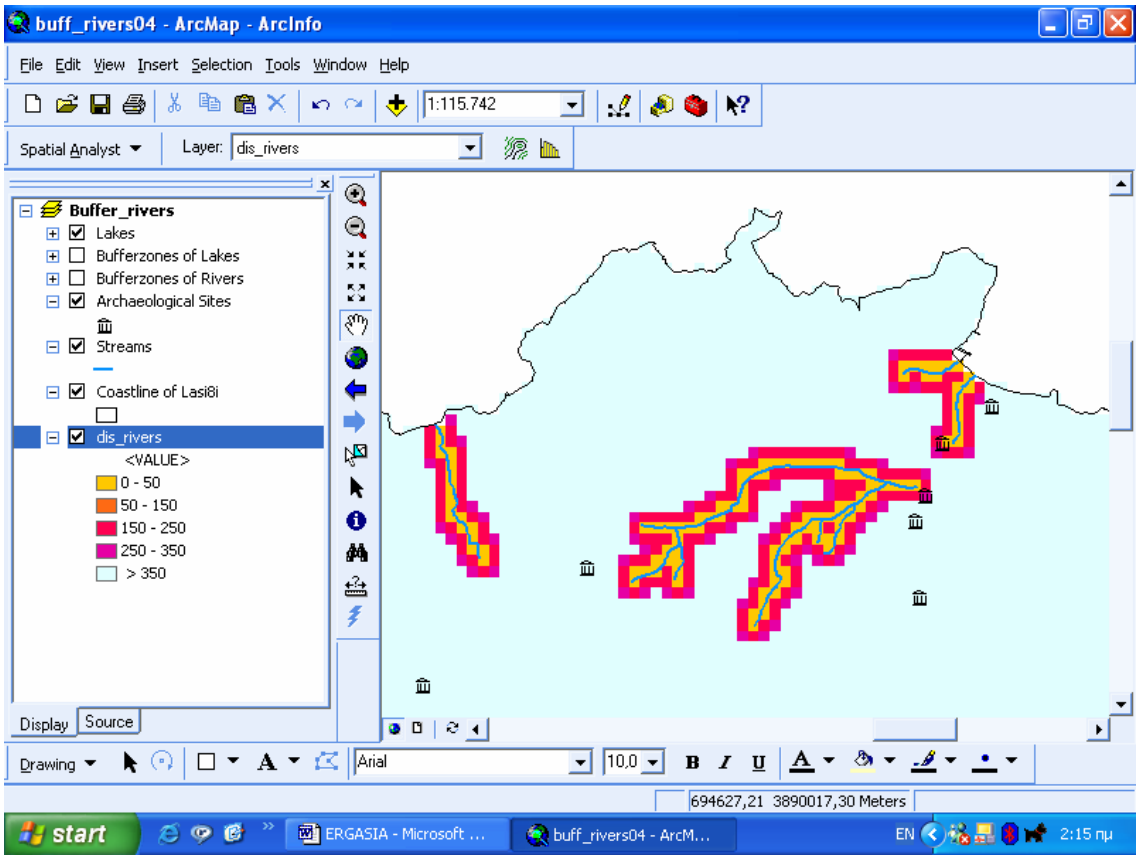
Μία άλλη παράμετρος που εξετάστηκε μέσα από τα ΓΣΠ είναι η εγγύτητα ως προς την ακτογραμμή. Θεωρείται ότι η μεγάλη εγγύτητα ως προς την ακτογραμμή και κατά συνέπεια στη θάλασσα, συμβάλλει στην πιο γρήγορη αποσάθρωση και απογύμνωση των πετρωμάτων εξαιτίας του ανέμου και της αλατότητας του νερού και των υδρατμών της κατώτερης ατμόσφαιρας. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν επιφάνειες για αποστάσεις από 0-50 m, 50-100 m , 100-150 m, 150-250 m, 250-500 m και άνω των 500 m από την ακτογραμμή. Διαπιστώθηκε το σύνολο των αρχαιολογικών θέσεων που ανήκουν σε κάθε ζώνη.

Οκτώ αρχαιολογικές θέσεις βρέθηκαν στην πρώτη ζώνη επιρροής (0-50 μέτρα), από τις οποίες μόνο οι δύο είναι προστατεμένες από την Αρχαιολογική Υπηρεσία. Στη δεύτερη ζώνη απόστασης 50-100 m βρέθηκαν 4 θέσεις, στην τρίτη (100-150 μ) βρέθηκαν 6 θέσεις, στη ζώνη των 150-250 m 13 θέσεις και στη ζώνη 250-500 m βρέθηκαν 12 θέσεις.



Σχήμα 5.53: Λεπτομέρεια από τις ζώνες επιρροής γύρω από την ακτογραμμή του Νομού Λασιθίου.

Ανάλογα, δημιουργήθηκαν και οι επιφάνειες που αντιστοιχούν σε αποστάσεις από το υδρογραφικό δίκτυο (ποτάμια) του νομού Λασιθίου. Οι αποστάσεις που επιλέχθηκαν είναι 5 (0-50 m , 50-150, 150-250, 250-350 και άνω των 350 m). Διαπιστώθηκε ότι ελάχιστες αρχαιολογικές θέσεις βρέθηκαν κοντά σε ποτάμια. Στην ζώνη επιρροής (0-50 m) βρέθηκαν 2 θέσεις, οι οποίες όμως προστατεύονται από την Αρχαιολογική Υπηρεσία. Ακόμη βρέθηκαν 5 θέσεις στη ζώνη των 150-250 m και 2 θέσεις στη ζώνη των 250-350 m.



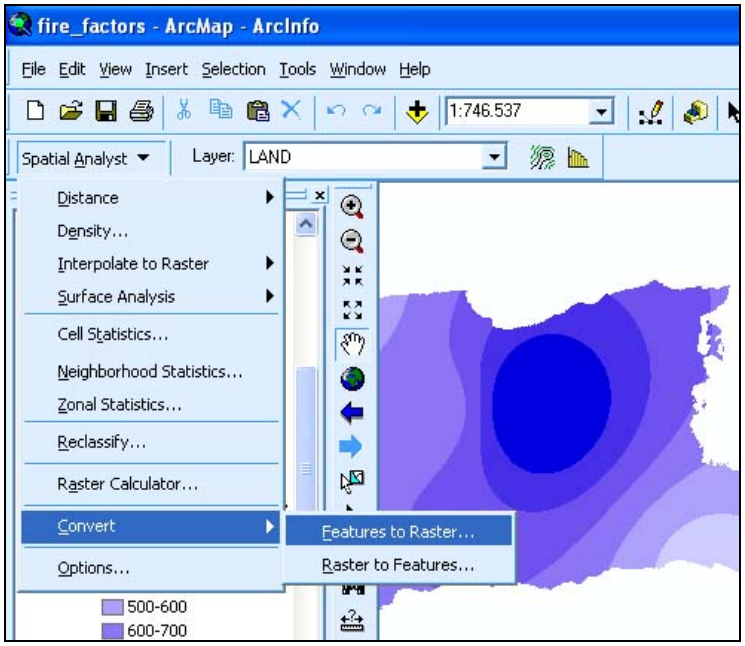
Σχήμα 5.54: Λεπτομέρεια από τις ζώνες επιρροής γύρω από το υδρογραφικό δίκτυο του Νομού Λασιθίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Μεθοδολογία καθορισμού των ζωνών επικινδυνότητας

Έπειτα από την ανάλυση των παραμέτρων που επιδρούν στην εκδήλωση κάθε φυσικής καταστροφής και με βάση τη βιβλιογραφική έρευνα, καθορίστηκε η επιρροή του κάθε παράγοντα σε κάθε μια καταστροφή. Με βάση την επιρροή τους στην εκδήλωση κινδύνου, ταξινομήθηκαν σε βαθμούς επικινδυνότητας. Η επιλογή των συντελεστών δεν είναι απόλυτη, διότι βασίζεται στη βιβλιογραφία και την προσωπική κρίση της συγγραφέως, ελλείψει δεδομένων πραγματικών σειρών γεγονότων του παρελθόντος. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα είναι ενδεικτικά. Αποδεικνύουν όμως τη χρησιμότητα της μεθόδου και τη συνεισφορά των ΣΓΠ σε ανάλογες μελέτες.

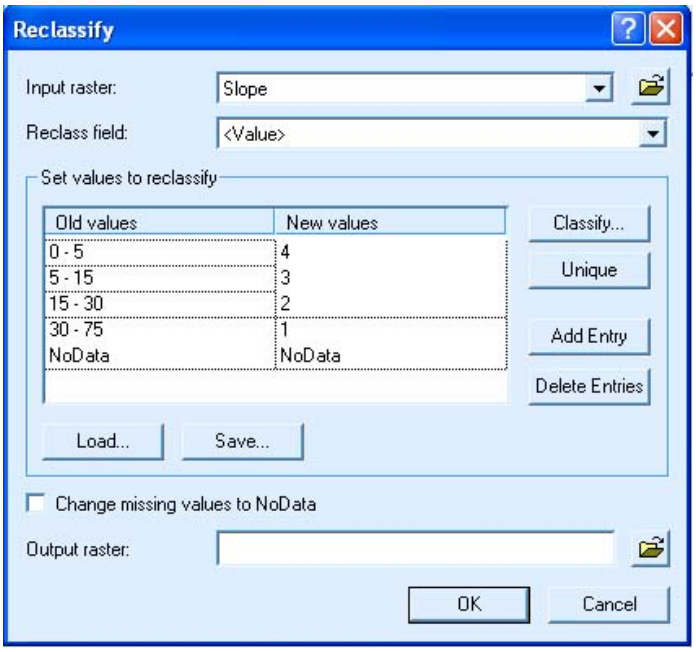
Για το σκοπό αυτό όλα τα επίπεδα πληροφορίας των παραμέτρων επικινδυνότητας, μετατράπηκαν από διανυσματική σε ψηφιδωτή μορφή δεδομένων (Σχήμα 6.1). Οι διαστάσεις της ψηφίδας όλων των ψηφιδωτών δεδομένων ορίστηκαν ως 50x50 m.



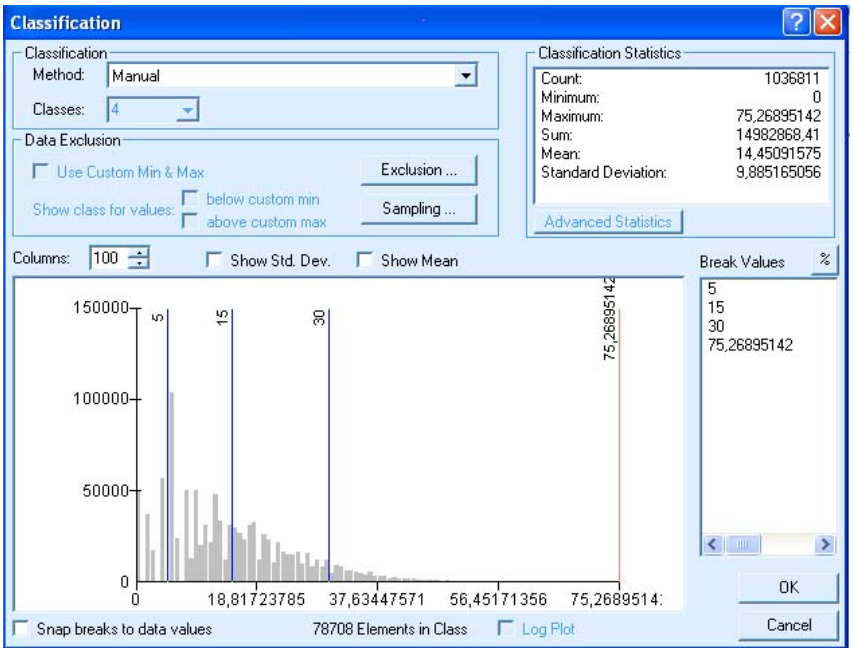
Σχήμα 6.1: Η εντολή Convert Features to Raster, με την οποία μετατράπηκαν τα δεδομένα διανυσματικής μορφής σε ψηφιδωτά.

Ακολούθησε επαναταξινόμηση όλων των ψηφιδωτών δεδομένων σε ακέραιους βαθμούς επικινδυνότητας, με κλίμακα από 1 έως 4. Έτσι κάθε μια ψηφίδα απέκτησε

μια τιμή μεταξύ 1 και 4. Η τιμή 1 αντιστοιχίστηκε σε ψηφίδες με χαμηλή επιρροή στην εκδήλωση κινδύνου (χαμηλή επικινδυνότητα), η τιμή 2 σε ψηφίδες με μέτρια επικινδυνότητα, η τιμή 3 σε υψηλή και η τιμή 4 σε πολύ υψηλή επικινδυνότητα. Η διαδικασία της επαναταξινόμησης έγινε στο πρόγραμμα ArcGIS με την επέκταση Spatial Analyst και χρήση της εντολής Reclassify (Σχήματα 6.2 και 6.3).



Σχήμα 6.2: Το παράθυρο διαλόγου Reclassify



Σχήμα 6.3: Το παράθυρο διαλόγου Classification, στο οποίο ορίζεται το πλήθος και εύρος των τιμών κάθε τάξης.

Ο δείκτης επικινδυνότητας κάθε φυσικής καταστροφής, προκύπτει με σύνθεση των ψηφιδωτών δεδομένων των παραμέτρων. Κάθε παράμετρος όμως, επιδρά σε διαφορετικό βαθμό στην εκδήλωση μιας φυσικής καταστροφής. Για αυτό το λόγο, τοποθετήθηκαν συντελεστές βαρύτητας (weightening factors) σε κάθε παράμετρο με βάση την συμβολή τους στην εκδήλωση κινδύνου.

Χρησιμοποιούνται συνήθως δύο πρότυπα αλγεβρικών σχέσεων μεταξύ ψηφιδωτών δεδομένων (grid algebra models). Το πρότυπο του αθροίσματος των βαρών (weighted summation) και το πρότυπο των μέσων τιμών των βαρών (weighted averaging).

Η μαθηματική σχέση που εκφράζει το πρότυπο του αθροίσματος, ορίζεται από το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών βαρύτητας κάθε παραμέτρου με τις αντίστοιχες τιμές που λαμβάνει κάθε ψηφίδα (βαθμοί επικινδυνότητας),

$$\mathbf{X_{xy} = \sum_{i=1}^{n} w_i X_{xyi}} \qquad (6.1)$$

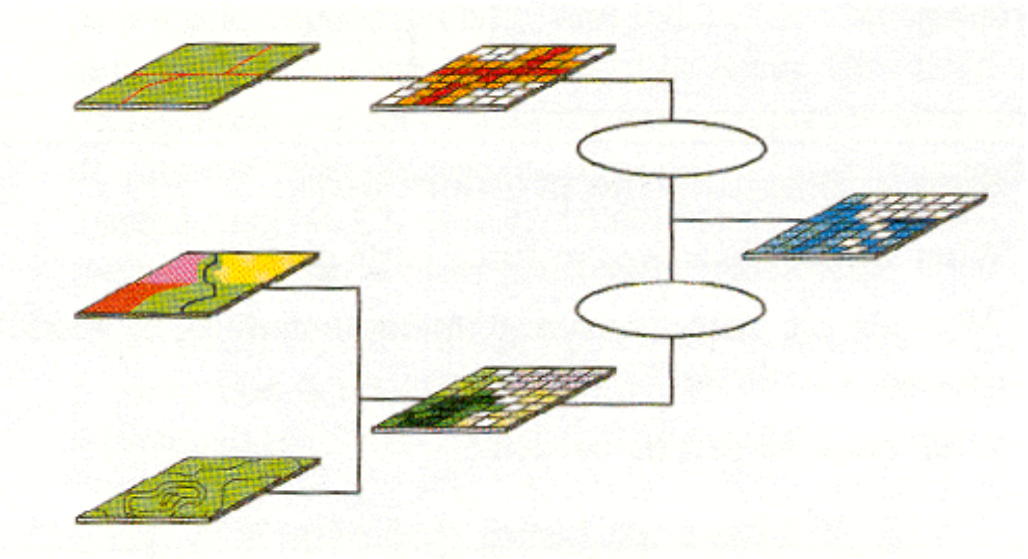
όπου **n** είναι ο αριθμός των παραμέτρων επικινδυνότητας, $\mathbf{X_{xyi}}$ είναι η τιμή της ψηφίδας στη θέση **xy** για την παράμετρο **i** και $\mathbf{W_i}$ ο συντελεστής βαρύτητας κάθε παραμέτρου.

Η μαθηματική σχέση που εκφράζει το πρότυπο των μέσων τιμών των βαρών, ορίζεται από το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών βαρύτητας κάθε παραμέτρου με τις αντίστοιχες τιμές που λαμβάνει κάθε ψηφίδα, προς το συνολικό άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας.

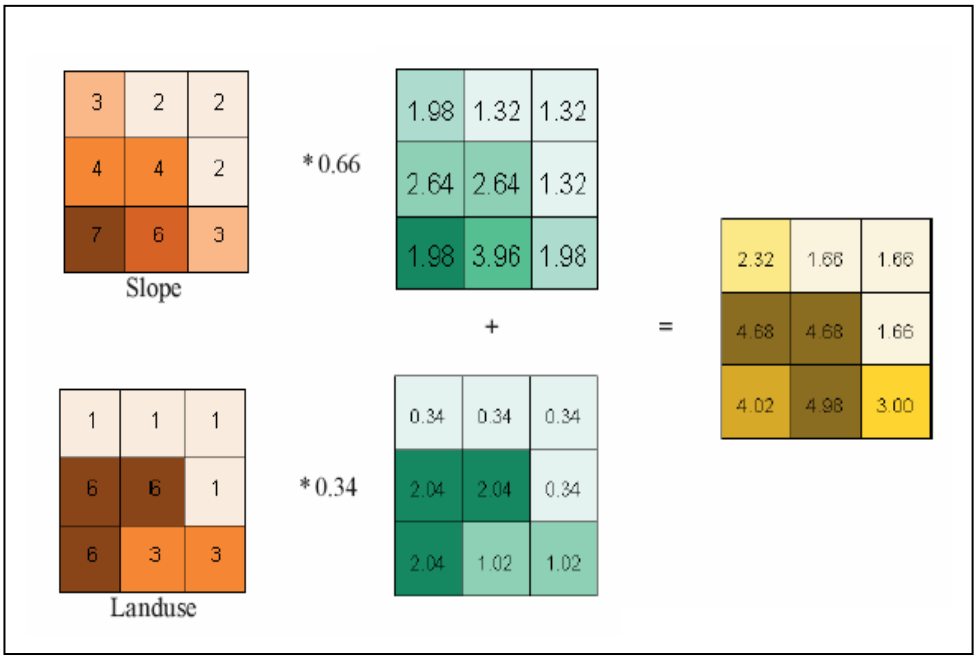
$$\mathbf{\bar{X}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i X_{xyi}}{\sum_{i=1}^{n} w_i}} \qquad (6.2)$$

Σε περίπτωση που το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας είναι ίσο με 1, τότε οι δύο σχέσεις είναι ισοδύναμες. Στον υπολογισμό των δεικτών επικινδυνότητας της

εργασίας, οι συντελεστές βαρύτητας επιλέχθηκαν έτσι, ώστε το άθροισμα αυτών να είναι ίσο με τη μονάδα.



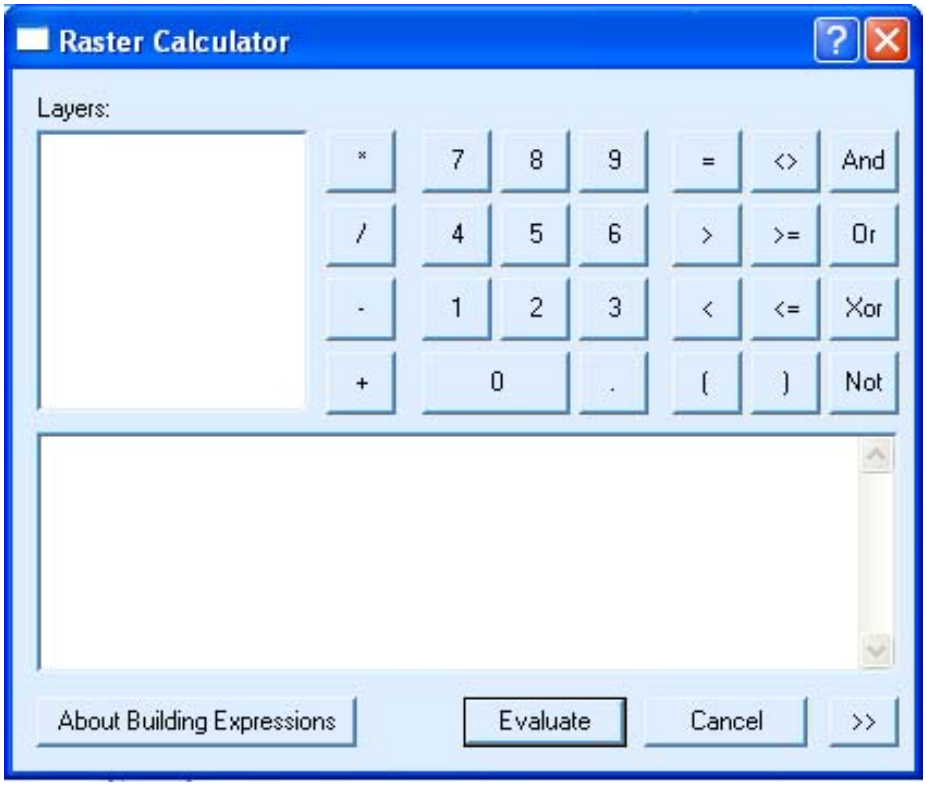
Σχήμα 6.4: Μεθοδολογία εύρεσης δείκτη επικινδυνότητας. Έπειτα από την μετατροπή των παραμέτρων σε δεδομένα ψηφιδωτής μορφής και την αναταξινόμηση αυτών, ακολουθεί η σύνθεσή-υπέρθεσή τους.



Σχήμα 6.5: Παράδειγμα σύνθεσης δεδομένων ψηφιδωτής μορφής με εφαρμογή του αλγεβρικού προτύπου του αθροίσματος των βαρών (weighted summation).

Αφού επιλεχθούν οι συντελεστές βαρύτητας κάθε παραμέτρου και το πρότυπο που θα ακολουθηθεί για την εύρεση του δείκτη επικινδυνότητας, ακολουθεί η σύνθεση-υπέρθεση των ψηφιδωτών παραμέτρων και η εφαρμογή της αλγεβρικής σχέσης μέσα από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται πάλι η επέκταση του ArcGIS, Spatial Analyst που επιτρέπει τη χωρική ανάλυση των δεδομένων κυψελωτής μορφής. Από τη γραμμή εργαλείων της επέκτασης Spatial Analyst, επιλέγεται η εντολή Raster Calculator. Η εντολή αυτή επιτρέπει την πραγματοποίηση αλγεβρικών πράξεων μεταξύ κυψελωτών δεδομένων, αλλά και τη δημιουργία λογικών ερωτημάτων μέσω τελεστών Boolean.



Σχήμα 6.6: Το παράθυρο διαλόγου Raster Calculator.

Στο παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster Calculator, γίνεται η επιλογή των κυψελωτών επιπέδων πληροφορίας (λίστα Layers) που εισάγονται στον αλγόριθμο (Σχήμα 6.6). Αφού διατυπωθεί η αλγεβρική σχέση που εκφράζει το επιλεγμένο πρότυπο, χρησιμοποιείται η εντολή Evaluate, για την εκτέλεση του αλγόριθμου. Το αποτέλεσμα της εκτέλεσης είναι η δημιουργία ενός νέου δεδομένου ψηφιδωτής μορφής.

6.2 Δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας από σεισμούς είναι οι εντάσεις των παλαιότερων σεισμικών φαινομένων, η γεωλογία της περιοχής και η εγγύτητα σε τεκτονικά ρήγματα.

Οι παράμετροι επικινδυνότητας ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες επικινδυνότητας: χαμηλή (1), μέτρια (2), υψηλή (3) και πολύ υψηλή επικινδυνότητα (4) (Πίνακας 6.1). Τέλος, τοποθετήθηκαν συντελεστές βαρύτητας για κάθε παράμετρο (Πίνακας 6.2).

Πίνακας 6.1: Ταξινόμηση τάξεων των παραμέτρων σεισμικής επικινδυνότητας

Παράμετρος	Τάξεις	Βαθμός	Επικινδυνότητα
I Εντάσεις σεισμών	6-7	2	Μέτρια
	7-8	3	Υψηλή
	8-9	4	Πολύ υψηλή
G Γεωλογία	Α	1	Χαμηλή
	Β	2	Μέτρια
	Γ	3	Υψηλή
	Δ	4	Πολύ υψηλή
	Χ	4	Πολύ υψηλή
F Εγγύτητα σε ρήγματα	0-100 m	4	Πολύ υψηλή
	100-500 m	3	Υψηλή
	500-1000 m	2	Μέτρια
	>1000 m	1	Χαμηλή

Τα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση των παραμέτρων συνδέονται με την επίδραση τους στην εκδήλωση των σεισμικών φαινομένων, όπως αναλύθηκαν στην παράγραφο 5.2.2 της εργασίας. Για τις εντάσεις των σεισμών, χρησιμοποιήθηκε η κυψελωτή επιφάνεια που προέκυψε από την εφαρμογή της σχέσης υπολογισμού των μέγιστων εντάσεων I_0 από το μέγεθος Μ του σεισμού (Παπαϊωάννου 1984) (Σχήμα 5.14). Η ανάλυση της σεισμικής απόσβεσης με βάση την επικεντρική απόσταση και τις

εδαφικές συνθήκες περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5 (παράγραφος 5.5.2) έδειξε ότι η επίδραση του μεγέθους και άρα της έντασης του σεισμού στη σεισμική απόσβεση είναι μεγαλύτερη, σε σχέση με την επίδραση των εδαφικών συνθηκών και της επικεντρικής απόστασης. Έτσι η παράμετρος των εντάσεων των σεισμών θεωρήθηκε πιο σημαντική. Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών έγινε σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό κανονισμό του 1999.

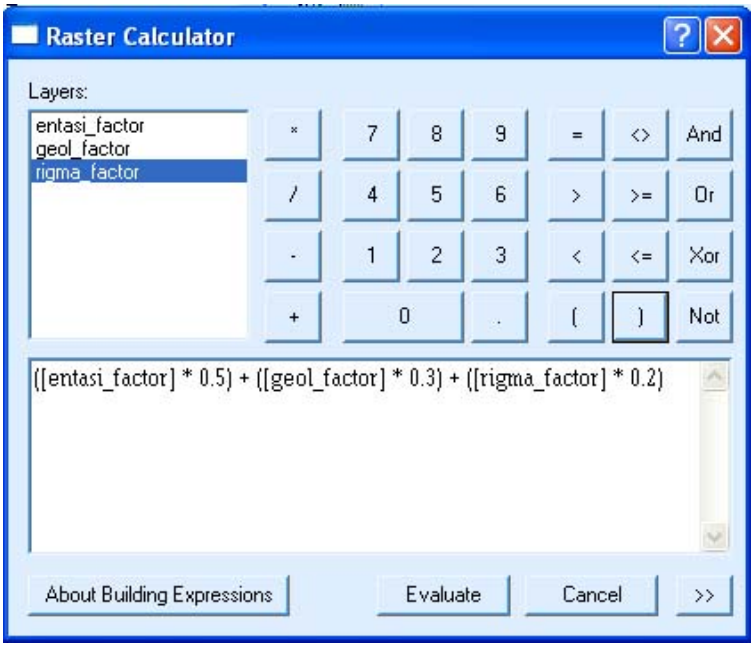
Πίνακας 6.2: Παράμετροι σεισμικής επικινδυνότητας και συντελεστές βαρύτητας.

Παράμετρος	**Παράμετρος σεισμικής επικινδυνότητας**	**Συντελεστής βαρύτητας**
I	Εντάσεις σεισμών	0,5
G	Γεωλογία	0,3
F	Εγγύτητα σε ρήγματα	0,2

Επομένως ο δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας (SIR-Seismic Risk Index) προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

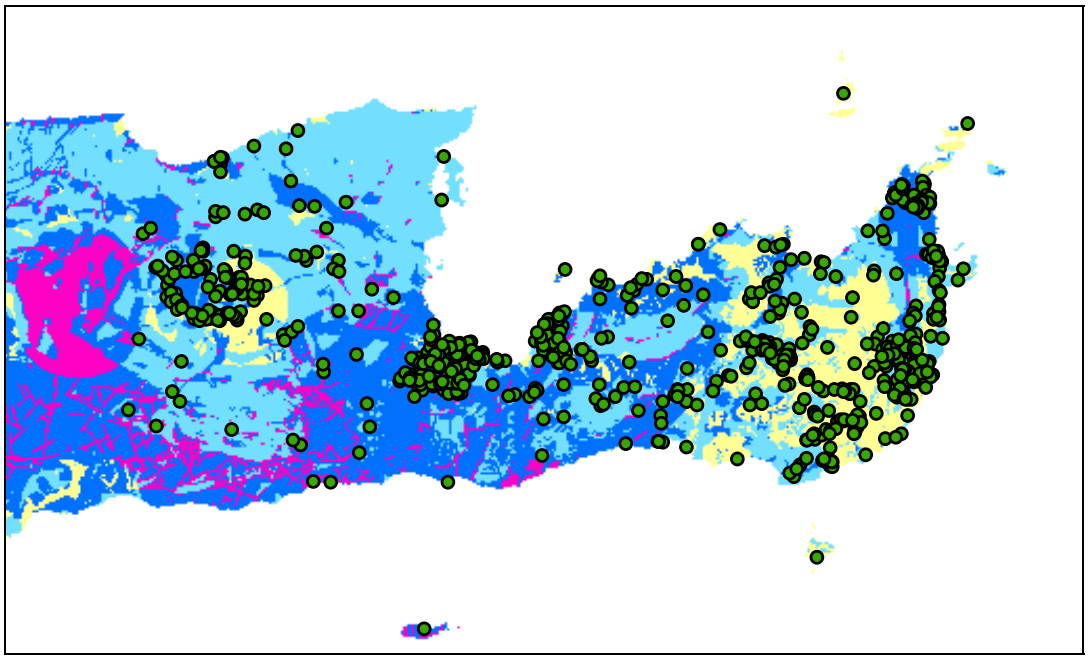
$$\mathbf{SIR = 0{,}5I + 0{,}3G + 0{,}2F} \qquad (6.3)$$

Το δεδομένο ψηφιδωτής μορφής που προέκυψε από την εφαρμογή του αλγορίθμου, ταξινομήθηκε σε 4 κατηγορίες επικινδυνότητας. Στην κατηγορία χαμηλής επικινδυνότητας (τάξη 1) ταξινομήθηκαν 141423 ψηφίδες, μέτριας επικινδυνότητας (τάξη 2) 425580 ψηφίδες, υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 3) 374351 ψηφίδες και στην κατηγορία πολύ υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 4) 89756 ψηφίδες.

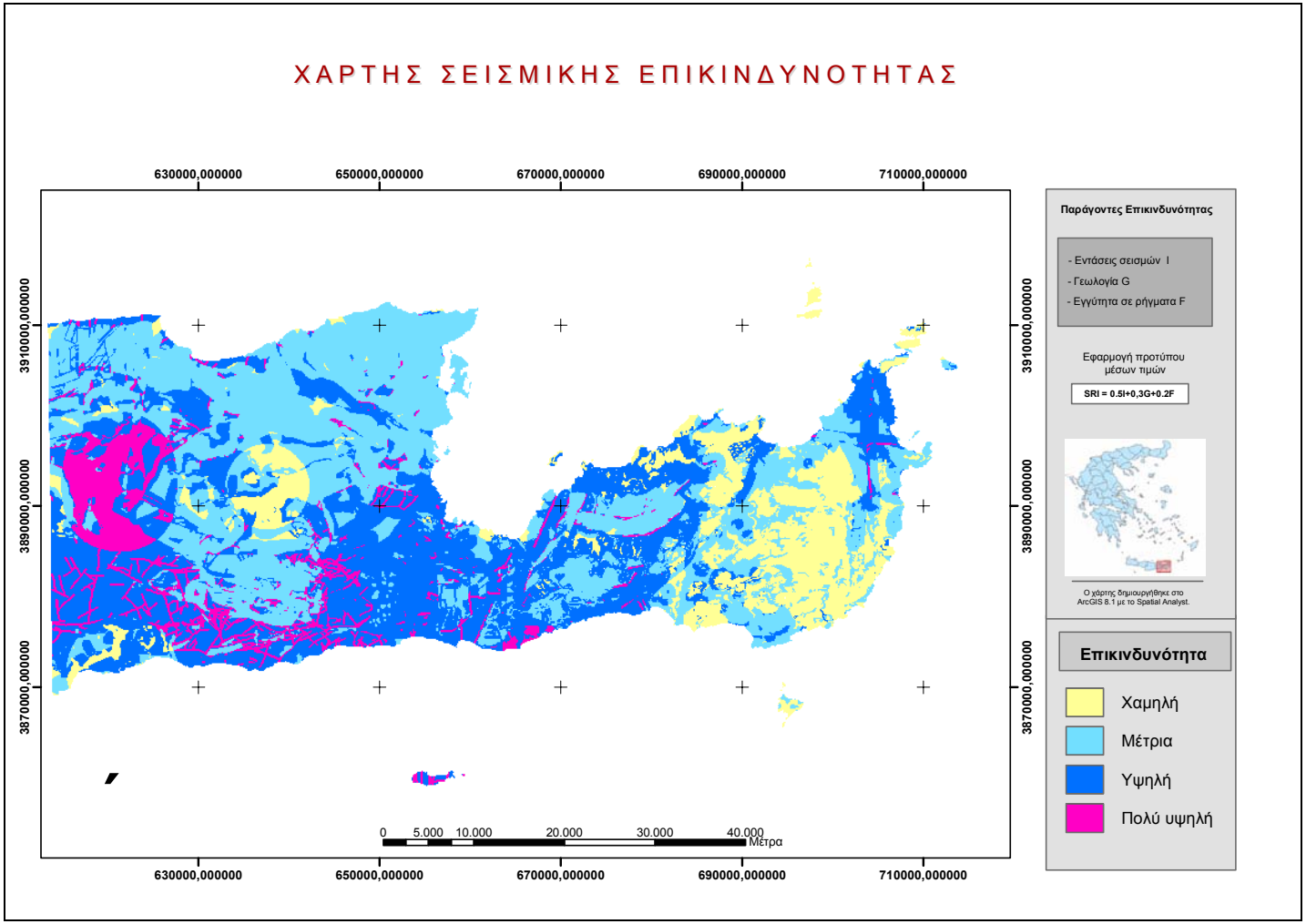


Σχήμα 6.7: Η εφαρμογή του αλγορίθμου των μέσων τιμών για τον υπολογισμό του δείκτη σεισμικής επικινδυνότητας, στο παράθυρο διαλόγου Raster Calculator.

Η υπέρθεση του επιπέδου πληροφορίας των αρχαιολογικών θέσεων, έδειξε ότι το 3% περίπου των θέσεων βρίσκεται σε περιοχές πολύ υψηλής επικινδυνότητας, το 38% σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, το 35% σε περιοχές μέτριας επικινδυνότητας και το 24% σε περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας (Σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8: Οι αρχαιολογικές θέσεις στον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας.



Σχήμα 6.9: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας του Νομού Λασιθίου

6.3 Δείκτης επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές

Στην περίπτωση του υπολογισμού της επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές, υπήρχε το πλεονέκτημα της ύπαρξης δεδομένων από περιστατικά παλαιότερων χρόνων. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός της πολλαπλής επανάληψής τους στις ίδιες περιοχές, προέκυψαν συμπεράσματα, σχετικά με τις τάσεις εκδήλωσης του φαινομένου. Διαπιστώθηκαν οι γεωμορφολογικές και κλιματικές συνθήκες των περιοχών όπου εκδηλώθηκαν τα περισσότερα φαινόμενα δασικών πυρκαγιών. Με βάση τα συμπεράσματα αυτά, επιλέχθηκαν οι παράμετροι που επηρεάζουν τις δασικές πυρκαγιές. Στη συνέχεια, η διαπίστωση της επιρροής κάθε τάξης των παραμέτρων οδήγησε στο χαρακτηρισμό των τάξεων σε βαθμούς επικινδυνότητας. Τέλος, επιλέχθηκε ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε παραμέτρου στον υπολογισμό του τελικού δείκτη επικινδυνότητας.

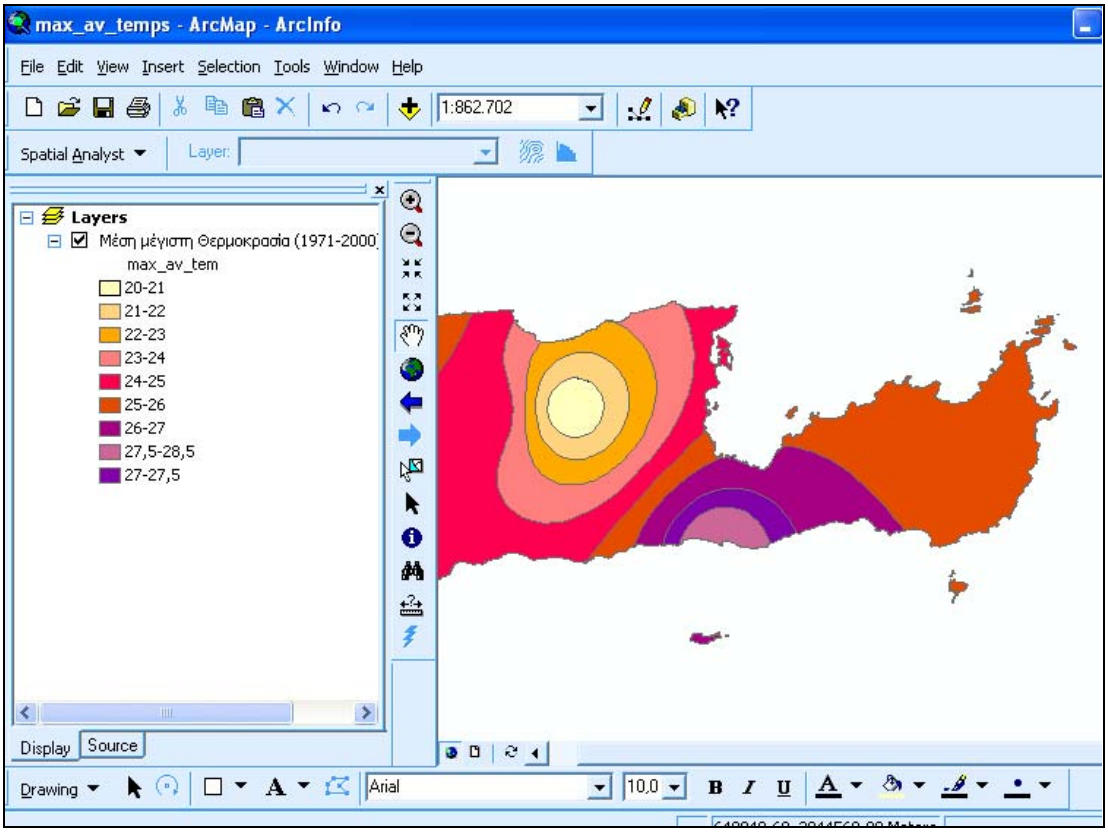
Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές είναι η βλάστηση, η μέση μέγιστη θερμοκρασία, η συνολική βροχόπτωση, το υψόμετρο, οι κλίσεις και η εγγύτητα στο υδρογραφικό δίκτυο (Πίνακας 6.3).

Συνδυάζοντας το επίπεδο πληροφορίας της πυκνότητας των πυρκαγιών, με τα επίπεδα πληροφορίας του υψομέτρου, των κλίσεων του εδάφους, των χρήσεων γης, της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Από το σύνολο των 623 πυρκαγιών που έπληξαν τα δάση του Νομού Λασιθίου, οι 269 συνέβησαν σε περιοχές με φρύγανα, 219 σε περιοχές με αραιή βλάστηση (ζώνη δρυός), 129 σε καλλιέργειες και μόλις 6 σε απογυμνωμένες εκτάσεις. Έτσι τοποθετήθηκε μεγαλύτερος βαθμός επικινδυνότητας στην τάξη που αντιστοιχεί στα φρύγανα, ενώ οι απογυμνωμένες εκτάσεις βαθμολογήθηκαν με τον μικρότερο βαθμό.

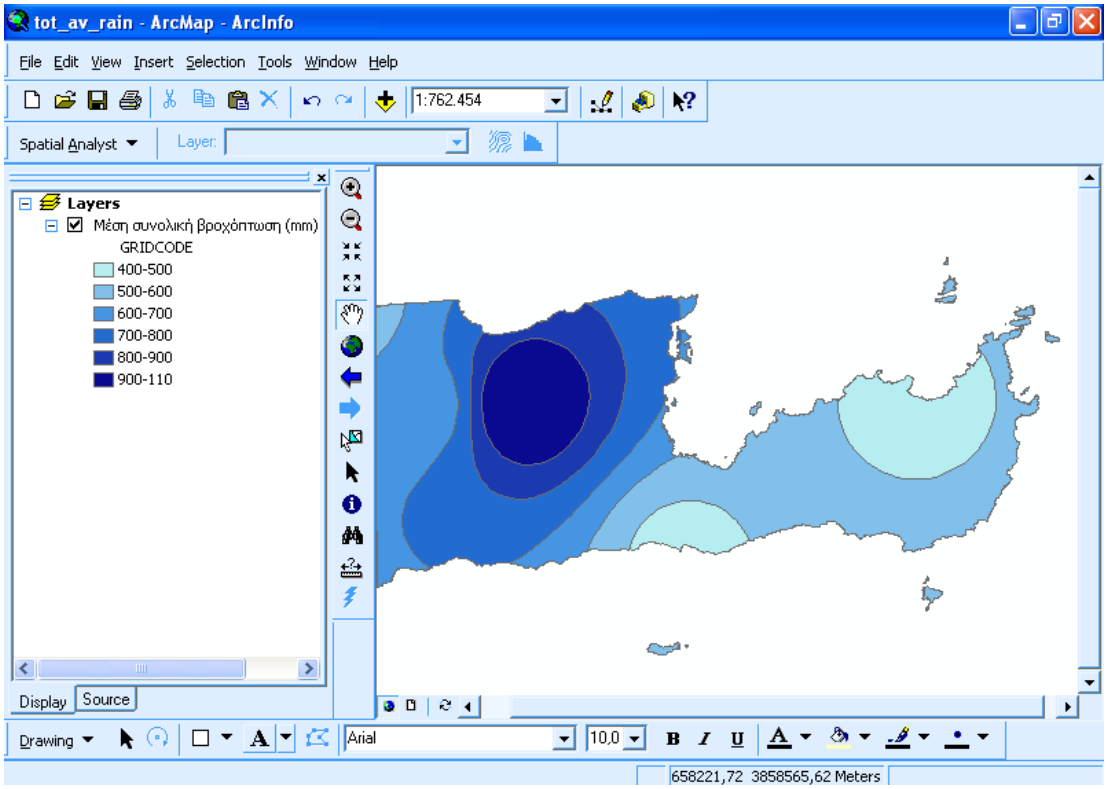
Για τις κλιματικές συνθήκες, χρησιμοποιήθηκαν οι επιφάνειες που προέκυψαν από τις μέσες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας και συνολικής βροχόπτωσης για όλη την Κρήτη για το χρονικό διάστημα 1970-2000 (Σχήματα 6.10 και 6.11). Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι θερμοκρασίες μόνο της τελευταίας 30ετίας, οφείλεται στη μη ύπαρξη πλήρης σειράς

δεδομένων από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς πριν από αυτό το χρονικό διάστημα.



Σχήμα 6.10: Μέση μέγιστη θερμοκρασία Νομού Λασιθίου για το χρονικό διάστημα 1970-2000.

Τα αποτελέσματα της χωρικής αναζήτησης και σύνδεσης των επιφανειών αυτών με τις θέσεις εκδήλωσης των δασικών πυρκαγιών, έδειξε ότι οι περισσότερες πυρκαγιές εκδηλώθηκαν σε περιοχές με μέση μέγιστη θερμοκρασία μεταξύ 25^{o} και 26^{o} C. Ακολουθούν οι περιοχές με μέση μέγιστη θερμοκρασία μεταξύ 26^{o} και 27^{o} C και οι περιοχές με 23^{o} και 24^{o} C. Λιγότερες πυρκαγιές εκδηλώθηκαν σε θερμοκρασίες 27^{o} και 28,5^{o} C, ενώ ελάχιστες σε θερμοκρασίες μεταξύ 20^{o} και 22^{o} C. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι στις περιοχές με μικρή μέση συνολική βροχόπτωση (500 έως 600 mm) εκδηλώθηκαν οι περισσότερες πυρκαγιές (279 πυρκαγιές σε 36 θέσεις) σε αντίθεση με περιοχές με μεγάλα ποσοστά βροχόπτωσης (900-1000 mm) όπου οι πυρκαγιές ήταν ελάχιστες (συνολικά 11 σε 5 θέσεις).



Σχήμα 6.11: Μέση συνολική βροχόπτωση Ν. Λασιθίου για το χρονικό διάστημα 1970-2000.

Οι περισσότερες θέσεις εκδήλωσης πυρκαγιών, διαπιστώθηκαν σε περιοχές μέτριου υψομέτρου. Επιπλέον, οι πυρκαγιές με τη μεγαλύτερη συχνότητα επανάληψης (περισσότερο από 10 πυρκαγιές στην ίδια θέση) εκδηλώθηκαν σε υψόμετρα από 250 ως 500 m. Οι υπόλοιπες πυρκαγιές εκδηλώθηκαν σε υψόμετρα από 500 ως 1000 m και από 0 ως 250 m. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι καμία πυρκαγιά δεν εκδηλώθηκε σε περιοχές με υψόμετρο πάνω από 1000 m.

Όσον αφορά τις κλίσεις του εδάφους, οι περισσότερες θέσεις εκδήλωσης πυρκαγιών, διαπιστώθηκαν σε περιοχές με πολύ ομαλές κλίσεις. Όλες οι πυρκαγιές με μεγάλη συχνότητα επανάληψης (περισσότερο από 10 πυρκαγιές στην ίδια θέση) και με σύνολο αποτεφρωμένων εκτάσεων μεγαλύτερο από 11.000 στρέμματα εκδηλώθηκαν σε κλίσεις εδάφους από 0^o έως 15^o. Αντίθετα προκύπτει ότι οι μεγαλύτερες κλίσεις ($>30^0$) δεν ευνοούν την εκδήλωση και διάδοση των πυρκαγιών. Έτσι οι περιοχές με κλίσεις από 0^o έως 15^o καθορίστηκαν ως περιοχές μεγάλης επικινδυνότητας, οι περιοχές με κλίσεις από 15^o έως 30^o μέτριας επικινδυνότητας και οι περιοχές με κλίσεις μεγαλύτερες από 30^o χαμηλής επικινδυνότητας.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα, οι παράμετροι επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες επικινδυνότητας (Πίνακας 6.3).

Πίνακας 6.3: Ταξινόμηση τάξεων των παραμέτρων επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών

Παράμετρος	**Τάξεις**	**Βαθμός**	**Επικινδυνότητα**
V Βλάστηση	Φρύγανα	4	Πολύ υψηλή
	Αραιή βλάστηση- Ζώνη Δρυός	3	Υψηλή
	Καλλιέργειες	2	Μέτρια
	Απογυμνωμένες	1	Χαμηλή
	Βράχοι	1	Χαμηλή
T Μέση μέγιστη Θερμοκρασία (^{o} C)	20-23	1	Χαμηλή
	23-25	3	Υψηλή
	25-26	4	Πολύ υψηλή
	26-27	3	Υψηλή
	27-28,5	2	Μέτρια
R Βροχόπτωση (mm)	400-500	3	Υψηλή
	500-600	4	Πολύ υψηλή
	600-900	2	Μέτρια
	900-1100	1	Χαμηλή
E Υψόμετρο (m)	0-250	3	Υψηλή
	250-500	4	Πολύ υψηλή
	500-1000	3	Υψηλή
	> 1000	1	Χαμηλή
S Κλίσεις	0-15	4	Πολύ υψηλή
	15-30	2	Μέτρια
	> 30	1	Χαμηλή
W Εγγύτητα σε υδρογραφικό δίκτυο	> 350 m	4	Πολύ υψηλή
	250-350 m	3	Υψηλή
	150-250 m	2	Μέτρια
	0-150 m	1	Χαμηλή

Τέλος, τοποθετήθηκαν συντελεστές βαρύτητας για κάθε παράμετρο (Πίνακας 6.4). Η παράμετρος στην οποία τοποθετήθηκε ο μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας είναι η βλάστηση, διότι δεν νοείται πυρκαγιά χωρίς την ύπαρξη καύσιμης ύλης, ακόμη και αν οποιαδήποτε άλλη συνθήκη είναι ευνοϊκή στην εκδήλωση της. Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους, η ιστορία έχει αποδείξει ότι το κλίμα θεωρείται σημαντική παράμετρος τόσο εκδήλωσης όσο και επιδείνωσης της πυρκαγιάς. Η επίδραση του υψομέτρου και των κλίσεων του εδάφους είναι μικρότερη, διότι περιορίζεται στη διάδοση της πυρκαγιάς. Τέλος, λόγω περιορισμένου υδρογραφικού δικτύου στο Νομό Λασιθίου, η παράμετρος της εγγύτητας στο υδρογραφικό δεν θεωρήθηκε ότι επιδρά σημαντικά. Παρόλα αυτά συμπεριλήφθηκε στον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας, διότι θεωρείται συντελεστής ελάττωσης του ρυθμού διάδοσης της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή έχει ήδη εκδηλωθεί.

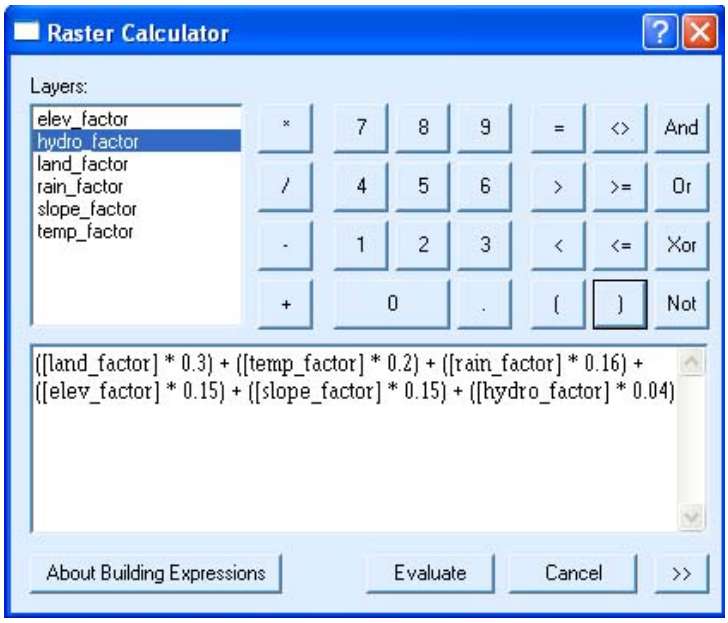
Πίνακας 6.4: Παράμετροι επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών και συντελεστές βαρύτητας.

Παράμετρος	**Παράμετρος επικινδυνότητας δασ. πυρκαγιών**	**Συντελεστής βαρύτητας**
V	Βλάστηση	0,3
T	Μέση μέγιστη θερμοκρασία	0,2
R	Μέση Βροχόπτωση	0,16
E	Υψόμετρο	0,15
S	Κλίσεις	0,15
W	Εγγύτητα στο υδρογραφικό	0,04

Επομένως ο δείκτης επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

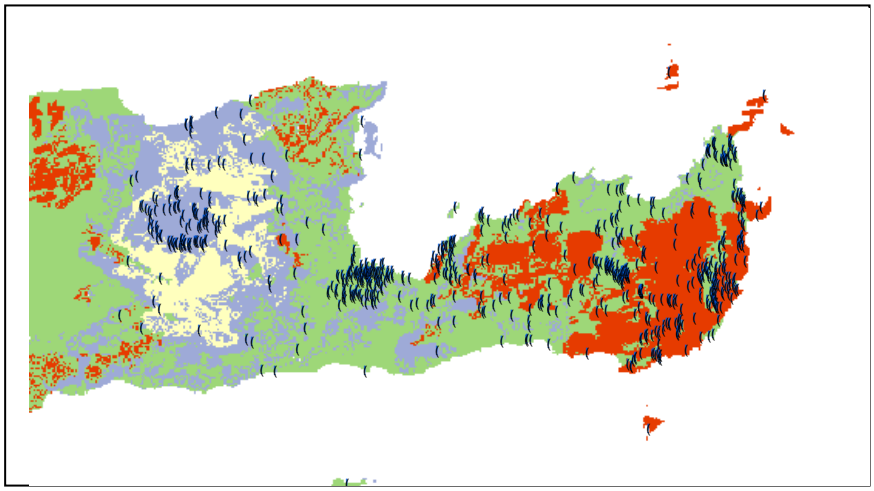
FIR (Fire Risk Index) = **0,3V + 0,2T + 0,16R + 0,15E + 0,15S + 0,04W** (6.4)

Το δεδομένο ψηφιδωτής μορφής που προέκυψε από την εφαρμογή του αλγορίθμου, ταξινομήθηκε σε 4 κατηγορίες επικινδυνότητας. Στην κατηγορία χαμηλής επικινδυνότητας (τάξη 1) ταξινομήθηκαν 4106 ψηφίδες, μέτριας επικινδυνότητας (τάξη 2) 11461 ψηφίδες, υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 3) 22284 ψηφίδες και στην κατηγορία πολύ υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 4) 9457 ψηφίδες.

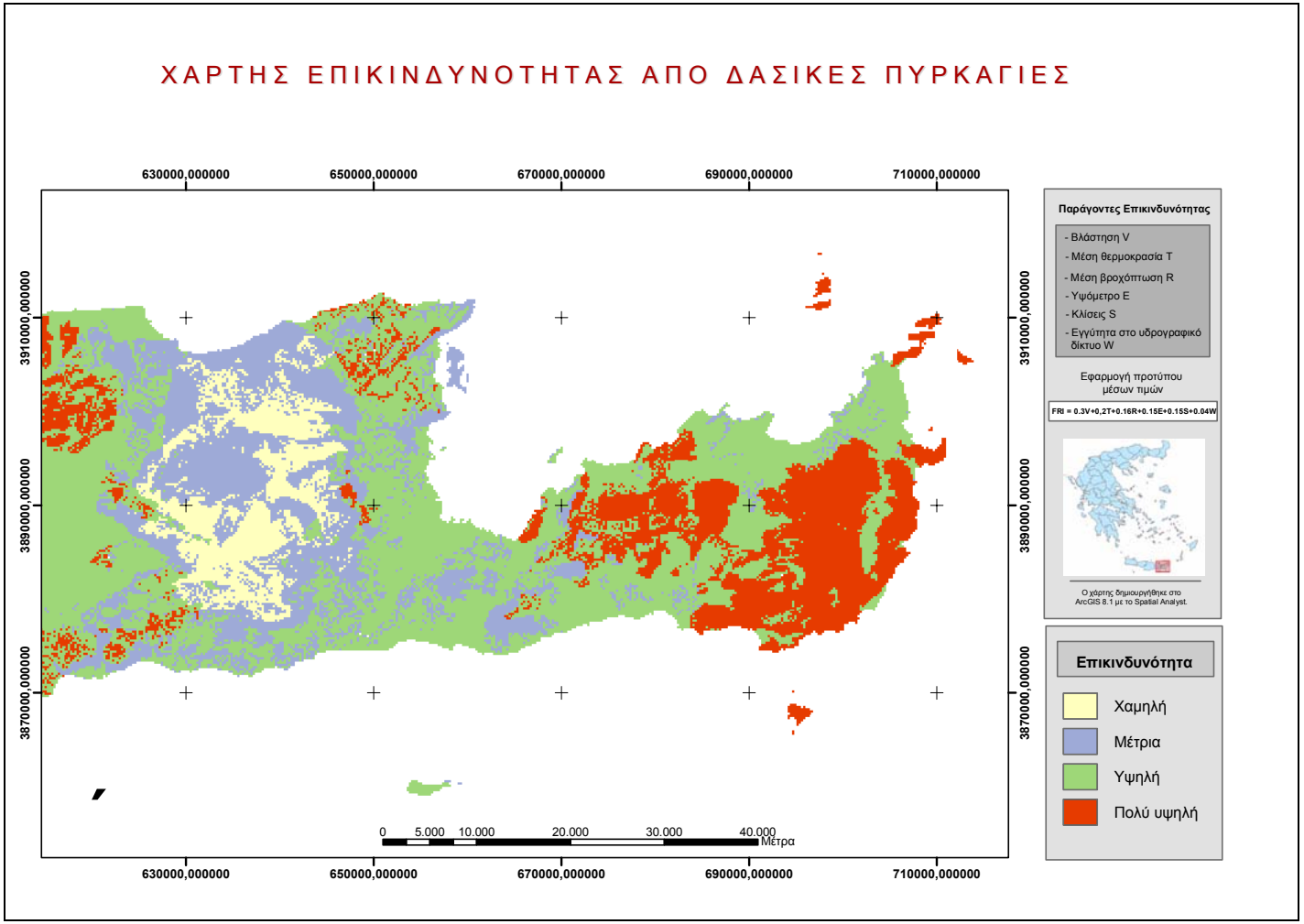


Σχήμα 6.12: Η εφαρμογή του αλγορίθμου των μέσων τιμών για τον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών, στο παράθυρο διαλόγου Raster Calculator.

Η υπέρθεση του επιπέδου πληροφορίας των αρχαιολογικών θέσεων, έδειξε ότι το 52% των θέσεων βρίσκεται σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές, το 27% σε περιοχές πολύ υψηλής επικινδυνότητας, ένα 17,5% σε περιοχές μέτριας επικινδυνότητας και μόλις ένα 3,5 % σε περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας.



Σχήμα 6.13: Οι αρχαιολογικές θέσεις στον χάρτη επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών.



Σχήμα 6.14: Χάρτης επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών στο Νομό Λασιθίου

6.4 Δείκτης επικινδυνότητας από κατολισθήσεις

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας από κατολισθήσεις είναι: η γεωλογία της περιοχής μελέτης, η γεωμορφολογία της περιοχής (κλίσεις πετρωμάτων), η μέση βροχόπτωση, οι χρήσεις γης, η εγγύτητα σε ρήγματα, η εγγύτητα στο κύριο οδικό και στο υδρογραφικό δίκτυο.

Οι παράμετροι επικινδυνότητας από κατολισθήσεις ταξινομήθηκαν στις κατηγορίες επικινδυνότητας: χαμηλή (1), μέτρια (2), υψηλή (3) και πολύ υψηλή επικινδυνότητα (4) (Πίνακας 6.5). Για τους γεωλογικούς σχηματισμούς, χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό. Η αναταξινόμηση στις κατηγορίες επικινδυνότητας βασίστηκε στην επίδραση της δομής και σύστασής τους στην ευστάθεια των πετρωμάτων, που ερμηνεύτηκε ήδη στην παράγραφο 3.3.2. Όσον αφορά τη γεωμορφολογία της περιοχής, έχει διαπιστωθεί σε παλαιότερες μελέτες (Gao, 1995) ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις συμβαίνουν σε κλίσεις εδαφών 35^{o}–45^{o}. Γενικά η αύξηση της κλίσης των πρανών οδηγεί σε αποσταθεροποίησή τους και σε αύξηση των δυνάμεων που προκαλούν τη μετατόπιση τεμαχίων. Η συχνότητα, αλλά και η ένταση των βροχοπτώσεων επιδεινώνει την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, διότι το μετεωρικό νερό εισερχόμενο στις κατατμήσεις των πετρωμάτων, αυξάνει την υδροστατική πίεση των πόρων και μειώνει τη συνοχή του πετρώματος. Έτσι η τοποθέτηση μεγαλύτερων συντελεστών επικινδυνότητας στην παράμετρο της μέσης βροχόπτωσης, έγινε σε αναλογία με την αύξηση στις τιμές της. Τα απογυμνωμένα εδάφη είναι πιο επιρρεπή στις κατολισθήσεις, ενώ αντίθετα τα εδάφη που καλύπτονται από βλάστηση εμφανίζουν μεγαλύτερη συνοχή. Έτσι, οι περιοχές που καλύπτονται από καλλιέργειες θεωρήθηκαν χαμηλής επικινδυνότητας, οι περιοχές με αραιή βλάστηση μέτριας επικινδυνότητας, τα φρύγανα υψηλής και οι απογυμνωμένες εκτάσεις πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Όσον αφορά την εγγύτητα σε τεκτονικές δομές που είναι πρόδρομοι σεισμικών φαινόμενων και άρα επηρεάζουν την ισορροπία των πρανών, η κατηγοριοποίηση έγινε αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από αυτές. Σε κοντινές αποστάσεις από ρήγματα, δόθηκε πολύ υψηλός βαθμός επικινδυνότητας (4). Ομοίως, η κατηγοριοποίηση της εγγύτητας στο οδικό και υδρογραφικό δίκτυο, έγινε αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση. Η προοδευτική αύξηση της κλίσης του πρανούς, που γίνεται με τη διάνοιξη δρόμων προκαλεί αύξηση των διατμητικών

τάσεων των πετρωμάτων και μείωση της πλευρικής αντιστήριξης του πρανούς. Το ίδιο αποτέλεσμα προκαλεί και η διάβρωση του πόδα του πρανούς που συντελείται λόγω της ροής των ποταμών.

Πίνακας 6.5: Ταξινόμηση τάξεων των παραμέτρων επικινδυνότητας κατολισθήσεων

Παράμετρος	**Τάξεις**	**Βαθμός**	**Επικινδυνότητα**
G Γεωλογία	Α	1	Χαμηλή
	Β	2	Μέτρια
	Γ	3	Υψηλή
	Δ	4	Πολύ υψηλή
	Χ	4	Πολύ υψηλή
S Κλίσεις	0-15	1	Χαμηλή
	15-30	2	Μέτρια
	30-45	4	Πολύ υψηλή
	45-60	4	Πολύ υψηλή
	60-75	3	Υψηλή
R Βροχόπτωση (mm)	400-500	1	Χαμηλή
	500-600	2	Μέτρια
	600-900	3	Υψηλή
	900-1100	4	Πολύ υψηλή
V Βλάστηση	Φρύγανα	3	Υψηλή
	Αραιή βλάστηση- Ζώνη Δρυός	2	Μέτρια
	Καλλιέργειες	1	Χαμηλή
	Απογυμνωμένες	4	Πολύ υψηλή
F Εγγύτητα σε ρήγματα	0-100 m	4	Πολύ υψηλή
	100-500 m	3	Υψηλή
	500-1000 m	2	Μέτρια
	>1000 m	1	Χαμηλή
T Εγγύτητα σε δρόμους	0-50 m	4	Πολύ υψηλή
	50-100 m	3	Υψηλή
	100-1000 m	1	Χαμηλή
	> 1000 m	1	Χαμηλή

W Εγγύτητα σε υδρογραφικό δίκτυο	0-150 m	4	Πολύ υψηλή
	150-250 m	2	Μέτρια
	250-350 m	1	Χαμηλή
	> 350 m	1	Χαμηλή

Τέλος, τοποθετήθηκαν συντελεστές βαρύτητας για κάθε παράμετρο (Πίνακας 6.5). Η παράμετρος στην οποία τοποθετήθηκε ο μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας είναι η γεωλογία. Η γεωλογία των πετρωμάτων και οι κλίσεις τους, αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που μελετώνται σε μελέτες εκτίμησης κινδύνου από κατολισθήσεις, ενώ αποτέλεσαν επίσης τους μοναδικούς παράγοντες που αναλύθηκαν στην πρώτη μελέτη κατολισθήσεων που διεξάχθηκε το 1972 από τους Brabb et al. Τρίτη σημαντικότερη παράμετρος επικινδυνότητας θεωρείται η μέση βροχόπτωση. Ακολουθούν η κάλυψη του εδάφους με βλάστηση και η εγγύτητα σε ρήγματα, παράγοντες που επιδρούν στη σταθερότητα του εδάφους. Μικρότερος συντελεστής βαρύτητας δόθηκε στους παράγοντες που επιδρούν στη μείωση της πλευρικής αντιστήριξης των πρανών.

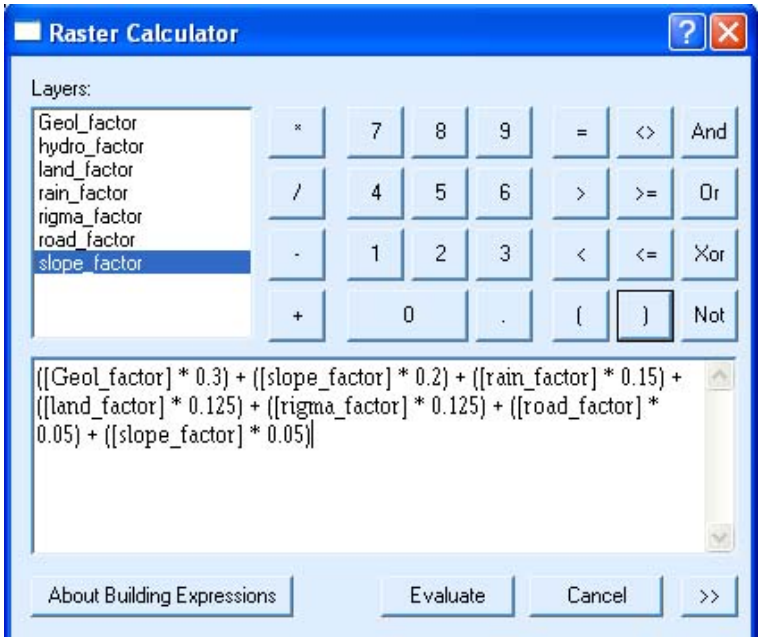
Πίνακας 6.5: Παράμετροι επικινδυνότητας κατολισθήσεων και συντελεστές βαρύτητας.

Παράμετρος	**Παράμετρος επικινδυνότητας κατολισθήσεων**	**Συντελεστής βαρύτητας**
G	Γεωλογία	0,3
S	Κλίσεις	0,2
R	Μέση Βροχόπτωση	0,15
V	Βλάστηση	0,125
F	Εγγύτητα σε ρήγματα	0,125
T	Εγγύτητα στο οδικό δίκτυο	0,05
W	Εγγύτητα στο υδρογραφικό	0,05

Επομένως ο δείκτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων (LIR-Landslide Risk Index) προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

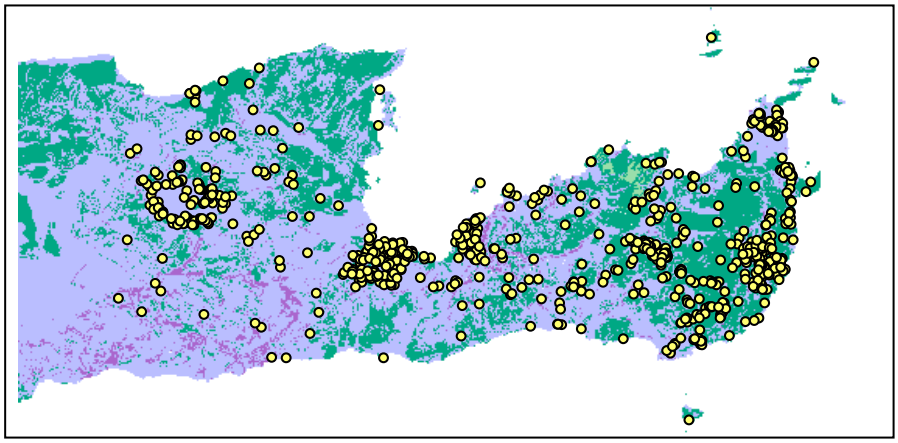
$$\mathbf{LIR = 0{,}3G + 0{,}2S + 0{,}15R + 0{,}125V + 0{,}125F + 0{,}05T + 0.05W} \quad (6.5)$$

Το δεδομένο ψηφιδωτής μορφής που προέκυψε από την εφαρμογή του αλγορίθμου, ταξινομήθηκε σε 4 κατηγορίες επικινδυνότητας. Στην κατηγορία χαμηλής επικινδυνότητας (τάξη 1) ταξινομήθηκαν 3599 ψηφίδες, μέτριας επικινδυνότητας (τάξη 2) 345172 ψηφίδες, υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 3) 642361 ψηφίδες και στην κατηγορία πολύ υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 4) 34010 ψηφίδες.

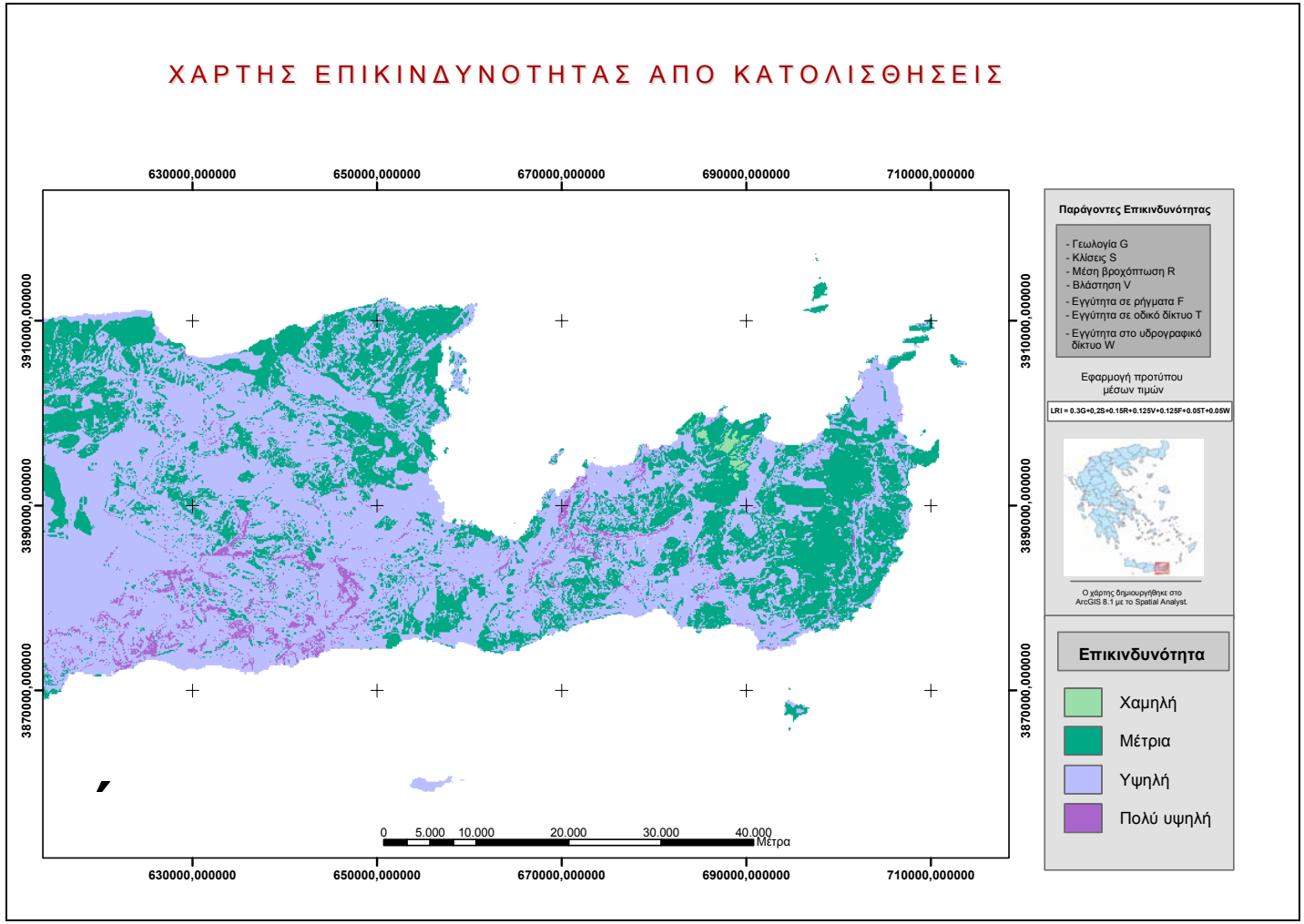


Σχήμα 6.15: Η εφαρμογή του αλγορίθμου των μέσων τιμών για τον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας από κατολισθήσεις, στο παράθυρο διαλόγου Raster Calculator.

Η υπέρθεση του επιπέδου πληροφορίας των αρχαιολογικών θέσεων, έδειξε ότι το 2,5% περίπου των θέσεων βρίσκεται σε περιοχές πολύ υψηλής επικινδυνότητας, το 60% σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, το 37% σε περιοχές μέτριας επικινδυνότητας και το 0,5% σε περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας (Σχήμα 6.16).



Σχήμα 6.16: Οι αρχαιολογικές θέσεις στον χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων.



Σχήμα 6.17: Χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων στο Νομό Λασιθίου

6.5 Δείκτης επικινδυνότητας από διάβρωση

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας από διάβρωση είναι το εδαφικό βάθος, οι χρήσεις γης, η γεωλογία της περιοχής μελέτης, η μέση βροχόπτωση, η μέση θερμοκρασία, η μέση σχετική υγρασία, η εγγύτητα στην ακτογραμμή, η εγγύτητα στο υδρογραφικό δίκτυο, οι κλίσεις του εδάφους και η πυκνότητα των παρελθοντικών πυρκαγιών.

Οι παράμετροι επικινδυνότητας ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες επικινδυνότητας: χαμηλή (1), μέτρια (2), υψηλή (3) και πολύ υψηλή επικινδυνότητα (4) (Πίνακας 6.6). Τέλος, τοποθετήθηκαν συντελεστές βαρύτητας για κάθε παράμετρο (Πίνακας 6.7).

Τα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση των παραμέτρων συνδέονται με την επίδραση τους στην εκδήλωση του φαινομένου της διάβρωσης, όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.5. Η παράμετρος στην οποία τοποθετήθηκε ο μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας είναι το εδαφικό βάθος. Η επίδραση όλων των υπόλοιπων παραγόντων εξαρτάται πάντοτε από το πάχος του ανώτερου εδαφικού υποστρώματος. Όσο το βάθος μειώνεται, τόσο πιο σύντομη γίνεται η διαδικασία της απογύμνωσης και αποκάλυψης του μητρικού πετρώματος και πιο αδύνατη η ικανότητα εδαφογένεσης. Η επίδραση του κλίματος είναι επίσης καθοριστική στο φαινόμενο της διάβρωσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας, η μείωση των βροχοπτώσεων και η έλλειψη σχετικής υγρασίας, οδηγεί σε περιόδους ξηρασίας και επιτείνει τη διάβρωση. Ειδικά για την ανθεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών, χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό. Η αναταξινόμηση στις κατηγορίες επικινδυνότητας βασίστηκε στην επίδραση της δομής και σύστασής τους στην ευστάθεια και συνοχή των πετρωμάτων. Οι απότομες κλίσεις των πετρωμάτων βαθμολογήθηκαν με μεγαλύτερο συντελεστή επικινδυνότητας από ό,τι οι ομαλές. Ο λόγος είναι ότι τα εδάφη των απότομων πρανών είναι πιο εύκολο να απογυμνωθούν από τη δράση του μετεωρικού νερού. Τα απογυμνωμένα εδάφη είναι περισσότερο επιρρεπή σε αντίθεση με τα εδάφη που καλύπτονται από βλάστηση και εμφανίζουν μεγαλύτερη συνοχή. Έτσι, οι περιοχές που καλύπτονται από καλλιέργειες θεωρήθηκαν χαμηλής επικινδυνότητας, οι περιοχές με αραιή βλάστηση μέτριας επικινδυνότητας, τα φρύγανα υψηλής και οι απογυμνωμένες εκτάσεις πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Επιπλέον, εδάφη που καλύπτονται από βλάστηση αλλά έχουν καεί

στο παρελθόν είναι περισσότερο διαταραγμένα και εμφανίζουν μειωμένη συνοχή. Όσον αφορά την εγγύτητα στην ακτογραμμή, η κατηγοριοποίηση έγινε αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση. Σε μικρές αποστάσεις από την ακτογραμμή, δόθηκε πολύ υψηλός βαθμός επικινδυνότητας (4). Ομοίως, η κατηγοριοποίηση της εγγύτητας στο υδρογραφικό δίκτυο έγινε αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση.

Πίνακας 6.6: Ταξινόμηση τάξεων των παραμέτρων επικινδυνότητας από διάβρωση

Παράμετρος	**Τάξεις**	**Βαθμός**	**Επικινδυνότητα**
D Εδαφικό βάθος	Αβαθές	3	Υψηλή
	Βαθύ	1	Χαμηλή
	Βράχος	4	Πολύ υψηλή
V Βλάστηση	Φρύγανα	3	Υψηλή
	Αραιή βλάστηση- Ζώνη Δρυός	2	Μέτρια
	Καλλιέργειες	1	Χαμηλή
	Απογυμνωμένες	4	Πολύ υψηλή
T Θερμοκρασία	20-23	1	Χαμηλή
	23-25	2	Μέτρια
	25-26	2	Μέτρια
	26-27	3	Υψηλή
	27-28,5	4	Πολύ υψηλή
R Βροχόπτωση	400-500	4	Πολύ υψηλή
	500-600	3	Υψηλή
	600-900	2	Μέτρια
	900-1100	1	Χαμηλή
H Σχετική Υγρασία	72-74	4	Πολύ υψηλή
	74-78	3	Υψηλή
	78-82	2	Μέτρια
	82-86	1	Χαμηλή
G Γεωλογία	Α	1	Χαμηλή
	Β	2	Μέτρια
	Γ	3	Υψηλή
	Δ	4	Πολύ υψηλή
	Χ	4	Πολύ υψηλή

S Κλίσεις	0-15	1	Χαμηλή
	15-30	2	Μέτρια
	30-45	3	Υψηλή
	45-60	4	Πολύ υψηλή
	60-75	4	Πολύ υψηλή
C Εγγύτητα στην ακτογραμμή	0-100 μ.	4	Πολύ υψηλή
	100-500 μ.	3	Υψηλή
	>500 μ.	1	Χαμηλή
F Πυκνότητα παρελθοντικών πυρκαγιών	Πολύ χαμηλή	1	Χαμηλή
	Μέτρια	2	Μέτρια
	Υψηλή	3	Υψηλή
	Πολύ υψηλή	4	Πολύ υψηλή
W Εγγύτητα στο υδρογραφικό	0-150 m	4	Πολύ υψηλή
	150-250 m	2	Μέτρια
	250-350 m	1	Χαμηλή
	> 350 m	1	Χαμηλή

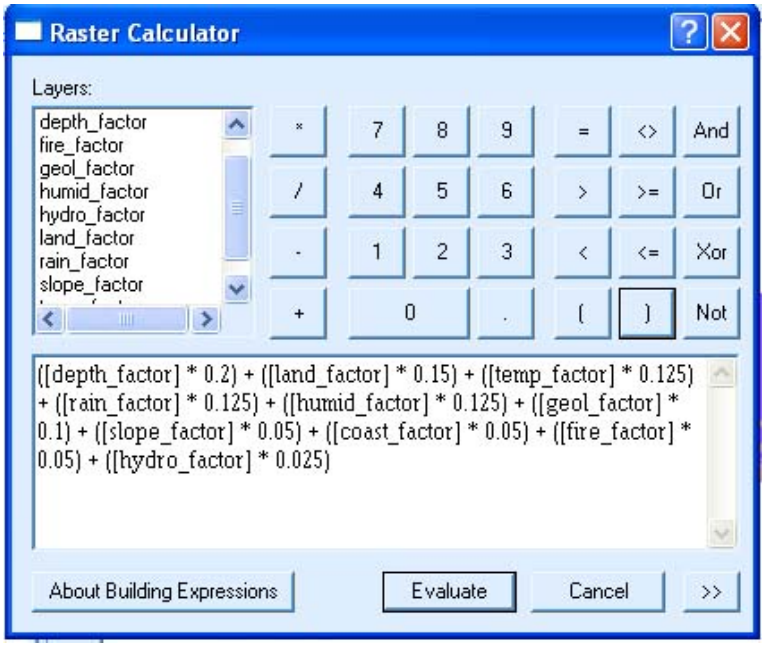
Πίνακας 6.7: Παράμετροι επικινδυνότητας διάβρωσης και συντελεστές βαρύτητας.

Παράμετρος	**Παράμετρος επικινδυνότητας διάβρωσης**	**Συντελεστής βαρύτητας**
D	Εδαφικό βάθος	0,2
V	Βλάστηση	0,15
T	Μέση Θερμοκρασία	0,125
R	Μέση βροχόπτωση	0,125
H	Μέση σχ. υγρασία	0,125
G	Γεωλογία	0,1
S	Κλίσεις	0,05
C	Εγγύτητα στην ακτογραμμή	0,05
F	Πυκνότητα παρελθοντικών πυρκαγιών	0,05
W	Εγγύτητα στο υδρογραφικό δίκτυο	0,025

Επομένως ο δείκτης επικινδυνότητας από διάβρωση (EIR-Erosion Risk Index) προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

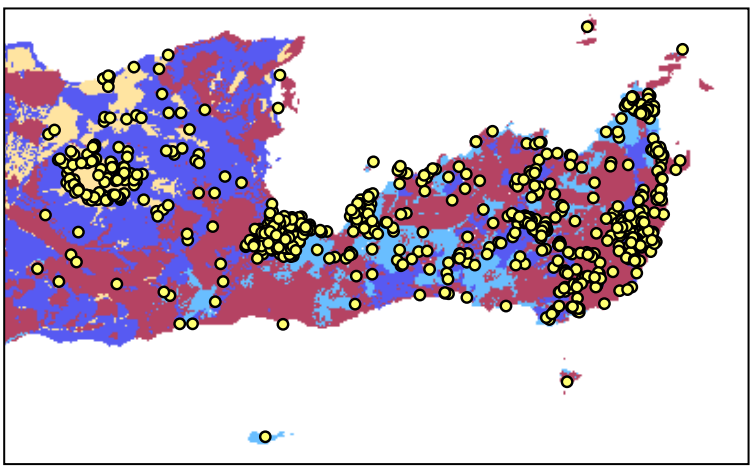
$$\mathbf{EIR = 0,2D + 0,15V + 0,125T + 0,125R + 0,125H + 0,1G+0,05S+0,05C+0,05F+0,05W} \quad (6.6)$$

Το δεδομένο ψηφιδωτής μορφής που προέκυψε από την εφαρμογή του αλγορίθμου, ταξινομήθηκε σε 4 κατηγορίες επικινδυνότητας. Στην κατηγορία χαμηλής επικινδυνότητας (τάξη 1) ταξινομήθηκαν 3696 ψηφίδες, μέτριας επικινδυνότητας (τάξη 2) 17631 ψηφίδες, υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 3) 21179 ψηφίδες και στην κατηγορία πολύ υψηλής επικινδυνότητας (τάξη 4) 4663 ψηφίδες.

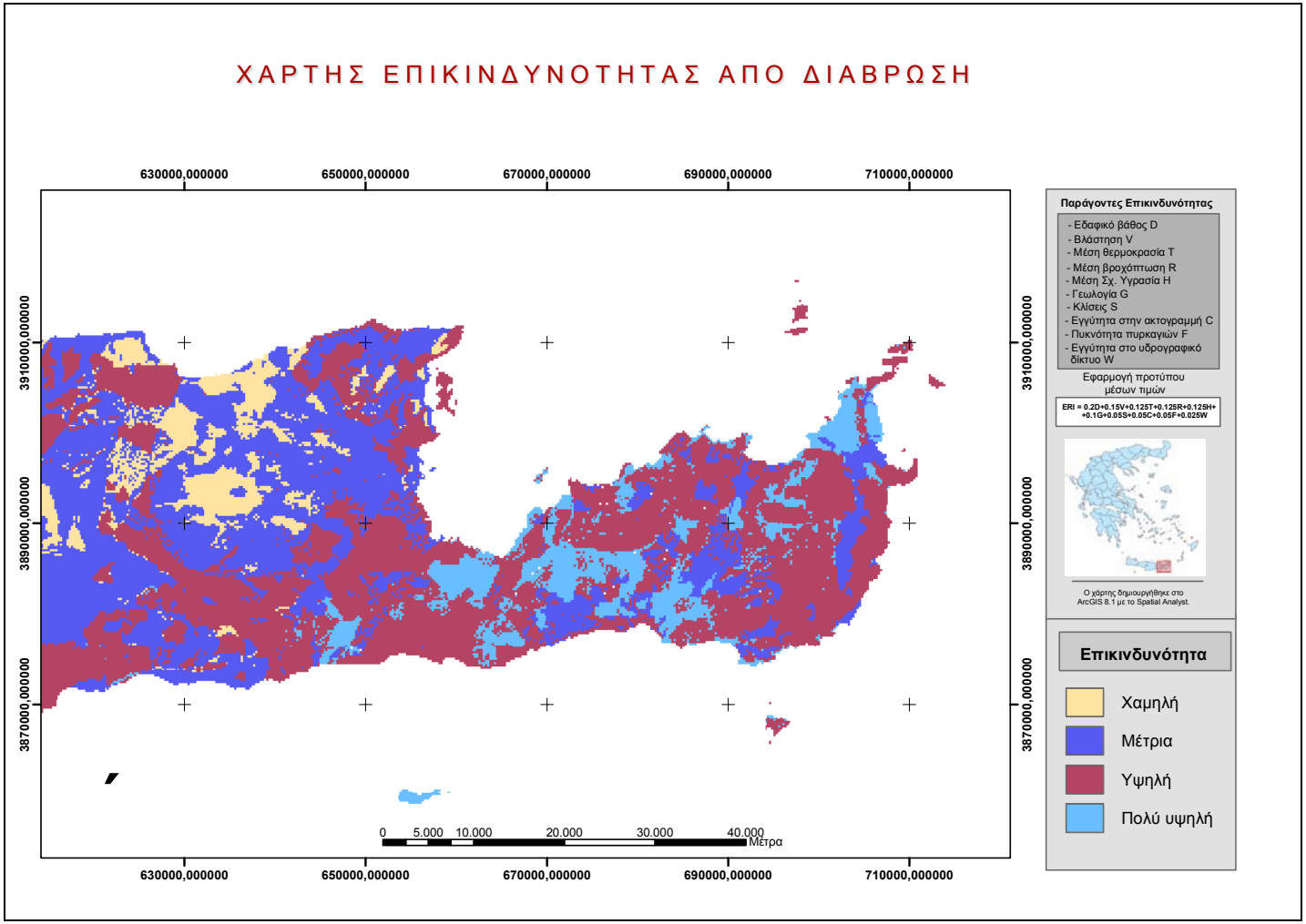


Σχήμα 6.18: Η εφαρμογή του αλγορίθμου των μέσων τιμών για τον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας από διάβρωση, στο παράθυρο διαλόγου Raster Calculator.

Η υπέρθεση του επιπέδου πληροφορίας των αρχαιολογικών θέσεων έδειξε ότι το 15% περίπου των θέσεων βρίσκεται σε περιοχές πολύ υψηλής επικινδυνότητας, το 50% σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, το 25% σε περιοχές μέτριας επικινδυνότητας και το 10% σε περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας (Σχήμα 6.19).



Σχήμα 6.19: Οι αρχαιολογικές θέσεις στον χάρτη επικινδυνότητας διάβρωσης.



Σχήμα 6.20: Χάρτης επικινδυνότητας διάβρωσης στο Νομό Λασιθίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές επεκτάσεις

Οι τέσσερις χάρτες επικινδυνότητας φυσικών καταστροφών που προέκυψαν με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, από τη σύνθεση των παραμέτρων που τις προκαλούν, έδειξαν τις περισσότερο ευπαθείς περιοχές του νομού Λασιθίου.

Συγκεκριμένα, ο κίνδυνος από σεισμικά φαινόμενα είναι μεγαλύτερος στο νότιο και στο δυτικό τμήμα του νομού. Αυτό συνδέεται με την ύπαρξη πολλών τεκτονικών ρηγμάτων σε ασταθή γεωλογικά πετρώματα. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και από τον χάρτη επικινδυνότητας από κατολισθήσεις. Πιο επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές κρίνονται οι νότιες περιοχές του νομού. Αντίθετα ο κίνδυνος είναι χαμηλός στο ανατολικό τμήμα του. Το τμήμα αυτό εμφανίζει τα λιγότερα τεκτονικά ρήγματα και τα μικρότερα ποσοστά βροχόπτωσης, παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση του φαινομένου.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ακόμη η αντίστοιχη ομοιότητα που εμφανίζουν οι χάρτες επικινδυνότητας από δασικές πυρκαγιές και από διάβρωση. Τα φαινόμενα αυτά αλληλοεπηρεάζονται. Πιο επικίνδυνες προς διάβρωση περιοχές είναι αυτές του νότιου και ανατολικού τμήματος του νομού. Ομοίως, το ανατολικό τμήμα επηρεάζεται σε πολύ υψηλό βαθμό επικινδυνότητας και από τις δασικές πυρκαγιές. Η περιοχή αυτή καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από φρύγανα και χαρακτηρίζεται από χαμηλά ποσοστά υγρασίας και βροχόπτωσης, σε συνδυασμό με τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας.

Παρόλο που δεν υπάρχει σαφής ένδειξη που να αποδεικνύει ότι πράγματι οι περιοχές που προέκυψαν από την εφαρμογή των προτύπων των μέσων τιμών είναι οι πιο επικίνδυνες, ο συνδυασμός των παραμέτρων που προκαλούν αυτές τις φυσικές καταστροφές δείχνει ότι οι περιοχές αυτές κινδυνεύουν περισσότερο από κάποιες άλλες που δεν πληρούν τα κριτήρια επικινδυνότητας.

Η χωρική σύνδεση των επικίνδυνων περιοχών με τις αρχαιολογικές θέσεις, δείχνει ότι οι περισσότερες θέσεις κινδυνεύουν από τις δασικές πυρκαγιές. Το 52% των θέσεων

βρέθηκε στη ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας, ενώ συνολικά το 79% αυτών βρέθηκε στις δύο πρώτες ζώνες κινδύνου (πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας). Παρόμοιο είναι το ποσοστό των θέσεων που βρέθηκε στις ζώνες πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας τόσο από διάβρωση όσο και από κατολισθήσεις. Περίπου 75% των θέσεων βρέθηκαν στις δύο αυτές ζώνες υψηλού κινδύνου. Αντίθετα ο σεισμικός κίνδυνος, όπως προκύπτει από τον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, φαίνεται ότι επηρεάζει μικρότερο αριθμό αρχαιολογικών θέσεων στις ζώνες υψηλού κινδύνου.

Πίνακας 7.1: Ποσοστά (%) των αρχαιολογικών θέσεων στις ζώνες επικινδυνότητας από κάθε φυσική καταστροφή.

Επικινδυνότητα	Σεισμοί	Κατολισθήσεις	Δασ.Πυρκαγιές	Διάβρωση
Πολύ υψηλή	3	2,5	52	15
Υψηλή	38	60	27	50
Μέτρια	35	37	17,5	25
Χαμηλή	24	0,5	3,5	10

Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται η προσεκτική μελέτη της αρχαιολογικής βάσης δεδομένων, ώστε να διαπιστωθεί ο πραγματικός κίνδυνος που απειλεί τα μνημεία, σε συνδυασμό με την τυπολογία τους, τις συνθήκες συντήρησης και προστασίας τους και τα υλικά κατασκευής τους. Σε ένα δεύτερο στάδιο της εργασίας, θα μπορούσε να αξιολογηθεί αυτός ο κίνδυνος σε συνεργασία με πιο εξειδικευμένους επιστήμονες σε θέματα συντήρησης και προστασίας των αρχαιοτήτων. Σημαντικός είναι ακόμη ο καθορισμός της σημαντικότητας των αρχαιολογικών θέσεων και η αξιολόγησή τους ανάλογα με αυτήν. Ο συνδυασμός της αξιολόγησης με τη χρήση των χαρτών επικινδυνότητας του νομού, θα μπορεί στη συνέχεια να προωθηθεί σε αρμόδιους φορείς, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας των αρχαιοτήτων.

Η μέχρι τώρα εμπειρία έχει δείξει ότι, αφού τα φυσικά φαινόμενα δεν μπορούν να εκλείψουν, είναι απαραίτητο και αναγκαίο να αντιμετωπιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειές τους. Η καλή διαχείριση οποιουδήποτε προγράμματος ανάπτυξης και προστασίας μιας περιοχής, προϋποθέτει καλή φυσική διαχείριση του κινδύνου. Στις υψηλού κινδύνου περιοχές, η βιώσιμη ανάπτυξη είναι

δυνατή μόνο στον βαθμό που οι αποφάσεις προγραμματισμού ανάπτυξης, εξετάσουν την καταστρεπτική ικανότητα των φυσικών φαινομένων. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις υψηλής επικινδυνότητας, η ανάγκη για πληροφορίες αξιολόγησης του κινδύνου και η ενσωμάτωσή της στη διαδικασία προγραμματισμού ανάπτυξης είναι μεγαλύτερη. Για τη σωστή διαχείριση του κινδύνου, μια μελέτη προγραμματισμού ανάπτυξης πρέπει να ενσωματώνει μια αξιολόγηση της παρουσίας των φυσικών φαινομένων στο χρόνο, καθώς και των επιπτώσεών τους. Επιπλέον μια τέτοια μελέτη πρέπει να περιλαμβάνει τον συνυπολογισμό των μέτρων για την μείωση της ευπάθειας.

Εφόσον τηρούνται τα παραπάνω, η διαχείριση του κινδύνου μιας περιοχής είναι εφικτή. Παρόλα αυτά, πολλές φορές η εκδήλωση των φυσικών καταστροφών δεν ακολουθεί φυσικούς νόμους, αλλά επηρεάζεται από την εξέλιξη της γεωμορφολογίας και τις χρονικές μεταβολές των κλιματικών συνθηκών της περιοχής. Η μεγαλύτερη επομένως πρόκληση στην επιστήμη, είναι η ανάπτυξη της δυνατότητας πρόγνωσης των αλλαγών που είναι δυνατόν να συμβούν στις επόμενες δεκαετίες του αιώνα στο γήινο οικοσύστημα, καθώς και της φυσικής σχέσης αυτού με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η συνεισφορά της Τηλεπισκόπησης στον τομέα αυτό είναι σημαντική, διότι επιτρέπει την παρατήρηση και παρακολούθηση του γήινου περιβάλλοντος στο σύνολό του και σε συνεχή κλίμακα. Επίσης η δυνατότητα ενημέρωσης των ψηφιακών δεδομένων μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, επιτρέπει την αλλαγή των παραμέτρων που επιδρούν στην εκδήλωση ενός φαινομένου ανάλογα με τις εποχιακές διακυμάνσεις και την ανανέωση των χαρτών επικινδυνότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αστάρας, Θ. (1997). "Φωτοερμηνεία–Τηλεπισκόπηση στις γεωεπιστήμες", Σημειώσεις, ΑΠΘ Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας. Έκδοση: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Βαβλιάκης, Ελ. και άλλα μέλη ΔΕΠ (1997). "Μαθήματα Περιβαλλοντικής Γεωλογίας", Σημειώσεις Τομέα Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας ΣΘΕ ΑΠΘ, Έκδοση: Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Γκιούρου, Α. (2001). "Εφαρμογή Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) στη διαχείριση των αρχαιολογικών μνημείων της ευρύτερης περιοχής της Ιτάνου (Αν. Κρήτη)", Διπλωματική εργασία, Τμήματα Ιστορίας & Αρχαιολογίας και Επιστήμης Υπολογιστών Πανεπιστημίου Κρήτης.

Δεσποτάκης, Κ. Βασίλειος (2001). "Γεωτεχνολογίες και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών", Σημειώσεις του μεταπτυχιακού μαθήματος Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Δημόπουλος, Γ. (1986). "Τεχνική Γεωλογία", Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

"Εκπαίδευση ArcGIS – Γενικές έννοιες – Δυνατότητες", (2002). Σημειώσεις της εταιρίας Marathon Data systems, Αθήνα.

"Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός-Ε.Α.Κ." (1999). Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας - ΟΑΣΠ, Αθήνα, Σεπτέμβριος.

Λέκκας, Ε. (1996). "Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές", Εκδόσεις Access–Pre–Press, Αθήνα.

Μανιάτης, Γιάννης (1993). "Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης-Κτηματολογίου", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Μάργαρης, Β., Κ. Παπαζάχος, Χ. Παπαϊωάννου, Ν. Θεοδουλίδης, Ι. Καλογεράς και Α. Σκαρλατούδης (2001). "Εμπειρικές σχέσεις Απόσβεσης της Οριζόντιας Ισχυρής

κίνησης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου", 2ο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Α΄, Θεσσαλονίκη, 28-30 Νοεμβρίου.

Μάργαρης, Β., Ε. Χ. Ιωαννίδου και Π. Κ. Κολιόπουλος (2001). "Ενεργειακά ελαστικά φάσματα και εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου", 2ο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Α΄, Θεσσαλονίκη 28-30 Νοεμβρίου.

Μερτίκας, Π. Στέλιος (1999). "Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας", Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Παπαζάχος, Β. Κ. (1989). "Εισαγωγή στη Σεισμολογία", Β΄ Έκδοση 1993, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Παπαζάχος, Β. Κ. και Ι. Κ. Δρακόπουλος (1992). "Σεισμοί και Μέτρα Προστασίας", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Παυλίδης, Σ και Δ. Μουντράκης (1986). "Νεοτεκτονική-Εισαγωγή στη μελέτη των πρόσφατων γεωλογικών δομών", University Studio Press, Θεσσαλονίκη (σελ. 115-119).

Σταμέλου, Ι. Μ. "Μελέτη εξασθένησης των σεισμικών εντάσεων σε διάφορες σεισμοτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου", Διπλωματική διατριβή.

"Συστήματα Παρατήρησης και Παρακολούθησης της Γης" (1995). ΓΓΕΤ Διαστημική Επιτροπή, Εναλλακτικές Εκδόσεις Έρευνα και επιστήμες 1. (σελ. 385-403).

Τζάλλα, Ε. και Ε. Χατζηιορδάνου (1999). "Ευστάθεια πρανών στον Εθνικό Άξονα Θεσσαλονίκης-Σερρών", Διπλωματική Εργασία-Τμήμα Γεωλογίας ΣΘΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Τσακίρη, Μ. (1991). "Σημειώσεις Τηλεπισκόπησης", Πολυτεχνική Σχολή Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Φυτρολάκης, Λ. Νικόλαος (1980). «Η Γεωλογική Δομή της Κρήτης-Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα». Διατριβή. Εκδόσεις της έδρας Ορυκτολογίας-Πετρογραφίας-Γεωλογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.

Χατζηιορδάνου, Ε., Α. Σαρρής και Σ. Μερτίκας (2002). «Ανάλυση επικινδυνότητας αρχαιολογικών θέσεων από περιβαλλοντικά φαινόμενα με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Τηλεπισκόπησης», Δημοσίευση στο 9ο συνέδριο Χαρτογραφίας ΧΕΕΕ, Μυτιλήνη, Οκτώβριος.

Χρηστάρας, Β. (1989) "Στοιχεία Εδαφομηχανικής- Βραχομηχανικής", Έκδοση Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Ciesla, M. William (1993). "Remote Sensing, GIS and wildland Fire Management: A Global Perspective" International Workshop: Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management-Proceedings, Thessaloniki, November.

"ERDAS Field Guide", (1997) - Fourth Edition, Revised and Expanded. ERDAS, Inc. Atlanta, Georgia.

Richard Kho Shu Yuan and Mohd Ibrahim Seeni Mohd (1997). "Integration of Remote Sensing and GIS Techniques for Landslide Applications" ACRS 1997-Poster Session 3.

Kokkalas, A. Sotirios and Theodoros Th. Doutsos (1999). "Tertiary dynamics of the Eastern Crete (Greece): palaeostress reconstruction behind an oblique convergent plate boundary" Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Series A, Vol. 52, pp. 59 - 60. Abstracts of the 4th Workshop on Alpine Geological Studies, Tübingen, 21-24 September.

Mairota, P., J. P Thornes and N. Geeson (1998). "Atlas of Mediterranean Environments in Europe-The Desertification Context", John Willey and sons, England.

"Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning" (1991). Department of Regional Development and Environment Executive Secretariat for Economic and Social Affairs Organization of American States-With support from the Office of Foreign Disaster Assistance United States Agency for International Department, Washington, December.

Richards, A. John (1993). "Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction" Second, Revised and Enlarged Edition, Springer-Verlag, Berlin.

Street, R., Ed. W. Woolery, W. Zhenming and J. B. Harris (2001). "NEHRP soil classifications for estimating site dependent seismic coefficients in the upper Mississippi Embayment", Engineering Geology 62 (2001) 123-135, Elsevier.

Sarris, A., S. Topouzi, E. Chatziiordanou, J. Liu and L. Hu (2002). "Space Technologies In Archaeological Research & Crm Of Semi-Arid & Desertification Affected Regions. Examples From China & Greece", Poster Session at the Conference "Space Applications for Heritage Conservation", Council of Europe and International Space University, (Eurisy 2002), Strasbourg, France, 5-8 November.

Shrimalil, S. S., S. P. Aggarwalz and J. S. Samral (2001). "Prioritizing erosion-prone areas in hills using remote sensing and GIS - a case study of the Sukhna Lake", JAG Volume 3 - Issue 1, pp. 56-58.

Suri, Marcel and Jaroslav Hofierka (1994). "Soil water erosion identification using satellite and DTM data", EGIS Foundation, Bratislava, Slovakia.

"The Conservation of Archaeological Sites in the Mediterranean Region", (1995). Proceedings – An International Conference Organized by the Getty Conservation Institute and the J. Paul Museum. Edited by Marta de la Torre, Los Angeles, May.

ΠΗΓΕΣ Internet:

http://www.culture.gr

http://www.lasithinet.gr

http://www.oasp.gr

www.usgs.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α.1. Πίνακας παρελθοντικών εκδηλώσεων σεισμών στον ευρύτερο χώρο της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 1908-2001 με μεγέθη άνω των 4,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ.

Ημέρα	Μήνας	Έτος	φ (ο)	λ (ο)	Εστ. Βάθος (m)	Μέγεθος	x (ΕΓΣΑ) (m)	y (ΕΓΣΑ) (m)
17	5	1908	35.7	25.1	80	6.6	604781,101	4002776,651
18	2	1910	35.7	23.8	90	6.9	529830,670	4002197,657
21	8	1910	34.4	27,00		6	774757,116	3839885,535
30	9	1913	35,00	24,00	60	6.1	499851,313	3872754,384
16	7	1918	36.7	25.8	150	6.6	707024,620	4115622,857
25	10	1919	36.5	25.3		6.1	633611,026	4077145,477
15	11	1920	36,00	25.7	120	6	695142,999	3985830,982
11	8	1922	35,00	26.8		6.3	804083,447	3877833,453
13	8	1922	35,00	26.8		6.8	804083,447	3877833,453
1	8	1923	35,00	25,00	90	6.8	591104,802	3873211,144
26	6	1926	36.5	27.5	100	8	841742,923	4082957,589
30	8	1926	36.5	23.3	100	7.2	455266,029	4076212,368
14	2	1930	36.5	24.5	130	6.7	574160,598	4076419,705
9	11	1934	36.7	25.7	150	6.2	692224,530	4115271,570
25	2	1935	35.9	25.2	100	7	619261,961	4039946,418
18	3	1935	35.3	26.8	70	6.4	802218,530	3933315,565
29	2	1940	35.7	25.9		6	724717,944	4005042,192
24	7	1948	35.2	24.4	80	6.6	560438,646	3909924,749
12	2	1950	34.50	24.00	10	4.8	499851,312	3854271,894
30	5	1950	35.50	27.50	10	4.9	846149,051	3971961,866
4	6	1950	36.50	28.50	10	4.8	930985,685	4087011,534
23	9	1950	34.80	25.60	10	5.2	681624,269	3911556,006
22	10	1950	34.80	26.20	10	4.8	711924,954	3912218,956
25	12	1950	36.70	24.90	10	4.8	633028,266	4114126,908
13	1	1951	36.00	26.00	10	4.3	680118,579	3985509,751
20	8	1951	34.60	26.20	10	4.7	712792,691	3875242,035
1	9	1951	35.10	23.40	10	4.5	469495,758	3891288,244
1	10	1951	34.50	26.50	10	4.9	758958,445	3857932,788
31	12	1951	35.30	25.20	60	4.8	620779,392	3929022,051
22	3	1952	35.00	23.00	10	4.8	408597,825	3873211,142
25	3	1952	35.10	23.40	10	5.1	469495,758	3891288,244
9	6	1952	36.60	27.60	10	4.8	855837,418	4102069,279
12	6	1952	34.80	26.20	10	4.6	711924,954	3912218,956
20	7	1952	34.50	26.50	10	4.5	758958,445	3857932,788
2	8	1952	36.50	24.50	10	4.4	574160,598	4076419,705
21	8	1952	35.70	25.30	10	4.9	634762,905	4003188,443
8	1	1952	35.50	27.20	10	4.9	800962,430	3970305,345
23	9	1952	36.70	29.60	10	5.0	1032807,053	4129966,697
22	10	1952	36.70	27.90	10	5.2	899481,524	4122565,226
17	12	1952	34.70	24.80	10	6.7	621277,018	3892051,163
22	12	1952	35.70	25.30	10	5.0	634762,905	4003188,443
31	12	1952	35.50	25.70	10	4.8	695553,325	3967341,253

31	12	1952	35.50	25.70	10	5.3	695553,325	3967341,253
31	12	1952	35.50	25.70	10	5.4	695553,325	3967341,253
1	1	1953	35.70	25.80	10	4.8	709724,209	4004668,777
7	2	1953	34.70	24.10	10	5.7	515029,069	3891250,103
14	2	1953	35.50	26.50	90	5.6	755783,063	3968880,684
24	2	1953	35.00	26.00	10	4.7	682367,878	3874581,843
15	3	1953	34.00	25.00	50	5.3	592201,081	3762317,707
20	3	1953	36.50	27.50	10	4.5	841742,923	4082957,589
23	3	1953	35.40	25.70	10	4.5	695961,991	3948851,962
31	3	1953	35.00	25.20	10	4.6	621524,287	3873566,448
23	4	1953	35.50	26.50	10	4.5	755783,063	3968880,684
25	4	1953	34.50	24.50	10	4.6	576049,351	3854588,400
16	5	1953	35.10	26.90	10	5.1	818651,280	3896849,343
7	6	1953	36.00	26.90	10	5.0	815360,188	3989328,150
19	6	1953	35.75	28.25	10	4.5	896775,317	4020445,446
23	6	1953	35.70	25.30	100	5.5	634762,905	4003188,443
5	9	1953	35.50	28.00	10	5.2	861213,058	3972565,629
17	10	1953	34.75	25.00	10	4.9	590826,366	3900937,280
2	1	1954	36.50	27.50	10	5.6	841742,923	4082957,589
3	5	1954	35.30	27.50	10	5.3	847594,351	3934965,592
26	5	1954	35.40	24.40	10	4.8	560188,856	3946894,139
17	6	1954	36.75	27.25	10	4.7	802904,437	4127791,183
25	7	1954	36.20	24.50	100	4.9	574641,387	4020955,044
5	8	1954	35.80	27.50	10	5.5	843959,110	4027458,429
6	8	1954	36.75	23.50	100	5.2	485070,589	4122331,471
11	8	1954	35.00	24.50	10	4.9	575895,479	3873071,571
4	9	1954	36.75	26.75	130	5.0	788116,979	4127269,886
23	11	1954	35.75	27.25	10	4.9	806868,775	4016805,701
16	12	1954	35.40	26.90	10	5.0	816684,686	3952335,656
11	1	1955	35.25	23.50	10	4.9	484720,149	3918975,607
14	3	1955	34.50	26.00	10	5.1	682737,365	3856095,434
22	4	1955	34.70	24.00	10	5.3	499851,312	3891237,389
8	5	1955	34.80	25.00	10	4.9	590733,167	3910179,575
31	5	1955	36.00	26.00	10	5.1	680118,579	3985509,751
10	6	1955	35.50	26.00	10	4.8	680497,303	3967020,633
27	1	1956	36.40	24.00	10	5.1	499851,312	4057607,580
5	5	1956	37.00	28.30	10	4.8	900359,639	4104060,354
6	1	1900	34.20	26.20	10	5.0	714506,480	3801293,306
9	7	1956	36.60	26.00	10	5.2	677814,245	4096454,024
9	7	1956	36.80	25.90	10	5.3	721336,446	4134494,687
9	7	1956	36.70	26.00	10	5.4	677424,884	4114946,344
9	7	1956	36.60	25.70	10	7.0	692646,379	4096778,716
9	7	1956	36.70	25.80	10	7.5	707024,620	4115622,857
10	7	1956	36.71	26.25	10	5.5	714377,681	4117657,668
22	7	1956	36.84	26.30	10	5.5	721140,426	4141892,601
30	7	1956	35.70	26.10	10	5.5	694731,017	4004321,157
30	7	1956	35.80	25.90	10	5.7	724240,562	4023534,139
30	7	1956	35.90	26.00	10	6.0	678973,248	4040979,830
6	9	1956	35.80	25.30	10	5.1	634476,645	4021676,975
16	9	1956	35.60	25.90	10	5.5	725193,419	3986550,663
16	9	1956	36.00	26.10	10	5.2	695142,999	3985830,982
2	12	1956	36.80	25.70	10	5.1	691801,050	4133764,877

27	12	1956	35.75	27.75	10	5.2	881788,582	4019773,967
5	2	1957	36.25	28.85	10	5.3	985678,386	4043532,091
7	2	1957	34.50	28.50	10	4.7	941977,953	3864937,967
9	2	1957	36.75	26.25	10	5.2	714188,859	4125055,302
24	4	1957	36.40	28.60	10	6.7	946831,679	4069270,448
25	4	1957	36.50	28.60	10	6.9	945862,871	4087778,720
26	4	1957	36.20	28.90	10	6.2	993687,960	4034700,261
5	10	1957	34.40	26.05	10	5.4	690742,057	3837764,316
30	10	1957	35.25	27.70	10	5.5	878240,548	3926943,981
30	10	1957	35.30	27.20	10	5.7	802218,530	3933315,565
5	12	1957	35.60	27.90	10	5.0	905556,823	3993035,352
28	1	1958	35.40	24.50	10	5.1	575273,550	3947009,271
30	1	1958	35.25	24.50	10	4.7	575507,977	3919281,692
4	3	1958	36.40	27.00	10	4.8	767976,675	4061801,295
3	4	1958	34.90	27.45	10	5.3	840031,142	3934674,535
24	4	1958	36.75	26.75	10	5.0	788116,979	4127269,886
5	1	1900	36.45	27.70	10	5.5	871890,480	4074953,305
27	5	1958	36.80	26.75	166	5.3	787798,796	4136518,808
30	6	1958	36.40	27.30	110	5.9	812679,149	4063317,048
15	7	1958	35.40	23.60	10	5.2	499851,312	3946689,474
18	8	1958	34.30	25.70	10	5.1	698775,913	3819439,274
2	9	1958	34.50	23.00	10	5.1	408413,167	3854727,672
4	9	1958	36.60	26.70	10	5.5	781649,925	4099273,430
24	12	1958	35.50	29.00	10	5.2	951618,781	3976730,962
7	1	1959	36.75	29.20	10	5.0	973018,078	4135669,601
11	1	1959	36.60	29.10	10	4.7	959735,868	4107081,839
2	2	1959	35.00	24.20	10	4.5	530268,669	3872805,133
26	2	1959	34.75	24.00	10	4.5	499851,312	3900479,081
8	4	1959	36.50	27.00	10	4.5	767396,746	4080296,721
9	4	1959	35.60	23.30	10	4.7	454787,172	3983775,676
25	4	1959	37.00	28.60	10	5.1	944890,287	4106287,123
25	4	1959	37.00	28.50	10	6.3	930045,746	4105518,648
14	5	1959	35.25	24.75	10	4.9	613337,968	3919680,288
14	5	1959	35.20	24.70	10	6.3	605880,792	3910345,220
20	5	1959	36.80	26.60	10	5.2	765643,370	4135785,285
10	6	1959	35.60	23.60	10	5.5	499851,312	3983660,104
12	7	1959	35.80	25.80	10	4.7	709278,705	4023160,037
16	9	1959	35.20	26.00	10	5.0	681624,269	3911556,006
29	11	1959	36.00	23.80	10	5.0	529894,008	3983711,470
8	12	1959	37.00	29.00	10	5.0	944890,287	4106287,123
27	12	1959	35.10	26.20	10	5.2	712359,723	3893730,282
9	1	1960	36.90	29.00	10	5.1	941949,957	4161813,087
17	1	1960	35.70	27.40	10	4.5	829692,544	4008379,146
26	1	1960	36.80	29.00	10	5.1	942933,823	4143304,305
1	2	1960	35.30	23.00	10	5.3	409156,430	3928664,536
13	4	1960	35.70	26.50	10	4.5	754707,199	4005866,434
28	4	1960	36.00	27.80	10	4.5	890521,618	3992352,789
30	4	1960	36.75	27.25	10	5.0	802904,437	4127791,183
2	5	1960	36.90	26.80	10	4.8	794529,646	4155274,910
9	5	1960	37.00	26.75	10	4.6	789067,860	4099523,658
25	6	1960	35.50	23.10	10	4.5	424586,160	3965494,956
3	8	1960	36.00	27.00	10	4.9	770273,601	3987823,370

8	8	1960	35.30	27.30	10	4.7	817342,910	3933839,896
27	8	1960	34.50	26.30	10	4.9	728468,026	3857121,676
29	8	1960	35.30	26.80	70	4.5	802218,530	3933315,565
10	9	1960	34.50	26.30	10	4.9	728468,026	3857121,676
1	10	1960	35.25	26.00	10	4.9	681437,404	3920799,829
3	11	1960	36.10	26.10	10	4.7	694731,017	4004321,157
10	11	1960	35.25	26.25	10	4.2	719274,626	3921645,341
7	1	1961	35.45	26.20	75	5.2	710830,171	3958442,522
21	2	1961	36.30	23.00	10	5.0	410294,370	4039584,804
23	2	1961	35.20	27.30	10	4.5	817998,444	3915344,456
23	2	1961	35.10	27.20	10	5.0	803464,380	3896327,149
23	2	1961	36.70	27.40	10	5.0	825445,361	4119372,243
23	2	1961	36.70	27.10	10	5.7	781032,904	4117770,415
27	2	1961	36.60	27.10	40	4.8	781649,925	4099273,430
27	2	1961	36.40	26.90	40	5.4	812679,149	4063317,048
13	3	1961	36.70	26.90	10	5.0	810640,506	4118812,164
13	3	1961	34.50	26.70	10	5.0	789451,932	3858845,559
23	5	1961	36.70	28.50	65	6.5	929102,161	4124025,916
25	5	1961	37.00	26.90	10	5.0	811322,696	4100313,464
27	7	1961	34.90	25.40	10	4.7	651013,932	3929481,780
28	7	1961	35.80	27.50	10	4.5	843959,110	4027458,429
27	8	1961	35.60	23.40	60	5.3	469808,619	3983711,470
30	8	1961	35.50	26.50	10	4.5	755783,063	3968880,684
18	9	1961	34.40	26.00	40	4.5	683105,301	3837609,475
5	10	1961	36.50	25.50	10	4.5	663338,024	4077663,986
10	12	1961	34.20	25.60	10	4.6	683836,507	3800638,896
11	12	1961	36.40	23.40	30	5.1	470063,495	4057659,321
15	12	1961	34.90	24.90	10	4.8	635896,471	3929239,137
4	4	1962	34.50	24.90	50	4.5	637011,582	3855297,495
4	4	1962	35.00	25.60	10	4.5	682367,878	3874581,843
4	4	1962	34.70	25.50	10	4.9	666816,214	3892776,123
4	4	1962	34.30	25.10	10	5.1	606958,009	3817926,091
16	4	1962	35.80	26.50	50	4.6	754166,022	4024359,897
28	4	1962	36.10	26.80	10	5.7	799696,122	4007296,498
28	4	1962	36.10	26.80	10	5.8	799696,122	4007296,498
8	5	1962	35.20	24.20	85	4.7	530144,807	3909771,863
10	9	1962	34.60	26.70	10	5.3	788866,365	3877337,859
13	12	1962	34.90	27.90	10	5.2	908109,121	3937525,554
18	12	1962	34.50	24.50	10	4.9	576049,351	3854588,400
28	12	1962	34.70	23.90	10	4.7	545384,753	3891351,811
15	1	1963	36.10	24.00	100	4.8	499851,313	4002146,197
16	2	1963	36.70	28.00	100	4.5	855057,350	4120570,874
4	3	1963	34.90	25.20	10	5.4	620779,392	3929022,051
5	3	1963	35.90	26.00	80	5.3	678973,248	4040979,830
19	4	1963	35.10	25.20	10	4.5	621277,018	3892051,163
23	5	1963	36.40	29.40	10	5.6	1006481,704	4072595,694
8	7	1963	36.50	28.00	10	4.9	856614,467	4083567,953
26	7	1963	36.80	28.90	70	4.7	987276,546	4145775,233
27	7	1963	34.90	23.50	26	4.4	484735,743	3928217,698
29	9	1963	36.50	29.00	65	4.8	945862,871	4087778,720
19	12	1963	35.90	25.90	10	5.0	723761,278	4042026,507
18	7	1964	35.50	25.50	0	5.4	665441,768	3966725,695

17	10	1964	35.00	25.50	0	5.9	667156,293	3874289,879
5	11	1964	35.50	24.50	0	4.5	575116,466	3965494,956
31	12	1964	35.75	25.25	150	4.9	627132,295	4012319,939
7	1	1965	36.50	26.50	0	5.3	752529,576	4079842,648
9	4	1965	35.13	24.31	15	6.1	546873,731	3896904,646
12	10	1965	34.25	27.00	0	4.8	775581,249	3812149,841
28	11	1965	36.1	27.4	73	6	829692,544	4008379,146
28	11	1965	35.90	27.90	0	5.4	902973,597	4048546,948
4	12	1965	34.10	26.10	0	4.7	699564,766	3782468,153
7	12	1965	35.60	27.50	0	4.6	845421,998	3990460,436
15	1	1966	36.60	23.10	0	4.7	425703,554	4094908,945
4	2	1966	34.20	23.90	0	4.6	545844,397	3798940,651
14	2	1966	34.90	27.10	0	4.7	787094,988	3932816,897
11	3	1966	34.30	24.00	0	4.5	499851,312	3817308,435
9	5	1966	34.50	26.50	0	5.4	758958,445	3857932,788
15	5	1966	35.25	26.75	0	4.7	794961,245	3923816,048
27	9	1967	34.20	26.20	0	4.5	714506,480	3801293,306
11	10	1967	36.20	27.20	0	4.5	799059,152	4025792,590
14	12	1967	34.70	24.70	0	4.6	606098,041	3891860,417
14	12	1967	34.30	26.30	0	4.6	729386,245	3820145,700
7	2	1968	36.60	26.80	150	5.0	796485,962	4099780,406
20	2	1968	36.20	27.10	0	4.5	784094,067	4025289,136
22	2	1968	35.00	28.50	0	4.5	941082,339	3883443,270
30	5	1968	35.30	27.90	100	5.6	908109,121	3937525,554
3	6	1968	35.50	28.00	0	4.5	861213,058	3972565,629
12	6	1968	35.70	28.20	0	4.5	889695,916	4010855,182
4	7	1968	35.30	27.90	50	4.5	908109,121	3937525,554
8	7	1968	34.40	25.20	0	4.8	622015,732	3836598,464
27	7	1968	35.40	27.90	0	5.2	907261,803	3956028,623
31	7	1968	35.70	27.90	0	5.2	904699,175	4011539,018
4	8	1968	35.30	27.80	0	4.6	892978,840	3936846,955
15	8	1968	35.75	27.00	0	4.8	769416,536	4015564,382
25	9	1968	35.70	27.60	0	4.5	859692,374	4009565,333
11	10	1968	36.70	25.80	0	4.5	707024,620	4115622,857
11	10	1968	35.20	28.00	0	4.5	863471,107	3917068,067
31	10	1968	36.70	27.10	0	5.6	781032,904	4117770,415
4	11	1968	36.40	27.20	0	4.8	797777,609	4062785,806
11	11	1968	36.80	26.70	0	4.8	780413,498	4136267,762
23	11	1968	36.80	27.30	0	5.1	809955,680	4137311,195
4	12	1968	36.60	27.00	0	4.6	766814,548	4098792,531
4	12	1968	36.50	26.90	0	4.8	812002,247	4081815,093
4	12	1968	36.60	27.00	0	4.9	766814,548	4098792,531
5	12	1968	36.60	27.10	0	6.1	781649,925	4099273,430
21	12	1968	36.70	27.00	0	5.0	766230,090	4117288,719
25	12	1968	34.80	24.20	50	4.8	530144,807	3909771,863
14	1	1969	36.20	28.90	0	6.0	993687,960	4034700,261
16	4	1969	35.40	27.90	0	4.7	907261,803	3956028,623
16	4	1969	35.50	27.80	0	4.8	891344,009	3973850,622
16	4	1969	35.30	28.00	0	5.0	862721,496	3935566,988
17	4	1969	35.30	28.00	0	4.7	862721,496	3935566,988
24	4	1969	36.30	28.70	50	4.8	962739,906	4051552,946
27	4	1969	36.60	28.00	0	4.6	855837,418	4102069,279

1	5	1969	35.20	27.80	0	4.8	893791,262	3918345,453
1	5	1969	35.30	27.80	0	5.1	892978,840	3936846,955
6	5	1969	35.60	27.50	0	4.5	845421,998	3990460,436
14	5	1969	35.50	27.30	50	4.9	816023,777	3970831,739
15	5	1969	35.10	28.00	100	4.8	864217,636	3898569,408
12	6	1969	34.50	25.00	0	5.6	591289,458	3854727,672
12	6	1969	34.4	25,00		6.1	591473,340	3836244,694
14	6	1969	34.30	25.00	0	4.8	591656,443	3817762,211
14	6	1969	34.20	24.90	0	4.9	637835,710	3799846,255
25	6	1969	36.00	27.30	0	4.8	815360,188	3989328,150
4	7	1969	35.20	27.70	0	4.5	878630,651	3917693,919
4	9	1969	35.30	27.20	0	4.5	802218,530	3933315,565
6	9	1969	36.80	28.40	0	5.0	913377,020	4141788,675
28	9	1969	34.10	24.90	0	5.1	638108,085	3781363,456
1	12	1969	35.10	24.20	50	4.5	530206,866	3891288,243
31	12	1969	34.40	26.10	0	4.5	698378,956	3837925,488
7	4	1970	34.60	26.40	0	4.6	743219,989	3876003,980
24	4	1970	36.80	28.90	0	4.5	987276,546	4145775,233
11	11	1970	36.10	28.30	0	5.0	904699,175	4011539,018
3	1	1971	34.70	26.30	0	4.8	727542,056	3894099,305
19	1	1971	34.60	23.90	0	4.5	545477,456	3872868,568
3	7	1971	35.50	27.70	0	4.5	876278,030	3973195,208
13	10	1971	34.30	26.10	0	4.8	698775,913	3819439,274
12	11	1971	36.70	26.80	0	4.8	795836,365	4118278,225
22	11	1971	35.50	27.70	0	4.8	876278,030	3973195,208
12	1	1972	35.10	23.50	50	4.6	484673,556	3891250,102
20	1	1972	36.70	27.00	0	4.8	766230,090	4117288,719
21	3	1972	34.70	28.90	100	4.7	1000977,645	3905114,732
31	3	1972	36.80	27.10	0	4.5	780413,498	4136267,762
4	5	1972	35.30	23.60	50	6.1	499851,311	3928204,931
4	5	1972	35.1	23.6	15	6.5	499851,312	3891237,389
9	6	1972	34.80	26.50	0	4.5	757380,578	3913404,988
5	11	1972	35.10	24.90	0	4.6	636456,344	3892267,361
28	11	1972	34.30	27.60	0	4.6	867172,829	3824577,411
2	12	1972	35.20	27.20	0	5.0	802842,737	3914821,186
13	12	1972	35.60	27.70	0	4.6	875487,437	3991696,128
20	2	1973	34.40	24.00	0	4.5	499851,314	3835789,911
6	4	1973	34.40	25.20	50	4.6	622015,732	3836598,464
6	10	1973	34.80	26.30	0	4.6	727076,173	3912588,745
10	10	1973	34.70	28.10	50	4.5	879408,449	3899193,975
14	10	1973	34.90	26.20	100	4.5	711488,388	3930708,060
12	11	1973	35.60	27.80	50	4.8	890521,618	3992352,789
12	11	1973	35.60	27.70	0	5.1	875487,437	3991696,128
19	11	1973	35.30	27.90	50	4.9	908109,121	3937525,554
29	11	1973	35.18	23.75	13	6	522580,740	3906052,812
29	12	1973	35.20	23.60	0	5.5	499851,313	3909720,903
5	12	1973	35.50	26.30	0	4.9	725666,984	3968059,558
6	12	1973	35.20	27.90	50	4.5	908952,981	3919022,687
24	12	1973	35.20	28.00	50	4.8	863471,107	3917068,067
12	3	1974	36.70	26.40	0	4.6	736626,265	4116403,623
7	4	1974	34.60	24.60	0	4.6	591104,802	3873211,144
9	5	1974	36.60	27.00	0	4.6	766814,548	4098792,531

16	5	1974	36.10	27.30	0	4.5	814693,926	4007824,887
19	5	1974	35.40	26.40	50	4.8	741227,858	3949965,797
9	7	1974	36.30	28.90	0	5.0	992629,788	4053212,648
29	9	1974	35.70	27.60	0	4.9	859692,374	4009565,333
25	10	1974	35.50	23.50	0	4.8	484798,443	3965187,349
3	1	1975	35.50	27.30	0	5.0	816023,777	3970831,739
15	2	1975	35.70	26.90	0	4.6	814693,926	4007824,887
28	4	1975	34.60	28.60	50	4.6	956310,256	3884194,600
28	7	1975	35.90	27.30	0	4.5	813353,402	4044819,335
29	7	1975	34.70	25.10	0	4.5	606098,041	3891860,417
17	9	1975	36.20	23.20	0	4.9	440019,481	4020839,033
22	9	1975	35.60	26.50	50	5.1	755246,215	3987373,363
12	11	1975	36.00	27.80	0	5.0	890521,618	3992352,789
25	6	1976	34.90	23.10	0	4.8	424272,630	3928524,094
13	11	1976	35.00	23.20	5	4.7	439016,246	3872957,380
28	3	1977	36.80	27.80	10	4.6	883823,921	4140378,197
27	5	1977	34.80	26.70	85	4.6	787687,888	3914323,529
2	6	1977	35.20	28.20	29	4.5	893791,262	3918345,453
18	8	1977	35.30	23.40	50	5.2	469620,134	3928255,996
11	9	1977	35.00	23.10	0	5.9	423807,147	3873071,572
11	9	1977	34.9	23,00		6.3	409156,430	3928664,536
15	9	1977	35.10	23.10	0	4.5	423961,664	3891555,241
22	10	1977	35.00	23.30	0	4.7	454225,169	3872868,569
27	10	1977	35.50	27.10	50	4.9	785901,888	3969804,714
28	11	1977	36.00	27.50	0	5.2	845421,998	3990460,436
28	1	1978	34.90	23.80	0	4.6	530082,491	3928255,996
29	1	1978	34.90	25.70	0	5.4	696368,995	3930363,117
29	1	1978	34.9	25.7	15	5.7	696368,995	3930363,117
7	3	1978	34.30	25.30	0	4.5	637562,168	3818329,530
7	3	1978	34.50	25.30	0	5.1	637011,582	3855297,495
28	11	1978	35.90	26.30	100	4.5	723761,278	4042026,507
16	2	1979	36.70	25.90	0	5.0	721825,187	4116000,203
15	5	1979	34.60	24.50	0	5.4	575895,479	3873071,571
15	6	1979	34.80	24.10	0	5.1	514998,039	3909733,642
20	7	1979	35.40	27.20	0	4.6	801591,757	3951810,285
23	7	1979	35.50	26.50	60	5.1	755783,063	3968880,684
11	8	1979	35.30	26.50	0	4.5	756850,249	3931896,498
22	8	1979	35.80	27.40	100	4.9	828991,636	4026877,223
4	3	1980	35.50	23.20	0	4.7	439639,432	3965379,599
16	5	1980	35.70	27.40	0	5.6	829692,544	4008379,146
13	6	1980	34.10	23.20	0	4.7	438405,955	3780547,760
4	10	1980	36.90	28.70	0	4.9	956696,789	4162611,629
30	12	1980	35.20	27.10	0	4.7	787687,888	3914323,529
22	1	1981	34.30	25.40	0	4.6	652864,855	3818569,098
10	2	1981	34.20	23.80	0	4.5	530513,290	3798877,772
24	2	1981	38.07	23,00	16	6.7	412191,748	4218944,391
27	4	1981	36.00	28.90	70	4.5	995791,758	3997675,612
11	5	1981	36.90	28.60	0	4.9	941949,957	4161813,087
1	6	1981	35.60	26.30	0	5.1	725193,419	3986550,663
13	9	1981	34.70	25.10	0	4.9	606098,041	3891860,417
14	9	1981	34.60	25.20	0	4.8	621524,287	3873566,448
30	9	1981	34.00	25.60	0	4.7	684561,476	3763670,099

19	12	1981	39,00	25.26	39	7.2	623969,593	4317466,831
20	4	1982	35.80	23.40	0	4.5	469935,549	4020684,361
20	9	1982	34.30	25.90	0	4.6	729386,245	3820145,700
21	9	1982	34.60	26.10	0	4.9	697579,997	3874899,223
11	10	1982	35.50	27.80	0	4.8	891344,009	3973850,622
3	1	1983	34.91	24.53	93	4.8	579948,278	3930412,047
27	1	1983	35.32	27.58	41	4.6	859546,957	3939144,418
19	3	1983	35.35	25.30	28	5.2	635755,783	3938482,377
9	9	1983	35.62	27.23	15	5.1	804710,768	3992655,440
27	9	1983	36.62	26.97	165	5.2	821568,058	4104401,976
28	9	1983	34.94	25.91	155	4.8	727931,479	3938513,149
29	9	1983	34.85	24.09	35	4.5	513469,359	3918973,182
23	10	1983	36.65	25.63	5	4.6	682064,480	4105794,883
14	1	1984	35.23	24.45	66	4.8	567970,192	3915524,209
13	3	1984	34.92	23.74	62	4.7	521004,373	3931926,831
21	4	1984	36.04	27.34	52	4.6	821101,002	3996945,158
21	6	1984	35.36	23.31	46	5.9	456070,407	3939403,087
21	6	1984	35.4	23.3		6.2	454598,299	3946804,598
3	7	1984	35.02	23.02	24	4.5	411675,498	3876877,940
22	7	1985	34.31	28.35	34	5.3	920695,099	3828706,142
11	9	1985	36.24	28.87	44	4.5	988775,580	4041849,858
17	9	1985	34.71	26.61	36	5.0	774555,491	3897254,582
6	12	1985	36.84	28.80	9	4.5	972075,084	4152329,752
23	12	1985	36.82	26.69	5	4.9	778812,946	4139917,835
30	1	1986	35.57	27.84	21	4.5	896786,463	3987071,878
9	3	1986	36.71	26.00	8	4.7	677385,865	4116795,600
27	4	1986	34.77	23.32	68	4.5	457414,239	3904275,615
22	5	1986	34.89	26.56	5	4.8	765978,367	3930312,627
8	8	1986	36.63	26.01	25	4.5	679179,817	4102032,987
2	10	1986	35.07	28.17	31	4.9	890281,926	3894096,202
5	10	1986	34.78	23.27	39	4.7	449846,370	3906162,843
31	12	1986	36.22	27.25	59	4.7	806411,074	4029753,383
8	4	1987	36.14	27.12	38	4.5	787454,165	4014290,502
12	4	1987	35.51	23.51	67	4.9	486306,565	3967033,448
17	4	1987	36.13	27.14	45	4.6	790512,732	4012540,498
7	5	1987	36.70	26.61	87	4.7	767710,343	4117335,711
17	6	1987	35.31	27.58	1	4.5	859621,488	3937294,533
19	6	1987	36.74	28.02	43	4.6	857703,233	4128097,291
20	9	1987	34.99	25.65	10	4.6	688457,385	3946839,890
5	10	1987	36.29	28.46	6	5.1	926969,840	4047848,636
6	10	1987	36.28	28.50	9	4.6	933040,693	4046296,418
6	10	1987	36.24	28.67	5	4.7	958847,590	4040207,592
25	10	1987	36.31	28.63	1	4.7	952182,242	4052847,602
5	11	1987	34.88	27.84	1	4.5	899196,088	3933414,878
10	12	1987	35.40	26.64	1	4.7	777444,766	3951023,168
30	12	1987	36.99	28.11	35	4.6	868961,142	4174934,132
3	4	1988	35.59	27.77	74	4.5	886092,689	3990302,884
5	9	1988	34.71	26.57	40	4.7	768482,843	3897072,237
3	10	1988	36.04	27.34	15	4.6	821101,002	3996945,158
20	11	1988	35.49	28.80	32	5.0	981864,374	3976475,535
21	12	1988	35.51	27.47	31	4.9	841558,408	3973635,581
17	3	1989	34.75	25.53	46	4.8	671195,123	3902104,601

28	3	1989	34.15	24.63	20	4.9	596533,743	3790085,764
14	6	1989	34.38	26.15	39	4.8	706098,595	3834395,637
27	8	1989	34.83	26.32	77	4.9	729964,481	3918212,726
30	9	1989	34.99	24.01	33	4.6	501360,054	3944841,124
24	11	1989	36.73	26.63	18	4.9	770492,152	4122979,486
10	1	1990	36.17	27.08	1	4.5	781280,980	4019643,018
13	1	1990	36.20	27.15	2	4.7	791576,516	4025537,626
14	1	1990	35.42	26.13	10	4.5	700404,858	3952650,822
19	2	1990	36.26	27.13	2	4.6	788213,576	4036534,888
14	4	1990	36.19	27.13	1	4.6	788645,085	4023587,892
28	8	1990	36.36	27.15	5	5.0	790577,783	4055131,357
15	3	1991	34.84	26.28	24	4.7	723861,483	3919908,573
19	3	1991	35.22	26.33	1	4.6	731526,384	3916402,647
19	3	1991	35.13	26.32	1	5.3	730437,173	3899723,005
19	3	1991	34.67	26.36	9	5.8	736796,741	3888786,064
15	10	1991	34.69	26.27	72	4.5	723032,839	3892137,026
20	3	1992	36.62	24.53	7	4.8	578413,707	4098646,978
7	4	1992	36.63	27.16	5	4.5	790360,755	4105123,692
30	4	1992	35.22	26.75	1	5.6	795143,700	3918267,903
30	4	1992	35.1	26.6		6.1	773093,143	3895359,425
3	5	1992	35.14	26.81	1	4.6	804733,437	3903775,835
1	6	1992	36.09	28.23	41	4.5	894280,464	4009207,320
11	8	1992	34.60	27.12	1	4.6	791909,713	3877434,938
1	6	1993	34.09	26.25	5	4.7	722657,252	3781137,501
29	6	1993	35.39	27.08	5	5.0	783540,341	3949364,410
18	8	1993	35.16	26.13	72	4.7	701484,864	3904579,982
26	8	1993	36.66	28.42	17	5.2	917620,828	4116026,506
1	10	1993	36.68	24.20	26	4.7	529458,307	4109427,757
16	10	1993	34.78	28.01	39	4.6	865137,192	3913429,719
23	5	1994	35.40	24.73	81	5.6	609969,200	3947371,196
23	5	1994	35,00	24.9	80	6.1	636734,542	3873782,191
3	2	1995	34.36	24.98	38	4.5	649624,945	3829609,610
16	2	1995	34.35	26.57	32	4.7	770444,594	3830504,886
7	3	1995	36.90	27.66	5	4.5	862332,992	4157956,092
30	3	1995	34.32	24.61	5	4.6	593149,420	3821473,929
5	4	1995	34.54	27.88	35	4.5	908082,119	3870779,397
4	5	1995	35.09	28.02	17	4.6	867330,822	3896842,396
29	7	1995	34.59	26.98	5	4.5	831543,806	3876940,249
22	8	1995	36.62	26.73	165	4.8	785975,502	4103122,202
3	9	1995	35.45	27.05	35	4.5	778663,197	3960317,198
10	11	1995	35.25	26.86	1	4.5	811614,885	3924379,536
30	11	1995	36.60	27.14	136	4.8	787584,258	4099473,091
7	12	1995	34.97	24.17	22	4.6	525510,595	3941181,002
10	12	1995	34.93	24.17	24	4.9	525531,869	3933787,154
18	12	1995	35.54	27.73	1	4.6	880478,051	3980789,607
13	1	1996	35.25	27.04	10	4.5	778308,602	3923283,567
1	3	1996	34.20	26.07	35	4.6	694570,718	3800856,471
12	4	1996	36.62	27.09	156	5.0	780043,795	4102923,518
26	4	1996	36.42	27.99	63	5.3	915342,685	4071393,396
28	4	1996	35.37	27.49	76	4.6	845579,379	3947855,350
20	7	1996	35.98	27.96	39	4.5	911227,889	4063775,237
20	7	1996	35.85	28.04	39	4.5	864525,021	4037566,167

20	7	1996	36.11	27.57	38	4.8	855116,775	4011230,780
20	7	1996	36.11	27.52	38	6.1	847618,215	4010928,350
21	7	1996	36.23	27.21	34	4.8	800363,155	4031393,281
22	7	1996	36.06	27.56	38	4.6	853992,127	4001919,962
22	7	1996	35.90	27.58	27	4.6	855172,184	4046442,379
22	7	1996	36.09	27.61	39	4.9	861269,104	4007777,341
23	7	1996	36.14	27.19	1	4.9	797943,178	4014643,437
24	7	1996	36.69	27.20	88	4.5	795901,438	4116428,429
24	7	1996	36.43	27.28	36	4.5	809497,928	4068758,044
25	7	1996	36.29	27.23	1	4.7	802964,721	4042595,706
26	7	1996	36.33	27.21	28	4.5	799719,676	4049889,914
28	7	1996	36.22	27.21	25	4.5	800427,362	4029543,638
31	7	1996	36.28	27.17	8	4.5	794065,842	4040435,731
18	8	1996	36.32	27.14	13	4.6	789335,404	4047682,517
26	8	1996	35.52	27.93	81	4.5	910758,879	3978442,066
26	8	1996	35.31	28.13	82	4.6	882309,069	3938237,325
28	9	1996	35.10	23.68	19	4.7	511993,516	3891245,526
6	11	1996	36.39	27.08	7	4.7	779957,164	4060333,038
21	11	1996	35.53	26.60	24	4.5	770671,801	3974877,853
18	3	1997	34.50	26.12	20	4.5	701028,977	3856478,523
20	3	1997	35.05	25.94	15	4.5	733853,590	3885009,330
9	5	1997	35.43	27.46	34	4.7	840622,044	3958779,081
15	5	1997	35.48	27.26	25	4.6	810129,005	3966918,930
8	8	1997	36.56	27.09	5	4.5	780411,199	4091825,510
27	8	1997	36.60	27.09	4	4.7	780166,359	4099224,166
27	8	1997	36.64	27.06	5	4.8	775474,379	4106476,560
5	11	1997	34.91	24.02	15	4.7	502873,800	3930053,875
17	12	1997	34.96	23.24	34	4.7	445502,489	3939461,243
13	2	1998	36.32	28.47	64	4.5	928187,895	4053474,761
24	2	1998	36.42	28.19	20	4.6	885541,544	4069996,997
7	3	1998	36.10	27.30	8	4.5	814693,926	4007824,887
9	3	1998	36.04	28.49	54	5.0	933759,755	4001806,103
24	3	1998	34.80	23.02	18	4.5	411998,951	3910149,502
5	5	1998	35.03	25.88	35	4.5	724826,165	3881081,214
21	7	1998	34.39	24.56	5	4.5	585382,127	3834337,817
25	1	1999	34.41	25.55	5	4.5	675433,491	3839309,505
27	2	1999	35.67	26.90	45	4.5	814894,085	4002275,829
26	5	1999	35.96	28.46	54	4.6	926326,694	4060803,007
5	10	1999	36.83	28.14	20	4.8	874709,360	4145526,582
24	10	1999	35.38	27.81	5	4.7	893836,957	3951715,121
22	11	1999	34.89	27.66	21	4.9	871875,248	3934090,193
31	1	2000	35.44	27.21	27	4.7	802848,328	3959259,688
22	2	2000	34.75	25.53	36	5.0	671195,123	3902104,601
5	4	2000	34.22	25.69	38	5.2	697559,379	3804618,009
17	4	2000	34.36	25.67	16	4.6	693952,110	3830433,575
13	6	2000	35.12	27.19	37	5.2	801822,238	3899975,096
15	6	2000	35.28	27.05	4	4.5	779649,157	3928878,577
17	6	2000	35.29	27.20	5	4.5	802281,066	3931466,111
17	6	2000	35.29	27.25	5	4.7	809844,717	3931725,017
17	7	2000	34.68	26.46	27	4.5	751938,045	3891044,685
2	3	2001	35.80	27.62	11	4.8	861921,233	4028190,131
3	3	2001	35.83	27.58	6	4.7	855705,571	4033492,139

10	3	2001	35.08	26.09	5	4.7	695739,774	3889656,271
20	4	2001	34.00	25.52	31	4.5	672245,760	3763437,642
28	4	2001	35.19	23.02	37	4.6	411980,918	3908301,039
1	5	2001	35.65	27.61	29	4.9	861575,374	4000377,279
23	5	2001	35.62	27.79	6	4.6	888853,915	3995986,394
29	5	2001	35.63	27.81	5	5.1	891776,771	3997970,613
23	6	2001	35.65	28.40	56	5.2	920148,728	4002996,303
13	9	2001	35.46	25.99	57	4.7	739419,148	3961019,733
26	9	2001	34.90	27.20	5	4.6	802218,530	3933315,565
4	11	2001	34.19	25.35	5	4.6	645531,015	3798114,293
18	11	2001	35.40	28.51	39	4.5	938972,759	3957540,566
26	11	2001	34.76	24.07	24	5.0	510462,718	3902333,673

Α.2. Πίνακας εκδηλώσεων δασικών πυρκαγιών στο Νομό Λασιθίου για το χρονικό διάστημα 1923-1997.

ΟΝΟΜΑ ΔΑΣΟΥΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ	ΧΩΡΙΟ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
Βορνό Λακκούδι		30	Πεύκοι	Άνω Χωρίον	1923	
Πισοκάμινο		30	Πεύκοι	Πεύκοι	1923	
Μεγάλο Αρμί		300	Αγριόχορτα, σχίνα, κέδροι, θάμνοι	Χόνδρος	1923	
Αγ. Ιωάννου Ορεινού		500	Πεύκοι και χαμόκλαδα	Άγιος Ιωάννης Ορεινού	1923	
Γούλα ή Ξυκοσύρτη		200	Πεύκοι και θάμνοι	Καλαμαύκα	1923	
Λαμιά		20	Πεύκοι και θάμνοι	Επάνω Χωριό	1923	
Πευκοσέλι		12	Πεύκοι και θάμνοι	Σταυροχώρι	1923	7
Αρκαλιές ή Ομανιθές		200	Πεύκοι	Σταυροχώρι	1924	
Μητατάκι	Λουπιά Σελί	150	Χαμηλά δέντρα	Πρίνα	31/8/1924	
Πόρος Καλαμαύκας		3	Χαμηλά δέντρα	Καλαμαύκα	15/11/1924	3
Δράσι		40	Θάμνοι λεπτοί	Βρύσες	7/7/1926	
Γούλα		10	Θάμνοι και πρίνοι	Τουρλωτή	29/7/1926	
Αγροτικό κτήμα		15	Θάμνοι	Παλαίκαστρο	16/8/1926	
Ποτηστήρι ή Σκουρωπή	Μεσελέροι	50	Πεύκα και πρίνοι	Μεσελέροι	3/8/1926	
Καλλιεργημένο κτήμα - Βάιον		1	οπωροφόρα	Καρύδι	28/8/1926	
Κοινοτικά δάση Ορεινού και		1200	Πεύκα και θάμνοι	Ορεινό και Σταυροχώρι	17/9/1926	

Σταυροχωρίου						
Αγρόκτημα	Μελητερό	600	Ελιές, χαρουπιές, βοσκότοπος	Αρμένοι	2/9/1926	
Αγροτικό ελαιόφυτο	Τζαγουρινά	3	Ελιές και χόρτα	Μαρωνιά	22/9/1926	
Αγροτικό ελαιόφυτο	Καλοκαιρινά	1	5 ελιές	Μαρωνιά	28/9/1926	
Αγροτικό ελαιόφυτο	Καλύβες	2	8 ελιές και 3 πεύκα	Καλό Χωριό	28/9/1926	
Κοκκά Ανατολής	Κοκκά	8	Πεύκα	Ανατολή	25/8/1926	
Κουντουροκώστα Ανατολής		5	449 Πεύκα	Ανατολή	26/9/1926	12
Σταφύλι		2	Πεύκα αραιά	Μάλλες	15/5/1927	
Κουκίστρες		50	θάμνοι	Μουλιανά	7/9/1927	
Θριφτή	Μάλα ή Αργυρά	6	Πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	17/9/1927	
Δάση Χριστού - Κουνάβια - Φρύδια και Κεφάλα		200	Πεύκοι, κέδροι, πρίνοι	Χριστός	17/9/1927	
Θριφτή	Αγία Άννα	2000	Πεύκα	Βασιλική	25/9/1927	
Οξά κτήμα		260	Ελιές, πρίνα	Μακρυλιά	8/8/1927	
Χαβλούδι		20	Πεύκα	Καλαμαύκα	28/9/1927	7
Ανωγοριστή		70	1000 πεύκα, 30 ελιές, 50 χαρουπιές	Μύθοι	3/9/1928	1
Μακρύ Λιβάδι		30	Πεύκοι	Καλαμαύκα	12/8/1929	1
Τσούλες και Πολύτρυποι		200	Πεύκοι	Άγιος Ιωάννης	29/8/1930	
Πισκοκίδια Καλαμαύκας		30	Πεύκοι	Καλαμαύκα	29/8/1930	
Τουρλή Καλαμαύκας		30	Πεύκοι	Καλαμαύκα	4/8/1931	

Κουτσουνάρι Μαλλών		20	Πεύκοι	Μάλλες	11/9/1931	2
Άγιος Γεώργιος ή Καλαματιανά Καλαμαύκας		15	Πεύκη χαλέπιος	Καλαμαύκα	16/2/1932	
Αγία Μαρίνα	Παρσοί	15	Πεύκοι και πρίνα	Παρσοί	19/7/1932	
Ράφτη - Ρίζωμα		2	Πεύκοι και πρίνα	Παρσοί	20/7/1932	
Σκήστρα - Βρυστού		2 1/4	πρίνοι	Βρύσες	14/7/1932	
Καράβι Ανατολής		60	Πεύκοι	Ανατολή	6/8/1932	
Τράπεζα Μαλλών		300	Πεύκοι	Μάλλες	6/8/1932	
Ορνιάς ή Ανωγοριστή		5	πεύκοι	Μύθοι	23/8/1932	
Σταφύλι		3	πεύκοι	Μάλλες	25/7/1932	
Κιθιά Ανατολής		3	πεύκοι	Ανατολή	26/8/1932	
Μαλλών	Ρικάρμι	50	Πεύκοι	Μάλλες	28/9/1932	
Σκαλίστρα Καπιστρίου		40	αγριελιές, κέδροι, αγριοχαρουπιές, σχίνι	Καπίστρι	5/9/1932	
Σταυρός ή Καμαράκι Αγ. Ιωάννη		2	πεύκοι	Άγιος Ιωάννης	14-15/8/1932	
Μαλλών - Παραστιά		10	πεύκοι	Μάλλες	4/10/1932	
Καλού Χωριού - Κεφάλα		4	πεύκοι	Καλό Χωριό	22/9/1932	
Σταυροχωρίου		80	πεύκοι	Σταυροχώρι	2/10/1932	
Πεύκων Σητείας	Ρίκτη	10	πεύκοι	Πεύκοι	13/10/1932	16
Κρούστας - Κυνηγού		2	πεύκοι	Κρούστα	27/6/1933	
Ανάλουκα		70	σχίνοι, αγριόχορτα, θυμάρι, χαρουπιές	Παλαίκαστρο	25/9/1933	
Χριστός - Σγουρομάλι		10	πεύκα	Χριστός	3/10/1933	

Σταυροχωρίου - Ομανιτσά		50	πεύκοι	Σταυροχώρι	7/10/1933	
Μύρτου	Γαϊδουργιόνα	8	βοσκότοπος	Μύρτος	17/10/1933	
Καλαμαύκας	Κουρελί	5	πεύκοι	Καλαμαύκα	14/10/1933	
Σταυροχωρίου	Κάπαρι	4	Πεύκοι	Σταυροχώρι	18/10/1933	
Βρυσών	Λαγκάδα - Δράσι	81	βοσκότοπος	Βρύσες	27/10/1933	
Μεσελέρων		3	πεύκοι	Μεσελέροι	11/9/1933	
Καλαμαύκας	Κουρελί	3	πεύκοι	Καλαμαύκα	6/11/1933	
Καλαμαύκας	Λαγκό	6	πεύκοι	Μεσελέροι	β' 10ήμερο 10/1933	
Μεσελέροι - Σπιτοπούλου		5	πεύκοι	Μεσελέροι	1/11/1933	
Πρίνας	Αζίλακα	10	πεύκοι	Πρίνα	18/10/1933	13
Πλευρά	Πλατύ Πόρος	50	Πεύκα	Μουρνού (;)	25/3/1934	
Μεσελέρων	Κόρακας	15	πεύκα	Μεσελέροι	23/5/1934	
Ανατολής	Γοναθιά	10	πεύκοι	Ανατολή	24/6/1934	
Ορεινού	Φαράγκι	10	πεύκοι	Ορεινό	20/6/1934	
Κριτσά	Ξηρόκαμπος	2	πεύκοι	Κριτσά	5/10/1934	
Παλαίκαστρο	Βαθύ Ρυάκι	50	πεύκοι	Παλαίκαστρο	22/9/1934	6
Αρκάλες - Σταυροχώρι		8-10	πεύκοι	Σταυροχώρι	5/7/1935	
Στρογγυλό Ανατολής		10	θάμνοι και 10 πεύκα	Ανατολή	7/8/1935	
Πατέλα Μαλλών		10	5000 πεύκα	Μάλλες	10/9/1935	
Μαλλών	Άγιος Παντελεήμων	20	Πεύκοι	Μάλλες	19/10/1935	
Θριφτή - Καμινάκια		30	πεύκοι	Επάνω Χωριό	18/10/1935	
Μάλλες	Ρικάρμι	3	πεύκοι	Μάλλες	18/10/1935	
Καλαμαύκα	Πορθιά	5	πεύκοι, σχίνα, πρίνοι, κέδροι	Καλαμαύκα	8/10/1935	
Αγίου Ιωάννου	Ρούσσος	3	πεύκοι	Άγιος Ιωάννης	1/11/1935	8

	Δέτης (;)					
Μεσελέροι	Κάτω Σφάκα	5	θάμνοι	Μεσελέροι	25/5/1936	
Ορεινού	Σκίστρες	6	600 πεύκοι	Ορεινό	9/7/1936	
Ορεινού	Ψυχρό	0,1	20 πεύκα	Ορεινό	1-10/7/1936	
Καλαμαύκα	Εντίκτη - Χαυγάς	500	Πεύκοι, χαρουπιές, 30000 δέντρα	Καλαμαύκα	26/8/1936	
Μεσελέροι	Σκαπέταρα - Τσούρλες	1000	πεύκοι, θάμνοι, 20000 δέντρα	Μεσελέροι	29/8/1936	
Θριφτή	Σούφενα Βρύση	150	5000 πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	4/9/1936	
Πρίνας	Χώστρες	3	200 πεύκα	Πρίνα	9/9/1936	
Καλλικοβρέκτη Γδοχίων		10	200 πεύκα	Γδόχια	9/9/1936	
Μαλλών		5	500 πεύκα	Μάλλες	9/9/1936	
Κριτσά	Έξω Καλύβα	7	θάμνοι	Κριτσά	29/9/1936	
Κριτσά	Έξω Καλύβα	12	θάμνοι	Κριτσά	13/10/1936	
Βρυσών	Παραδέστρα	30	θάμνοι	Βρύσες	17/10/1936	12
Παχειάς Άμμου	Κεφάλι Ξεροποτάμου	0,5	θάμνοι	Παχειά Άμμος	4/9/1937	
Κρούστας	Πευκιάς	5	πεύκοι	Κρούστα	22/8/1937	
Μεσελέροι		10	θάμνοι	Μεσελέροι	6/9/1937	
Μύθων		150	πεύκα	Μύθοι	6/10/1937	
Αγίου Ιωάννου	Βορνάδες ή Δρακώνα	800	πεύκα	Άγιος Ιωάννης	6/10/1937	5
Θριφτής	Καμηνάκια	20	1500 πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	1/9/1938	
Θριφτής	Άσπρο Νερό	10	150 πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	19/10/1938	
Ανατολής	Βορνό	1	100 πεύκα	Ανατολή	3/10/1938	
Καλαμάυκας		4	πεύκα	Καλαμαύκα	3/10/1938	4
Θριφτής	Αργυρά	4	150 πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	27/3/1939	
Μύρτου	Μαύρος	15	1500 πεύκα	Μύρτος	9/7/1939	

	Χάρακας					
Ανατολής	Αμμουδοσέλι	5	200 πεύκα	Ανατολή	12/8/1939	
Βρυσών	Λαγκάδα	35	πρίνοι	Βρύσες	21/8/1939	
Καλαμαύκας - Πρίνας	Κεφάλα	600	4000 πεύκα	Καλαμαύκα - Πρίνα	25/8/1939	
Καστρί		8	πεύκα	Άγιος Ιωάννης	18/10/1939	
Μαλλών	Ροιγδιό	200	πεύκα	Μάλλες	24/10/1939	7
Τσιγκούνια		18000	150000 πεύκα	Μάλλες	3/8/1941	
Αζιγανιάρη		150	10000 πεύκα	Ανατολή	30/7/1941	
Στρατή Βρύση		200	2500 πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	30/7/1941	
Χλιό		10	2000 πεύκα	Καλαμαύκα	6/8/1941	
Βιτσιλιού Αζίλακας		500	2500 πεύκα	Πρίνα	26/8/1941	
Καζάλωμα		500	3000 πεύκα	Ορεινό	3/11/1941	
		400	4000 πεύκα	Σταυροχώρι	Δεκέμβρης 1941	
Παραλία	Σέληνο	300	1400 πεύκα	Πρίνα	4/9/1941	8
Αγία Φωτιά		800	πεύκα	Ορεινό	8/1/1942	
Θριφτή	Αργυρά	20	πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	20-22/8/1942	
Θριφτή		50	πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	20-22/8/1942	
Θριφτή	Λαμιά	150	πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	20/9/1942	
Κισσός		200	πεύκα	Καλαμαύκα	5/9/1942	
Κοπράνα		300	πεύκα	Πρίνα	9/9/1942	
Θριφτή	Μαύρα Χώματα	100	πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	19/9/1942	
Κώστα κορφή		200	πεύκα	Ορεινό	25/9/1942	
Θριφτή		1000	πεύκα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	25/9/1942	
Κουρουπάκια		500	πεύκα	Κρούστα	Σεπτέμβριος 1942	10
		25	πεύκα	Μακρυλιά	23/2/1943	

Κακόσκαλο		5000	πεύκα	Πρίνα	24/7/1943	2
Στηλόπεζες Σταυροχωρίου		1000	πεύκα, θάμνοι	Σταυροχώρι	22/7/1944	1
Καρύδι Μουρνιών		100	πεύκα, θάμνοι	Μουρνιές	27/7/1945	
Βοσκερό		100	πεύκα, θάμνοι	Ρίζα	15/8/1945	2
Σκουράφι Πρίνας		30	πεύκα, θάμνοι	Πρίνα	22/8/1947	
Πετρομαύστρι	Λαγκάδα Βραχασίου	100	πρίνοι, σχίνα	Βραχάσι	10/9/1947	2
Ανεμόμαχα Χριστού		15	πεύκα, θάμνοι	Χριστός	β' 15νθήμερο 11/1948	1
Μυνίγκο	Πευκάλα, Σελέκανο	50	τραχεία πεύκη	Χριστός	21/8/1949	
Πενταχέρι	Βορινό Σπηλιάρι	40	τραχεία πεύκη	Πρίνα	29/9/1949	
Αρμός		30	τραχεία πεύκη	Μάλλες	26/9/1949	3
Αρμί - Πλευρά - Κισσός - Καλαμαύκα		350	τραχεία πεύκη	Καλαμαύκα	22/8/1950	
Κουντουροκώστα Ανατολής		20	πεύκα	Ανατολή	29/9/1950	2
Πόρος Βραχασίου		30	θάμνοι	Βραχάσι	25/7/1951	
Τουρλί - Καλό Χωράφι Καλαμαύκας		450	πεύκα	Καλαμαύκα	6/8/1951	
Πρίνας	Χελώνα	8	πεύκα	Πρίνα	29/10/1951	3
Σπηλιάρα	Ασπροπόταμος	250	πεύκα	Πεύκοι	24/8/1952	
Αρμός	Κακοπέρατο	180	πεύκα	Μάλλες	9/9/1952	
Κακονίσα		35	θάμνοι	Καπίστρι	5/9/1952	3
Αντώνη Πλάκα - Πλακάλωνα		300	πεύκα, πρίνα	Μύθοι - Ρίζα	16/8/1953	
Ρεθυμιώτικο κάμπο - Πενταχέρι		60	πεύκα, θάμνοι	Πρίνα	26/8/1953	
Κατσοχοίρους		40	πεύκα, θάμνοι	Σταυροχώρι	7/10/1953	3

Άγιος Ιωάννης		1	πεύκα	Μάλλες	19/7/1954	
Πλατύσκοινο	Χοιρόκουμο - Μεσοβούνι	300	θάμνοι, σχίνα	Μουρνιές	13/7/1954	
Βυζά - Λαγκάδι	Σουμάνι Μετόχι	250	θάμνοι	Κρυά	10/9/1954	
Φραγκούλα - Αμυγδαλιά - Νικολίτσι		80	θάμνοι, σχίνα	Χουμερίκι	11/10/1954	
Λαγκό		25	θάμνοι, σχίνα	Κρούστα	6/9/1954	5
Καθάριος Λάκκος		10	θάμνοι, πρίνοι	Άγιος Κωνσταντίνος	14/9/1955	
Καμπί		15	χόρτα, φρύγανα	Βραχάσι	12/9/1955	
Βαμβακιά		3	ασπάλαθοι, φρύγανα	Κριτσά	11/9/1955	
Κολυμπατρί		2	πεύκα	Μάλλες	11/10/1955	4
Μελισσάκια		2	πεύκα	Χριστός	7/7/1956	
Λαγκάδι		6	πεύκα	Πρίνα	31/7/1956	
Χαλάσματα		2	πεύκα	Χριστός	10/8/1956	
Φαίτου - Κάστελλος		1500	πεύκα, αείφυλλα	Πεύκοι - Μουρνιές - Ρίζα	11/9/1956	4
Κορυφή Λαμιάς		3	πεύκα	Επάνω Χωριό	2/6/1957	1
Φιλιοτράκι		30	πεύκα	Πρίνα	9/8/1958	
Λαγκάδα		300	χόρτα, φρύγανα, πρίνοι	Βρεστή (;;;)	20/8/1958	
Μνήμα - Ρούσσο Ξύλο		2	πεύκα	Μάλλες	14/9/1958	
Χωστές		60	χόρτα, φρύγανα	Ζάκρος	27/8/1958	
Αη Γιώργης - Τουρτουλιανό - Πλατύβολο		20	χόρτα, φρύγανα	Άγιος Γεώργιος - Συκιά	22/9/1958	
Κούτελλα		60	πεύκα	Μάλλες	25/10/1958	
Πευκάρα ή Χούμπασο		25	πεύκα	Χριστός	27/10/1958	7
Αγιόνερο κορφή - Τσούρλες		5	πεύκα	Άγιος Ιωάννης	17/8/1959	

Κατσοχοίρους		45	πεύκα	Σταυροχώρι	4/9/1959	2
Πλάι - Αμυγδαλιά		25	θυμάρι, ασπάλαθοι	Καβούσι	29/9/1960	
Απάνω Κέραμος	Μελισσινά	2000	θυμάρι, ασπάλαθοι	Καστέλλι - Καρύδι	11/10/1960	
Πλευρά		30	πεύκα	Καλαμαύκα	17/10/1960	
Άσαρι - Αχλάδα		15	πρίνοι, φρύγανα	Σταυρός - Ορεινό	20-28/10/1960	
Χελώνα		5	πεύκα	Πρίνα	17/11/1960	5
Ξενοσκίδι		50	πεύκα	Χριστός	23/3/1961	
Πετεινός Κονταξή		300	αγριελιές	Κρυά - Λιθίνες	11/8/1961	
Άγιος Ιωάννης Μαλλών		40	πεύκα	Μάλλες	8/9/1961	
Πευκαρά - Μπουμπούλια		480	πεύκα	Χριστός - Μάλλες	19 & 21/9/1961	5
Μονοδέντρι - Χήρας Λαγκάδι		550	πεύκα, πρίνα	Μάλλες - Καλαμαύκα	21/8/1962	1
Αγγιναρά		10	θάμνοι, σχίνα	Καλό Χωριό	29/8/1963	
Πάνω Σπίτια		6	θυμάρι, χόρτα	Σταυρός	9/9/1963	
Ασκοκεφάλα		100	θυμάρι, χόρτα	Ελούντα	10/9/1963	
Διχάλα		70	θυμάρι, χόρτα	Χρυσοπηγή	29/9/1963	
Περιστεράς		2	Πεύκη χαλέπιος	(;)	12/10/1963	5
Αγιώργη κορυφή		20	πεύκα, θάμνοι	Ανατολή	16/9/1964	
Πηδήματα		50	θάμνοι, φρύγανα	(;)	2/10/1964	
Σταφύλι		5	πεύκα, θάμνοι	Μάλλες	29/9/1964	
Τζαμί - Πλατύβολο		70	θαμνοι, φρύγανα	Κατσιδώνι	19/9/1964	
Βοϊλάς - Βρύση		500	θάμνοι, φρύγανα	Συκιά	13/10/1964	
Βουρλίδια		300	θάμνοι, φρύγανα	Καβούσι	16-17/10/1964	
Φαράγγι		8	θάμνοι, φρύγανα	Σταυρωμένος	19/9/1964	
Παλαίλακκος		2,5	πεύκα	Καλαμαύκα	7/10/1964	
Σταυρωμένος - Καστρί - Καβαλουρού		60	θάμνοι, φρύγανα	Βραχάσι - Λατσίδα	16/10/1964	

Πλαγιά		80	θάμνοι, φρύγανα	Βραχάσι	22/10/1964	
Κεφάλα		100	θάμνοι, φρύγανα	Ρούσσα Εκκλησιά	9/10/1964	11
		8	πεύκα, θάμνοι	Άνω Σύμη	α' 10ήμερο 3/1965	
Μακρύ Τσίγκουνα		2,5	πεύκα	Άνω Σύμη	30/5/1965	
Κορυφή Αγ. Γεωργίου		12	πεύκα	Ανατολή	24/6/1965	
Δολώνους - Αγκιναροσέλι		50		Κριτσά	29/7/1965	4
Μαμούνι - Δάσος Καλαμαύκας		1,5	πεύκα	Καλαμαύκα	22/6/1968	
Καϊνιά		100	βοσκότοπος	Απίδια	19/7/1968	
Κεφάλα Ετιανή		100	βοσκότοπος	Αρμένοι	α' 10ήμερο 8/1968	
Φινοκαλιά Ζήρου		200	βοσκότοπος	Ζήρος	29/7/1968	
Φουρνιά		1500	βοσκότοπος	Μιτάτο	13/9/1968	5
Ζώννες		3,5	πεύκα	Καλαμαύκα	27/4/1969	
Πριναράκι		2	πεύκα	Χριστός	17/2/1969	
Αύγο		300	θάμνοι	Καβούσι	6/7/1969	
Πατέλα	Μελισσόκηπος	3	θάμνοι	Μεταξοχώρι	30/7/1969	
Μελιτερό		6,5	θάμνοι	Αρμένοι	16/7/1969	
Σουγκομάλι		10	θάμνοι	Μέσα Λακώνια	10/8/1969	
Δωδώνη		50	θάμνοι	Μιτάτο	15/8/1969	
Γεωργαράδων Λαγκάδι		1000	θάμνοι	Βραχάσι	19/9/1969	
Ξενοσκίδι		5000	πεύκα	Χριστός	23/9/1969	
Γέροντα		100	θάμνοι, θυμάρι	Λιθίνες	26/9/1969	
Λούρα		100	θάμνοι, θυμάρι	Πισκοκέφαλο	25/9/1969	
Έξω Λάκκος		12	θάμνοι, ασπάλαθοι	Καβούσι	5/10/1969	
Λατσίδια		1000	θάμνοι, ασπάλαθοι	Αρμένοι	4/10/1969	
Πλανομούρι		5	θάμνοι, ασπάλαθοι	Αρμένοι	3/10/1969	14

Χαλικά		300	θάμνοι, σχίνα, θυμάρι	Πισκοκέφαλο	11/5/1970	
		100	θάμνοι	Ρούσσα Εκκλησιά	17/7/1970	
Κρυονέρι		2500	πεύκα	Καρύδι	18/8/1970	3
Αργυρά		2500	πεύκα, θυμάρι, ερείκη	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	20/6/1971	
Σοπάτες		5	φρύγανα	Απίδια Σητείας	15/6/1971	
Αμινακλάδες		200	φρύγανα	Αρμένοι	24/6/1971	
Κάτω Κάψιας		4000	ασπάλαθοι, πρίνοι	Λάστρος	1/7/1971	
Γουργουθούς		10	φρύγανα	Άγιος Ιωάννης	15/8/1971	
Τρυποκεφάλα Φαράγγι		500	ασπάλαθοι	Χαμαίζι	17/10/1971	6
Μάρε		5500	φρύγανα	Ζήρος	24/6/1973	
Μουρί		1500	φρύγανα	Ζήρος	16/7/1973	
Πέρα Μερά		150	φρύγανα	Βουλιομένη	9/8/1973	
Καταξωχισμένη		40	πρίνοι, θυμάρι	Λίμνες	14/8/1973	
Φλέι		15	φρύγανα	Κριτσά	24/8/1973	
Λυγιά		40	φρύγανα	Ζάκρος	5/9/1973	
Λούρες		50	φρύγανα	Μαρωνιά - Πισκοκέφαλο	10/9/1973	
Μελισσηνό		2,5	φρύγανα	Καστέλλι Φουρνί	26/9/1973	
Σκαλάκια		40	πεύκα, σχίνα	Μεσελέροι	18/10/1973	
Δρούπι		400	φρύγανα	Χανδράς	18/10/1973	
Περιστεράς		50	φρύγανα	Κατσιδώνι	19/10/1973	11
Κολιά		0,5	πεύκα	Μάλλες	β 10ήμερο 3/1974	
Άσπρες Πλάκες		20	φρύγανα	Ζάκρος	28/6/1974	
Αζοκέραμος		2000	φρύγανα	Αζοκέραμος	19/7/1974	
Πυρόβολος		1000	φρύγανα	Ζήρος	7/8/1974	
Σπαρτολάγκαδο		150	δάσος	Βραχάσι	1/9/1974	
Χαυγάς		15	δάσος	Πρίνα	4/10/1974	
Παράμπελλα		50	φρύγανα	Νεάπολη	12/9/1974	
Κεφαλές		2	φρύγανα	Ελούντα	16/10/1974	

Ορθό ποτάμι		20	δάσος	Καλό Χωριό	16/10/1974	
Στενά		500	δάσος, φρύγανα	Άγιος Ιωάννης - Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	31/10/1974	
Λαγκός		10	δάσος, φρύγανα	Ορεινό	18/11/1974	11
Καταβιανού		2	πεύκα, πρίνα	Μεταξοχώρι	17/7/1975	
Θρυπτή		3000	φρύγανα	Καβούσι	30/8/1975	
Αφρατούλι		1000	δάσος	Άγιος Ιωάννης	31/8/1975	2
Ανατολής Μαχερίδι		15	πεύκα	Ανατολή	13/6/1976	
Ανατολής Πευκιάς		2	πεύκα	Ανατολή	1/8/1976	
Κούτελλα		8000	πεύκα	Μάλλες	17/8/1976	
Δίστρατα		4	πεύκα	Σχοινοκάψαλα	20/8/1976	
Μυρταράς		2	πεύκα	Ανατολή	3/9/1976	
Κουντουροκώστα Ανατολής		3	πεύκα	Ανατολή	12/9/1976	
Κουρούνες		200	θάμνοι, φρύγανα	Νεάπολη	14/9/1976	
Σταυρός		1000	πεύκα	Ανατολή	18/9/1976	
Σταυρός		80	πεύκα	Ανατολή	20/9/1976	9
Εριγγιάς		120	θυμάρι, πρίνοι, αχινοπόδι	Χρυσοπηγή	9/1/1977	
Τσίγκουνας	Άνω Σύμη	250	πεύκα, πρίνοι, θυμάρι, σπάρτο	Μουρνιές	4/6/1977	
Άγιος Γεώργιος Σκοπής		70	σχίνα, πρίνοι, θυμάρι	Σκοπή	24/6/1977	
Σκάλες - Βουλισμένη		150	θυμάρι, ασπάλαθοι, φασκομηλιά	Βουλισμένη	29/6/1977	
Συμιγδάλι - Αγριλίδια		100	θυμάρι, φρύγανα	Μιτάτο	1/7/1977	
Βυζού, Μουτσούνα, Ανευριτά,		15000	θυμάρι, φρύγανα	Δάφνη - Πεύκοι	7/7/1977	

Αγκινάρες						
Πάνω Κεφάλα		700	φρύγανα	Τάπες	25/7/1977	
πλησίον Φοινικοδάσους Βαϊου		50	φρύγανα	Παλαίκαστρο	24/7/1977	
Κεφάλα - Κέραμο - Βίγλα		25000	πρίνοι, θυμάρι	Καστέλλι Φουρνί	;/1977	
Αμύγδαλοι		2	σχίνοι, θυμάρι	Καλό Χωριό	1/8/1977	
Χάλαυρος		3	σχίνοι, φρύγανα	Μαρωνιά	16/8/1977	
Βάι		1,5	ατσιβίδες, βούρλα	Παλαίκαστρο	19/8/1977	
Χαλασμένο		2	φρύγανα	Ζένια	24/8/1977	
Αχλαδιά		5	θυμάρι, φρύγανα	Ζήρος	8/9/1977	
Ξερά Ξύλα		40	φρύγανα	Νεάπολη	13/9/1977	
Σελέκανο		0,5	πεύκα	Χριστός	20/9/1977	
Πλακαλώνια		15	θυμάρι, θάμνοι	Χανδράς	4/10/1977	
Ανατολικό		3	πεύκα	Ανατολή	5/10/1977	
Μάχα		1	θυμάρι, θάμνοι	Άγιος Γεώργιος Σητείας	30/10/1977	
Παράσυρτα		350	πρίνοι, θάμνοι	Καμινάκι Λασιθίου	24/9/1977	
Επάνω Σελί		0,7	θάμνοι	Νεάπολη	28/11/1977	21
Τσίγκουνας		1	πεύκα, σχίνα	Άγιος Στέφανος	19/3/1978	
Σταφύλι		0,5	πεύκα	Μάλλες	7/5/1978	
Κουβάρι		45	θυμάρι, θάμνοι	Έξω Μουλιανά	15/5/1978	
Πεντάπρινος		6000	θάμνοι	Λούμα, Σχινιά, Φουρνή	14/6/1978	
Αεράκηδων Καλιά		1000	θάμνοι	Αρμένοι - Απίδια	20/6/1978	
Καψάλια		10	φρύγανα	Χαμαίζι	15/6/1978	
Κεφάλια	Ρεματιά	8000	σχίνα, θάμνοι, θυμάρι	Χρυσοπηγή - Ορεινό	16/7/1978	
Σωτήρα Γούβα		2	θάμνοι	Άγιος Νικόλαος	27/7/1978	

Πελεγρίνα, Λακιά, Λαγκό		3000	πρίνοι, θυμάρι	Ελούντα - Φουρνή	2/8/1978	
Κάτω Πλατύβολο	Καλυβάκια	500	φρύγανα	Κατσιδώνι	9/8/1978	
Γρα Καρά		1200	πεύκα, πρίνοι,σχίνα	Χριστός (Σελέκανο)	14/8/1978	
Ψωριάρικο		45	σχίνα, πρίνοι	Χριστός	19/8/1978	
Μιτατάκι	Δοκίδια	2000	πεύκα, πρίνοι	Κρούστα - Πρίνα - Καλαμαύκα	29/8/1978	
Νεκροταφείο		10	θάμνοι	Νεάπολη	30/8/1978	
Κουρούκουλος		25	θάμνοι	Σχινιά	17/9/1978	
Βαγιές		5	θάμνοι	Παλαίκαστρο	1/10/1978	
Σκάλα πλάι		25	θάμνοι	Σταυρωμένος	3/10/1978	
Σελί Καλής Αχλάδας		3	πεύκα, θυμάρι	Μάλλες	13/10/1978	
Ξυράφι		650	πρίνοι, θυμάρι	Έξω Μουλιανά	19/10/1978	
Γκέλα		30	σχίνα, θυμάρι	Σητεία	21/10/1978	
Κάστελλος		8	πρίνοι	Μεταξοχώρι	20/10/1978	
Κουμιανό		1	θυμάρι, σχίνα	Ζάκρος	21/10/1978	
Βόλακας		10	σχίνα, θυμάρι, θάμνοι	Μάλλες	9/11/1978	25
Μακρύς Τοίχος		2	πεύκα	Σταυροχώρι	α' 10ήμερο 4/1979	
Κηπιά - Ρίζα		350	θάμνοι	Νέα Πραισός	17/6/1979	
Σφακίδι		5	φρύγανα	Αδραβάστοι	18/7/1979	
Γωνιά		60	σχίνα, θυμάρι	Άγιος Νικόλαος	21/7/1979	
Αμμουδοσέλι		3	ερείκη, σχίνα, θυμάρι	Έξω Λακώνια	22/7/1979	
Αχινοπόδια - Τάπες		70	θυμάρι, πρίνοι, αχινοπόδι	Τάπες	1/8/1979	
Χαβάνια		60	σχίνα, πρίνοι	Άγιος Νικόλαος	5/8/1979	
Κούτελλα		20	θυμάρι, σχίνα	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	18/9/1979	
Βαγιές		50	αχινοπόδι, ερείκη	Παλαίκαστρο	26/9/1979	
Σκάφη		20	θυμάρι, πρίνοι	Ορεινό	1/10/1979	

Μακρύ Λιβάδι		2500	θυμάρι, πρίνοι, ερείκη	Πεύκοι	2/10/1979	
Κατακαλού Μύλος		100	θάμνοι, φρύγανα	Έξω Ποτάμοι	29/10/1979	12
Οξιά, Κεφάλα, Λαγκάδια		4000	θάμνοι	Ελούντα	30/5/1980	
Κουμουπατζή Γέφυρα		500	θάμνοι	Λίμνες	28/6/1980	
Μάχα		2500	σχίνα, θυμάρι, θάμνοι	Λίμνες - Φουρνή	17&18/7/1980	
Παλιανά		2	θάμνοι	Μύθοι	1/8/1980	
Μέγα Αμπέλι		120	πεύκα, πρίνοι	Μάλλες	13&14/9/1980	
Καβριές		400	θάμνοι	Κρυά	28/9/1980	
Πλατύβολο - Φλέγα		1000	θυμάρι, θάμνοι	Μητάτο	29/9/1980	
Κορακιές - Φαράγγι		2000	θυμάρι, πρίνοι	Ζήρος - Κατσιδώνι	20/10/1980	8
Βιγλή		15	θάμνοι	Βουλισμένη - Ελούντα	18/6/1981	
Καψάς		500	θάμνοι, θυμάρι	Λάστρος	24/6/1981	
Σκούρα		20	θάμνοι	Ελούντα	25/6/1981	
Καλαρίτης		30	θάμνοι	Μίλατος	20/7/1981	
Παρακολοδρι		200	πρίνοι	Χουμεριάκος	8/8/1981	
Πλαγιά		1000	θάμνοι	Ζήρος	13/8/1981	
Ψαρός Βόλακας		40	θάμνοι	Κριτσά	29/8/1981	
Βαθύ		10	πεύκα, σχίνα	Κριτσά	30/8/1981	
Κάτω Κεφάλα		800	θυμάρι, πρίνοι	Κριτσά	10/9/1981	
Σταυρός		250	θυμάρι, θάμνοι	Νεάπολη	14/9/1981	
Πλατύβολο		80	θάμνοι	Κριτσά	6/10/1981	
Πλαγιά		40	θάμνοι	Βραχάσι	2/12/1981	12
Αφρατούλι - Κουμί		400	θάμνοι	Αρμένοι	22/7/1982	
Πλακούρες		100	θάμνοι, πεύκα	Γρα Λυγιά	24/7/1982	
Κολύρη Λακκούδια	Γούδουρας	300	θάμνοι	Ζήρος	28/7/1982	

Οξά Λαγκάδα	Σπηλιά Κεφάλι	2000	θάμνοι	Άγιος Νικόλαος	18/8/1982	
Πλάκα - Κατσελιό		20	θυμάρι	Βρουχάς	18/8/1982	
Βοϊνα Κριτσά		50	θάμνοι	Κριτσά	3/9/1982	
Βρυσίδια		150	θάμνοι	Κάτω Μετόχι	4/9/1982	
Μάρε		300	θάμνοι	Χαμαίτουλο	19/9/1982	
Φούρνος		120	χορτολίβαδα	Κριτσά	21/9/1982	
Μαρουλάς		100	θάμνοι	Λιθίνες	31/10/1982	11
Γωνιά		50	θυμάρι	Μίλατος	16/5/1983	
Σφενδοκλαρμί		20		Κάτω Μετόχι	25/6/1983	
Πυρόβολος		1000	θάμνοι	Ζήρος	29/6/1983	
Πλαγιά		10	πρίνοι	Βραχάσι	21/6/1983	
Πλαγιά		150	πρίνοι	Βραχάσι	1/8/1983	
Ζήρος		3700	θυμάρι	Ζήρος	4/8/1983	
Σταυρός		3		Μίλατος	7/8/1983	
Χαλικιές		40	θυμάρι	Κατσιδώνι	11/8/1983	
Βοθυλιά		300	δάσος	Βραχάσι	23/8/1983	
Λούματα		500	δάσος	Παλαίκαστρο	26/8/1983	
Ρούσσο Ξύλο		22000	πεύκα	Μάλλες	28/8/1983	
Κοιλιάρης		500	δάσος	Ζένια	10/9/1983	
Μαράσκος		25		Φουρνή	29/9/1983	
Φούρνος		2	χορτολίβαδα	Κριτσά	10/10/1983	
Ρεθυμνιώτη Λάκκος		50		Πρίνα	14/11/1983	15
Λαγκός		800	θυμάρι, σχίνα	Καρύδι	30/6/1984	
		11000	πεύκα, σχίνα, πρίνοι	Μύρτος - Μύθοι - Μουρνιές - Ρίχα - Γδόχια	1/7/1984	
Καλό Χωριό Ζήρου		4000	πρίνοι, θυμάρι, φρύγανα	Ζήρος	1/7/1984	
Μαρασκάς Φουρνής		800	πρίνοι	Φουρνή	2/7/1984	

Μακρείς Λαγγούς Παπαγιαννάδων		800	θάμνοι	Παπαγιαννάδες	3/7/1984	
Οξά	Λιόπετρο - Κελάρια	1000	θάμνοι, φρύγανα	Χαμαίζι	16/7/1984	
Γρα Καρά	Σελέκανο	4	θάμνοι	Χριστός	16/7/1984	
Κεφάλα		60	θάμνοι	Καστέλλι Φουρνή	23/7/1984	
Μπραμιανά		200	θάμνοι	Μπραμιανά Ιεράπετρας	18/8/1984	
Μαρουλάς		1000	θάμνοι	Ζάκρος	28/8/1984	
Αρακοδιά		50	πρίνοι, θυμάρι, θάμνοι	Κάτω Χωριό Ιεράπετρας	29/8/1984	
Παπλινού - Αφρατούλι		810	σχίνα, θάμνοι	Άγιος Ιωάννης	2/9/1984	
Γωνιά		10	θάμνοι	Μίλατος	2/9/1984	
Φουντούλη Μάντρα		5		Κριτσά	6/9/1984	
Σταυρός		300	θάμνοι	Νεάπολη	9/9/1984	
Καλογράς Λιβάδι		15	θάμνοι	Άγιος Στέφανος	11/9/1984	
Νοφαλιάς		200	θάμνοι	Νεάπολη	15/9/1984	
Καρύδι Αμυγδαλιάς		100	θάμνοι	Νεάπολη	25/9/1984	
Βρυσίδια		70	θάμνοι	Μητάτο	27/9/1984	
Σελημάς		11500	πεύκα, πρίνοι, σχίνα	Κάτω Χωριό - Άγιος Ιωάννης - Σχοινοκάψαλα	30/9/1984	
Ρούσσο Αρόλυθα		500	θάμνοι	Έξω Λακώνια	9/10/1984	
Χαλασμένος Γουλάς		150		Τάπες - Κριτσά	11/10/1984	
Θεριανόπουλο		200	θάμνοι	Ζένια	28/10/1984	23
Καλύβια		20	πρίνοι	Φουρνή	19/7/1985	
Βαθύ		102	πεύκα, πρίνοι	Κριτσά	19/7/1985	
Σφάκα		15	πρίνοι	Κριτσά	20/7/1985	
Πλαγιά		20	πρίνοι, θάμνοι	Μέσα Λακώνια	20/7/1985	

Χερσόνησος Σπιναλόγκα		350	κέδροι, σχίνα, θάμνοι	Ελούντα	3/8/1985	
Σελέκανο		15	πεύκα	Χριστός	8/9/1985	
Μούρι		3	θυμάρι	Κριτσά	11/9/1985	
Κουκίστρες	Πηδήματα	700	θάμνοι	Έξω Λακώνια - Ζένια	26/9/1985	
Κλεισίδι		20	θάμνοι	Ζάκρος	7/10/1985	
Λαγκός		200	θάμνοι	Καρύδι	10/10/1985	
Κέραμος		500	θάμνοι	Πραισός	26/10/1985	
Ορνιάς		150	θάμνοι	Νεάπολη	27/10/1985	
απιδάκι		500	θάμνοι	Καλό Χωριό Ζήρου	31/10/1985	
Κεφάλα		15	θάμνοι	Μητάτο	3/11/1985	
Σταυρός		100	θάμνοι	Μίλατος	4/11/1985	
Κεφάλα		3000	θάμνοι	Μέσα & Έξω Λακώνια	4/11/1985	
Κεφάλα		50	θάμνοι	Ρούσσα Εκκλησιά	1/12/1985	17
Σπήλιος Λαγκάδας		300	πρίνοι, θάμνοι	Βρύσες	25/1/1986	
Σπηλιάρα		40	θάμνοι	Άγιος Στέφανος	4/3/1986	
Καμίνα		50	κέδροι, πρίνοι, αγριελιές	Καβούσι	22/5/1986	
Κασά Παλή		500	θάμνοι	Περβολάκια	5/7/1986	
Βασιλάκη		1500	θάμνοι	Περβολάκια	23/7/1986	
Κουρούνες		100	θάμνοι	Νεάπολη	22/8/1986	
Νικολάκια		100	θάμνοι	Νεάπολη	24/8/1986	
Ανεμόσπηλιος		1500	κέδροι, πρίνοι, σχίνα	Βασιλική - Παχειά Άμμος	27/8/1986	
Καθαράδια		600	κέδροι, πρίνοι, σχίνα	Βασιλική - Παχειά Άμμος	14/9/1986	
Αζάλι		1500	θάμνοι	Λιθίνες	21/9/1986	
Καλύβια		1500	θάμνοι	Φουρνή	10/7/1986	11
Κουρούνες		100	θάμνοι	Νεάπολη	22/8/1987	

Νικολάκια		80	θάμνοι	Νεάπολη	22/8/1987	
Κουρούνες		10	θάμνοι	Νεάπολη	24/8/1987	
Νεροβολιά		2000	θάμνοι	Λιθίνες	15/8/1987	
Λαγκός		2000	θάμνοι	Λιθίνες	8/8/1987	
Λαγκάδες		2500	θάμνοι	Λιθίνες	18/8/1987	
Μοναστηράκι		6000	πεύκα, θάμνοι	Κάτω Χωριό	15/8/1987	
Πλάκα Κεφάλα		150	πεύκα, θάμνοι	Μεταξοχώρι	27/8/1987	
Κεφάλα		3000	φρύγανα	Ιεράπετρα	25/8/1987	
Καραβές		800	σχίνα, θάμνοι, θυμάρι	Παχειά Άμμος	14/8/1987	
Νήσπιτα		2000	πρίνοι	Νεάπολη	30/3/1987	
Αβδελιανό		2300	πρίνοι	Ζένια	11/8/1987	
Επάνω Παντέλη		300	φρύγανα	Χανδράς	28/6/1987	
Ριζόβολα		1	θάμνοι	Παλαίκαστρο	12/7/1987	
Χάλαυρα		500	θάμνοι	Καρύδι	20/7/1987	
Κεφάλα		100	θάμνοι	Φουρνή	29/7/1987	
Κεφάλα Χουμεριάκος		500	πρίνοι	Λίμνες	10/8/1987	
Καλός Λάκκος		8500	θάμνοι	Ελούντα	15/8/1987	
Λούρες		400	θάμνοι	Πισκοκέφαλο	19/8/1987	
Κερά Παναγιά		1000	πεύκα	Λιθίνες	12/9/1987	
Πιλαλήματα		500	θάμνοι	Λιθίνες	22/9/1987	
απιδάκι		600	θάμνοι	Καλό Χωριό	25/9/1987	
Μονή Αρετίου		500	θάμνοι	Καρύδι	27/9/1987	
Πλατύβολο		1500	φρύγανα	Μητάτο	29/9/1987	
απιδάκι		600	φρύγανα	Ζήρος	9/10/1987	
Θεολόγος		15	θάμνοι	Κριτσά	6/10/1987	
Λιθίνες		5	φρύγανα	Λιθίνες	6/10/1987	
Κακίστρες		300	φρύγανα	Τουρλωτή	7/10/1987	
Κούντουρος		1000	φρύγανα	Καρύδι	10/10/1987	
Κοπράνες		6	θάμνοι	Μύρτος	10/10/1987	
Ανεβάλουσα		6	θάμνοι	Ποτάμοι	12/10/1987	

Καλικιάς		100	θάμνοι	Καρύδι	13/10/1987	
Τσαμπί		250	θάμνοι	Μίλατος	23/10/1987	
Ψυχρό		50	θάμνοι	Ψυχρό	23/10/1987	
απιδάκι		900	φρύγανα	Ζήρος	4/10/1987	
Χαμαίζι		80	φρύγανα	Χαμαίζι	17/11/1987	36
Λαγκάδα		20	θάμνοι	Βραχάσι	10/5/1988	
Ανάλουκας		300	θάμνοι	Παλαίκαστρο	1/6/1988	
Κιμέλα - Κεφάλι		20	θάμνοι	Τουρλωτή	3/6/1988	
Αύγο		500	θάμνοι	Καβούσι	8/6/1988	
Πλατύβολα		7350	θάμνοι	Αχλάδια	16/6/1988	
Αζάλι		50	θάμνοι	Λιθίνες	28/6/1988	
Λαγκός		3000	σχίνα, πρίνοι	Δωριές - Φουρνή	3/7/1988	
Κατσούκλι		10	σχίνα, πρίνοι	Πεύκοι	21/7/1988	
Μονή Πουπλινού		1500	θάμνοι	Ιεράπετρα	27/7/1988	
Σώπατα		250	θάμνοι	Ζάκρος	29/7/1988	
Κατσούκλι		60	πεύκα	Πεύκοι	3/8/1988	
Ανευρητά		700	θάμνοι	Λιθίνες	21/8/1988	
Κουταράντο		2,5	θάμνοι	Κριτσά	30/8/1988	
Άγιος Γεώργιος		1000	θάμνοι	Βραχάσι	4/9/1988	
Τίμιος Σταυρός		100	θάμνοι	Νεάπολη	11/9/1988	
Τραόσταλος		1500	θάμνοι	Ζάκρος	11/9/1988	
Ιωαννίδη μνήμα		150	θάμνοι	Λιθίνες	11/9/1988	
Πλατύβολο		2500	θάμνοι	Σταυρωμένος	12/9/1988	
Αυγιόνας		25	πεύκα	Μάλλες	17/9/1988	
Σώπατα		1000	θάμνοι	Σκοπή	12/9/1988	
Μακρύ Βόλακας		2500	θάμνοι	Απίδια	25/9/1988	
Αγ. Κρήνη		200	θάμνοι	Ζήρος	25/9/1988	
Μαύρο Μουρί		800	θάμνοι	Περβολάκια	2/10/1988	
Άσπες ή Παναγιά Φανερωμένη		30	πεύκα	Ανατολή	1/10/1988	
Παναγιά		150	θάμνοι	Σκοπή	4/10/1988	

Φανερωμένη						
Πηγάδα - Σώπατα		840	θάμνοι	Αχλάδια	4/10/1988	
Σκούρα		50		Ελούντα (Πινές)	5/10/1988	
Στέρνες		100		Μίλατος	19/10/1988	
Επάνω Αόρη		315		Άγιος Στέφανος	31/10/1988	
Χαυγάς		30	θάμνοι	Λίμνες	23/8/1988	
Σχίσμα		40	πρίνοι	Μέσα Λακώνια	8/8/1988	
Αρκαλιές		500	πρίνοι, αγριελιές	Κριτσά	7/7/1988	
Άγιος Παντελεήμων		2000	θάμνοι	Λάστρος	18/9/1988	
Ανάλουκας		50	θάμνοι	Παλαίκαστρο	4/11/1988	
Μονοκαρά		100	θάμνοι	Σφάκα	14/9/1988	
Κουταράντο		6	θάμνοι	Κριτσά	25/9/1988	
Γωνιά		10	θάμνοι, αγριελιές	Έξω Λακώνια	26/9/1988	
Κουτσούρες		50	πεύκη	Πρίνα	23/8/1988	38
Ρίζα		6	φρύγανα	Λιθίνες	15/1/1989	
Μεσομάλλες		20	πεύκα	Μάλλες	6/2/1989	
Λατσίδα		6	δάσος	Χριστός	13/2/1989	
Πελεγρίνα		1900	φρύγανα	Ελούντα (Πινές)	15/5/1989	
Κακή Σκάλα		15	θάμνοι	Ζήρος	1/6/1989	
Μέγα Αμπέλι		11	πεύκα	Μάλλες	17/6/1989	
Μπόντα		600	θάμνοι	Σητεία	21/6/1989	
Χάλαυρα		3500	θάμνοι	Μαρωνιά	21/6/1989	
Νοφαλιά		20	θάμνοι	Νεάπολη	1/7/1989	
Μάχα		500	θάμνοι	Λίμνες - Νικηθιανό	3/7/1989	
Πετρομάντρες		1900	θάμνοι	Περβολάκια	5/7/1989	
Κουτσόματος		10	θάμνοι	Χουμεριάκος	5/8/1989	
Πλάτανος		250	πεύκα	Μάλλες	12/8/1989	
Γέφυρα Κουτουρατζή		300	θάμνοι	Λίμνες	16/8/1989	
Πλατύβολο		2500	θάμνοι	Μητάτο	31/8/1989	

Κεφάλα						
Λάκκος Αμπελιών		25	κέδροι	Καβούσι	1/9/1989	
Τοπλού		100	θάμνοι	Παλαίκαστρο	1/9/1989	
Βουρλιές		10	θάμνοι	Χανδράς	4/9/1989	
Κουδουναλιά		500	θάμνοι	Νεάπολη	10/9/1989	
Ζένια		2500	πρίνοι	Ζένια	10/9/1989	
Πισίδες / Κατσίκια		4500	πρίνοι	Άγιος Νικόλαος	10/9/1989	
Σταυρός		100	θάμνοι	Νεάπολη	13/9/1989	
Απιδάκι		200	θάμνοι	Ζήρος	22/9/1989	
Χωματόλακκος		500	θάμνοι	Αχλάδια	30/9/1989	
Βοθυλιές		100	σχίνα, πρίνοι	Βραχάσι	8/10/1989	
Λούρες		70	θάμνοι	Μαρωνιά	10/10/1989	
Λουμπουνιές		70	θάμνοι	Μητάτο	11/10/1989	
Αγκιναράς		200	πρίνοι, σχίνα	Χουμεριάκος	12/10/1989	
Λατσίδια		500	θάμνοι	Κρυά	12/10/1989	
Βοθυλιές		20	φρύγανα	Βραχάσι	12/10/1989	
Παπά Κεφάλα		800	θάμνοι	Χανδράς	23/10/1989	
Σωρούς		200	θάμνοι	Χαμαίζι	18/10/1989	32
Νερού Λακούδια		100	πεύκα	Σχοινοκάψαλα	9/1/1990	
Άγι ος Γεώργιος		90	θάμνοι	Βραχάσι	5/2/1990	
Μέρμιγκας		10	θάμνοι	Βραχάσι	23/2/1990	
Αγία Φωτιά		10	πεύκα	Σχοινοκάψαλα	11/3/1990	
Φραμό		400	πεύκα	Σχοινοκάψαλα - Ορεινό	11/3/1990	
Λαγκούφες		20	θάμνοι	Ρούσσα Εκκλησιά	8/4/1990	
Αρμός		10	πεύκα	Μάλλες	27/4/1990	
Ζυγομόνερο		20	θάμνοι	Λάστρος	10/4/1990	
Κουφή Πέτρα		2	θάμνοι	Νεάπολη	21/4/1990	
Σαρακήνα		1500	πεύκα	Χριστός, Μεταξοχώρι,	8/6/1990	

				Μάλλες, Μύθοι		
Χαλέπα		1900	θάμνοι	Μαρωνιά - Πισκοκέφαλο	11/6/1990	
Λαμνώνι		7	θάμνοι	Ζήρος	21/6/1990	
Σολί		2	πεύκα	Μάλλες	25/6/1990	
Μιχέλου Μάμα		800	πρίνοι	Δάφνη - Κρυά	14/7/1990	
Πλάτανος		15	θάμνοι	Βραχάσι	31/7/1990	
Σκουπιδότοπος Αγ. Νικολάου		10	θάμνοι	Λίμνες	20/7/1990	
Δρυγιές		250	πεύκα	Ανατολή	22/7/1990	
Νταμάρι Σπίθα		7	θάμνοι	Νεάπολη	28/7/1990	
Σκουπιδότοπος Αγ. Νικολάου		15	θάμνοι	Λίμνες	2/8/1990	
Μελισσάκι		140	πρίνοι	Μέσα Λακώνια	9/8/1990	
Τρίχα		300	θάμνοι	Περβολάκια	10/8/1990	
Κουβάρι		800	φρύγανα	Έξω Μουλιανά	18/8/1990	
Ανάλουκας		50	θάμνοι	Παλαίκαστρο	23/8/1990	
Λυγιά		400	θάμνοι	Ζάκρος	26/8/1990	
Χαλέπα		700	θάμνοι	Καβούσι	14/9/1990	
Ξηροκάμπια		250	σχίνα, θάμνοι	Χουμεριάκος	29/9/1990	
Χορτασά		10	θάμνοι	Κάτω Μετόχι	23/9/1990	
Ξηροκάμπια		15	θάμνοι	Χουμεριάκος	29/9/1990	
Πατέρα Στέρνα		1	πρίνοι	Λίμνες	3/10/1990	
Λούρες		700	θάμνοι	Μαρωνιά	9/10/1990	
Καβαλαρά		70	πρίνοι	Βουλισμένη	6/10/1990	
Πέτρος		35	θάμνοι	Νεάπολη	9/10/1990	
Σπήλαιο		5	σχίνα, θάμνοι	Μίλατος	18/10/1990	
Φράκα Μάνδρα Αρκολάκη		1000	θάμνοι	Βουλιομένη - Νεάπολη	30/10/1990	
Βουκεφάλα		2500	φρύγανα	Χαμαίζι	5/11/1990	
Κούτελλα		100	θάμνοι	Μίλατος	5/11/1990	

Αποθημένη Βρύση		10	θάμνοι	Μεσελέροι	6/11/1990	
Καλός Λάκκος		50	θάμνοι	Λίμνες	18/9/1990	38
Χταπόδι		60	πεύκα	Πεύκοι	30/4/1991	
Σκουπιδότοπος		100	θάμνοι	Μυρσίνη	5/5/1991	
Καλαρίτης		25	πρίνοι	Βραχάσι	7/5/1991	
Νταούσο		7	θάμνοι	Σητεία	11/5/1991	
Σφαγγομάλι		8	θάμνοι	Μέσα Λακώνια	13/6/1991	
Παναγιά - Ποταμός		1300	πεύκα	Σταυροχώρι	23/6/1991	
Αμυγδαλιά		10	θάμνοι	Νεάπολη	22/7/1991	
Σώπατα		100	θάμνοι	Ζάκρος	27/7/1991	
Άσπρα Κεφάλια		500	θάμνοι	Χανδράς	17/8/1991	
Αγλιδομούρι		100	θάμνοι	Ζήρος	21/8/1991	
Μελισσάκια	Σελέκανο	100	πεύκα	Νέα Μάλλα	25/8/1991	
Μελισσάκια	Σελέκανο	100	πεύκα	Νέα Μάλλα	27/8/1991	
Αχλιά		10	πεύκα	Σχοινοκάψαλα	31/8/1991	
Πασπαρά	Μάχα	100	θάμνοι	Κάτω Μετόχι	3/10/1991	
Καταφύγι		15	θάμνοι	Λίμνες	8/10/1991	
Πάνω Μαχίδια		30	πεύκα	Κρούστα	10/11/1991	
Καμπί		150	φρύγανα	Άγιος Γεώργιος	14/10/1991	17
Ρίζα		10	πεύκα	Λιθίνες	22/6/1992	
Πρινομιτάτο		150	πρίνοι	Φουρνή	8/7/1992	
Δάκαμας		40	πρίνοι	Άγιος Νικόλαος	23/7/1992	
Άγιος Νικόλαος		100	φρύγανα	Παλαίκαστρο	24/7/1992	
Βοθώνι		70	θάμνοι	Ζένια	29/7/1992	
Πετρωτά		100	φρύγανα	Νέα Πραισός	7/8/1992	
Καλός Λάκκος		50	φρύγανα	Απίδια	9/8/1992	
Καστρί		100	θάμνοι	Βραχάσι	22/8/1992	
Ξερόκαμπος		2	πεύκα	Άγιος Ιωάννης	3/9/1992	
Γαϊδουρότρυπα		20	θάμνοι	Κριτσά	11/9/1992	

Καλύβες		30	θάμνοι	Ελούντα	14/9/1992	
Καματερά		2000	θάμνοι	Τουρλωτή - Σφάκα	15/10/1992	
Διασταύρωση Μεσελέροι		30	πεύκα	Καλό Χωριό	19/10/1992	
Ρουσαπιδιά		200	θάμνοι	Ζένια	19/10/1992	
Φαραγκούλι		200	θάμνοι	Αγία Τριάδα	6/11/1992	
Σκαμπά		20	θάμνοι	Κριτσά	6/11/1992	
Νήσπιτα		5	πρίνοι	Νεάπολη	9/12/1992	17
Κουτσουμπές		230	πεύκα, θάμνοι	Κριτσά	13/4/1993	
Ξενοσκίδι		400	πεύκα	Νέα Μάλλα	13/4/1993	
Σέλινο		10	πεύκα	Πρίνα	16/4/1993	
Αγριλιά		70	φρύγανα	Ζήρος	26/4/1993	
Σαργού Κεφάλα		160	θάμνοι	Αγία Τριάδα	24/6/1993	
Βιγλί		30	πρίνοι	Νεάπολη	19/7/1993	
Πλατιά Όψη		25000	πεύκα, θάμνοι	Σταυροχώρι - Ορεινό - Άγιος Στέφανος - Σχοινοκάψαλα	24,25,26/7/1993	
Βρύσες		300	θάμνοι	Μέσα Δράσι	30/7/1993	
Πλάτανος		2	πεύκα	Νέα Μάλλα	3/9/1993	
Πλάτανος	Βουρκάνο	25	πεύκα	Νέα Μάλλα	8/10/1993	
Συκιά		300	θάμνοι	Σταυρωμένος	24/10/1993	
Μαχίδια		4	θάμνοι	Μίλατος	31/10/1993	
Βουρκάνο		60	πεύκα	Νέα Μάλλα	10/11/1993	
Χαλκοκέφαλο ή Βελανούρι		40	θάμνοι	Άγιος Στέφανος	18/11/1993	14
Γαϊτανάς		50	θάμνοι	Ρούσσα Εκκλησιά	8/3/1994	
Φουσκια	Άγιος Αντώνιος	10	θάμνοι	Αχλάδια	22/4/1994	
Σφακώνας		5	θάμνοι	Πεύκοι	17/4/1994	

Χανδριανό - Πλάι		150	θάμνοι	Χανδράς	5/6/1994	
Σκινοσέλι		25	θάμνοι	Λάστρος	23/6/1994	
Πλατανιά		5	θάμνοι	Μαρωνιά	26/6/1994	
Κεφάλι		10	θάμνοι	Ζάκρος	17/6/1994	
Βοθώνας		100	θάμνοι	Καρύδι	12/7/1994	
Κονιδερό Σελεκάνου		300	πεύκα	Νέα Μάλλα	16/7/1994	
Γαϊτανάς		100	φρύγανα	Ρούσσα Εκκλησιά	1/8/1994	
Άσπρος Ποταμός - Μεσαρμι		1200	πεύκα	Πεύκοι	9/8/1994	
Βίγλα		450	θάμνοι	Περβολάκια	16/8/1994	
Κάτω Πρίνα		50000	πεύκα, θάμνοι	Πρίνα - Ανατολή - Καλαμαύκα - Μεσελέροι - Μακρυλιά - Μάλλες - Μύρτος	17/8/1994	
Παπά Κεφάλα		100	θάμνοι	Χανδράς	31/8/1994	
Νεραϊδόβο (Σελεκάνου)		10	πεύκα	Νέα Μάλλα	16/9/1994	
Κεφάλια		30	πρίνοι	Βρύσες	16/9/1994	16
Άσπρες - Μαύρες		15	θάμνοι	Χρυσοπηγή	3/2/1995	
Βρυσίδες		10	θάμνοι	Άγιος Στέφανος	14/2/1995	
Συκιάς Κεφάλι Σιτάνου		300	θάμνοι	Κατσιδώνι	7/6/1995	
Αργυρό Νερό		50	θάμνοι	Ποτάμοι	5/7/1995	
Μακρυγιαλός		10	πεύκα	Άγιος Στέφανος	22/7/1995	
Λουτράκι		3000	θάμνοι	Παπαγιαννάδες	28/7/1995	
Καλή Αχλάδα		15500	πεύκα, θάμνοι	Νέα Μάλλα	28/7/1995	
Μακρύ Λιβάδι		1100	πεύκα, πρίνοι	Καλαμαύκα	12/8/1995	
Άγιος Παντελεήμων		20	θάμνοι	Λάστρος	13/8/1995	
Σκουπιδότοπος		20	θάμνοι	Πεύκοι	26/8/1995	

Γρα Καρά	Σελέκανο	10	οπωροφόρα, πεύκα	Νέα Μάλλα	6/9/1995	
Μικρό Βαθύ		100	θάμνοι	Κριτσά	6/9/1995	
Καλαθιανά		20	θάμνοι	Νέα Πραισός	3/10/1995	13
Κεφάλα		1000	θάμνοι	Νεάπολη	23/6/1996	
Πεζούλες		1	θάμνοι	Χουμεριάκος	3/7/1996	
Αμυγδαλόλακκος		7	θάμνοι	Άγιος Αντώνιος	13/7/1996	
Κεφάλα		170	θάμνοι	Χουμεριάκος	17/7/1996	
Ρούσσο Λακκί		4	θάμνοι	Αγία Τριάδα	28/8/1996	
Πλάτανος		1500	θάμνοι, φρύγανα	Καβούσι	6/9/1996	
Γωνιά		65	πρίνοι, αγριελιές	Μέσα Λακώνια	23/9/1996	
Άγιος Γεώργιος Καλού Χωριού		200	φρύγανα	Ζήρος	8/11/1996	
Άγιος Γεώργιος		150	φρύγανα	Άγιος Γεώργιος	27/10/1996	
ΑϊΜάμας		20	θάμνοι	Κρυά	1/11/1996	
Παλαίπυργος		100	θάμνοι	Παλαίκαστρο	3/11/1996	11
Κολύμπους		4	πεύκα, θάμνοι	Σχοινοκάψαλα	28/1/1997	
Ασπρούγκοι		30	πεύκα	Άγιος Ιωάννης	27/2/1997	
Θόλος		100	θάμνοι	Καβούσι	21/6/1997	
Αρκάλες		200	φρύγανα	Σταυροχώρι	29/7/1997	
Καθάριο Πλάι		1075	πρίνοι, θάμνοι	Νεάπολη	17/8/1997	
Γρα Καρά		445	πεύκα, κυπαρίσσια	Νέα Μάλλα	22/9/1997	
Ρέμα - Τσιγκούνη		10	θάμνοι	Χουμεριάκος	29/9/1997	
Κεραγωνιώτισσα		15	πρίνοι	Λατσίδα	3/10/1997	
Νεκροταφείο		15	θάμνοι	Βραχάσι	10/10/1997	9

Α.3. Μετεωρολογικά δεδομένα της Κρήτης ανά δεκαετία

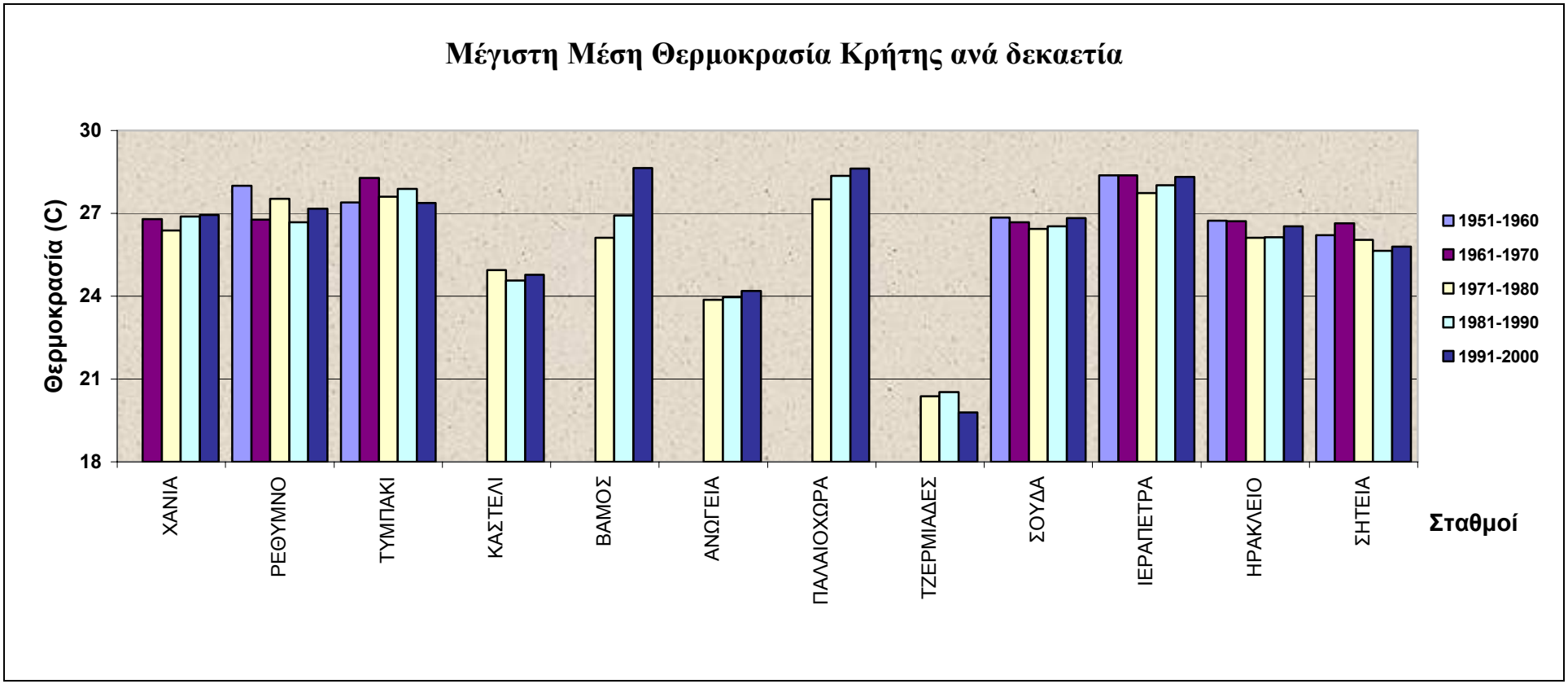
Α.3.1. Μέγιστη μέση θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία (^{o}C)

Μετεωρ. Σταθμός	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά		26,79	26,37778	26,89	26,95
Ρέθυμνο	28	26,78	27,53	26,68	27,17143
Τυμπάκι	27,4	28,29	27,61	27,88	27,38571
Καστέλι			24,95	24,57	24,78
Βάμος			26,11667	26,93	28,63333
Ανώγια			23,86667	23,97	24,18571
Παλαιόχωρα			27,51429	28,36	28,62857
Τζερμιάδες			20,38333	20,53	19,8
Σούδα	26,85	26,67	26,43	26,52	26,82857
Ιεράπετρα	28,38	28,38	27,74	28,02	28,31429
Ηράκλειο	26,73333	26,71	26,12	26,13	26,5375
Σητεία	26,2	26,64	26,03	25,64	25,8

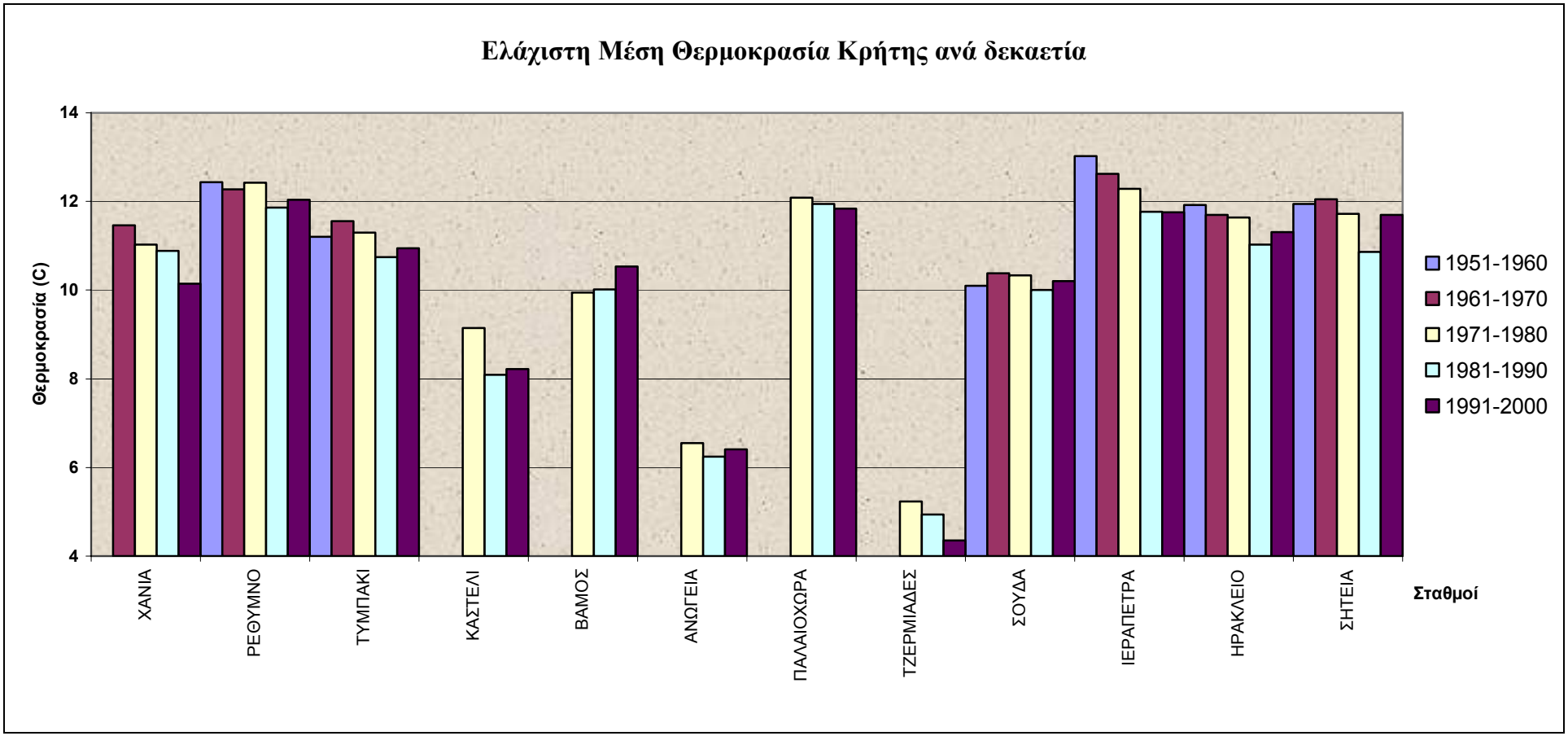
Α.3.2. Ελάχιστη μέση θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία (^{o}C)

Μετεωρ. Σταθμός	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά		11,46	11,02222	10,89	10,15
Ρέθυμνο	12,43333	12,27	12,42	11,86	12,04286
Τυμπάκι	11,2	11,55	11,3	10,75	10,94286
Καστέλι			9,15	8,09	8,22
Βάμος			9,95	10,02	10,53333
Ανώγια			6,55	6,24	6,414286
Παλαιόχωρα			12,08571	11,94	11,84286
Τζερμιάδες			5,233333	4,94	4,35
Σούδα	10,1	10,38	10,33	10,01	10,2
Ιεράπετρα	13,02	12,62	12,29	11,77	11,75714
Ηράκλειο	11,91667	11,7	11,64	11,03	11,3125
Σητεία	11,94	12,05	11,72	10,86	11,7

Α.3.3. Γραφική παράσταση της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία



Α.3.4. Γραφική παράσταση της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία



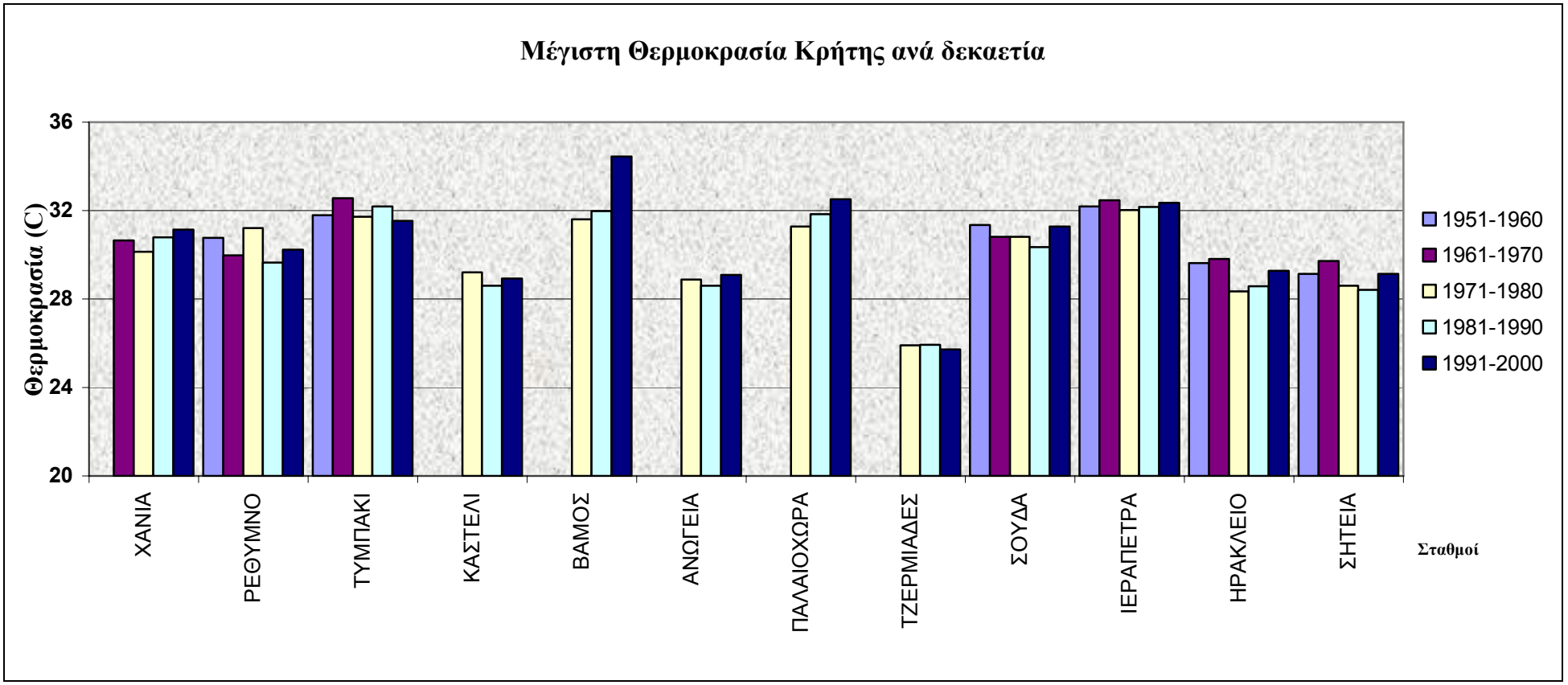
Α.3.5. Μέγιστη θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία (^{o}C)

Μετεωρ. Σταθμός	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά		30,66	30,14444	30,79	31,15
Ρέθυμνο	30,76667	29,98	31,22	29,64	30,2375
Τυμπάκι	31,8	32,56	31,71	32,18	31,54286
Καστέλι			29,2	28,6	28,92
Βάμος			31,6	31,98	34,43333
Ανώγια			28,88333	28,6	29,08571
Παλαιόχωρα			31,27143	31,83	32,51429
Τζερμιάδες			25,9	25,93	25,725
Σούδα	31,35	30,82	30,82	30,36	31,27143
Ιεράπετρα	32,18	32,47	32,02	32,17	32,34286
Ηράκλειο	29,63333	29,82	28,35	28,59	29,275
Σητεία	29,14	29,71	28,61	28,41	29,13333

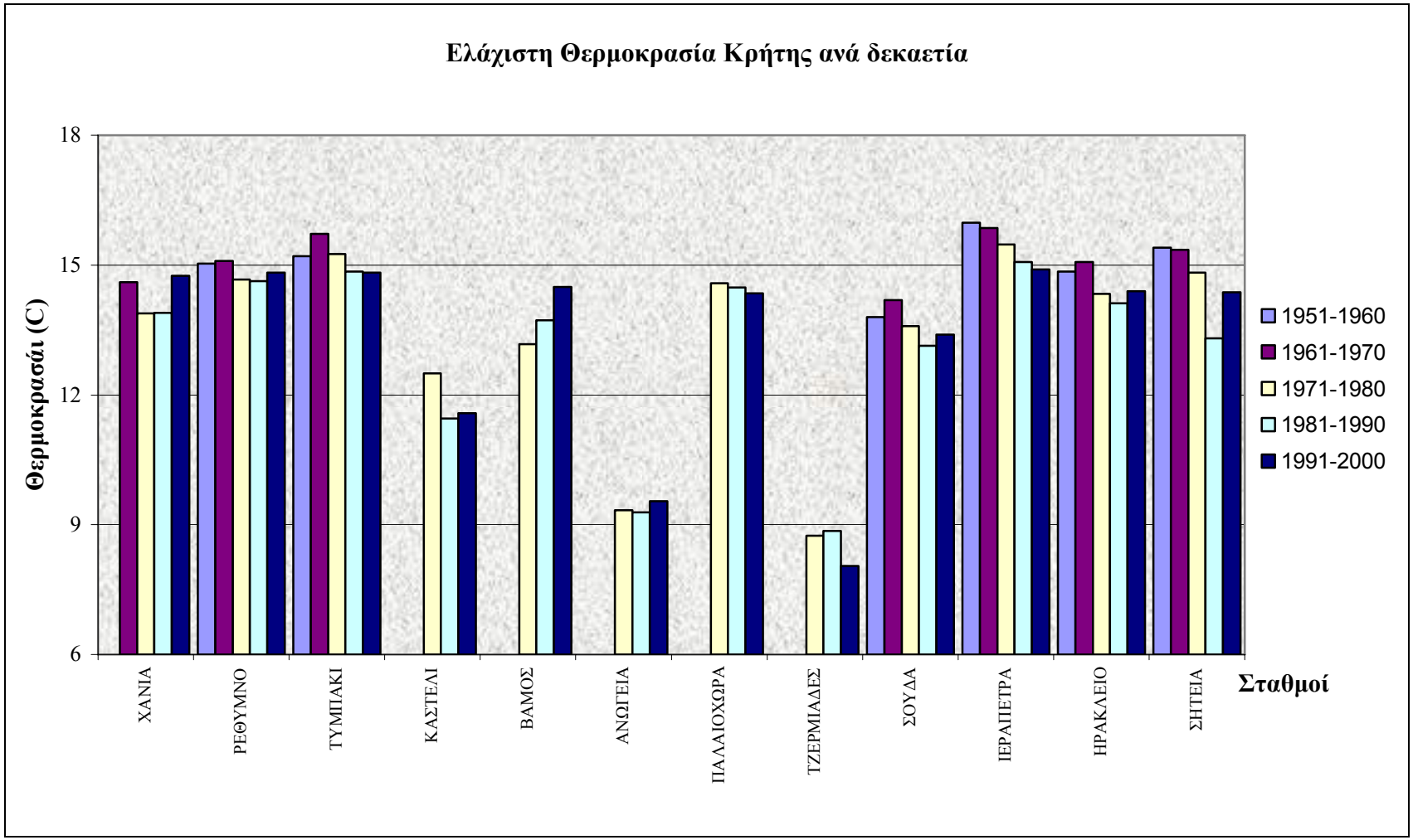
Α.3.6. Ελάχιστη θερμοκρασία της Κρήτης ανά δεκαετία (^{o}C)

Μετεωρ. Σταθμός	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά		14,61	13,87778	13,89	14,75
Ρέθυμνο	15,03333	15,09	14,66	14,63	14,825
Τυμπάκι	15,2	15,72	15,25	14,85	14,82857
Καστέλι			12,5	11,45	11,58
Βάμος			13,16667	13,72	14,5
Ανώγια			9,333333	9,28	9,542857
Παλαιόχωρα			14,58571	14,48	14,34286
Τζερμιάδες			8,75	8,86	8,05
Σούδα	13,8	14,19	13,59	13,13	13,38571
Ιεράπετρα	15,98	15,86	15,48	15,07	14,9
Ηράκλειο	14,85	15,07	14,33	14,11	14,4
Σητεία	15,4	15,35	14,82	13,31	14,36667

Α.3.7. Γραφική παράσταση μέγιστης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία



Α.3.8. Γραφική παράσταση ελάχιστης θερμοκρασίας της Κρήτης ανά δεκαετία



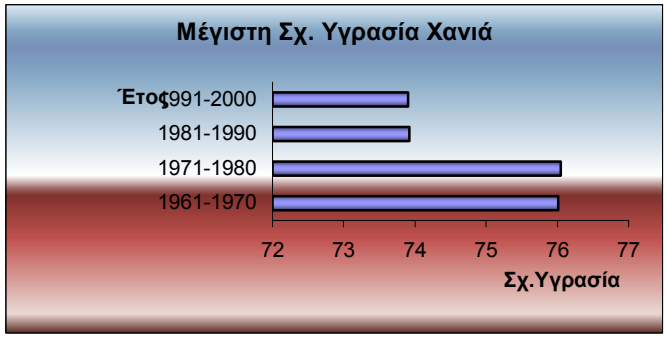
Α.3.9. Μέγιστη σχετική υγρασία της Κρήτης ανά δεκαετία (gr/m^3)

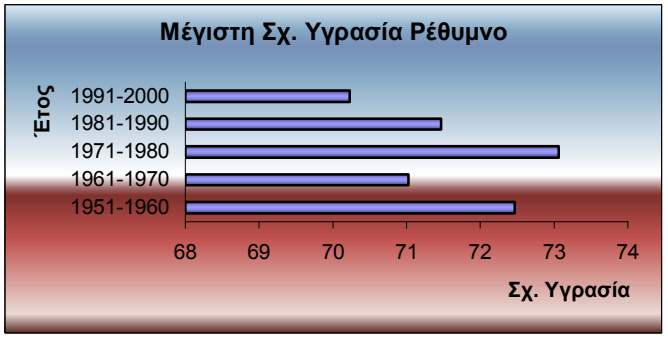
Μετεωρ. Σταθμός	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά		76,01	76,04444	73,92	73,9
Ρέθυμνο	72,46667	71,03	73,06	71,47	70,225
Τυμπάκι	73,5	77,34	74,07	75,82	78,92857
Καστέλι			81,475	79,48	84
Βάμος			76,98333	76,41	74,2
Ανώγια			86,46667	79,44	79,82857
Παλαιόχωρα			73,58571	72,34	80,67143
Τζερμιάδες			87,11667	83,51	85,1
Σούδα	73,55	77,07	75,86	75,06	75,57143
Ιεράπετρα	79,72	78,64	81,57	74,32	73,8
Ηράκλειο	71,68333	72,3	71,39	69,59	70,5
Σητεία	76,38	73,92	73,17	73,93	76,8

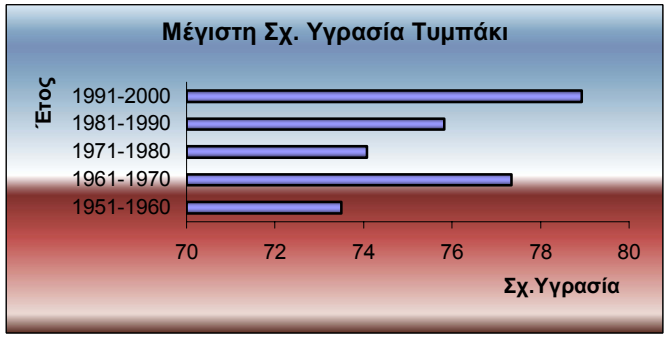
Α.3.10. Ελάχιστη σχετική υγρασία της Κρήτης ανά δεκαετία (gr/m^3)

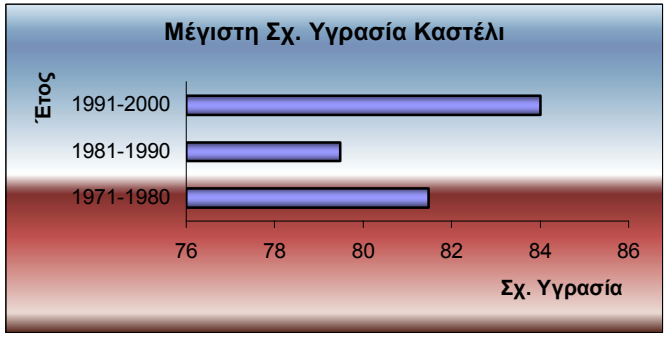
Μετεωρ. Σταθμός	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά		55,67	55,5	51,78	50,8
Ρέθυμνο	55,96667	57,47	59,94	58,88	56,5375
Τυμπάκι	49,2	51,1	50,9	47,67	49,11429
Καστέλι			51,225	46,63	48,32
Βάμος			51,16667	47,91	49,25
Ανώγια			60,46667	46,52	46,47143
Παλαιόχωρα			51,17143	48,33	57,45714
Τζερμιάδες			61,11667	58,69	57,6
Σούδα	50,4	50,21	48,73	47,94	47,07143
Ιεράπετρα	56,2	49,52	46,41	45,29	46,02857
Ηράκλειο	54,6	54,3	56,59	54,68	53,5625
Σητεία	59,1	55,53	57,8	60,2	58,7

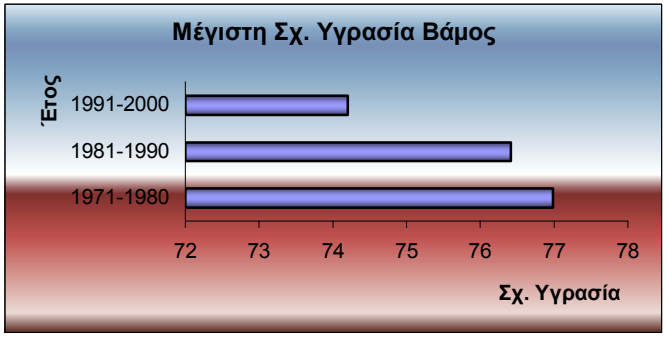
Α.3.11. Γραφικές παραστάσεις μέγιστης σχετικής υγρασίας της Κρήτης ανά σταθμό και ανά δεκαετία

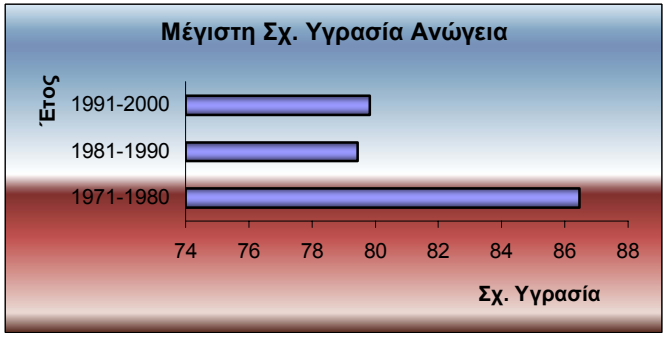


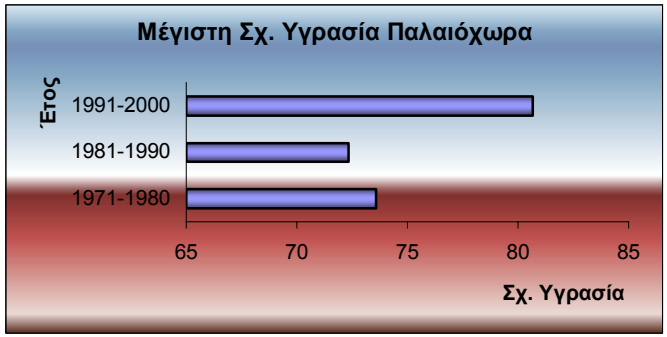


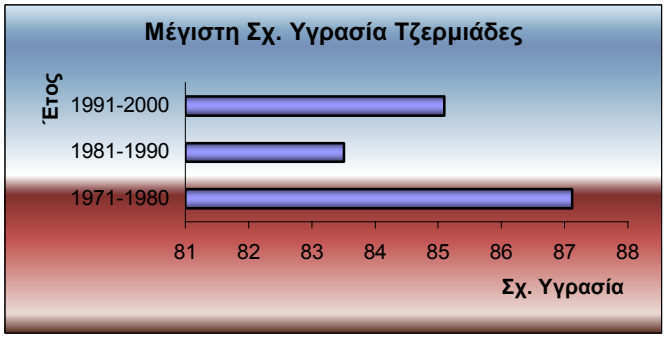


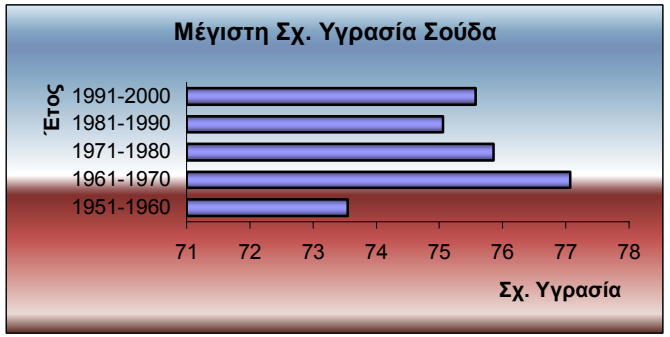


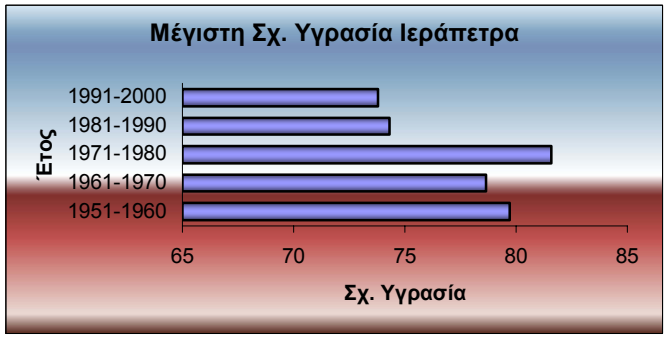


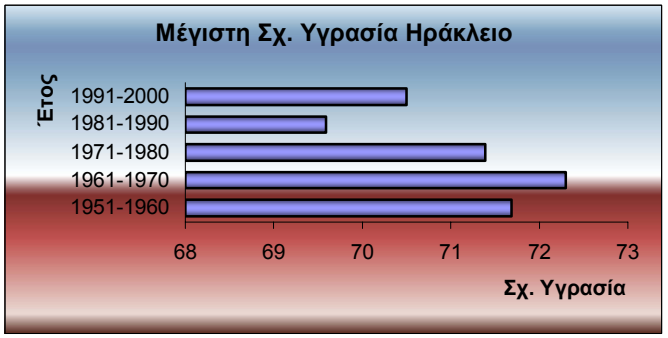


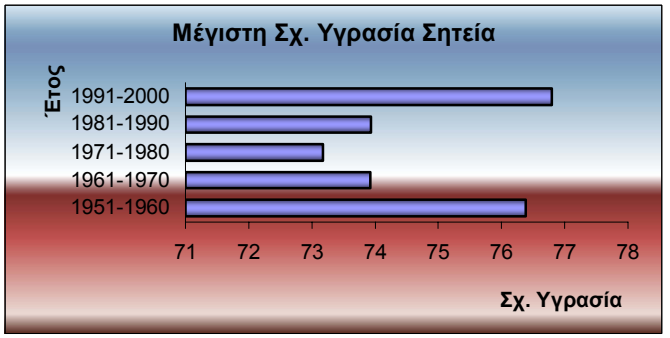

Μέγιστη Σχ. Υγρασία Παλαιόχωρα
Έτος
1991-2000
1981-1990
1971-1980
65
70
75
80
85
Σχ. Υγρασία


Μέγιστη Σχ. Υγρασία Τζερμιάδες
Έτος
1991-2000
1981-1990
1971-1980
81
82
83
84
85
86
87
88
Σχ. Υγρασία


Μέγιστη Σχ. Υγρασία Σούδα
Έτος
1991-2000
1981-1990
1971-1980
1961-1970
1951-1960
71
72
73
74
75
76
77
78
Σχ. Υγρασία


Μέγιστη Σχ. Υγρασία Ιεράπετρα
Έτος
1991-2000
1981-1990
1971-1980
1961-1970
1951-1960
65
70
75
80
85
Σχ. Υγρασία


Μέγιστη Σχ. Υγρασία Ηράκλειο
Έτος
1991-2000
1981-1990
1971-1980
1961-1970
1951-1960
68
69
70
71
72
73
Σχ. Υγρασία


Μέγιστη Σχ. Υγρασία Σητεία
Έτος
1991-2000
1981-1990
1971-1980
1961-1970
1951-1960
71
72
73
74
75
76
77
78
Σχ. Υγρασία

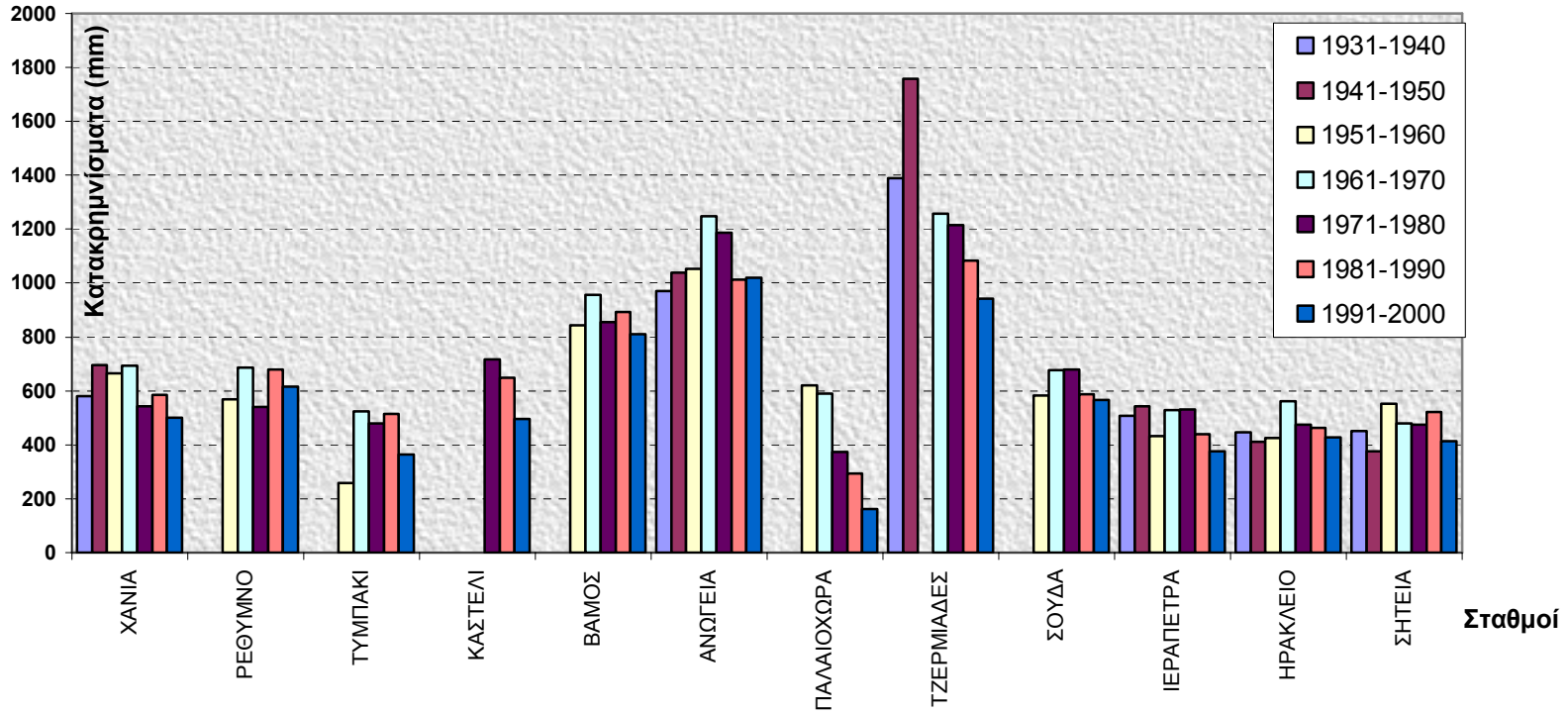
Α.3.12. Συνολικές τιμές βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία (mm)

Μετεωρ. Σταθμός	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά	581,5	696,38	664,2	694,21	542,46	584,87	501,0778
Ρέθυμνο			568,925	685,64	540,62	679,32	615,59
Τυμπάκι			258,6333	525,12	479,66	515,17	364,91
Καστέλι					717,45	648,16	496,77
Βάμος			842,94	956,5	856,01	892,9	811,1857
Ανώγια	971,44	1039,05	1052,7	1248,33	1185,98	1012,68	1019,09
Παλαιόχωρα			619,3333	588,9	373	292,68	161,18
Τζερμιάδες	1387,96	1757,225		1258,322	1215,5	1084,32	942,575
Σούδα			583,4	677	678,48	588,23	565,62
Ιεράπετρα	506,99	543,9	433,4286	528,78	530,04	439,23	375,53
Ηράκλειο	447,55	411,2833	424,87	561,28	475,83	464,09	428,87
Σητεία	451,13	375	551,75	479,56	475,1	522,47	412,93

Α.3.13. Μέγιστες τιμές βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία (mm)

Μετεωρ. Σταθμός	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000
Χανιά	178,22	236,3	208,35	188,42	160,84	191,38	162,1222
Ρέθυμνο			183,775	194,03	186,95	187,6	173,97
Τυμπάκι			100,1333	162,33	151,45	165,58	115,07
Καστέλι					247,4	202,89	146,5
Βάμος			288,14	280,83	261,77	273,55	267,2714
Ανώγια	296,66	209,625	299,19	360	353	295,48	317,18
Παλαιόχωρα			194,0556	184,2	118,65	137,88	72,66
Τζερμιάδες	356,98	650,1		407,3111	346	317,38	339,125
Σούδα			159,65	187,58	185,45	186,43	170,27
Ιεράπετρα	175,89	205,0429	175,1286	171,92	168,73	156,37	122,69
Ηράκλειο	149,81	122,6833	121,71	161,7	127,8	136,7	133,49
Σητεία	150,02	121,2	162,95	130,27	156,02	181,08	127,33

Α.3.14. Γραφική παράσταση συνολικών τιμών βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία



Α.3.15. Γραφική παράσταση μέγιστων τιμών βροχοπτώσεων της Κρήτης ανά δεκαετία

