



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"  
1<sup>η</sup> ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΣΠΟΥΔΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

*«Κατασκευή χάρτη επικινδυνότητας για  
κατολισθητικά φαινόμενα στη νήσο  
Λευκάδα»*

**Λυμπέρη Σοφία**

Γεωλόγος & Γεωπεριβαλλοντολόγος,  
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

**Επιβλέπων:** Καθηγητής Δ. Αργιαλάς

**Επιτροπή Παρακολούθησης:**

Επ. Καθηγητής Κ. Καράντζαλος

Π. Κολοκούσης – ΕΔΙΠ ΕΜΠ

**Περιβάλλον  
και  
Ανάπτυξη**

**Αθήνα, Ιανουάριος 2017**



## **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"  
1<sup>η</sup> ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΣΠΟΥΔΩΝ**

### **Μεταπτυχιακή Εργασία**

***«Κατασκευή χάρτη επικινδυνότητας για  
κατολισθητικά φαινόμενα στη νήσο  
Λευκάδα»***

**Λυμπέρη Σοφία**

Γεωλόγος & Γεωπεριβαλλοντολόγος,  
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

**Επιβλέπων:** Καθηγητής Δ. Αργιαλάς

**Επιτροπή Παρακολούθησης:**

Επ. Καθηγητής Κ. Καράντζαλος

Π. Κολοκούσης – ΕΔΙΠ ΕΜΠ

**Περιβάλλον  
και  
Ανάπτυξη**

**Αθήνα, Ιανουάριος 2017**

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	8
Περίληψη: .....	9
Abstract: .....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή .....	12
1.1 Ορισμός προβλήματος:.....	12
1.2 Σκοπός της εργασίας:.....	13
1.3 Μεθοδολογία:.....	13
1.4 Δομή εργασίας:.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : Κατολισθήσεις.....	16
2.1 Ορισμός της έννοιας της κατολισθησης:.....	16
2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων: .....	19
2.2.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει του υλικού που κατολισθαίνει: .....	19
2.2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει της ταχύτητας εκδήλωσης του φαινομένου: .....	20
2.2.3 Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει της ενεργότητάς τους: .....	21
2.2.4 Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes:.....	21
2.3 Κατολισθήσεις σε βραχώδη πρανή:.....	27
2.4 Αίτια κατολισθήσεων: .....	30
2.5 Μέθοδοι αποκατάστασης κατολισθήσεων:.....	34
2.6 Οι κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο: .....	36
2.6.1 Η θέση της Ελλάδας στο Αλπικό ορογενετικό σύστημα:.....	36
2.6.2 Κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο:.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : Εκτίμηση επικινδυνότητας και χρήση Σ.Γ.Π. ....	48
3.1 Επικινδυνότητα κατολισθήσεων – ορισμοί:.....	48
3.2 Χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).....	51
3.2.1 Ορισμός:.....	51
3.2.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και εκτίμηση επικινδυνότητας κατολισθήσεων: .....	52
3.3 Μέθοδοι για την κατασκευή χαρτών επικινδυνότητας: .....	52
3.3.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση: .....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : Περιοχή μελέτης – νήσος Λευκάδα.....	58
4.1 Εισαγωγή: .....	58
4.2 Γεωλογία της νήσου Λευκάδας: .....	61

4.2.1 Ζώνη Παξών:.....	61
4.2.2 Αδριατικοϊόνιος ή Ιόνιος ζώνη: .....	63
4.3 Νεοτεκτονική εξέλιξη της νήσου Λευκάδας: .....	65
4.4 Υδρολογικές συνθήκες νήσου Λευκάδας: .....	68
4.5 Κλιματικές συνθήκες νήσου Λευκάδας: .....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : Μεθοδολογία .....	73
5.1 Εισαγωγή:.....	73
5.2 Επεξεργασία δεδομένων: .....	73
5.2.1 Βαθμονόμηση παραγόντων: .....	74
5.2.1.1 Λιθολογία:.....	74
5.2.1.2 Τεκτονικές επαφές:.....	78
5.2.1.3 Υψόμετρο:.....	81
5.2.1.4 Κλίση:.....	83
5.2.1.5 Προσανατολισμός πρανών:.....	86
5.2.1.6 Χρήσεις γης:.....	88
5.2.2 Κατασκευή τελικού χάρτη επικινδυνότητας:.....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : Αξιολόγηση του μοντέλου - Συμπεράσματα .....	96
6.1 Αξιολόγηση μοντέλου: .....	96
6.2 Συμπεράσματα:.....	99
6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα:.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	103
Ελληνική Βιβλιογραφία: .....	103
Διπλωματικές Εργασίες:.....	105
Διεθνής Βιβλιογραφία:.....	106
Δικτυακοί Τόποι: .....	107

## Κατάλογος Εικόνων:

<b>Εικόνα 2. 1:</b> Χαρακτηριστικά μέρη μιας τυπκής κατολίσθησης. ....	18
<b>Εικόνα 2. 2:</b> Πτώση βράχων κατά Goodman και Bray, 1976. ....	22
<b>Εικόνα 2. 3:</b> Ανατροπές: α) λόγω κάμψης, β) λόγω εφελκυστικών ρωγμών, γ) ανατροπή σε εδαφικά υλικά, δ) ανατροπή βράχων κατά Κούκη και Σαμπατακάκη, 2007. ....	23
<b>Εικόνα 2. 4:</b> Διάγραμμα γεωμετρίας περιστροφικής ολίσθησης. ....	24
<b>Εικόνα 2. 5:</b> Διάγραμμα πλευρικής έκτασης. ....	25
<b>Εικόνα 2. 6:</b> Σύνθετοι τύποι μετακίνησης: (α) ολίσθηση και ροή γαιών, (β) καταπτώσεις και ροή κορμημάτων, (γ) ανατροπή και ολίσθηση κατά Κούκη και Σαμπατακάκη, 2007. ....	26
<b>Εικόνα 2. 7:</b> Σχηματική ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes, 1978. ....	27
<b>Εικόνα 2. 8:</b> α) Κυκλική μορφή αστοχίας σε βραχώδη πρανή και β) Επίπεδη ολίσθηση σε βραχώδη πρανή κατά Hoek και Bray, 1981. ....	29
<b>Εικόνα 2. 9:</b> α) Σφηνοειδής ολίσθηση σε βραχώδη πρανή και β) Αστοχία σε βραχώδη πρανή με τη μορφή της ανατροπής κατά Hoek και Bray, 1981. ....	29
<b>Εικόνα 2. 10:</b> Ανάλυση της δύναμης του βάρους στις δύο συνιστώσες, ορθή συνιστώσα και διατμητική τάση (βέλη με μαύρο χρώμα). ....	30
<b>Εικόνα 2. 11:</b> Επίδραση νερού στην ευστάθεια των πρανών κατά Hencher, 1987. ....	32
<b>Εικόνα 2. 12:</b> Χάρτης που απεικονίζει το Αλπικό ορογενετικό σύστημα στον περι-Μεσογειακό χώρο. ....	36
<b>Εικόνα 2. 13:</b> Χάρτης Ανατολικής Μεσογείου που απεικονίζει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικροπλακών στη περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού τόξου κατά Παπαζάχο, 2001. ....	37
<b>Εικόνα 2. 14:</b> Γεωτεκτονικός χάρτης Ελλάδας. ....	38
<b>Εικόνα 2. 15:</b> Πρωτότυπος τεχνικογεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:1.000.000, κατά Κούκη, 1988. ....	39
<b>Εικόνα 2. 16:</b> Βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας βασιζόμενος σε στοιχεία της ΔΕΗ για τα έτη 1950 – 1974. ....	40
<b>Εικόνα 2. 17:</b> Χάρτης συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων σε Ελλαδικό χώρο για τη περίοδο 1950-2004 κατά Κούκη και Σαμπατακάκη, 2007. ....	43
<b>Εικόνα 2. 18:</b> Χάρτης συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων σε Ελλαδικό χώρο για στοιχεία έως και το έτος 2010 κατά Σαμπατακάκη και άλλοι, 2013. ....	44
<b>Εικόνα 2. 19:</b> Κατολίσθηση στη θέση Διπόταμα κοντά στο χωριό Προυσό του νομού Ευρυτανίας που εκδηλώθηκε στις 19/2/2015. ....	47
<b>Εικόνα 2. 20:</b> Κατολίσθηση στο δυτικό τμήμα της Νήσου Λευκάδας. ....	47
<b>Εικόνα 3. 1:</b> Ταξινόμηση μεθόδων προσδιορισμού κινδύνου κατολισθήσεων κατά Aleotti et al, 1999. ....	53
<b>Εικόνα 4. 1:</b> Γεωγραφική θέση νήσου Λευκάδας. ....	59
<b>Εικόνα 4. 2:</b> Δυτικές ακτές νήσου Λευκάδας. ....	60
<b>Εικόνα 4. 3:</b> Σπήλαιο Αγίου Νικολάου στο Δεσίμι Λευκάδας. ....	60
<b>Εικόνα 4. 4:</b> Γεωλογικός χάρτης νήσου Λευκάδας, κλίμακας 1:50.000. ....	62
<b>Εικόνα 4. 5:</b> Γεωλογικός – Νεοτεκτονικός χάρτης νήσου Λευκάδας κατά Λέκκα Ε., Δανάμο Γ., Λόζιο Σ. ....	66
<b>Εικόνα 4. 6:</b> Χάρτης που απεικονίζει τις νεοτεκτονικές ενότητες στη νήσο Λευκάδα. ....	67
<b>Εικόνα 4. 7:</b> Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας για τον Ελλαδικό χώρο. ....	68

<b>Εικόνα 4. 8:</b> Χάρτης που απεικονίζει τις ετήσιες κατακρημνίσεις στην Ελλάδα κατά Σαμπατακάκη. .....	70
<b>Εικόνα 5. 1:</b> Ψηφιοποιημένος γεωλογικός-τεκτονικός χάρτης νήσου Λευκάδας (vector αρχείο). 75	
<b>Εικόνα 5. 2:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των λιθολογιών της νήσου. ....	77
<b>Εικόνα 5. 3:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει λιθολογίας.....	78
<b>Εικόνα 5. 4:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των αποστάσεων από τεκτονικές επαφές της νήσου Λευκάδας. ....	80
<b>Εικόνα 5. 5:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει απόστασης από τεκτονικές επαφές. .....	80
<b>Εικόνα 5. 6:</b> Υψομετρικός χάρτης νήσου Λευκάδας. ....	81
<b>Εικόνα 5. 7:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης του υψομέτρου στη νήσο Λευκάδα. ....	82
<b>Εικόνα 5. 8:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει υψομέτρου.....	83
<b>Εικόνα 5. 9:</b> Χάρτης κλίσεων νήσου Λευκάδας. ....	84
<b>Εικόνα 5. 10:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των κλίσεων στη νήσο Λευκάδα.....	85
<b>Εικόνα 5. 11:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει κλίσεων. ....	85
<b>Εικόνα 5. 12:</b> Χάρτης προσανατολισμού πρανών για τη νήσο Λευκάδα. ....	86
<b>Εικόνα 5. 13:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης του προσανατολισμού πρανών στη νήσο Λευκάδα. ....	87
<b>Εικόνα 5. 14:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας, βάσει προσανατολισμού των πρανών. 88	
<b>Εικόνα 5. 15:</b> Ορθοφωτοχάρτης νήσου Λευκάδας σε έγχρωμο σύνθετο 5-3-2. ....	89
<b>Εικόνα 5. 16:</b> Ταξινόμηση χρήσεων γης για τη νήσο Λευκάδα, με χρήση της εντολής Minimum Distance της εφαρμογής Semi-automatic Classification.....	90
<b>Εικόνα 5. 17:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των χρήσεων γης στη νήσο Λευκάδα. ....	91
<b>Εικόνα 5. 18:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας, βάσει χρήσεων γης.....	92
<b>Εικόνα 5. 19:</b> Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις στη νήσο Λευκάδα. ....	94
<b>Εικόνα 5. 20:</b> Τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθητικά φαινόμενα στη νήσο Λευκάδα. .....	95
<b>Εικόνα 6. 1:</b> Τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στη νήσο Λευκάδα, στον οποίο είναι σημειωμένες οι θέσεις παλαιότερων κατολισθήσεων. ....	98
<b>Εικόνα 6. 2:</b> Κατολισθηση στο δυτικό τμήμα της νήσου Λευκάδας. ....	98
<b>Εικόνα 6. 3:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας χωρίς να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας «κλίση».....	100
<b>Εικόνα 6. 4:</b> Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας χωρίς να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας «απόσταση από τεκτονικές επαφές».....	101

## Κατάλογος Πινάκων:

Πίνακας 2. 1: Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει ταχύτητας μετακίνησης. ....	20
Πίνακας 2. 2: Ταξινόμηση μετακίνησης πρηνών κατά Varnes, 1978. ....	22
Πίνακας 2. 3: Γεωμορφολογικοί παράγοντες που οδηγούν σε φαινόμενα κατολίσθησης κατά WP/WLI, 1994 .....	33
Πίνακας 2. 4: Ανθρωπογενείς παράγοντες που οδηγούν σε κατολισθήσεις κατά WP/WLI, 1994 .	34
Πίνακας 2. 5: Πίνακας που απεικονίζει τη συχνότητα εμφάνισης (%) κατολισθήσεων στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς κατά Σαμπατακάκη.....	44
Πίνακας 2. 6: Πίνακας που απεικονίζει τη συχνότητα εμφάνισης (%) κατολισθήσεων στις διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας κατά Σαμπατακάκη.....	45
Πίνακας 5. 1: Βαθμονόμηση λιθολογίας. ....	77
Πίνακας 5. 2: Βαθμονόμηση απόστασης από τεκτονικές επαφές. ....	79
Πίνακας 5. 3: Βαθμονόμηση υψομέτρου. ....	82
Πίνακας 5. 4: Βαθμονόμηση κλίσεων.....	84
Πίνακας 5. 5: Βαθμονόμηση προσανατολισμού πρηνών. ....	87
Πίνακας 5. 6: Βαθμονόμηση χρήσεων γης. ....	91
Πίνακας 5. 7: Βαθμονόμηση παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις.....	94

## Κατάλογος Διαγραμμάτων:

Διάγραμμα 4. 1: Συνολικές κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για τα έτη 2010 – 2015. ....	70
Διάγραμμα 4. 2: Μηνιαίες κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για τα έτη 2010 – 2015. ....	71
Διάγραμμα 4. 3: Μηνιαίες κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για το έτος 2015. ....	72

## Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κύριο Αργιαλά Δ., ο οποίος δέχτηκε να γίνει ο επιβλέπων της εργασίας μου και όπου με τις παρατηρήσεις και τους εύστοχους προβληματισμούς που μου έθετε κάθε φορά με βοήθησε να οδηγήσω τη σκέψη μου σε νέους δρόμους.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κολοκούση Π. για τη βοήθειά του και το χρόνο που αφιέρωσε ώστε να με βοηθήσει να κατανοήσω καλύτερα τη λειτουργία υπολογιστικών προγραμμάτων και μεθόδων που χρησιμοποίησα για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Ευχαριστίες επίσης οφείλω και στον κύριο Βαμβουκάκη Κ., ο οποίος με βοήθησε στην προσέγγιση του θέματος της εργασίας μου. Ήταν παρών σε κάθε ερώτηση και απορία που είχα καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής της μελέτης μου, πρόθυμος να με ακούσει και να με συμβουλευτεί.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Γαλανού Ε., η οποία δέχτηκε να με ακούσει και να με συμβουλευτεί στο τελικό κομμάτι της εργασίας μου. Οι συμβουλές της ήταν πολύτιμες και καθοριστικές για το πέρας της εργασίας μου.

Με εκτίμηση,  
Λυμπέρη Σοφία  
Αθήνα, 2017



## Περίληψη:

Τα κατολισθητικά φαινόμενα αφορούν αντιδράσεις των γεωλογικών σχηματισμών και προκαλούνται ως συνέπεια της ελλειπούς ευστάθειας των πρανών έναντι στατικών ή σεισμικών φορτίων, τα οποία μέσω των κατολισθητικών φαινομένων οδηγούνται σε νέα κατάσταση ισορροπίας. Αποτελούν συνεπώς φυσικές διεργασίες μετασχηματισμού του γήινου αναγλύφου. Τα τελευταία χρόνια όμως, οι επεμβάσεις του ανθρώπου στο φυσικό του περιβάλλον για να το μετασχηματίσει προς όφελός του (συγκοινωνιακά έργα, αστική δόμηση) επιδρούν και αυτές με τη σειρά τους στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων.

Σε κάθε περίπτωση, τα αποτελέσματα των κατολισθήσεων μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στον ανθρώπινο ιστό και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η γνώση των περιοχών της γης που είναι επιρρεπείς σε τέτοιου είδους φαινόμενα, προκειμένου να μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

Η εξέλιξη των φαινομένων αυτών δεν επηρεάζεται από μια μόνο μεταβλητή. Αντίθετα οι παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο είναι πάρα πολλοί (λιθολογία, τεκτονισμός, υψόμετρο, κλίση, υδρογεωλογία, κα.) με συνέπεια ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας μιας περιοχής με απλές μεθόδους να μην είναι εφικτός. Στη λύση αυτού του προβλήματος συμβάλλει η ανάπτυξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, μέσω των οποίων ο κάθε ερευνητής μπορεί να αναπτύξει μοντέλα για μια περιοχή ενδιαφέροντος και να οδηγηθεί στην κατασκευή χαρτών επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψιν του όλους τους διαφορετικούς παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο.

Στη παρούσα εργασία, σκοπός είναι η κατασκευή χάρτη επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων. Ως περιοχή μελέτης έχει ορισθεί η νήσος Λευκάδα και εφαρμόστηκε μοντέλο που στηρίζεται στην υπέρθεση παραμετρικών χαρτών βάρους, Ως παράμετροι στο μοντέλο επιλέχθηκαν οι εξής παράγοντες: λιθολογία της περιοχής, ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων και απόσταση από αυτά, υψόμετρο, κλίση, φορά κλίσης και εδαφοκάλυψη.

Η εφαρμογή του μοντέλου έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, εντόπισε περιοχές που κρίνονται επικίνδυνες προς κατολισθήση και απέκλεισε άλλες λιγότερο επικίνδυνες. Επιπλέον, για να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων, έγινε σύγκριση με διαθέσιμα δεδομένα από ήδη εκδηλωμένες κατολισθήσεις στη νήσο, από την οποία προέκυψε ότι το 76,3% των εκδηλωμένων κατολισθήσεων έγινε σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας.

**Λέξεις κλειδιά:** κατολισθήσεις, χάρτης επικινδυνότητας, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Λευκάδα

## Abstract:

Landslides involve reactions of geologic formations and are caused as a consequence of the deficient stability of the slopes versus static or seismic loads, which through landslide led to a new equilibrium. They are therefore natural earthly terrain transformation processes. In recent years, however, the human intervention in the natural environment, in order to transform it to his advantage (transportation projects, urban construction) affects also to the emergence of landslides.

In any case, the effects of landslides may have adverse effects on human infrastructure and for this reason it is necessary to know the areas of land that is prone to such phenomena, so that we can take the necessary protective measures.

The evolution of these phenomena is not affected by a single variable. Unlike the factors that affect the phenomenon are too many (lithology, tectonic factor, altitude, slope, hydrogeology, etc.) and for this reason to determine the risk of a region with simple methods is not feasible. In the solution of this problem contributes the development of GIS, through which any researcher can develop models for a region of interest and construction hazard maps against landslides, while taking account of all the different factors that affect the phenomenon.

In this thesis, the island of Lefkada has been designated as the study area and landslide prone areas were determined based on the superposition of weighted parametric maps. The aim was the construction of a landslide susceptibility map, considering as parameters the lithology of the area, the existence of active faults, the elevation, the slope, the aspect and the soil cover.

The model that was used, gave satisfactory results identified areas deemed dangerous to landslide and ruled out other less dangerous. In addition, to check on the accuracy of the landslide susceptibility map at Lefkada island, the final results were compared with data from existing landslides. The comparison showed that 76.3% of the landslides was manifested in high risk areas.

**Key words:** landslides, susceptibility map, GIS, Lefkada.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή

### 1.1 Ορισμός προβλήματος:

Η εποχή, η οποία διανύουμε, μπορεί να χαρακτηριστεί ως εποχή σπουδαίων τεχνολογικών επιτευγμάτων, όπου μέσω της επιστήμης ο άνθρωπος έχει κατορθώσει να δώσει λύση σε πολλά προβλήματα. Με τις γνώσεις που υπάρχουν, οι άνθρωποι μπορούν να επεμβαίνουν και να μετασχηματίζουν το φυσικό περιβάλλον, επιδρώντας ακόμα και σε δύσβατες περιοχές (ορεινές περιοχές και περιοχές με έντονο ανάγλυφο), κατασκευάζοντας οικισμούς, συγκοινωνιακά ή άλλα τεχνικά έργα.

Στη χώρα μας, το έντονο ανάγλυφο, η συνεχής τεκτονική δραστηριότητα που παρατηρείται μέσω της εκδήλωσης σεισμών αλλά και το είδος των πετρωμάτων που συναντώνται, αποτελούν παράγοντες εκδήλωσης συχνών κατολισθητικών φαινομένων. Οι κατολισθήσεις αφορούν φυσικές διεργασίες εξέλιξης του γήινου αναγλύφου, οι οποίες συντελούνται προκειμένου να επέλθει νέα ισορροπία στη γήινη επιφάνεια. Όταν αυτές εκδηλώνονται σε απομακρυσμένες περιοχές είναι πιθανό να μη γίνουν αντιληπτές από τον άνθρωπο. Ωστόσο, εξαιτίας της ολοένα και μεγαλύτερης εκμετάλλευσης της γης από τον άνθρωπο, τα τελευταία χρόνια εντοπίζονται κατολισθητικά φαινόμενα σε κατοικημένες περιοχές, τα αποτελέσματα των οποίων μπορεί να είναι επιβλαβή έως και καταστρεπτικά και μπορεί να σχετίζονται με καταστροφή κτισμάτων ή έργων αλλά μπορεί να αφορούν ακόμα και τραυματισμούς ή απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Για να μετριασθούν συνεπώς οι επιπτώσεις των κατολισθητικών φαινομένων, κρίνεται αναγκαία η σωστή μελέτη της γήινης επιφάνειας και η ανάπτυξη μοντέλων που θα συμβάλλουν στον εντοπισμό περιοχών επιρρεπών σε κατολισθήσεις, προκειμένου να μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

Προς αυτή τη κατεύθυνση, σημαντική είναι η συμβολή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, μέσω των οποίων είναι δυνατή η απεικόνιση της γήινης επιφάνειας και η ανάπτυξη

διάφορων μοντέλων, το τελικό αποτέλεσμα των οποίων μπορεί να απεικονισθεί υπό τη μορφή χάρτη και να δώσει πληροφορίες για την επικινδυνότητα μιας περιοχής έναντι κατολισθήσεων.

## 1.2 Σκοπός της εργασίας:

Στην παρούσα εργασία, ως περιοχή μελέτης έχει ορισθεί η νήσος Λευκάδα, η οποία χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- εντοπίζεται στο χώρο του Ιονίου πελάγους, χώρος ιδιαίτερος από τεκτονική άποψη αφού εκεί βρίσκεται το δυτικό τμήμα του εξωτερικού νησιωτικού τόξου των Ελληνίδων καθώς και το όριο υποβύθισης του φλοιού της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από τη λεκάνη του Αιγαίου. Αυτό συνεπάγεται ότι η σεισμική δραστηριότητα στη νήσο είναι έντονη (παραδείγματα σεισμών 2003 και 2015) και μπορεί να οδηγήσει σε κατολισθητικά φαινόμενα.
- στη νήσο παρατηρείται έντονη τουριστική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, η οποία συνεπάγεται αυξημένες ανάγκες στέγασης, ύπαρξη ικανοποιητικού οδικού δικτύου αλλά και ύπαρξη ασφαλών παραλιών για τους τουρίστες.

Οι παραπάνω παράγοντες αποτέλεσαν αφορμή για περαιτέρω μελέτη της περιοχής με τελικό σκοπό τη ζωνοποίηση της νήσου μέσω της κατασκευής χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων. Η οπτικοποίηση του αποτελέσματος της εργασίας μέσω του τελικού χάρτη αποσκοπεί στη γνώση των επικίνδυνων, για κατολισθήσεις, περιοχών προκειμένου να μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

## 1.3 Μεθοδολογία:

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε εντάσσεται στις ποιοτικές μεθόδους προσδιορισμού της επικινδυνότητας μέσω της υπέρθεσης χαρτών καθένας από τους οποίους απεικονίζει τους παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση των κατολισθήσεων. Σε κάθε χάρτη αποδίδεται ένας

συντελεστής βαρύτητας και στη συνέχεια οι διαφορετικοί αυτοί χάρτες συνδυάζονται ώστε να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα.

Ως παράγοντες, που επηρεάζουν την εκδήλωση κατολισθήσεων, ελήφθησαν οι εξής:

- 1. Λιθολογικοί σχηματισμοί περιοχής:** ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών από το γεωλογικό χάρτη (φύλλο Λευκάς) του Ι.Γ.Μ.Ε, κλίμακας 1:50.000.
- 2. Επίδραση ρηγμάτων:** ψηφιοποίηση των τεκτονικών επαφών (ρήγματα, επωθήσεις, εφιππεύσεις) από το γεωλογικό χάρτη (φύλλο Λευκάς) του Ι.Γ.Μ.Ε, κλίμακας 1:50.000 και τον νεοτεκτονικό χάρτη κατά Λέκκα, Δανάμο, Λόζιο.
- 3. Υψόμετρο:** προέκυψε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.
- 4. Κλίση:** προέκυψε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.
- 5. Προσανατολισμός πρανών:** προέκυψε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.
- 6. Χρήσεις γης:** πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση ορθοφωτοχάρτη της νήσου.

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος **QGIS**. Για την επαλήθευση του αποτελέσματος χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κατολισθήσεων που ελήφθησαν από τη διαδικτυακή πλατφόρμα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, GEOArch.

#### 1.4 Δομή εργασίας:

Η παρούσα εργασία δομήθηκε σε έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αφορά την Εισαγωγή στο θέμα της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται βασικοί ορισμοί που αφορούν τις κατολισθήσεις, μέθοδοι ταξινόμησης και αποκατάστασης ενώ παρουσιάζεται μια συνολική εικόνα της χώρας και πώς επηρεάζεται από τις κατολισθήσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται ορισμοί που αφορούν την έννοια της επικινδυνότητας και παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφοροι μέθοδοι εκτίμησής της. Επιπλέον εντάσσεται η έννοια των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και πώς η χρήση τους βοηθάει στην εκτίμηση της επικινδυνότητας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ορίζεται η περιοχή μελέτης και παρουσιάζονται οι γεωλογικές, νεοτεκτονικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο προέκυψε ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων για τη νήσο Λευκάδα.

Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση του αποτελέσματος που προέκυψε από τη μελέτη, διατυπώθηκαν συμπεράσματα αλλά και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: Κατολισθήσεις

### 2.1 Ορισμός της έννοιας της κατολίσθησης:

Οι κατολισθήσεις (Landslides) ή αλλιώς Μετακινήσεις Μαζών (Mass Movement), αφορούν αντιδράσεις των γεωλογικών σχηματισμών και προκαλούνται ως συνέπεια της ελλειπούς ευστάθειας των πρανών έναντι στατικών ή σεισμικών φορτίων, τα οποία μέσω των κατολισθητικών φαινομένων οδηγούνται σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας. Τα κατολισθητικά φαινόμενα σχετίζονται με μετακινήσεις πετρωμάτων ή εδαφών, τα οποία εκδηλώνονται σε κεκλιμένες επιφάνειες υπό την επίδραση της βαρύτητας, όταν αυτή υπερβαίνει τη δύναμη της τριβής που αναπτύσσει το υλικό με το πρανές. Εκτός από τις φυσικές διεργασίες που οδηγούν σε κατολισθήσεις, αυτές μπορεί να προκληθούν και από ανθρώπινη παρέμβαση, όπως η είναι κατασκευή πρανών μεγάλων κλίσεων, εκσκαφές στη βάση κλιτύος, κ.α.

Για το φαινόμενο των κατολισθήσεων έχουν προταθεί αρκετοί ορισμοί, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το 1950, ο Terzaghi έδωσε τον πρώτο ορισμό για τις κατολισθήσεις, σύμφωνα με τον οποίο *«κατολίσθηση είναι μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανού, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω»*.
- Οι Zaruba & Mencl το 1969 ορίζουν ως κατολίσθηση μια *«γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση τμήματος πρανού, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια»*.
- Το 1978, στον ορισμό που δίνει ο Varnes, χρησιμοποιεί τον όρο «μετακίνηση μαζών», ο οποίος περιλαμβάνει κάθε μετακίνηση τμήματος πρανού που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό.
- Σύμφωνα με τον Κουμαντάκη (1984) *«οι οποιοσδήποτε μετακινήσεις εδαφικών μαζών και πετρωμάτων ασχέτως μορφής, εκτάσεως και γενεσιουργών αιτιών που λαμβάνουν χώρα σε φυσικές επιφάνειες με απότομες κλίσεις και σε πρανή ορυγμάτων, υπό την επίδραση της βαρύτητας, άλλοτε απότομα με καταστροφικές συνέπειες και άλλοτε με μικρή ταχύτητα, φέρονται με τον γενικό όρο κατολισθήσεις»*.



- Σύμφωνα με τον Cruden (1991), ως κατολίσθηση ορίζεται η «προς τα κάτω και έξω κίνηση μιας μάζας βράχου, κορημάτων ή γαιών σε ένα πρανές». Ο ορισμός αυτός έχει υιοθετηθεί από την Ομάδα Εργασίας για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων (WP/WLI1991).
- Τέλος, σύμφωνα με Μαρίνο (1991), κατολίσθηση είναι «κάθε μικρή ή μεγάλη αλλαγή της επιφάνειας μιας κλιτύος, που χαρακτηρίζεται από μετακίνηση υλικού, με ρήξη ή όχι της συνέχειάς της, αργή ή απότομη, η οποία προέρχεται από δυνάμεις βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνικά αίτια».

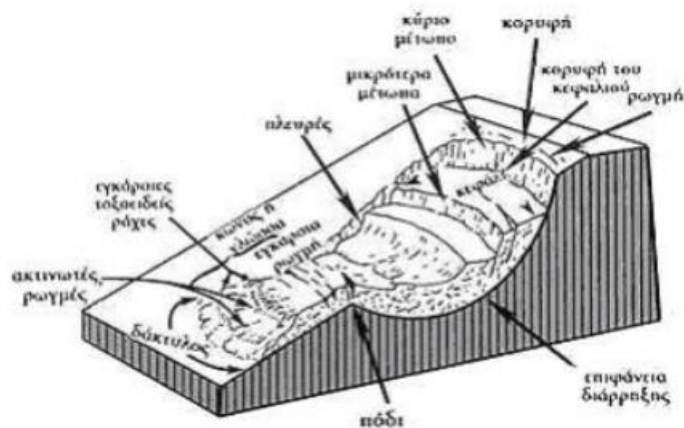
Κατά την εμφάνιση του φαινομένου παρατηρείται υποβιβασμός του κέντρου βάρους της ασταθούς μάζας, κάτι που υποδηλώνει τη σημασία που έχει τόσο το βάρος όσο και η γεωμετρία της ασταθούς μάζας στην εκδήλωση αλλά και στην αντιμετώπιση μιας κατολίσθησης. Η κίνηση που παρατηρείται σε μια κατολίσθηση πραγματοποιείται σε δύο συνιστώσες, την κατακόρυφη και την οριζόντια και είναι αυτό που τη διαχωρίζει από το φαινόμενο των καθιζήσεων, στις οποίες η κίνηση γίνεται μόνο στον κατακόρυφο άξονα. Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης αποτελεί το τελευταίο στάδιο, με απότομη συνήθως εξέλιξη, μιας διαδικασίας που έχει ξεκινήσει αρκετό καιρό πριν και εκδηλώνεται με συνεχή ή ασυνεχή τρόπο στην επιφάνεια (εσωτερικές ή εξωτερικές θραύσεις και παραμορφώσεις).

Τα μέρη που διακρίνονται σε μια τυπική κατολίσθηση είναι: (Εικόνα 2. 1)

- **Στέψη:** αφορά το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους που είναι το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- **Κυρίως μέτωπο:** είναι η απότομη επιφάνεια που δημιουργείται στο αδιατάρακτο έδαφος.
- **Κεφαλή:** αποτελείται από τα ανώτερα τμήματα των υλικών που κατολίσθησαν και βρίσκεται στο ανώτερο τμήμα της κατολίσθησης.
- **Κορυφή:** αφορά το ψηλότερο σημείο επαφής της μάζας που κατολισθαίνει με τη κύρια κατακρήμνιση.
- **Δάκτυλος:** αποτελεί το τμήμα των υλικών που κατολίσθησαν στη μεγαλύτερη απόσταση από το κύριο μέτωπο της κατολίσθησης.
- **Επιφάνεια ολίσθησης:** είναι η επιφάνεια στην οποία εκδηλώνεται η κατολίσθηση και που μπορεί να είναι επίπεδη, κογχώδης, ημισελινοειδής.
- **Επιφάνεια διάρρηξης:** είναι η επιφάνεια αποχωρισμού μεταξύ των υλικών που κατολισθαίνουν και του σταθερού υποβάθρου.

- **Σώμα της κατολίσθησης:** αποτελεί τη μάζα των υλικών που έχουν κατολισθήσει.
- **Κώνος ή σωρός:** αφορά το κάτω μέρος της κατολίσθησης και έχει προέλθει από τη συσσώρευση των υλικών τα οποία μετά τη μετακίνησή τους, συγκεντρώθηκαν στο σημείο όπου η κινητική τους ενέργεια μηδενίστηκε.
- **Πόδας:** αναφέρεται στο χαμηλότερο σημείο του κώνου.

Σε μια κατολίσθηση είναι δυνατό να ανιχνευτούν και διάφορα είδη ρωγμών, όπως είναι οι ακτινωτές ρωγμές που εμφανίζονται στον πόδα της κατολίσθησης ή οι εγκάρσιες τοξοειδείς ρωγμές που εντοπίζονται στο άνω μέρος της μάζας που μετακινήθηκε. Ανάντι της κεφαλής κάνουν την εμφάνισή τους ρωγμές εφελκυσμού παράλληλες με τη διεύθυνση του πρηνούς λόγω των τάσεων εφελκυσμού που προκαλεί η αποσυμπίεση και η απώλεια στήριξης. Σε επόμενη φάση, οι ρωγμές αυτές μπορεί να αντιπροσωπεύουν νέες επιφάνειες ολίσθησης.



**Εικόνα 2. 1:** Χαρακτηριστικά μέρη μιας τυπικής κατολίσθησης.

(Πηγή: Ρίσα Ι., 2012)

Για να χαρακτηριστεί η κίνηση ενός εδαφικού υλικού ως κατολίσθηση, θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις, οι οποίες σύμφωνα με τον Coates (1977) αφορούν:

- Η δύναμη που εμφανίζεται με πρωτεύοντα ρόλο να είναι η βαρύτητα.
- Το μετακινούμενο υλικό να είναι τμήμα λόφου ή όρους.
- Το μετακινούμενο υλικό να αποτελεί μέρος του μανδύα ή του μητρικού πετρώματος.
- Η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης να μην ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα.
- Η κίνηση του υλικού να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με ελεύθερη επιφάνεια.

- Η ταχύτητα της κίνησης να είναι μεγάλη.
- Η κίνηση να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή.

## 2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων:

Για να ταξινομηθεί κάθε φορά μια κατολίσθηση, λαμβάνονται υπόψη διάφορα κριτήρια, όπως είναι:

- το είδος του υλικού που κατολισθαίνει,
- η ταχύτητα εκδήλωσης,
- η ενεργότητα,
- ο τύπος της μετακίνησης,
- η ηλικία,
- τα αίτια εκδήλωσης,
- ο μηχανισμός ολίσθησης,
- η τοποθεσία εκδήλωσης του φαινομένου (ξηρά, θάλασσα).

Για να κατηγοριοποιηθεί λοιπόν μια κατολίσθηση, έχουν προταθεί διάφορα συστήματα ταξινόμησης, καθένα από τα οποία στηρίζεται σε διαφορετικά κριτήρια και χρησιμοποιείται σε διαφορετικές περιπτώσεις. Ορισμένα μόνο από τα συστήματα ταξινόμησης που υπάρχουν, έχουν προταθεί από τους: Sharpe (1939), Varnes (1958 και 1978), Zaruba & Mencl (1969, 1976), Dikau et al. (1996).

### 2.2.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει του υλικού που κατολισθαίνει:

Σύμφωνα με τους Shroeder (1971) και Varnes (1978), το υλικό μιας κατολίσθησης μπορεί να είναι βραχομάδα ή έδαφος.

- **Βραχομάζα (rock):** αφορά σύστημα πετρογραφικών σωμάτων που παρουσιάζεται στη φύση είτε με τη μορφή πετρώματος με χαρακτηριστικές επιφάνειες αποχωρισμού είτε με μορφή σειράς διαφορετικών πετρωμάτων.

- **Έδαφος (soil):** αφορά σύνολο ορυκτών ή πετρωμάτων που έχουν μεταφερθεί ή σχηματίστηκαν από την επιτόπου αποσάθρωση των πετρωμάτων. Ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύνθεση, τα εδάφη διακρίνονται σε: (α) χώμα, όπου το υλικό που το αποτελεί έχει διάμετρο κόκκων μικρότερη των 2mm και (β) κορήματα, όπου περιέχουν πιο αδρομερές υλικό με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη των 2mm.

### 2.2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει της ταχύτητας εκδήλωσης του φαινομένου:

Η ταχύτητα της εξέλιξης της μετακίνησης μιας μάζας, σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις των κατολισθήσεων στον άνθρωπο. Σύμφωνα με τον Varnes (1978) μια κατολίσθηση χαρακτηρίζεται εξαιρετικά γρήγορη όταν η ταχύτητα της μετακίνησης είναι μεγαλύτερη των 5m/sec ενώ αν η ταχύτητα της μετακίνησης είναι μικρότερη των 16mm/year τότε έχουμε μια κατολίσθηση εξαιρετικά αργή (Πίνακας 2. 1).

Τις αργές μετακινήσεις τις προσδιορίζουμε συνήθως ενόργανα και δεν προκαλούν προβλήματα στις κατασκευές. Αντίθετα όσο μεγαλώνει η ταχύτητα της μετακίνησης, τόσο πιο δύσκολο είναι να παρθούν μέτρα προστασίας ενώ σε πολύ γρήγορες ταχύτητες εντοπίζονται καταστροφές σε κτίρια, έργα οδοποιΐας και δίκτυα υποδομών καθώς επίσης μπορεί να προκληθούν και απώλειες ανθρώπινης ζωής.

Χαρακτηρισμός ταχύτητας	Τυπική ταχύτητα
Εξαιρετικά αργή	<16 mm/year
Πολύ αργή	>16 mm/year
Αργή	>1.6 m/year
Μέτρια	>13 m/month
Γρήγορη	>1.8 m/hour
Πολύ γρήγορη	>3 m/min
Εξαιρετικά γρήγορη	>5 m/sec

**Πίνακας 2. 1:** Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει ταχύτητας μετακίνησης.

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

### 2.2.3 Ταξινόμηση κατολισθήσεων βάσει της ενεργότητάς τους:

Με βάση την ενεργότητα μιας κατολίσθησης, δηλαδή το χρονικό στάδιο εξέλιξής της, αυτή μπορεί να διακριθεί σε:

- a. Ενεργή**, όπου παρατηρούνται πρόσφατες μετακινήσεις και είναι εύκολο να διακριθούν μορφολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν έχουν αλλοιωθεί ακόμα από τις αποσαθρωτικές και διαβρωτικές διεργασίες. Στην κατηγορία αυτή συναντάμε:
  - αρχικά ενεργές κατολισθήσεις, οι οποίες εκδηλώνονται για πρώτη φορά.
  - επανεργοποιημένες, οι οποίες ενεργοποιούνται ξανά μετά από κάποιο διάστημα που είχαν σταθεροποιηθεί, συνήθως με μετακίνηση σε προϋπάρχουσες επιφάνειες ολίσθησης.
  - παροδικά ανενεργές κατολισθήσεις, οι οποίες έδρασαν κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο αλλά τη παρούσα περίοδο είναι ανενεργές.
- b. Ανενεργή**, η οποία παραμένει σταθερή για περισσότερο από ένα έτος. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται:
  - κατολισθήσεις που βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση, όταν τα αρχικά αίτια εμφάνισής τους παραμένουν ενεργά.
  - σταθεροποιημένες κατολισθήσεις, όταν έχουν παρθεί μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης.
  - μη ενεργοποιήσιμες κατολισθήσεις, όταν τα αίτια που προκάλεσαν την εκδήλωσή τους, έχουν εκλείψει.
- c. Παλαιά ή απολιθωμένη**, η οποία δεν έχει ενεργοποιηθεί για πολλά χρόνια.

### 2.2.4 Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes:

Η πιο διαδεδομένη ταξινόμηση κατολισθήσεων είναι αυτή του Varnes (1978), η οποία στηρίζεται στον τύπο του υλικού που κατολισθαίνει (βράχος ή έδαφος) και στο είδος της μετακίνησης (Πίνακας 2. 2).

Τύπος μετακίνησης		Τύπος υλικού (πριν τη μετακίνηση)		
		Υπόβαθρο	Έδαφος	
			Επικρατούντα αδρομερή υλικά	Επικρατούντα λεπτόκοκκα υλικά
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων	Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Ολισθήση τεμάχους Ολισθήση βράχων	Ολισθήση τεμάχους Ολισθήση κορημάτων Ολισθήση κορημάτων	Ολισθήση τεμάχους Ολισθήση γαιών Ολισθήση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις		Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές		Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
		(Βαθύς ερπυσμός)	(Ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετες		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακίνησης		

**Πίνακας 2. 2:** Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes, 1978.

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

Διακρίνουμε λοιπόν, τους εξής τύπους μετακίνησης:

- 1. Πτώσεις (Falls):** αφορούν πετρώματα, ημίβραχους και πολύ συνεκτικά εδάφη. Παρατηρείται απόσπαση μάζας από απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρανές και η πτώση γίνεται με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρανούς. Η ταχύτητα της μετακίνησης είναι αρκετά γρήγορη (Εικόνα 2. 2).

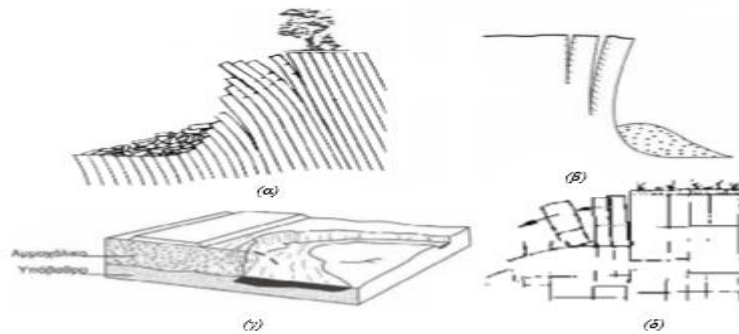


**Εικόνα 2. 2:** Πτώση βράχων κατά Goodman και Bray, 1976.

(Πηγή: Μπίσα Σ., 2011)

- 2. Ανατροπές (Topplings):** στη περίπτωση αυτή, τα τεμάχια κινούνται περιστροφικά προς τα εμπρός, με τον άξονα περιστροφής να βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους του τεμάχους. Συναντάται κυρίως σε βραχώδη πρανή και η κίνηση προκαλείται από τη βαρύτητα καθώς και από

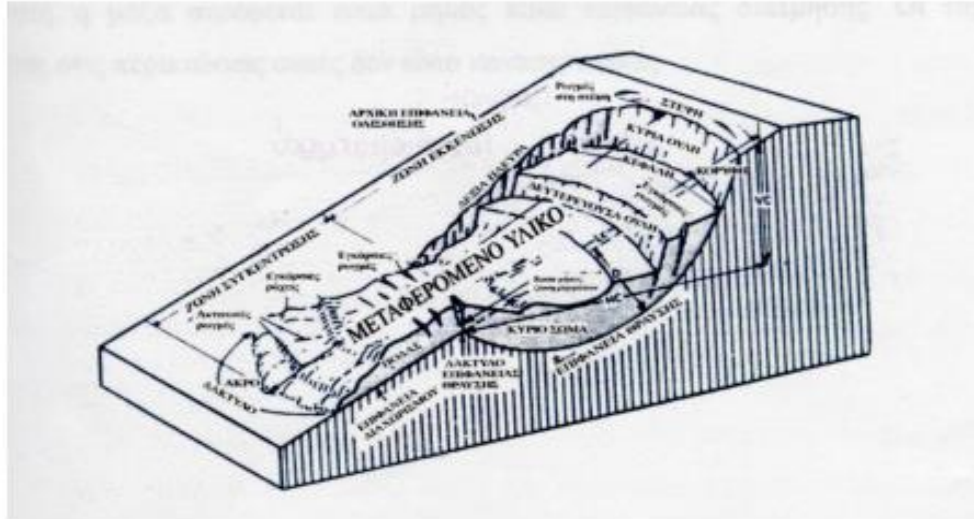
δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια ή από τα ρευστά μέσα στις ρωγμές (Εικόνα 2.3).



**Εικόνα 2. 3:** Ανατροπές: α) λόγω κάμψης, β) λόγω εφελκυστικών ρωγμών, γ) ανατροπή σε εδαφικά υλικά, δ) ανατροπή βράχων κατά Κούκη και Σαμπατακάκη, 2007.

(Πηγή: Μπίσα Σ., 2011)

- 3. Ολισθήσεις (Slides):** αφορούν την προς τα κάτω κίνηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας και κυρίως λαμβάνουν χώρα κατά μήκος επιφανειών θραύσης ή σχετικά λεπτών ζωνών διάτμησης. Η μετακίνηση προϋποθέτει διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση ή θραύση του υλικού κατά μήκος επιφανειών, οι οποίες μπορεί και να μην είναι ορατές. Διακρίνονται σε:
- Περιστροφικές (Rotational slides):** στις ολισθήσεις αυτές το πιο γνωστό είδος είναι η κάθηση (slump) στην οποία παρατηρείται ολίσθηση κατά μήκος μιας κοίλης επιφάνειας θραύσης με μειούμενη κλίση προς τα κατόντη (Εικόνα 2. 4). Οι ολισθήσεις αυτού του είδους τείνουν, με την κίνησή τους, να ισορροπήσουν και πάλι τη μετακινούμενη μάζα.
  - Μεταθετικές ολισθήσεις (Translational slides):** στις ολισθήσεις αυτές έχουμε μετακίνηση μάζας κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλά κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή περιστροφική κίνηση. Οι ολισθήσεις αυτές, σε αντίθεση με τις περιστροφικές, είναι μικρότερου βάθους και συνεχίζουν ανεξέλεγκτα τη πορεία τους ιδιαίτερα όταν η επιφάνεια αποκόλλησης έχει μεγάλη κλίση.



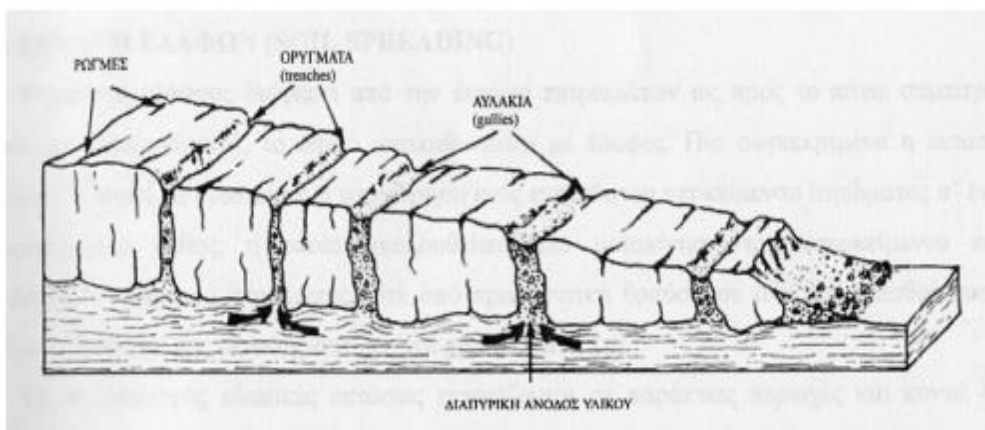
**Εικόνα 2. 4:** Διάγραμμα γεωμετρίας περιστροφικής ολίσθησης.

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

**4. Πλευρικές εκτάσεις (Lateral spreads):** αναφέρονται σε κινήσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από πλευρικές εκτάσεις συνεκτικών υλικών, τα οποία υπέρκεινται μαλακών υλικών (Εικόνα 2. 5). Διακρίνονται σε:

- a. **Εκτάσεις πετρωμάτων (Rock spreading):** παρατηρείται έκταση συνεκτικών πετρωμάτων κατά μήκος ζωνών διατμήσεων και δημιουργία εφελκυστικών ρωγμών στο υπερκείμενο συνεκτικό πέτρωμα. Η ταχύτητα του φαινομένου είναι αρκετά αργή και η κίνηση επεκτείνεται σε αρκετά km.
- b. **Έκταση εδαφών (Soil spreading):** στην κατηγορία αυτή, το υπερκείμενο τέμαχος αποτελείται από έδαφος. Παρατηρείται υποχώρηση του υποκείμενου στρώματος ως ένα βάθος, η οποία ακολουθείται είτε από μετακίνηση του πιο ανθεκτικού υπερκείμενου εδαφικού στρώματος είτε από προοδευτική θραύση σε όλη την ολισθαίνουσα μάζα.





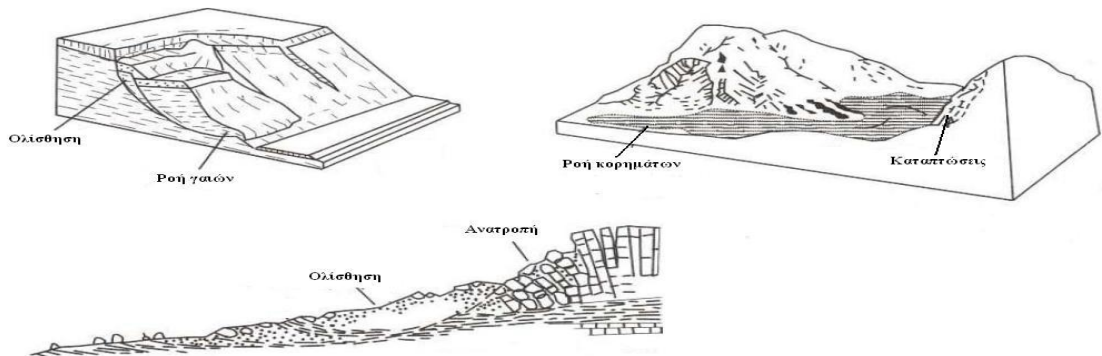
Εικόνα 2. 5: Διάγραμμα πλευρικής έκτασης.

( Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

**5. Ροές (Flows):** αναφέρονται σε παραμορφώσεις υλικού συνεχείς και μη αναστρέψιμες ως αντίδραση σε ασκούμενες πιέσεις. Διακρίνονται σε:

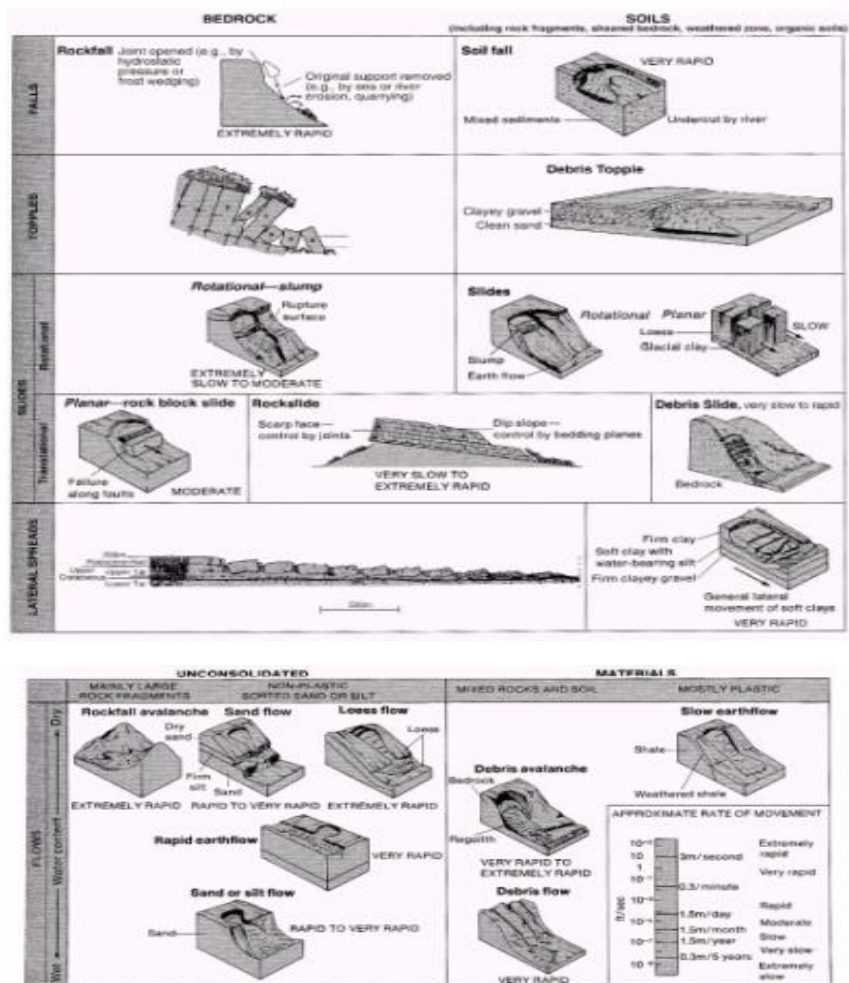
- a. **Ερπυσμός (Creep):** αφορά αργές βαρυτικές μετακινήσεις του επιφανειακού μανδύα των εδαφών ή του σαθρού καλύμματος των πετρωμάτων και αποτελεί φυσική εξέλιξη μιας κλιτύος. Το φαινόμενο του ερπυσμού εξελίσσεται συνεχώς και έτσι προκαλεί παραμορφώσεις με συνεχή τρόπο. Η μετακίνηση εντοπίζεται σε μικρό βάθος που δεν ξεπερνά τα λίγα εκατοστά ενώ η ταχύτητα εκδήλωσης των μετακινήσεων είναι πολύ μικρή (cm/έτος) και για το λόγο αυτό ο κίνδυνος από την εκδήλωση αυτού του φαινομένου είναι πολύ μικρός. Προβλήματα όμως εντοπίζονται σε καλλιέργειες, εγκαταστάσεις και έργα οδοποιίας. Το φαινόμενο γίνεται αντιληπτό από την κλίση δέντρων ή σύλων.
- b. **Ροή κορημάτων (Debris flow):** αποτελείται από μίγμα λεπτομερούς (άμμος, πηλός) και αδρομερούς (χαλίκια, ογκόλιθοι) υλικού με ποικίλη ποσότητα νερού, η οποία όταν είναι μεγάλη οδηγεί σε κίνηση των κορημάτων προς τα κατάντη ως ογκώδες κύμα.
- c. **Ροή εδάφους (Soil flow):** συνιστά μετακίνηση κορεσμένου επιφανειακού στρώματος εδάφους κατά μια επιφάνεια που το χωρίζει από το υποκείμενο παγωμένο έδαφος χωρίς να είναι εύκολη η διάκριση του υπερκείμενου στρώματος από το υποκείμενο. Η ροή εδάφους εντοπίζεται και σε πολύ μικρές κλίσεις εδάφους ενώ το βάθος που επηρεάζει δεν ξεπερνά το 1m. Ο βαθμός εκδήλωσης του φαινομένου είναι συνάρτηση της πλαστικότητας ή και της θιξοτροπίας των αργιλικών συστατικών ενώ το βασικό αίτιο εκδήλωσης είναι το νερό.

**6. Σύνθετες μετακινήσεις:** στην κατηγορία αυτή εντάσσονται μετακινήσεις οι οποίες αποτελούν συνδυασμό δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης. Σύμφωνα με τον Dikau (1996), όλες οι κατολισθήσεις περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν τύπους κινήσεων, οι οποίοι είτε δρουν ταυτόχρονα, σε διαφορετικά μέρη της επιφάνειας θραύσης, είτε με τον χρόνο εξελίσσονται σε διαφορετικές διαδικασίες (Εικόνα 2. 6).



**Εικόνα 2. 6:** Σύνθετοι τύποι μετακίνησης: (α) ολίσθηση και ροή γαιών, (β) καταπτώσεις και ροή κορμημάτων, (γ) ανατροπή και ολίσθηση κατά Κούκη και Σαμπατακάκη, 2007.

(Πηγή: Μπίσα Σ., 2011)



Εικόνα 2. 7: Σχηματική ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes, 1978.

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

### 2.3 Κατολισθήσεις σε βραχώδη πρανή:

Στα βραχώδη πρανή για την κατανόηση του φαινομένου των κατολισθήσεων, είναι απαραίτητο να μελετάμε τις ασυνέχειες που παρατηρούνται στη βραχομάζα, οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές ή τεχνητές.

Οι ασυνέχειες αποτελούν επιφάνειες αδυναμίας που δημιουργούνται από διακοπή της συνέχειας του πετρώματος ή και από αλλαγή της ομοιογένειάς του. Προέρχονται από:

- Τις συνθήκες σχηματισμού των διαφόρων πετρωμάτων, όπως είναι ο ρυθμός ψύξης, το ποσοστό των πτητικών συστατικών του μάγματος, η διαφορική σύσταση των ιζημάτων.

- Τις τεκτονικές, βαρυτικές και άλλες δυνάμεις που επέδρασαν στο πέτρωμα.
- Τις διεργασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης.

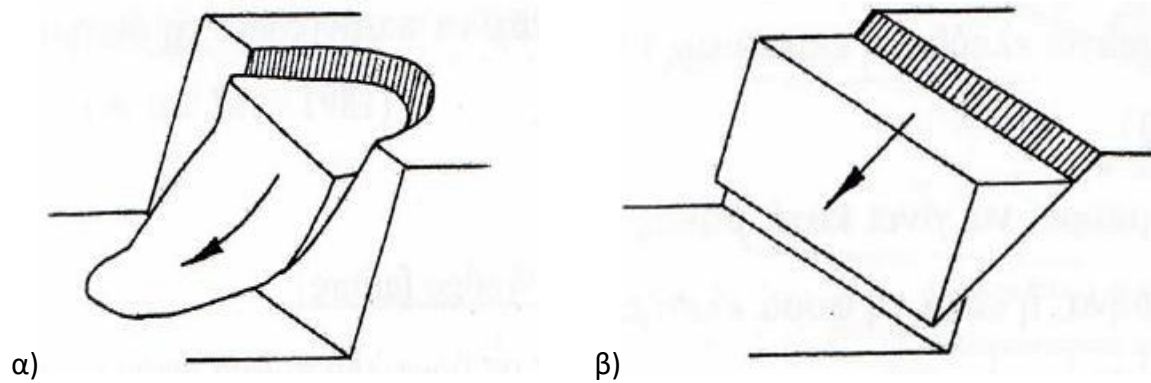
Χαρακτηριστικοί τύποι ασυνεχειών αποτελούν τα ρήγματα, οι διακλάσεις, ο σχισμός, οι διατμητικές ζώνες, κ.α.

Οι ιδιότητες των ασυνεχειών ενός πετρώματος καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό και τις μηχανικές ιδιότητες του ίδιου του πετρώματος. Η επίδραση των ασυνεχειών σε ένα πέτρωμα, εκτιμάται με διάφορους δείκτες όπως είναι ο δείκτης RQD (Rock Quality Designation), δείκτες που προέρχονται από τα συστήματα ταξινόμησης πετρωμάτων και ασυνεχειών.

Οι ασυνέχειες χαρακτηρίζονται από χαμηλή διατμητική αντοχή και μεταβλητή παραμορφωσιμότητα. Επιπλέον, η παρουσία νερού εντός των ασυνεχειών επηρεάζει τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Ως κύριες μορφές αστοχίας στα βραχώδη πρανή, διακρίνονται οι εξής τύποι:

- 1. Κυκλική θραύση (Circular failure):** εντοπίζεται σε κατακερματισμένη βραχομάζα, με τη θραύση να ορίζεται από επιφάνεια αστοχίας κυκλικού τομέα (Εικόνα 2. 8 α)
- 2. Επίπεδη θραύση (Plaine failure):** παρατηρείται κατά μήκος επιφάνειας διάκλασης ή επιφάνειας στρώσης. Σε αυτό το τύπο κατολίσθησης η διεύθυνση του επιπέδου ολίσθησης είναι παράλληλη με τη διεύθυνση του πρανούς και η γωνία του πρανούς είναι μεγαλύτερη από τη γωνία της ασυνέχειας, η οποία είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής (Εικόνα 2. 8 β).

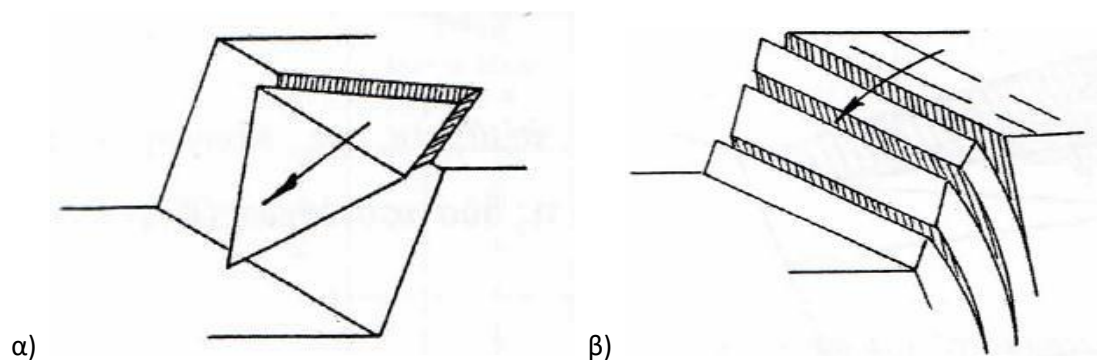


**Εικόνα 2. 8:** α) Κυκλική μορφή αστοχίας σε βραχώδη πρανή και β) Επίπεδη ολίσθηση σε βραχώδη πρανή κατά Hoek και Bray, 1981.

(Πηγή: Μπίσα Σ., 2011)

**3. Σφηνοειδής θραύση – ολίσθηση (Wedge failure):** το τέμαχος που κατολισθαίνει περιβάλλεται από 2 τεμνόμενες ασυνέχειες, την κεκλιμένη επιφάνεια του πρανούς και την επάνω ελεύθερη επιφάνεια της μάζας από την οποία θα αποσπαστεί η σφήνα (Στειακάκης 2004) (Εικόνα 2. 9 α).

**4. Ανατροπή (Toppling failure):** αυτή η μορφή ολίσθησης εντοπίζεται όταν ένα κομμάτι περιβάλλεται από ελεύθερες επιφάνειες και επιφάνειες αστοχιών και δε μπορεί να ολισθήσει εξαιτίας της μικρής κλίσης της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης. Σε αυτή τη περίπτωση, δημιουργείται ροπή, από στη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο τέμαχος, ως προς μια εξωτερική ακμή της βάσης του τεμάχους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ανατροπή του (Στειακάκης, 2004) (Εικόνα 2. 9 β).



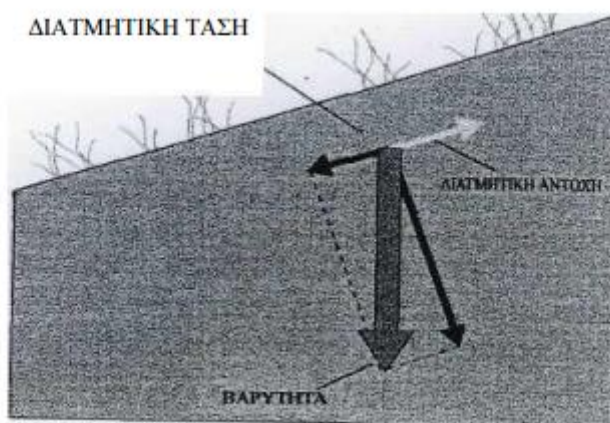
**Εικόνα 2. 9:** α) Σφηνοειδής ολίσθηση σε βραχώδη πρανή και β) Αστοχία σε βραχώδη πρανή με τη μορφή της ανατροπής κατά Hoek και Bray, 1981.

(Πηγή: Μπίσα Σ., 2011)

## 2.4 Αίτια κατολισθήσεων:

Τα κατολισθητικά φαινόμενα οφείλουν την εμφάνισή τους σε δύο δυνάμεις που ασκούνται στα πετρώματα ή τα εδαφικά υλικά, τη διατμητική τάση και τη διατμητική αντοχή. Δυνάμεις που είναι αντίρροπες μεταξύ τους και που όταν δεν βρίσκονται σε ισορροπία οδηγούν μια μάζα υλικού να μετακινηθεί.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2. 10, το βάρος ενός πετρώματος που βρίσκεται σε ένα πρανές, αναλύεται σε μια κάθετη συνιστώσα - ορθή τάση και σε μια παράλληλη προς το πρανές συνιστώσα – διατμητική τάση. Η διατμητική τάση θα οδηγούσε σε κίνηση του πετρώματος κατά μήκος του πρανούς εάν δεν υπήρχε η διατμητική αντοχή του πετρώματος, η οποία αντιστέκεται στη κίνηση και καθορίζεται από τη τριβή και τη συνεκτικότητα των επιμέρους τμημάτων του πετρώματος.



**Εικόνα 2. 10:** Ανάλυση της δύναμης του βάρους στις δύο συνιστώσες, ορθή συνιστώσα και διατμητική τάση (βέλη με μαύρο χρώμα).

(Πηγή: Ρίσβα Ι., 2012)

Η ευστάθεια ενός πρανού εξαρτάται από τις τιμές που λαμβάνει ο Συντελεστής Ασφαλείας (F.S.), ο οποίος δίνεται από την σχέση:

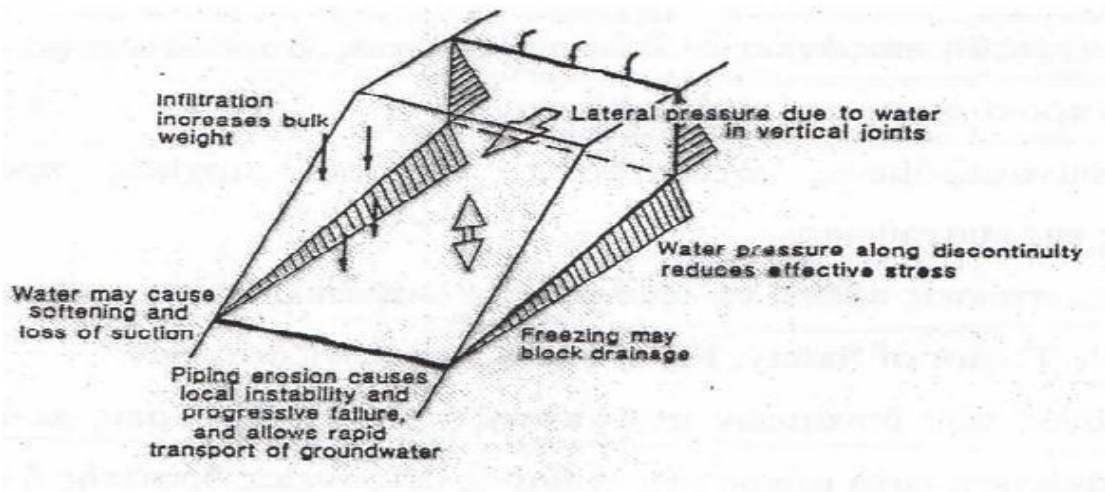
Δυνάμεις ή Ροπές Συγκράτησης

$$F.S = \frac{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Συγκράτησης}}{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Ολίσθησης}}$$

Για να μην εκδηλώνονται κατολισθήσεις, θα πρέπει οι δυνάμεις συγκράτησης, οι οποίες οφείλονται στη διατμητική αντοχή του εκάστοτε εδαφικού σχηματισμού, να είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις ολίσθησης. Στις περιπτώσεις όπου  $F.S=1$  τότε το πρηνές βρίσκεται σε οριακή ισορροπία.

Για να διαταραχθεί λοιπόν η ισορροπία σε ένα πρηνές και να οδηγηθούμε σε κατολίσθηση, θα πρέπει να έχουν λάβει χώρα αλλαγές που σχετίζονται με την ισορροπία του πρηνούς και οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε:

- **Μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους**, όπως είναι η συνοχή, η γωνία εσωτερικής τριβής, η ενεργή τάση. Η συνοχή εκφράζει την ικανότητα του υλικού να αντιστέκεται στις διατμητικές δυνάμεις και οδηγεί σε αύξηση της διατμητικής αντοχής του υλικού. Μείωση της συνοχής του εδάφους έχουμε όταν υπάρχει παρουσία υπόγειου νερού ενώ επίσης αυτή επηρεάζεται και από σεισμούς ή εκρήξεις. Επιπλέον, η παρουσία νερού οδηγεί σε μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής, αφού με τη παρουσία νερού απομακρύνονται τα λεπτόκοκκα υλικά ενός εδάφους και μειώνονται οι επιφανειακές τάσεις. Η ενεργή τάση, από την άλλη, μειώνεται με την αύξηση της πίεσης των πόρων κάτι που έχει ως συνέπεια τη μείωση της διατμητικής αντοχής ενός γεωυλικού.
- **Αύξηση του βάρους**. Το μοναδιαίο φαινόμενο βάρος ενός εδαφικού σχηματισμού μπορεί να αυξηθεί με τη προσθήκη νερού. Η άνωση που προκαλείται έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διατμητικής αντοχής και για το λόγο αυτό επηρεάζει την ευστάθεια των πρηνών. Εκτός όμως από το μοναδιαίο φαινόμενο βάρος του σχηματισμού, σε αυτόν μπορεί να προστεθεί και εξωτερικό βάρος, όπως είναι η συγκέντρωση φερτών υλικών ή λόγω ανθρώπινων παρεμβάσεων μέσω κατασκευών μεγάλων έργων στα φυσικά πρηνή.
- **Διαφοροποίηση της γεωμετρίας**, με αύξηση της κλίσης ή και του ύψους του πρηνούς. Αύξηση της κλίσης σε ένα πρηνές μπορεί να συμβεί από την κατά βάθος διάβρωση στην οποία υπόκειται το πρηνές λόγω της δράσης και της ροής του νερού.



**Εικόνα 2. 11:** Επίδραση νερού στην ευστάθεια των πρανών κατά Hencher, 1987.

(Πηγή: Μπίσα Σ., 2011)

Οι διεργασίες λοιπόν που επιδρούν στη διατάραξη της ισορροπίας ενός πρανούς μπορεί να αφορούν:

- **Γεωμορφολογικά στοιχεία πρανούς**, όπως είναι το υψόμετρο, η κλίση και ο προσανατολισμός του πρανούς. Η κλίση του πρανούς επηρεάζεται από φυσικούς παράγοντες όπως είναι οι κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις μιας περιοχής, η δράση του νερού, η οποία προκαλεί κατά βάθος διάβρωση και οδηγεί σε αύξηση της κλίσης του πρανούς. Επηρεάζεται όμως και από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως είναι τα έργα οδοποιΐας ή διάφορες μεταλλευτικές δραστηριότητες (Πίνακας 2. 3).
- **Γεωλογικά στοιχεία πρανούς**, όπως είναι η σύσταση του εδάφους ή του πετρώματος, η δομή και η εσωτερική γεωμετρία του πρανούς. Η ύπαρξη επιφανειών ασυνέχειας (στρώσεις, διαρρήξεις), οι οποίες εμφανίζουν ομόρροπη κλίση με το πρανές προκαλούν ολισθήσεις και οδηγούν σε σχηματισμό κορημάτων.
- **Υδρολογικοί και υδρογεωλογικοί παράγοντες**, όπου η δράση επιφανειακών και υπόγειων νερών αλλά και η υγρασία του εδάφους επηρεάζουν τη συνοχή των πρανών. Η παρουσία μικρών ποσοτήτων νερού αυξάνει τη διατμητική αντοχή των πετρωμάτων μέσω μιας έλξης – εφελκυσμός επιφανείας - που δημιουργείται ανάμεσα στους κόκκους των πετρωμάτων με συνέπεια την αύξηση της συνεκτικότητας. Όταν όμως η ποσότητα νερού που βρίσκεται ανάμεσα στους κόκκους αυξηθεί, τότε οι κόκκοι χάνουν την επαφή μεταξύ τους με



αποτέλεσμα να μειώνεται η διατμητική αντοχή του πετρώματος και να είναι πιο εύκολη η εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων.

- **Μηχανικοί παράγοντες**, οι οποίοι αφορούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά γεωλογικών σχηματισμών, διαμορφωμένες ή υπό εξέλιξη εντατικές καταστάσεις.
- **Φυτοκάλυψη περιοχής**, όπου η ύπαρξη δένδρων με βαθιές ρίζες αλλά και υδρόφιλα δέντρα μειώνουν τη δράση του νερού και βοηθούν στο δέσιμο των εδαφικών υλικών ενώ η απουσία τους λόγω αποψίλωσης ή πυρκαγιών μπορεί να οδηγήσει σε εκδήλωση κατολισθήσεων. Ωστόσο, σε βραχώδη πρηνή οι ρίζες των δένδρων μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις μέσω της διεύρυνσης των υπαρχόντων ρωγμών αλλά και των πρόσθετων φορτίων που αναπτύσσονται στα πρηνή.
- **Ανθρωπογενείς παράγοντες**, όπως είναι η κατασκευή τεχνικών έργων, υδραυλικές διευθετήσεις, υλοτομία, εκμεταλλεύσεις υπόγειων νερών ή ορυκτών πόρων. Οι επεμβάσεις αυτές επηρεάζουν τη φυσική εξέλιξη μιας περιοχής και είναι δυνατό να ενεργοποιήσουν παλιές κατολισθήσεις ή να οδηγήσουν στη γέννηση νέων. Για το λόγο αυτό, όταν γίνονται ανθρώπινες επεμβάσεις, χρειάζεται να έχει γίνει σωστή μελέτη της περιοχής προκειμένου να μετριασθούν οι επιπτώσεις από τη διατάραξη της φυσικής ισορροπίας (Πίνακας 2. 4).

<b>Γεωμορφολογικές διεργασίες</b>	
1	Τεκτονική ανύψωση
2	Ανύψωση λόγω ηφαιστειών
3	Επίδραση παγετώνων
4	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρηνούς
5	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρηνούς
6	Διάβρωση της βάσης του πρηνούς από παγετώνα
7	Διάβρωση των πλευρών του πρηνούς
8	Εσωτερική διάβρωση
9	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέγη του πρηνούς
10	Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση, κτλ.)

**Πίνακας 2. 3:** Γεωμορφολογικοί παράγοντες που οδηγούν σε φαινόμενα κατολίπησης κατά WP/WLI, 1994 .

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

Ανθρωπογενείς διεργασίες	
1	Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς
2	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς
3	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες
4	Άρδευση
5	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
6	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές κτλ.)
7	Αποψίλωση
8	Λατομεία και μεταλλεία
9	Δημιουργία χωματερών
10	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών κτλ.)

**Πίνακας 2. 4:** Ανθρωπογενείς παράγοντες που οδηγούν σε κατολισθήσεις κατά WP/WLI, 1994 .

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

## 2.5 Μέθοδοι αποκατάστασης κατολισθήσεων:

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, οι παράγοντες που οδηγούν στην εκδήλωση μιας κατολίθησης αφορούν ενδογενείς παράγοντες (μηχανικά χαρακτηριστικά πετρώματος, φυσικές διεργασίες, κ.α) αλλά και εξωγενείς, όπως είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα (κατασκευή δρόμων, υπόγειων στοών, κ.α).

Σκοπός των μέτρων προστασίας είναι να βελτιώσουν τις ιδιότητες των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για τις κατολισθήσεις και οι οποίοι αφορούν τις μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες των σχηματισμών, την κλίση των πρανών αλλά και το βάρος των γεωλογικών σχηματισμών που απαντούν σε ένα πρανές. Για το λόγο αυτό, πριν παρθούν τα μέτρα αντιμετώπισης, χρειάζεται να έχουν μελετηθεί τα αίτια που οδήγησαν στην κατολίθηση αλλά και οι διαστάσεις της καθώς και οι λοιπές συνθήκες της περιοχής.

Για να καταλήξουμε λοιπόν στα μέτρα αντιμετώπισης που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση, χρειάζεται να έχει γίνει κατάλληλη μελέτη της περιοχής, η οποία θα περιλαμβάνει:

1. **Γνώση της γεωλογίας της εξεταζόμενης περιοχής.** Χρειάζεται να γνωρίζουμε τη λιθοστρωματογραφία της περιοχής, τη τεκτονική, τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που απαντούν στη περιοχή καθώς και τη γεωλογική ιστορία της περιοχής προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα για την εξέλιξή της.
2. **Γνώση της υδρογεωλογίας της περιοχής.** Σε αυτή τη περίπτωση απαιτείται γνώση της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών της εξεταζόμενης περιοχής καθώς επίσης και του τρόπου κίνησης των υπόγειων αλλά και επιφανειακών υδάτων.
3. **Εκτίμηση της ακριβούς θέσης των επιφανειών ολίσθησης και γεωγραφικός καθορισμός τους.** Αυτό επιτυγχάνεται με λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση των στοιχείων της κατολίσθησης.

Τα μέτρα προστασίας που λαμβάνονται σε μια περιοχή διακρίνονται σε (α) μέτρα πρόληψης που λαμβάνονται πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης και σε (β) μέτρα αναχαίτισης, τα οποία λαμβάνονται για την αποκατάσταση και την εμπόδιση μιας νέας κατολίσθησης στη περιοχή.

Ορισμένα μέτρα προστασίας που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων, είναι τα ακόλουθα:

1. Διευκόλυνση επιφανειακής απορροής με ταυτόχρονη εμπόδιση της κατείδυσής τους.
2. Διάνοιξη φρεάτων για άντληση των υπόγειων νερών με στόχο τη ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.
3. Μείωση της κλίσης του πρανούς.
4. Αποφόρτιση.
5. Στηθαίο ανακοπής κίνησης και συγκράτησης μαζών.
6. Χρήση συρματοπλεγμάτων.
7. Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης στη βάση του πρανούς.
8. Τσιμεντενέσεις.

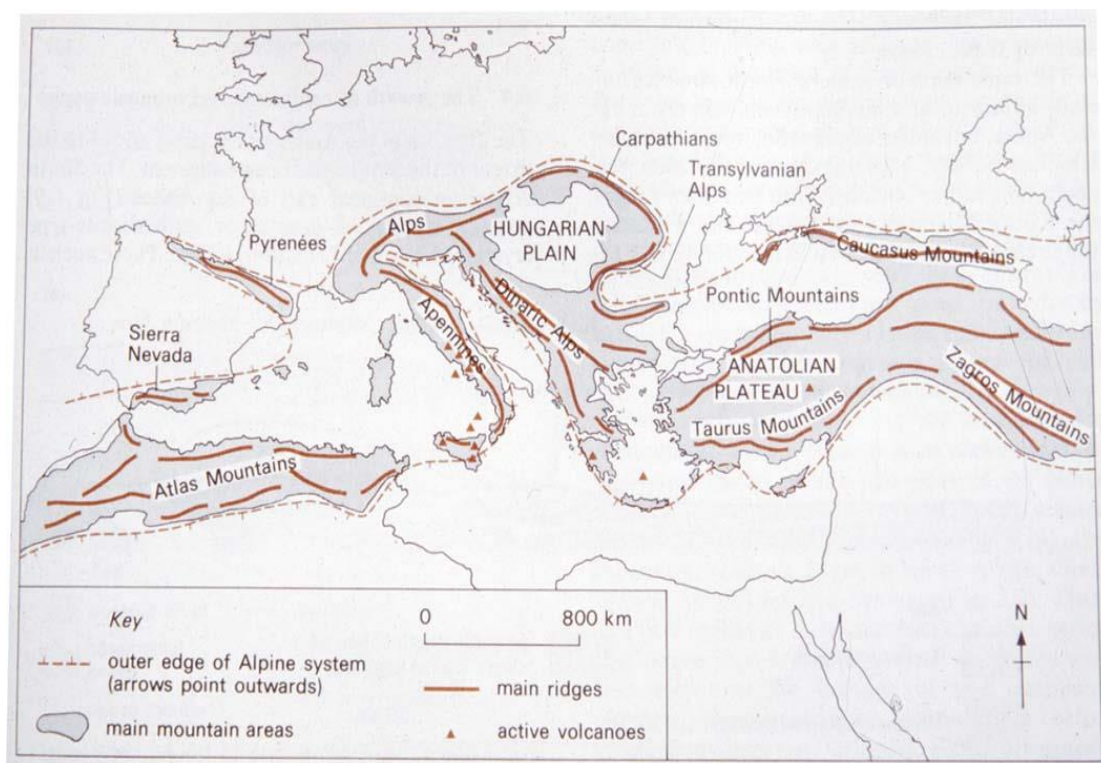
9. Φυτοκάλυψη της περιοχής.

10. Χρήση γεωφασμάτων.

## 2.6 Οι κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο:

### 2.6.1 Η θέση της Ελλάδας στο Αλπικό ορογενετικό σύστημα:

Η Ελλάδα αποτελεί τμήμα του Αλπικού συστήματος ορογένεσης (Εικόνα 2. 12), το οποίο διακρίνεται από τα υπόλοιπα (Βαρύσκιο, Καληδόνιο), διότι είναι το πιο πρόσφατο γεωλογικά ορογενετικό σύστημα που έδρασε κατά το Μεσοζωικό –Καινοζωικό αιώνα και έδωσε όλες τις μεγάλες οροσειρές, όπως τις Άλπεις και τα Ιμαλάια, οι οποίες προέκυψαν από τη σύγκρουση πλακών με ηπειρωτικό φλοιό (της Ευρασίας από το βορρά και τεμαχών της πρώην Γκοντβάνας από το νότο).



**Εικόνα 2. 12:** Χάρτης που απεικονίζει το Αλπικό ορογενετικό σύστημα στον περι-Μεσογειακό χώρο.

(Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch2.htm>)

Ανάμεσα στις δύο αυτές πλάκες (Ευρασία και τεμάχιο Γκοντβάνας), στην αρχή του Μεσοζωικού αιώνα, είχε σχηματιστεί ο ωκεανός της Τηθύος, ο οποίος άρχισε να εξαφανίζεται στη μέση του Μεσοζωικού αιώνα λόγω της σύγκλισης και σύγκρουσης των δύο πλακών. Στο νότιο κλάδο του συστήματος της Τηθύος συναντάμε την Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα τις Ελληνίδες που σχηματίζουν το Ελληνικό τόξο. Η ιδιαιτερότητα του Ελληνικού τόξου συνίσταται στο ότι είναι το μόνο κομμάτι του συστήματος της Τηθύος στο οποίο συνεχίζεται ακόμα η ορογένεση και το οποίο εμφανίζει όλα τα γεωδυναμικά χαρακτηριστικά ενός υπό εξέλιξη ορογενετικού τόξου. Πιο συγκεκριμένα, ο χώρος του Ιονίου πελάγους αποτελεί το τελευταίο υπολειμματικό κομμάτι της Τηθύος που δεν έχει συμμετάσχει ακόμα στην υπό εξέλιξη αλπική ορογένεση, αντιπροσωπεύοντας το τελευταίο अपαραμόρφωτο περιθώριο της Αφρικανικής πλάκας.



**Εικόνα 2. 13:** Χάρτης Ανατολικής Μεσογείου που απεικονίζει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικροπλακών στη περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού τόξου κατά Παπαζάχο, 2001.

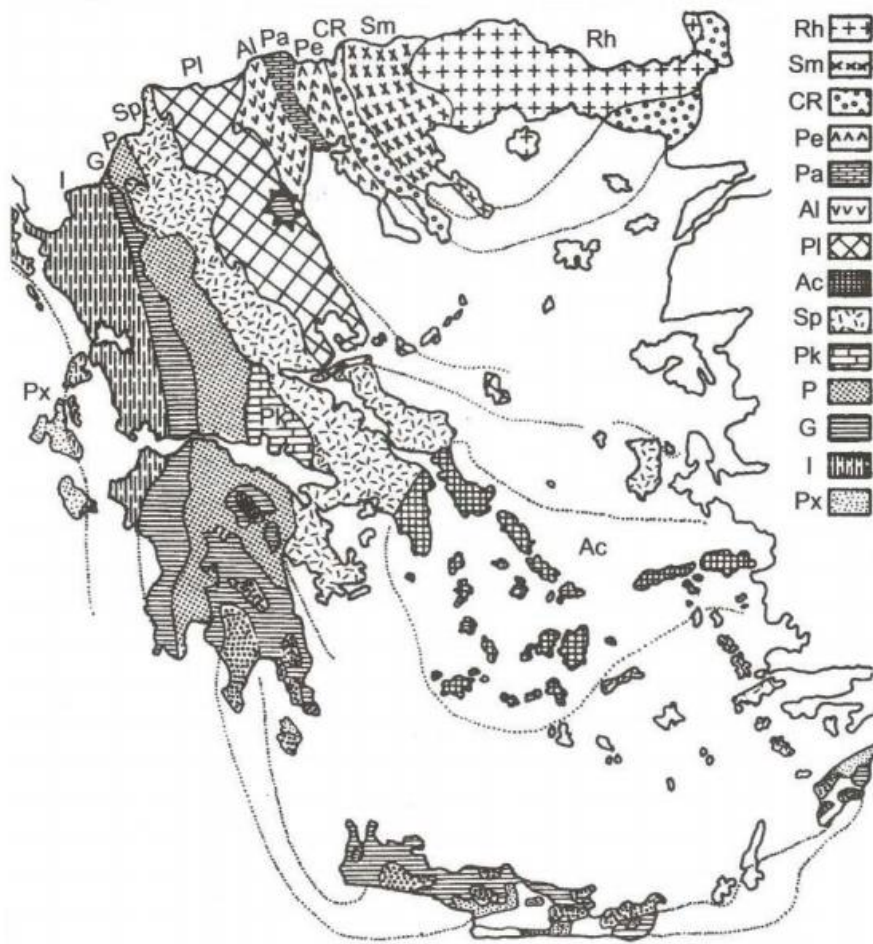
(Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm>)



Το Ελληνικό τόξο διαιρείται σε 12 γεωτεκτονικές ζώνες, καθεμιά από τις οποίες αποτελείται από διαφορετικούς σχηματισμούς, οι οποίες ακολούθησαν διαφορετική πορεία εξέλιξης. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνουμε τις (Εικόνα 2. 14) :

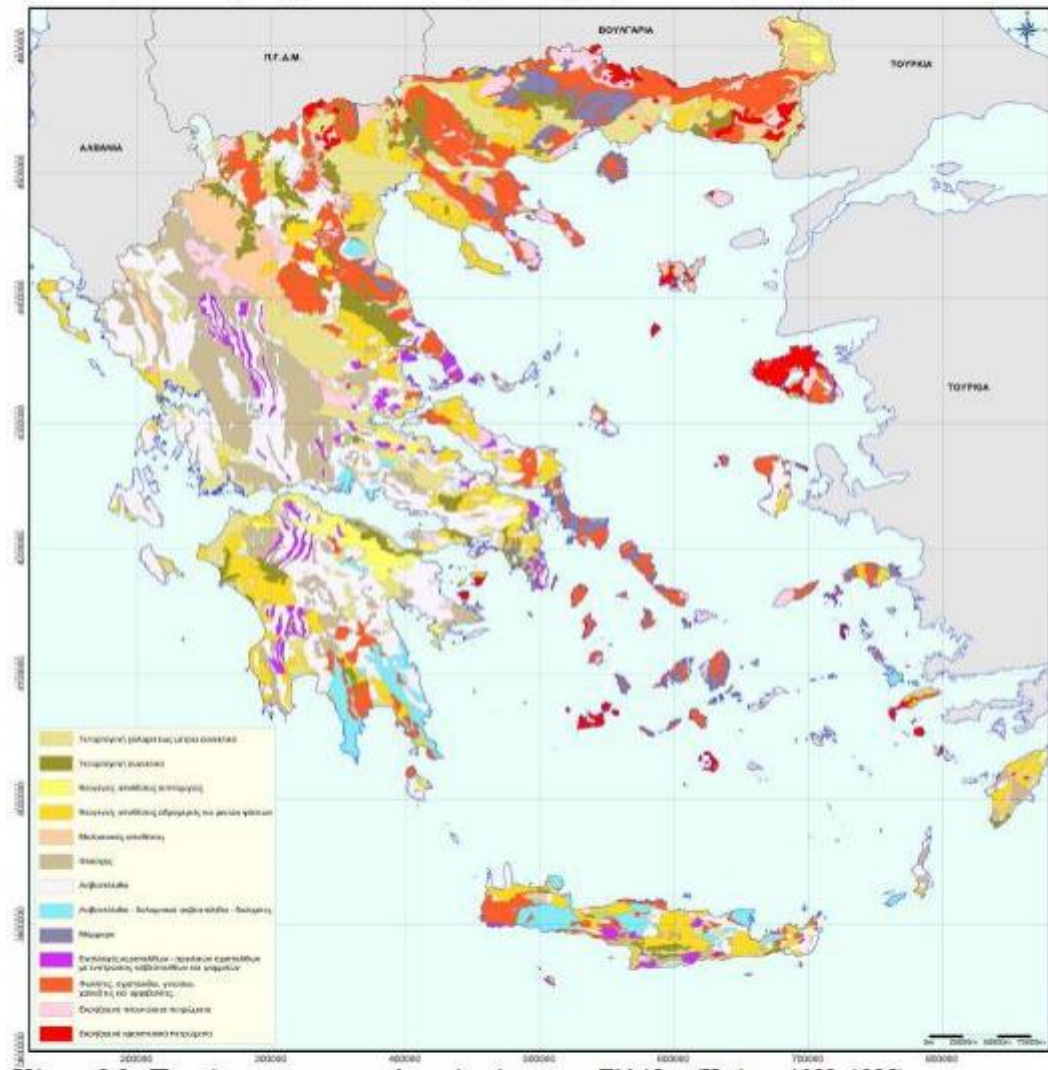
(α) Εσωτερικές Ελληνίδες, οι οποίες υπέστησαν 2 φάσεις τεκτονισμού, μια κατά την παλαιοαλπική φάση ορογένεσης (Μέσο Τριαδικό – Άνω Ιουρασικό) και μια κατά την κύρια φάση αλπικής ορογένεσης στο Ηώκαινο και αποτελούνται τόσο από μεταμορφωμένες ζώνες όσο και από αμεταμόρφωτες.

(β) Εξωτερικές Ελληνίδες, οι οποίες τεκτονίστηκαν μόνο μια φορά κατά την κύρια φάση της αλπικής ορογένεσης στο Ηώκαινο και αποτελούνται από ζώνες με αμεταμόρφωτα πετρώματα.



**Εικόνα 2. 14:** Γεωτεκτονικός χάρτης Ελλάδας.

(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)



**Εικόνα 2. 15:** Πρωτότυπος τεχνικογεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:1.000.000, κατά Κούκη, 1988.

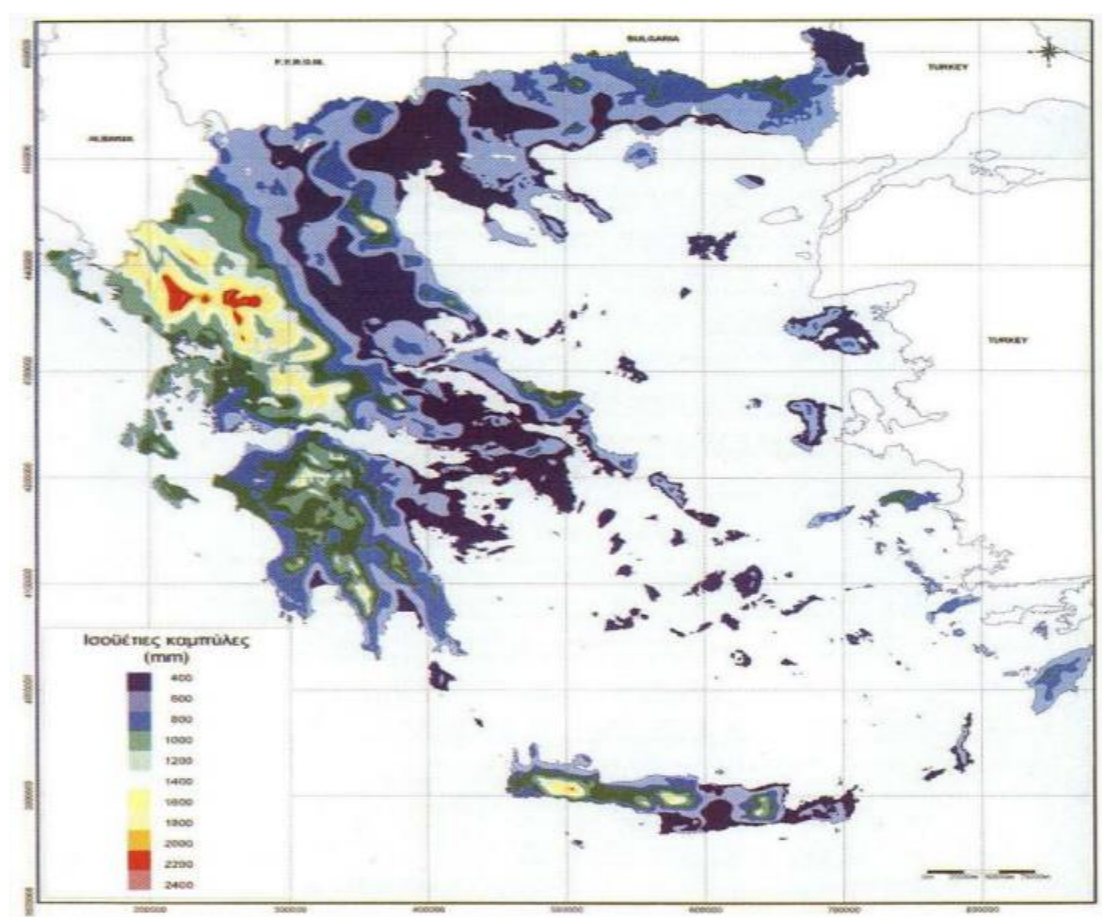
(Πηγή: Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)

### 2.6.2 Κατολισθήσεις στον Ελληνικό χώρο:

Σε μια ενεργή, λοιπόν, γεωτεκτονικά περιοχή όπως η Ελλάδα, με σύνθετη δομή και έντονη τεκτονική καταπόνηση, δε θα μπορούσαν να λείπουν φαινόμενα που να επηρεάζονται από αυτό το καθεστώς, όπως οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις, οι εδαφικές κινήσεις, κ.α.

Πιο συγκεκριμένα, το γεωτεκτονικό αυτό καθεστώς και η ύπαρξη διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών σε κάθε περιοχή, καθένας από τους οποίους παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες (γεωλογική εξέλιξη, αντοχή, κ.α), επιδρούν σε επιμέρους παράγοντες που επηρεάζουν και ευνοούν τα κατολισθητικά φαινόμενα σε μια περιοχή, όπως είναι η γεωμορφολογία, η τεκτονική, η λιθολογία.

Επιπλέον, οι κλιματικές διεργασίες του παρελθόντος αλλά και οι υπάρχουσες κλιματικές συνθήκες της χώρας μας (Εικόνα 2. 16), με τη παρουσία υψηλών βροχοπτώσεων, επηρεάζουν δυσμενώς και οδηγούν στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων κυρίως σε περιοχές με μη ανθεκτικούς σχηματισμούς.



**Εικόνα 2. 16:** Βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας βασιζόμενος σε στοιχεία της ΔΕΗ για τα έτη 1950 – 1974.

(Πηγή: Καρακουλάκη Σ. & Παπαδόπουλος Ν., 2012)



Συνοψίζοντας λοιπόν, οι ιδιαιτερότητες που οδηγούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στη χώρα μας αφορούν:

- Έντονη τεκτονική παραμόρφωση και αυξημένη σεισμικότητα.
- Μεγάλες μορφολογικές κλίσεις πρηνών.
- Μειωμένες γεωτεχνικές παράμετροι γεωλογικών σχηματισμών.
- Υψηλές βροχοπτώσεις.
- Ανθρώπινες παρεμβάσεις, που γίνονται χωρίς μελέτη και αφορούν σε υπεραντλήσεις υδάτων, αποψίλωση δασών, κ.α

Στον Ελληνικό χώρο, το ιστορικό κατολισθητικών φαινομένων είναι αρκετά πλούσιο και σε αρκετές περιπτώσεις με θλιβερά αποτελέσματα (καταστροφές περιουσιών και υποδομών, απώλειες ανθρώπινης ζωής). Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι ο Ελληνικός χώρος σε σχέση με την κατολισθησιμότητά του μπορεί να διακριθεί σε τρεις ζώνες (Ρόζος Δ.). Συγκεκριμένα:

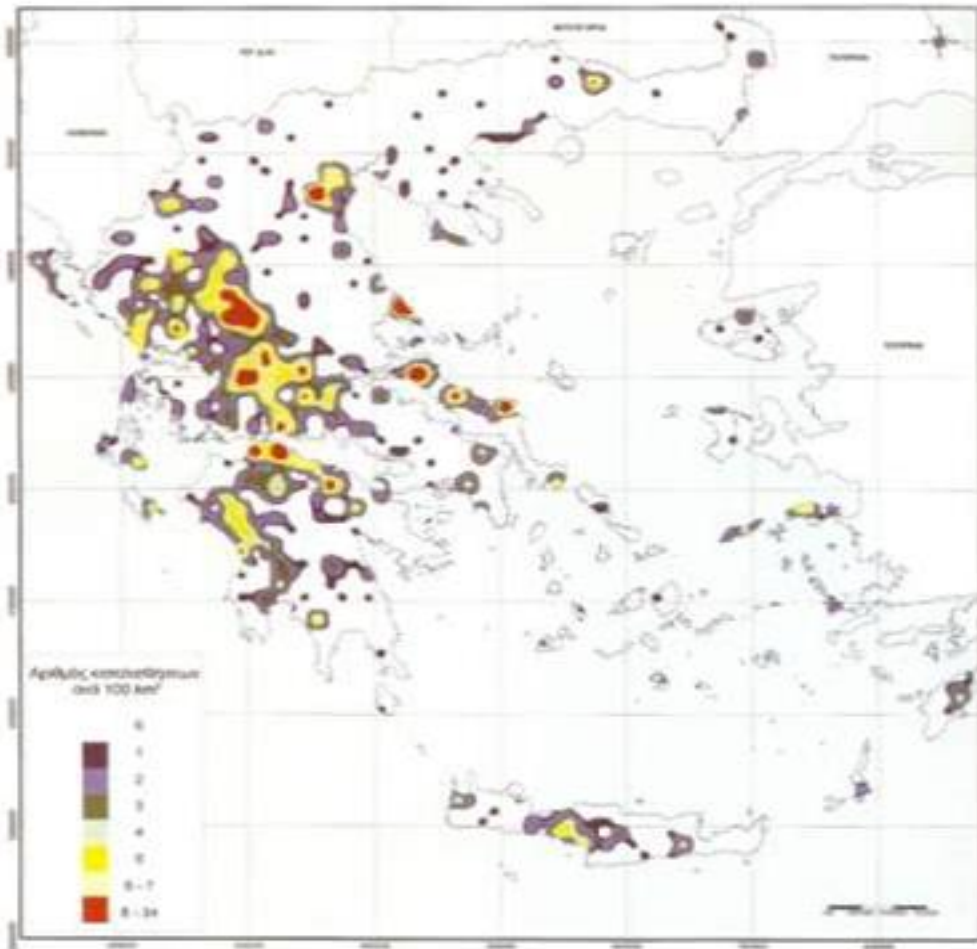
- I. **Ζώνη Δυτικής Ελλάδας:** η λιθολογική σύσταση και δομή αυτού του μέρους της Ελλάδας, την καθιστά επιρρεπή σε κατολισθητικά φαινόμενα. Συναντώνται χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις, νεογενείς αποθέσεις και φλυσικά ιζήματα. Μειωμένη ευστάθεια παρατηρείται και στα μικρού πάχους καλύμματα ασβεστολιθικής – κερατολιθικής σύστασης που βρίσκονται πάνω από μαλακούς σχηματισμούς μέσω εφιππεύσεων και επωθήσεων, κινήσεις οι οποίες φανερώνουν τις έντονες εφαπτομενικές κινήσεις που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν. Επιπλέον σε ασβεστολιθικά – κερατολιθικά πρηνή είναι δυνατό να σημειωθούν καταπτώσεις βράχων λόγω της έντονης και πολυσχιδούς διάρρηξής τους ενώ σε σχηματισμούς φλύσχη οι κατολισθήσεις οφείλονται στην έντονη τεκτονική καταπόνηση αλλά και στην εναλλαγή οριζόντων στη σύστασή τους, η οποία οδηγεί σε ύπαρξη διαφορετικών φυσικοχημικών δεικτών και υδρολογικής συμπεριφοράς.
- II. **Κεντρική Ελλάδα:** τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι ανάλογα με αυτά που εμφανίζονται στη Δυτική Ελλάδα, κατά τόπους όμως είναι πιο έντονα λόγω του έντονου μορφολογικού αναγλύφου και της εξέλιξης των σχηματισμών που απαντώνται στη περιοχή. Στη ζώνη αυτή, τα μεγαλύτερα προβλήματα εντοπίζονται στα ιζήματα της γεωτεκτονικής ζώνης Ωλονού – Πίνδου λόγω της συστάσεώς τους, των πολυπτυχωμένων δομών και της έντονης μορφολογίας. Και εδώ,

ευπαθείς σχηματισμοί είναι αυτοί του φλύσχη και οι Ανωκρητιδικοί μεταβατικοί σχηματισμοί προς αυτόν, τα νεογενή ιζήματα και οι χαλαρές αποθέσεις Τεταρτογενούς.

- III. **Ανατολική Ελλάδα:** στο τμήμα αυτό, οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι καλύτερες. Το μεγαλύτερο μέρος καταλαμβάνεται από συμπαγή και συνεκτικά πετρώματα (προαλπικό υπόβαθρο με μεταμορφωμένα και ημι – μεταμορφωμένα περώματα) μεγάλου πάχους και με ομοιόμορφη κατανομή φυσικοχημικών ιδιοτήτων με συνέπεια να παρατηρείται καλύτερη ευστάθεια των σχηματισμών αυτών. Οι νεότερης ηλικίας σχηματισμοί που υπέρκεινται (φλύσχη, τεταρτογενείς αποθέσεις, νεογενή) εμφανίζουν μικρότερης εκτάσεως κατολισθητικές κινήσεις. Τοπικά, μπορεί να εκδηλωθούν καταπτώσεις βράχων σε συμπαγή πετρώματα (μάρμαρα, σχιστόλιθοι) κυρίως λόγω του έντονου μορφολογικού αναγλύφου, της έντονης διάρρηξης και της περιοδικής φόρτισης από τάσεις που οφείλονται σε παγετό ή άλλες φορτίσεις. Θραύσεις και ολισθήσεις είναι δυνατό να εντοπιστούν και στο μανδύα αποσάθρωσης των σχηματισμών του υποβάθρου.

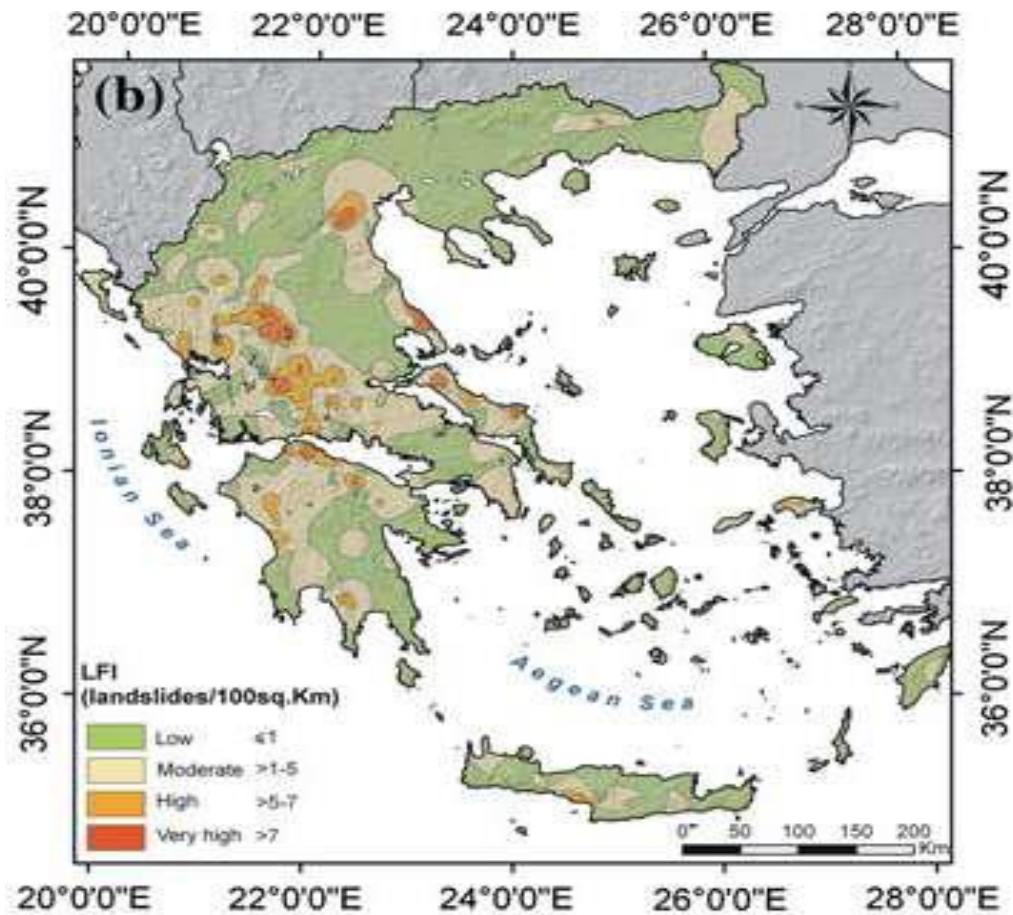
Τα παραπάνω μπορούν να διακριθούν και στις Εικόνες 2. 17 και 2. 18, στις οποίες παρατηρούμε τη συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο για τη περίοδο 1950-2004 κατά Κούκη και Σαμπατακάκη και τη συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων με στοιχεία έως και το έτος 2010 κατά Σαμπατακάκη, αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 2. 5 διακρίνουμε τη συχνότητα εμφάνισης κατολισθήσεων στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς κατά Σαμπατακάκη ενώ ο Πίνακας 2. 6 παρουσιάζει τη συχνότητα εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων στις διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες της χώρας κατά Σαμπατακάκη.



**Εικόνα 2. 17:** Χάρτης συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων σε Ελλαδικό χώρο για τη περίοδο 1950-2004 κατά Κούκη και Σαμπατακάκη, 2007.

(Πηγή: Κάβουρα Α., 2013)



Εικόνα 2. 18: Χάρτης συχνότητας εμφάνισης κατολισθήσεων σε Ελλαδικό χώρο για στοιχεία έως και το έτος 2010 κατά Σαμπατακάκη και άλλοι, 2013.

(Πηγή: Κάβουρα Α. Π., 2013)

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	Αριθμός κατολισθήσεων	Συχνότητα LF (%)	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	Επιφάνεια CA (%)	Σχετική συχνότητα LRF (%)
Τεταρτογενή	349	21.38	24888	18.85	13.92
Νεογενή	438	26.77	22172	16.80	19.56
Φλύσχης	470	28.73	14411	10.92	32.30
Σχιστοκερατόλιθοι	56	3.44	3006	2.28	18.53
Ασβεστόλιθοι	93	5.66	34268	25.96	2.68
Μεταμορφωμένα	173	10.59	23484	17.79	7.30
Εκρηξιγενή	56	3.44	9771	7.40	5.70

Πίνακας 2. 5: Πίνακας που απεικονίζει τη συχνότητα εμφάνισης (%) κατολισθήσεων στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς κατά Σαμπατακάκη.

(Πηγή:

[https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO350/%CE%9ACE%95CE%A65\\_%CE%9ACE%91CE%A4CE%9FCE%9BCE%99CE%A3CE%98CE%97CE%A3CE%95CE%99CE%A3%20CE%95CE%9BCE%9BCE%91CE%94CE%91CE%A3.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO350/%CE%9ACE%95CE%A65_%CE%9ACE%91CE%A4CE%9FCE%9BCE%99CE%A3CE%98CE%97CE%A3CE%95CE%99CE%A3%20CE%95CE%9BCE%9BCE%91CE%94CE%91CE%A3.pdf)

ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	Ροδόπης	1.80
	Σερβομακεδονική	0.89
	Περιοδοτική	1.30
	Αξιού	8.18
	Πελαγονική-Υποπελαγονική - Αττικοκυκλαδική	20.17
	Ταρνασσού	11.14
	Πίνδου	26.89
	Γαβρόβου	9.99
	Ίονια	8.58
	Παξών	11.05

**Πίνακας 2. 6:** Πίνακας που απεικονίζει τη συχνότητα εμφάνισης (%) κατολισθήσεων στις διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας κατά Σαμπατακάκη.

(Πηγή:

[https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO350/%CE%9A%CE%95%CE%A65\\_%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%9F%CE%9B%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO350/%CE%9A%CE%95%CE%A65_%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%9F%CE%9B%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3.pdf))

Ορισμένα παραδείγματα κατολιθήσεων στον Ελληνικό χώρο δίνονται παρακάτω:

- 1. Κοινότητα Βαλιμής (νομός Αχαΐας):** στη περιοχή αυτή εντοπίζονται κατολισθητικά φαινόμενα από το 1910, τα οποία οδήγησαν σε σταδιακή εγκατάλειψη του χωριού (Τσαγγάς Δ.).
- 2. Οικισμός Συλίβαινα (νομός Αχαΐας):** τα κατολισθητικά φαινόμενα του έτους 1913 οδήγησαν στο θάνατο 4 ανθρώπων και στην ολοκληρωτική καταστροφή του οικισμού (Τσαγγάς Δ.).
- 3. Περιοχή Πλατάνου (νομός Αχαΐας):** αποτελεί σύνθετη κατολίσθηση, στην οποία συναντώνται παλιά και νέα κατολισθητικά φαινόμενα τα οποία προκαλούν αστοχίες στη Νέα Εθνική Οδό Πατρών – Αθηνών (Κάβουρα Α. Π., 2013).
- 4. Περιοχή Παναγοπούλας (νομός Αχαΐας):** το πρώτο κατολισθητικό φαινόμενο της περιοχής εκδηλώθηκε το 1971 και προκάλεσε σοβαρά προβλήματα αφού οδήγησε σε αποκοπή του συγκοινωνιακού άξονα Πατρών - Αθηνών. Παρά τα μέτρα προστασίας που ελήφθησαν, η περιοχή συνέχισε να προκαλεί αστοχίες στο οδικό δίκτυο (1983, 1994, 1997). Σήμερα, για τη

σταθεροποίηση των πρανών έχει κατασκευαστεί διάφραγμα έγχυτων πασσάλων αντιστήριξης στο κάτω άκρο της Νέας Εθνικής Οδού Πατρών – Αθηνών (Κάβουρα Α. Π., 2013).

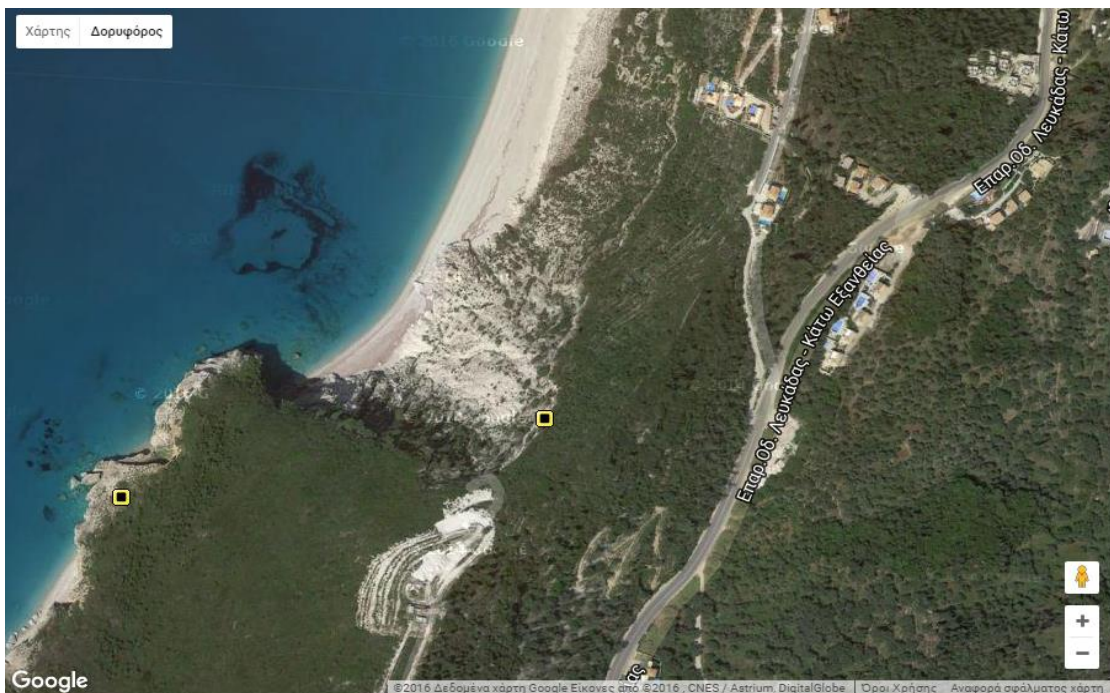
- 5. Νομός Ευρυτανίας:** παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο με μεγάλες κλίσεις πρανών καθώς επίσης και έντονες βροχοπτώσεις, παράγοντες που συντελούν στην εκδήλωση πολυάριθμων κατολισθητικών φαινομένων. Περιοχές στις οποίες εκδηλώθηκαν κατολισθήσεις είναι η Αγία Παρασκευή (2000) και το χωριό Προυσός, όπου αφορά επανεργοποιημένη κατολίπηση (Εικόνα 2. 19) (Ρίσβα Ι. Γ., 2012).
- 6. Περιοχή Τσάκωνα (νομός Αρκαδίας):** η κατολίπηση εντοπίστηκε στη Νέα Εθνική Οδό Τρίπολης – Καλαμάτας, με τις πρώτες ενδείξεις μετακίνησης να εντοπίζονται το 2000 μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του οδικού δικτύου και με τελικό αποτέλεσμα το 2003 όπου έλαβε χώρα η πλήρης ενεργοποίηση της κατολίπησης, η οποία προκάλεσε διακοπή της κυκλοφορίας από το συγκεκριμένο σημείο του οδικού άξονα. Η αστοχία αυτή αποτελεί σύθνετη μεταθετική ολίπηση και αφορά τη μεγαλύτερη αστοχία που έπληξε συγκοινωνιακό δίκτυο της χώρας μας με μήκος 1.300m και πλάτος 300m (Καρακουλάκης Σ., Παπαδόπουλος Ν., 2012) .
- 7. Χωριό Αγίας Άννας (Νομός Ευβοίας):** το 2003 εκδηλώθηκε εκτεταμένη κατολίπηση σε σχηματισμούς αργιλοϊλυωδών μαζών στα νότια περιθώρια του χωριού, από την οποία προκλήθηκαν υλικές ζημιές σε κτίσματα, επαρχιακό οδικό δίκτυο και στο νεκροταφείο του χωριού (Καρακουλάκης Σ., Παπαδόπουλος Ν., 2012) .
- 8. Νήσος Λευκάδα:** στο νησί παρατηρείται πλήθος κατολισθητικών φαινομένων (Εικόνα 2. 20).





**Εικόνα 2. 19:** Κατολίσθηση στη θέση Διπόταμα κοντά στο χωριό Προυσό του νομού Ευρυτανίας που εκδηλώθηκε στις 19/2/2015.

(Πηγή: [http://epirus-tv-news.blogspot.gr/2015/02/blog-post\\_194.html](http://epirus-tv-news.blogspot.gr/2015/02/blog-post_194.html))



**Εικόνα 2. 20:** Κατολίσθηση στο δυτικό τμήμα της Νήσου Λευκάδας.

(Πηγή: Google Maps)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Εκτίμηση επικινδυνότητας και χρήση Σ.Γ.Π.

### 3.1 Επικινδυνότητα κατολισθήσεων – ορισμοί:

Στη σημερινή εποχή, όπου οι άνθρωποι παρεμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον χωρίς περιορισμούς και που οι καταστροφές από κατολισθητικά φαινόμενα έχουν πολύ σοβαρές συνέπειες, κρίνεται αναγκαίο να υπάρχει γνώση του φαινομένου, των πιθανών περιοχών που μπορεί να προκληθούν κατολισθήσεις αλλά και γνώση τρόπων αποφυγής ή αποκατάστασης.

Ένας τρόπος που συμβάλλει στην εύρεση περιοχών επιρρεπών σε κατολισθήσεις είναι η σχεδίαση χαρτών κατολίστεσης, στόχος της οποίας είναι η εύρεση του βαθμού επικινδυνότητας μιας περιοχής έναντι κατολισθήσεων και η αποτύπωσή του σε χάρτες υπό τη μορφή ζωνών.

Σύμφωνα με τον Varnes (1984), με τον όρο **ζωνοποίηση επικινδυνότητας** αναφερόμαστε στην *«οριοθέτηση ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας και την ταξινόμησή του σύμφωνα με τον βαθμό του υπαρκτού ή δυνητικού κινδύνου από κατολισθήσεις»*.

Ως **επικινδυνότητα (Hazard)** ορίζεται ένα «φαινόμενο, ουσία, ανθρώπινη δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ανθρώπινης ζωής, τραυματισμό, υλικές ζημιές ή άλλες επιπτώσεις για την υγεία, την κοινωνία, την οικονομία ή το περιβάλλον». Η επικινδυνότητα διακρίνεται σε (α) φυσική (Natural Hazard), όταν το αίτιο που προκαλεί τη καταστροφή είναι φυσικό φαινόμενο και (β) γεωλογική (Geological Hazard), όταν η καταστροφή προκαλείται από γεωλογικό φαινόμενο.

Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της επικινδυνότητας, δίνονται στη συνέχεια ορισμένοι ορισμοί:

- **Επιδεκτικότητα για κατολισθήσεις (Landslide Susceptibility):** σύμφωνα με τον Brabb (1984), ο όρος αυτός αναφέρεται στη *«δυνατότητα να συμβεί κατολίστεση σε μια περιοχή,*



στηριζόμενοι στις τοπικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή (γεωλογία, γεωμορφολογία, φυσικές διεργασίες)». Στον όρο αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας χρόνου και κατ'έκταση όταν χρησιμοποιείται δε παρέχει πληροφορίες για το πότε μπορεί να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση. Δε περιέχει επίσης πληροφορίες που να σχετίζονται με το μέγεθος της κατολίσθησης. Χρησιμοποιείται κυρίως για να προσδιορίσει τη χωρική κατανομή των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για την εκδήλωση του φαινομένου με στόχο τη δημιουργία ζωνών επιρρεπών προς κατολίθηση.

- **Επικινδυνότητα κατολισθήσεων (Landslide Hazard):** κατά τον Varnes (1984), ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη «πιθανότητα εκδήλωσης του φαινομένου σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και αποτελεί συνάρτηση χωρικής και χρονικής κατανομής του φαινομένου». Η χωρική κατανομή σχετίζεται με παράγοντες όπως η κλίση του πρανούς, η αντοχή εδάφους, κ.α (στατικοί παράγοντες) ενώ η χρονική κατανομή σχετίζεται με παράγοντες που αφορούν τις βροχοπτώσεις, τους σεισμούς, κ.α (δυναμικοί παράγοντες). Κατά την εφαρμογή του όρου σε μια υπό εξέταση περιοχή τα στοιχεία που δίνονται αφορούν τον όγκο, την έκταση, τον τύπο και τη ταχύτητα μετακίνησης μιας πιθανής κατολίσθησης ενώ γίνεται προσπάθεια να δοθεί και η πιθανότητα εκδήλωσης του φαινομένου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.
- **Τρωτότητα (Vulnerability):** ο Varnes (1984) χρησιμοποιεί τον όρο για να περιγράψει το «βαθμό απώλειας ενός στοιχείου ή συνόλου στοιχείων, που προκύπτει από την εμφάνιση ενός φυσικού φαινομένου».
- **Διακινδύνευση (Risk):** εκφράζει τις απώλειες (πληθυσμός, κατασκευές) που θα προκύψουν από ένα φαινόμενο. Μπορεί να διακριθεί σε (α) συνολική διακινδύνευση, όπου αφορά τον αναμενόμενο αριθμό θυμάτων, βλαβών, επιπτώσεων σε οικονομία που οφείλονται σε ένα καταστροφικό φυσικό φαινόμενο και (β) ειδική διακινδύνευση, που αφορά τον αναμενόμενο βαθμό μιας μόνο φυσικής απώλειας (π.χ. βλάβες) από ένα φυσικό φαινόμενο.

Η χρήση των παραπάνω όρων δε θα μπορούσε να μη συνοδεύεται από τη δημιουργία αντίστοιχων χαρτών, από τους οποίους είναι εφικτό να αντληθούν πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση μιας περιοχής. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη προληπτικών σχεδιασμών

με στόχο οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τις κατολισθήσεις ή άλλες φυσικές καταστροφές να μετριασθούν (Ercanoglu και Gokceoglu, 2002).

Έτσι, υπάρχουν οι χάρτες απογραφής κατολισθήσεων (Landslide inventory maps) οι οποίοι παρουσιάζουν τις θέσεις που έχουν γίνει κατολισθήσεις σε μια περιοχή, τις διαστάσεις και τα γεωγραφικά τους όρια. Αυτοί οι χάρτες, λόγω του ότι απεικονίζουν παλαιότερες κατολισθήσεις σε μια περιοχή, μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση του κινδύνου για μελλοντικές κατολισθήσεις.

Εκτός από τους παραπάνω χάρτες, υπάρχουν χάρτες επιδεκτικότητας κατολισθήσεων (Landslide susceptibility maps), οι οποίοι απεικονίζουν τη σχετική πιθανότητα μελλοντικής κατολίσθησης και βασίζονται στις εγγενείς ιδιότητες της συγκεκριμένης περιοχής που μελετάται. Οι βασικοί παράγοντες που περιέχονται σε έναν τέτοιο χάρτη και που καθορίζουν την ευαισθησία μιας περιοχής ως προς τις κατολισθήσεις είναι οι κύριες διαρρήξεις, η αντοχή των εδαφικών ή βραχώδων σχηματισμών και η κλίση των πρανών.

Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι χάρτες επικινδυνότητας κατολισθήσεων (Landslide hazard maps), οι οποίοι απεικονίζουν την πιθανότητα να συμβούν κατολισθήσεις σε μια δοσμένη περιοχή αλλά παρουσιάζουν επίσης και το εύρος της περιοχής που μπορεί να πλήξει μια κατολίσθηση, απεικονίζοντας τους κύριους παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης καθώς και εκτιμήσεις για γεγονότα που μπορεί να πυροδοτήσουν την έναρξη ενός κατολισθητικού συμβάντος (π.χ σεισμός, εκτεταμένες βροχοπτώσεις).

Τέλος, οι χάρτες διακινδύνευσης (Landslide risk maps) απεικονίζουν τις δυνητικές κατολισθήσεις σε μια περιοχή και τις αναμενόμενες απώλειες περιουσιών ή ζωής που θα προκύψουν από την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων.

## 3.2 Χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

### 3.2.1 Ορισμός:

Σύμφωνα με τον Burrough (1986) ως Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ορίζεται «ένα δυναμικό σύνολο από εργαλεία, για τη συλλογή, αποθήκευση, μετασχηματισμό, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και παρουσίαση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για συγκεκριμένους σκοπούς.»

Επεκτείνοντας τον παραπάνω ορισμό, ο Κουτσόπουλος (2005) όρισε ότι «Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών μηχανημάτων (*hardware*), λογισμικών συστημάτων (*software*), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον.»

Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν τα Σ.Γ.Π. αφορούν στην εισαγωγή και επαλήθευση δεδομένων, στην αποθήκευσή τους και στη δημιουργία βάσης δεδομένων την οποία ο χρήστης θα μπορεί να διαχειρίζεται, επεξεργάζεται και μετασχηματίζει τα δεδομένα του με τελικό σκοπό την ανάλυσή τους αλλά και την απόδοση και παρουσίαση αυτών, συνήθως υπό τη μορφή χαρτών. Η βάση δεδομένων αποτελείται από πληροφοριακά επίπεδα επεξεργασμένα (π.χ γεωλογία μιας περιοχής, κ.α) και μη (τοπογραφία, κ.α) τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων. Η ολοένα και αυξανόμενη χρήση των Σ.Γ.Π έγκειται στο γεγονός ότι παρέχουν τη δυνατότητα στο χρήστη να συσχετίζει αυτά τα διαφορετικά πληροφοριακά επίπεδα, εκτελώντας χωρικές αναλύσεις ανάμεσα σε διάφορους χωρικούς χάρτες και περιγραφικούς πίνακες των δεδομένων. Επιπλέον, βασική λειτουργία τους είναι η υπέρθεση χαρτών, η ανακατάταξή τους, κ.α.

### 3.2.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και εκτίμηση επικινδυνότητας κατολισθήσεων:

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολισθήσεων σε μια περιοχή μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των Σ.Γ.Π, τα οποία παρέχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

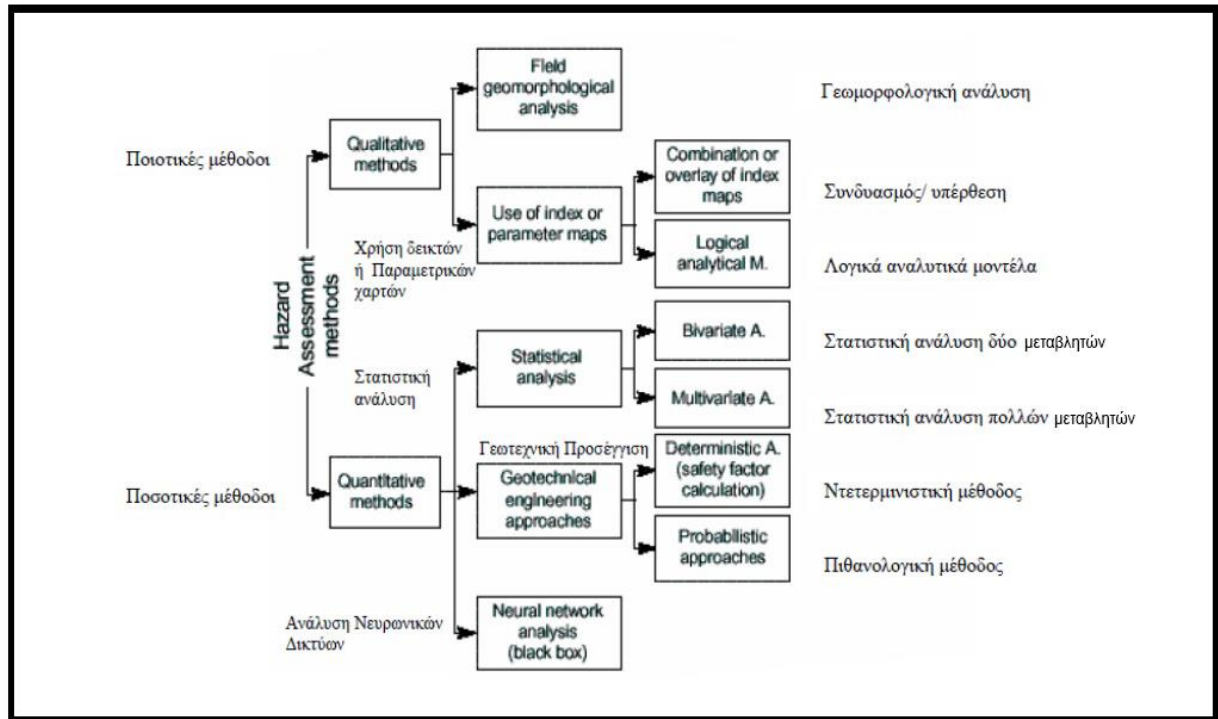
- Επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων.
- Γρήγορη υπέρθεση διαφορετικών χαρτών και υπολογισμός πινάκων με συνέπεια να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σύνθετες τεχνικές ανάλυσης του κινδύνου.
- Προσαρμογή των μεταβλητών εισαγωγής ώστε μέσω των αποτελεσμάτων που προκύπτουν κάθε φορά, να βελτιώνονται τα μοντέλα εκτίμησης του κινδύνου.
- Είναι δυνατός ο εμπλουτισμός των αρχικών χαρτών με νέα δεδομένα.

Ανάλογα με την εκάστοτε μέθοδο εκτίμησης που χρησιμοποιείται κάθε φορά, διαφέρει και ο βαθμός χρήσης των Σ.Γ.Π. Για παράδειγμα, η μέθοδος της γεωμορφολογικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται για ζωνοποίηση περιοχών σε μεσαία ή μεγάλη κλίμακα, χρησιμοποιεί τα Σ.Γ.Π σαν σχεδιαστικά εργαλεία ενώ η μέθοδος υπέρθεσης χαρτών βάρους χρησιμοποιεί τα Σ.Γ.Π. για την υπέρθεση των χαρτών βάρους και τη χωρική ανάλυσή τους. Αντίθετα, η μέθοδος με λογικά μοντέλα ανάλυσης που χρησιμοποιείται σε περιοχές μεγάλης κλίμακας, δε χρησιμοποιεί τα Σ.Γ.Π. παρά μόνο για σύνταξη χαρτών καταγραφής γεγονότων.

### 3.3 Μέθοδοι για την κατασκευή χαρτών επικινδυνότητας:

Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μπορούν να διακριθούν σε (Εικόνα 3. 1):

- (α) ποιοτικές μεθόδους, όπου γίνεται διαφοροποίηση της πιθανότητας εκδήλωσης κατολίσθησης σε μια περιοχή χωρίς όμως ακριβή προσδιορισμό.
- (β) ποσοτικές μεθόδους, όπου στην περίπτωση αυτή παρατηρείται απόλυτος προσδιορισμός της επικινδυνότητας με χρήση απόλυτης τιμής για κάποιον παράγοντα όπως είναι ο Συντελεστής Ασφάλειας.



Εικόνα 3. 1: Ταξινόμηση μεθόδων προσδιορισμού κινδύνου κατολισθήσεων κατά Aleotti et al., 1999.

(Πηγή: Βολιώτη Κ. Γ., 2009)

Οι **ποιοτικές μέθοδοι** προσδιορισμού της επικινδυνότητας μιας περιοχής, στηρίζονται στη γνώση και την προηγούμενη εμπειρία των μελετητών και χρησιμοποιούν γεωμορφολογική ανάλυση και δείκτες ή παραμετρικούς χάρτες. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ποιοτικά στοιχεία των κατολισθήσεων προκειμένου να είναι εφικτή η ταυτοποίηση περιοχών με παρόμοια γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, στις οποίες εν δυνάμει μπορεί να προκληθούν κατολιθητικά φαινόμενα.

Ορισμένες ποιοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν κατάταξη και στάθμιση των παραγόντων που εμπλέκονται και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται ως ημι – ποσοτικές μέθοδοι.

Οι **ποσοτικές μέθοδοι** στηρίζονται σε αριθμητικές εκφράσεις, οι οποίες απεικονίζουν την επίδραση διαφόρων παραγόντων ως προς την εμφάνιση των κατολισθήσεων (Guzzetti et al., 1999). Περιλαμβάνουν γεωτεχνικές προσεγγίσεις, στατιστική ανάλυση (Yin et Yan, 1988, Carrara et al., 1991,

Soeters and Van Westen, 1996), χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων (Φερεντίνου 2004) καθώς και ανάλυση βασισμένη στην ασαφή λογική.

### 3.3.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση:

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων σε μια περιοχή, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σχεδιασμού του εκάστοτε αναπτυξιακού μοντέλου με συνέπεια να είναι απαραίτητη η γνώση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε κατολισθητικά φαινόμενα. Για το λόγο αυτό, η επιστημονική κοινότητα μέσω μελετών έχει προσπαθήσει να αναπτύξει μοντέλα εκτίμησης, τα οποία όμως διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή λαμβάνοντας υπόψη τις εκάστοτε ιδιαιτερότητες ενώ επίσης διαφέρουν και ως προς το ποια μέθοδο εκτίμησης επιλέγει κάθε φορά ο ερευνητής (ποιοτική ή ποσοτική ανάλυση του προβλήματος).

Σε όλες όμως τις περιπτώσεις αυτό που φαίνεται ότι συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, όπου σε συνδυασμό με δορυφορικές εικόνες, μπορούν να μελετηθούν οι παράγοντες που είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνοι για τις κατολισθήσεις. Σύμφωνα με τους ερευνητές, οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στα κατολισθητικά φαινόμενα αφορούν τη λιθολογία της περιοχής, τον τεκτονισμό, την υδρογεωλογία, το υψόμετρο, την κλίση και τη φορά κλίσης, τις χρήσεις γης, τις κατακρημνίσεις και την εδαφική επιτάχυνση. Ωστόσο, αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι ο κάθε ερευνητής επιλέγει κάθε φορά ποια από τα παραπάνω κριτήρια θα χρησιμοποιήσει ενώ επίσης διαφέρει και ο τρόπος με τον οποίο αποδίδονται βαθμοί βαρύτητας σε κάθε έναν από τους παραπάνω παράγοντες.

Σύμφωνα με τους Soeters & Van Westen (1996), μια μέθοδος για την εκτίμηση της επικινδυνότητας είναι αυτή της υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών βάρους. Τα βήματα που ακολουθούνται προκειμένου να κατασκευαστούν χάρτες επικινδυνότητας, αφορούν:

1. Επιλογή μεταβλητών που επηρεάζουν μια περιοχή ως προς την κατολισθησιμότητά της.
2. Για κάθε μεταβλητή δημιουργούνται σχετικές κλάσεις, όπου για κάθε κλάση κάθε μεταβλητής αποδίδονται βάρη.

3. Απόδοση συντελεστών βαρύτητας σε κάθε μια από τις μεταβλητές.
4. Υπέρθυση χαρτών βάρους για κάθε μεταβλητή.
5. Δημιουργία τελικού χάρτη επικινδυνότητας, όπου μέσω ζωνοποίησης της υπό μελέτη περιοχής, απεικονίζεται ο βαθμός κινδύνου κατολίσθησης.

Στη μέθοδο αυτή, σημαντικό ρόλο έχει η εμπειρία του κάθε ερευνητή καθώς καλείται να επιλέξει ποιοι παράγοντες είναι αυτοί που πρέπει να εξετασθούν καθώς επίσης και πόσο επηρεάζει ο κάθε παράγοντας το φαινόμενο των κατολισθήσεων. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι ο κάθε ερευνητής μπορεί να προσαρμόσει το μοντέλο στα δεδομένα της περιοχής μελέτης του. Για τον προσδιορισμό των βαρών των παραγόντων που επηρεάζουν μια κατολίσθηση χρησιμοποιούνται αρκετές μέθοδοι, όπως η μέθοδος αναλυτικής ιεράρχησης του Saaty (1970), η χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, κ.α.

Ο Thomas L. Saaty (1970) δημιούργησε μια θεωρία και ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων (Analytic Hierarchy Process – AHP,) στο οποίο πραγματοποιείται σχετική σύγκριση των παραγόντων ενός προβλήματος ανά ζεύγη, δηλαδή ο κάθε παράγοντας βαθμολογείται ως προς τη σπουδαιότητά του έναντι κάποιου άλλου παράγοντα. Έτσι, με τη μέθοδο αυτή μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις μεταξύ παραγόντων οι οποίοι δεν μπορούν να λάβουν ποσοτικές τιμές (υγεία, ποιότητα περιβάλλοντος, κ.α).

Κατά συνέπεια, η μέθοδος της αναλυτικής ιεράρχησης χρησιμοποιείται και στη μελέτη προβλημάτων που αφορούν κατολισθήσεις, καθώς μπορεί να συμβάλει στη βαθμονόμηση των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για κατολισθητικά φαινόμενα. Έτσι, οι Himan Shahabi & Mazlan Hashim (2015), για να μελετήσουν τις κατολισθήσεις στη περιοχή Cameron στη Μαλαισία, κατασκεύασαν χάρτες επικινδυνότητας χρησιμοποιώντας στατιστικά μοντέλα που στηρίζονται στη μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης. Επιπλέον, έκαναν χρήση και άλλων μεθόδων όπως του γραμμικού συνδυασμού με βάρη (Weighted Linear Combination - WLC) και του χωρικού μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης (Spatial Multi-Criteria Evaluation – SMCE). Ως παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις, όρισαν τους εξής: κλίση και φορά κλίσης, τύπος εδάφους, λιθολογία,

εδαφοκάλυψη, δείκτης NDVI, απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, κατακρημνίσεις, απόσταση από ρήγματα και απόσταση από οδικό δίκτυο. Για να εντοπίσουν τα παραπάνω στοιχεία έκαναν χρήση δορυφορικών εικόνων SPOT 5 και WorldView-1 και δεδομένων SAR. Στη συνέχεια για να προσδιορίσουν τη σχέση μεταξύ των ήδη εκδηλωμένων κατολισθήσεων και των παραπάνω παραγόντων έκαναν χρήση των Σ.Γ.Π. Στο τέλος της έρευνάς τους συνέκριναν τις τρεις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποίησαν και διαπίστωσαν ότι για το συγκεκριμένη περιοχή καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος χρήσης χωρικού μοντέλου πολυκριτηριακής αξιολόγησης, με ακρίβεια 96%.

Οι Γαλανού & Κολοκούσης (2010), στη μελέτη τους για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην ορεινή Νάξο, χρησιμοποίησαν το μοντέλο υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών, προκειμένου να εντοπιστούν οι επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές στο νησί. Οι παράγοντες που έκριναν ως πιο σημαντικούς αφορούν τη λιθολογία, τη φυτοκάλυψη, την απόσταση από οδικό δίκτυο, την απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, το προσανατολισμό των πρηνών και το υψόμετρο. Αφού κατηγοριοποίησαν κάθε παράγοντα και βαθμολόγησαν κάθε κατηγορία, στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση των παραγόντων ανά ζεύγη όπου αποδόθηκαν βαθμοί σπουδαιότητας από εμπειρογνώμονες και στηριζόμενοι στη μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) του Saaty, κατασκευάστηκε ο ψηφιακός αθροιστικός χάρτης. Στη συνέχεια, οι μελετητές έκριναν ότι η κλίση των πρηνών κατέχει από μόνη της σπουδαίο ρόλο για τις κατολισθήσεις και για το λόγο αυτό κατασκεύασαν έναν χάρτη επικινδυνότητας που στηρίζεται αποκλειστικά στον παράγοντα αυτό. Στο τέλος, για τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας της νήσου εφάρμοσαν την τεχνική πολλαπλασιασμού εικόνων, κατά την οποία πολλαπλασιάστηκαν οι δύο προηγούμενοι ψηφιακοί χάρτες (αθροιστικός και χάρτης κλίσεων) προκειμένου να κατασκευαστεί ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας για την ορεινή Νάξο.

Σύμφωνα με Lee & Evangelista (2006), ένας τρόπος για εκτίμηση των κατολισθήσεων και της επικινδυνότητας είναι η χρήση Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου σε συνδυασμό με χρήση Σ.Γ.Π. Το μοντέλο εφαρμόστηκε στη πόλη Baguio στις Φιλιππίνες, όπου εντοπίστηκαν κατολισθήσεις με χρήση αεροφωτογραφιών αλλά και έρευνα πεδίου. Ως παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις θεωρήθηκαν οι: κλίση, φορά κλίσης, καμπυλότητα, απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, λιθολογία,



απόσταση από ρήγματα, εδαφοκάλυψη και κάθε ένας από αυτούς βαθμονομήθηκε ως προς τη σπουδαιότητά του με χρήση της μεθόδου back-propagation.

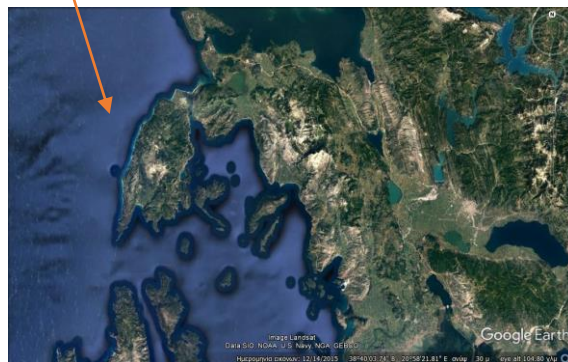
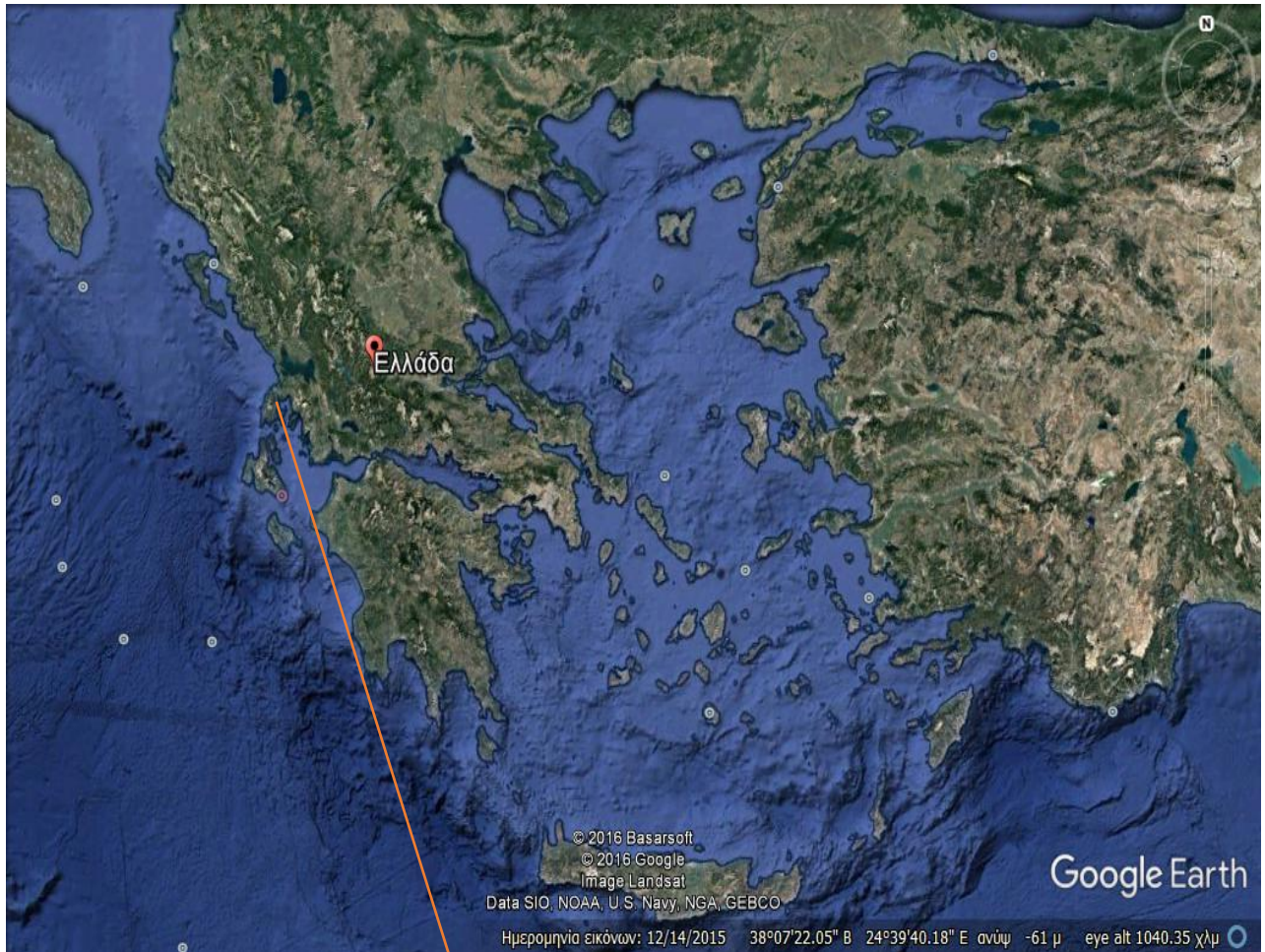
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: Περιοχή μελέτης – νήσος Λευκάδα

### 4.1 Εισαγωγή:

Η νήσος Λευκάδα αποτελεί ένα από τα νησιά του συμπλέγματος των Επτανήσων, που εντοπίζονται στο Ιόνιο πέλαγος και αποτελεί τμήμα της περιφέρειας Ιόνιων νήσων (Εικόνα 4. 1). Η έκταση της νήσου είναι 320 km<sup>2</sup> και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 οι κάτοικοι υπολογίζονται περίπου στους 23.000. Είναι η μοναδική νήσος του Ιονίου πελάγους που βρίσκεται σε τέτοια απόσταση από την ηπειρωτική Ελλάδα, που έκανε δυνατή τη σύνδεσή της με την υπόλοιπη χώρα μέσω πλωτής γέφυρας μήκους 70 m, η οποία συνδέει τη Λευκάδα με την Αιτωλοακαρνανία.

Πρόκειται για μια ορεινή νήσο, κύριας διεύθυνσης Β – Ν, με σύνθετο ανάγλυφο (72,6% ορεινό, 17,2% ημιορεινό, 10,2% πεδινό), όπου η ψηλότερη κορυφή της βρίσκεται στο όρος Σταυρωτά, με υψόμετρο 1.182 m και αρκετά απότομες πλαγιές. Επιπλέον, εντοπίζονται παραθαλάσσιες πεδιάδες (κοιλάδα Νυδρίου, κοιλάδα γύρω από τη πόλη της Λευκάδας). Το μορφολογικό ανάγλυφο της νήσου είναι ιδιαίτερο και αυτό οφείλεται στις έντονες τεκτονικές κινήσεις που έλαβαν χώρα κατά την πρόσφατη γεωλογική περίοδο και την επακόλουθη διάβρωση (Λέκκας Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., 2001). Συνέπεια αυτού είναι το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο στο δυτικό τμήμα της νήσου όπου είναι αρκετά απόκρημνο (Εικόνα 4. 2), σε αντίθεση με το ανατολικό, όπου η μορφολογία είναι πιο ήπια. Επιπλέον, εντοπίζονται ποικίλες καρστικές δομές όπως δολίνες, σπήλαια, κ.α Πλειστοκαινικής ηλικίας.

Τα τελευταία χρόνια, η νήσος έχει πληγεί από δύο μεγάλους σεισμούς, έναν τον Αύγουστο του 2003 μεγέθους 6,2 της κλίμακας Ρίχτερ και έναν τον Νοέμβρη του 2015 μεγέθους 6,1 της κλίμακας Ρίχτερ. Και οι δύο αυτοί σεισμοί προκάλεσαν εκτεταμένες καταστροφές αλλά και κατολισθητικά φαινόμενα.



**Εικόνα 4. 1:** Γεωγραφική θέση νήσου Λευκάδας.

(Πηγή: Google Earth)





**Εικόνα 4. 2:** Δυτικές ακτές νήσου Λευκάδας.

(Πηγή: Τρίγκου, 2006)



**Εικόνα 4. 3:** Σπήλαιο Αγίου Νικολάου στο Δεσίμι Λευκάδας.

(Πηγή: <http://www.mylefkada.gr/lefkadas-secrets/episkepsi-sto-enalio-spileo-tou-agiou-nikolaou-sto-desimi-tis-lefkadas-60778/>)

## 4.2 Γεωλογία της νήσου Λευκάδας:

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η γεωλογική δομή της χώρας μας διακρίνεται σε γεωτεκτονικές ζώνες, με διαφορετικά πετρώματα σε κάθε ζώνη. Συνέπεια αυτού είναι και η εύρεση διαφορετικών πετρωμάτων στις διάφορες περιοχές της χώρας μας.

Η νήσος Λευκάδα, όπως και τα υπόλοιπα νησιά του Ιονίου, βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του εξωτερικού νησιωτικού τόξου των Ελληνίδων και στα δυτικά της συναντάται το όριο υποβύθισης του φλοιού της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από τη λεκάνη του Αιγαίου. Δομείται από πετρώματα που εντοπίζονται στις ζώνες των Εξωτερικών Ελληνίδων και πιο συγκεκριμένα, οι γεωτεκτονικές ζώνες που συναντούνται στη νήσο, αντιστοιχούν στις ζώνες Παξών και Αδριατικοϊόνιας, η επαφή των οποίων είναι τεκτονική και συγκεκριμένα αφορά επώθηση της Αδριατικοϊόνιας ζώνης επάνω στη ζώνη Παξών. Συγκεκριμένα (Εικόνα 4. 4):

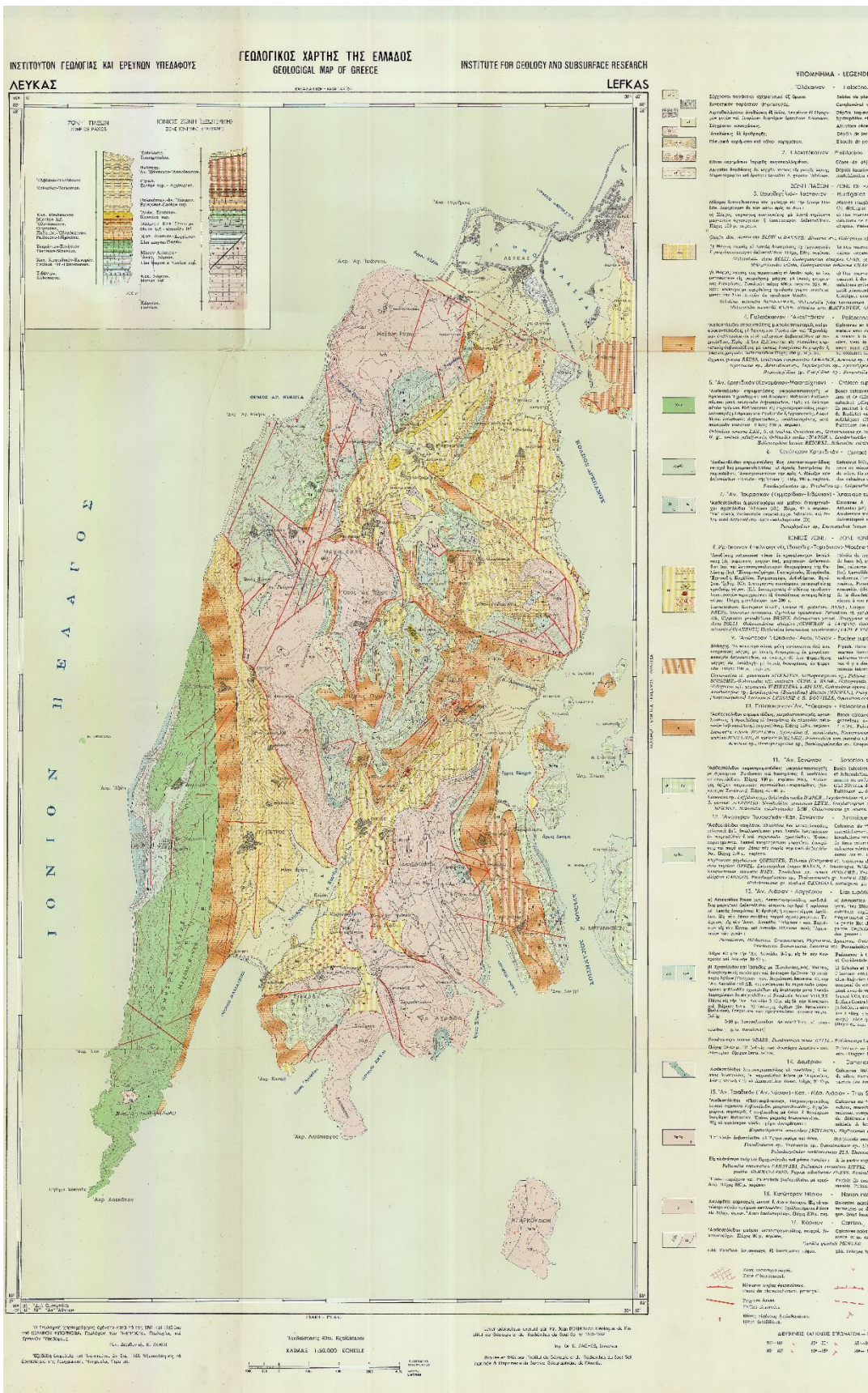
### 4.2.1 Ζώνη Παξών:

Η ζώνη αυτή αποκαλείται και Προαπούλια προκειμένου να δηλώσει ότι αποτελεί το εσωτερικό τμήμα της Απούλιας πλατφόρμας, η οποία εκτείνεται προς την Ιταλία. Αποτελεί την πιο εξωτερική ζώνη των Ελληνίδων, πάνω στην οποία βρίσκονται επωθημένες όλες οι υπόλοιπες Εξωτερικές Ελληνίδες.

Πρόκειται για συνεχή νηρητική ανθρακική ακολουθία με δολομίτες και ασβεστόλιθους, ηλικίας Κατώτερο Ιουρασικό – Ανώτερο Μειόκαινο και η οποία στερείται τυπικού φλύσχη στην οροφή της, ο οποίος αντικαθίσταται από νεογενείς σχηματισμούς, όπως μάργες, άμμους, ψαμμίτες και τουρβιδιτικούς ασβεστόλιθους. Συναντώνται επίσης και τεταρτογενείς μικτές φάσεις.

Το μεγαλύτερο μέρος της ζώνης αυτής βρίσκεται βυθισμένο κάτω από τη θάλασσα και οι μοναδικές περιοχές στις οποίες συναντάται είναι τα νησιά Παξοί, Αντίπαξοι, Λευκάδα, Κεφαλονιά, Ζάκυνθος. Συγκεκριμένα στη Λευκάδα, εντοπίζεται στη ΝΔ της πλευράς, στη χερσόνησο Αθάνι. Η





**Εικόνα 4. 4:** Γεωλογικός χάρτης νήσου Λευκάδας, κλίμακας 1:50.000.

(Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε)

μορφή με την οποία συναντάμε τα πετρώματα αυτής της ζώνης στη Λευκάδα, είναι ο έντονος κατακερματισμός τους από νεοτεκτονικά ρήγματα, τα οποία έδωσαν και τις απότομες ακτές στη περιοχή (Πόρτο Κατσίκι).

#### 4.2.2 Αδριατικοϊόνιος ή Ιόνιος ζώνη:

Σε αντίθεση με τη ζώνη Παξών, η Ιόνιος ζώνη δομείται κυρίως από πετρώματα πελαγικής φάσης και ηλικίας Μέσο Ιουρασικό – Μειόκαινο, με την εμφάνιση τυπικού φλύσχη στο Ανώτερο Ηώκαινο – Ολιγόκαινο. Η στρωματογραφική διάρθρωση της ζώνης αυτής είναι:

- Εβαπορίτες στη βάση, Περμοτριάδικής ηλικίας.
- Ασβεστόλιθοι Φουσταπήδημα, ηλικίας Μέσο - Ανώτερο Τριαδικό.
- Δολομίτες και ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα, νηρητικής φάσης και ηλικίας Μέσου Λιασίου.
- Σχιστόλιθοι με Ποσειδωνίες και ασβεστόλιθοι πελαγικής φάσης με ammonitico rosso, οι οποίοι σηματοδοτούν αλλαγή στις συνθήκες ιζηματογένεσης, όπου η προγενέστερη πλατφόρμα εισέρχεται σε περίοδο ταφροποίησης κατά το Δογγέριο - Κατώτερο Μάλμιο.
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας, οι οποίοι αποτελούν πελαγικούς λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με κερατολιθικές ενστρώσεις, ηλικίας Τιθώνιο (Ανώτερο Μάλμιο) - Ανώτερο Κρητιδικό και οι οποίοι σηματοδοτούν τη γενική βύθιση της Ιονίου λεκάνης.
- Ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου.
- Σχηματισμός του φλύσχη, με ηλικία απόθεσης τέλος Ηωκαίνου - Κατώτερο Μειόκαινο.

Μετά και την απόθεση του φλύσχη, η ζώνη εισήλθε κατά το Κατώτερο Μειόκαινο σε διαδικασία πτύχωσης, όπου από τη συμπίεση που κυριαρχούσε εκείνη τη περίοδο, τα στρώματα της ζώνης υπέστησαν έντονη λεπίωση. Επιπλέον, λόγω του έντονου τεκτονισμού της περιόδου εκείνης, σχηματίστηκαν μεγάλα εγκάρσια ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης γενικής διεύθυνσης A – Δ ή ABA – ΔΝΔ καθώς και επιμήκη ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΔ – ΝΝΑ.

Ενδιαφέρον, από γεωμηχανικής άποψης, παρουσιάζουν οι ασβεστόλιθοι της Βίγλας, οι οποίοι είναι έντονα κατακερματισμένοι από ζώνες διακλάσεων αλλά και λόγω της δολομιτίωσης που έχουν υποστεί. Επίσης, τόσο οι λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι του Ηωκαίνου όσο και ο φλύσχης παρουσιάζουν μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά, με συνέπεια να είναι επιρρεπή σε κατολισθητικά φαινόμενα.

Εκτός από τα αλπικά πετρώματα συναντάμε επίσης μολασσικούς σχηματισμούς (κλαστικά θαλάσσια ιζήματα) ηλικίας Κατώτερου – Μέσου Μειοκαινού, τα οποία μέσω επίκλυσης κάλυψαν τα πετρώματα της Ιόνιας ζώνης. Και σε αυτούς τους σχηματισμούς οι γεωμηχανικοί δείκτες είναι χαμηλοί, όμως λόγω της σχεδόν οριζόντιας απόθεσής τους, δεν προκαλούν κατολισθητικά φαινόμενα. Ωστόσο, σε περίπτωση ανθρώπινης παρέμβασης είναι δυνατό να προκληθούν κατολισθήσεις.

Επιπλέον, εντοπίζονται και μεταλικοί σχηματισμοί (κλαστικά ιζήματα χερσαίας ή λιμνοχερσαίας φάσης) Νεογενούς ηλικίας καθώς επίσης και Τεταρτογενείς αποθέσεις διαφόρων φάσεων (παράκτιες, χερσαίες, λιμνοθαλάσσιες). Από αυτούς τους σχηματισμούς, τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα είναι αυτά που μπορούν να παρουσιάσουν κατολισθητικά γεγονότα λόγω της μικρής γωνίας εσωτερικής τριβής που παρουσιάζουν αλλά και λόγω της ασταθούς ισορροπίας τους, αφού κατά κύριο λόγο εντοπίζονται κατά μήκος απότομων πρανών.

Από τεκτονικής άποψης, στη νήσο παρατηρούνται δύο φάσεις παραμόρφωσης (Λέκκας Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., 2001):

- 1.** Απόθεση, μέσω επίκλυσης, των μολλασικών σχηματισμών πάνω στα πετρώματα της Ιόνιας ζώνης, με δημιουργία κατακεκλιμένων και ημιαναστραμμένων πτυχών, εφίππεύσεις και ανάστροφα ρήγματα. Ο τεκτονισμός αυτός έγινε κατά το Κατώτερο – Μέσο Βουρδιγάλιο και είχε ως αποτέλεσμα την ανάδυση του κεντρικού και ανατολικού τμήματος του νησιού, αφήνοντας ανεπηρέαστα τα ιζήματα της ζώνης Παξών τα οποία συνέχισαν αδιατάρακτα την απόθεσή τους.



2. Επώθηση της Ιόνιας ζώνης πάνω στους σχηματισμούς της ζώνης Παξών κατά το Μεσσήνιο - Κατώτερο Πλειόκαινο, όπου και ολοκληρώθηκε η ανάδυση όλου του νησιού.

#### 4.3 Νεοτεκτονική εξέλιξη της νήσου Λευκάδας:

Στη νήσο Λευκάδα, το σύγχρονο γεωδυναμικό καθεστώς κάνει αισθητή τη παρουσία του μέσα από το πυκνό δίκτυο ρηγμάτων που εντοπίζονται στη περιοχή, ηλικίας Πλειο – Τεταρτογενούς και τα οποία έχουν τεμαχίσει τόσο τους αλπικούς σχηματισμούς (ζώνες Παξών και Ιόνια) όσο και τους νεότερους υπερκείμενους σχηματισμούς που έχουν τοποθετηθεί ασύμφωνα επάνω στους αλπικούς.

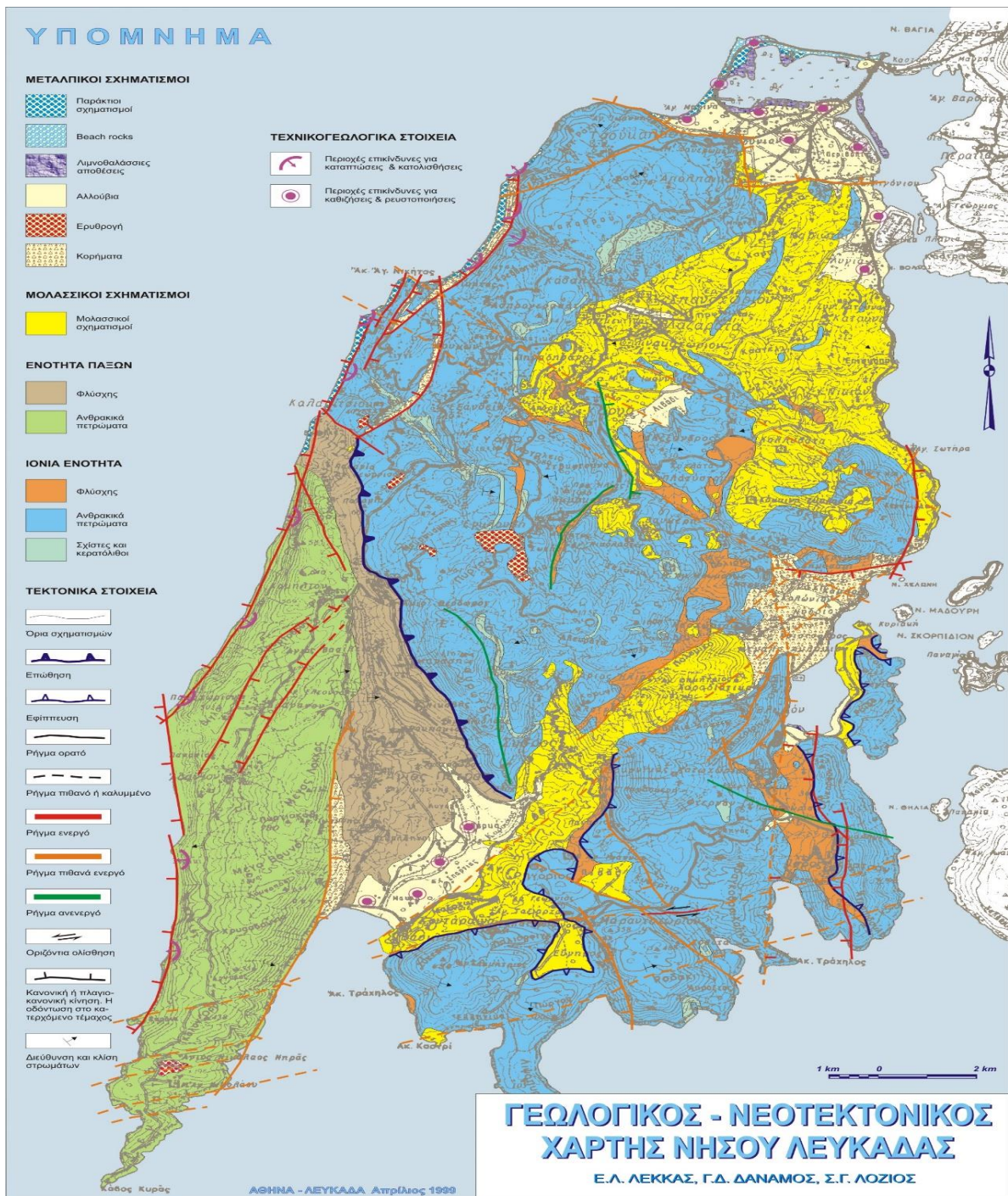
Διακρίνονται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων, βάσει των διευθύνσεών τους:

1. Σύστημα ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, με τις περισσότερες ρηξιγενείς επιφάνειες να είναι παράλληλες στη διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ. Στα ρήγματα αυτά κυριαρχεί η κατακόρυφη συνιστώσα ολίσθησης και τα ρήγματα ταξινομούνται ως κανονικά ή πλαγκοκανονικά.
2. Σύστημα ρηγμάτων διεύθυνσης ΔΒΔ – ΑΝΑ έως ΔΝΔ – ΑΒΑ, με τις ρηξιγενείς επιφάνειες να είναι παράλληλες προς τη ρηξιγενή ζώνη Σπερχειού – Αμβρακικού. Στα ρήγματα αυτής της κατηγορίας επικρατεί η οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης.

Η δράση των νεοτεκτονικών ρηγμάτων, δημιούργησε στη νήσο διαφορετικά ρηξιτεμάχη, με διαφορετικό είδος κίνησης στο καθένα, είτε ανοδικό είτε καθοδικό, δημιουργώντας έτσι τεκτονικά κέρατα και βυθίσματα. Ωστόσο, αρκετά από τα βυθίσματα αυτά δεν καλήφθηκαν από τη θάλασσα, αφού παρατηρείται απουσία ιζημάτων αντίστοιχης φάσης. Σύμφωνα με Cushing (1985), παρατηρήθηκε καταβύθιση, έστω και σε μικρό βάθος, μόνο ενός τμήματος της βόρειας Λευκάδας, κάτι που τεκμηριώνεται από την εύρεση ιζημάτων θαλάσσιας φάσης (μάργες και άμμοι Πλειοκαινικής ηλικίας).

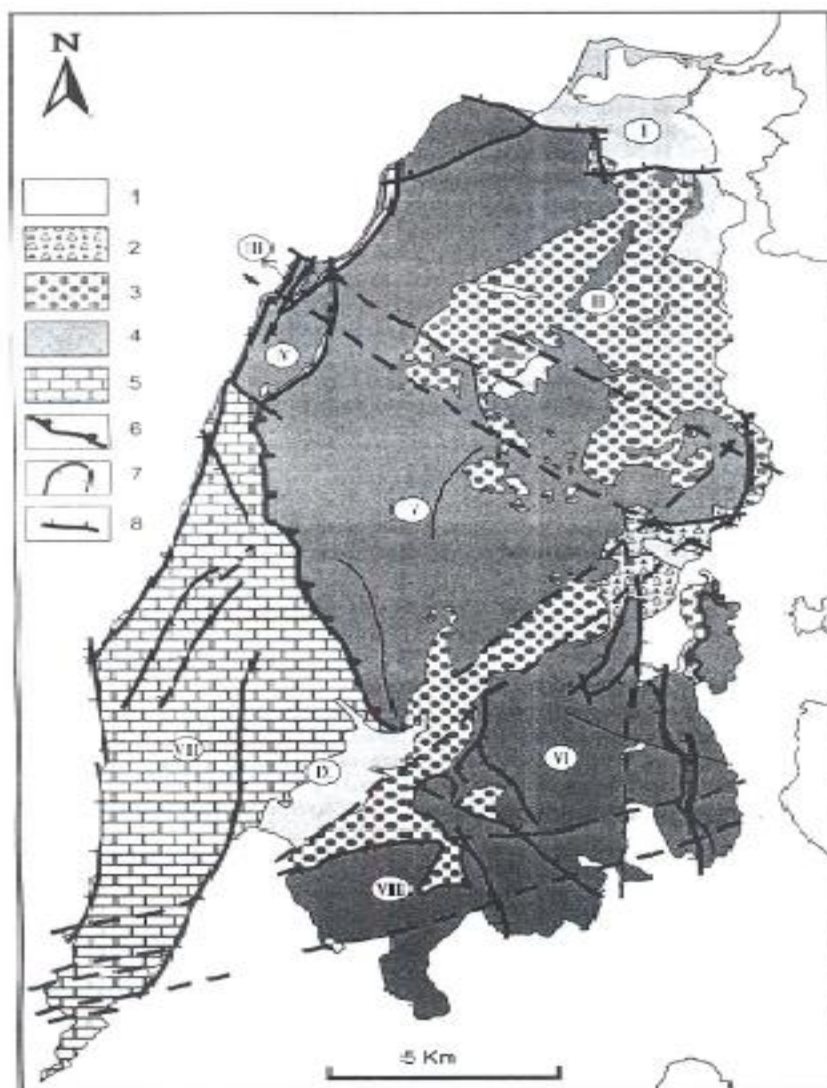
Σύμφωνα με τους Sorel (1976) και Mercier (1987), στο Κατώτερο Τεταρτογενές παρατηρείται ανάπτυξη συμπιεστικών τάσεων διεύθυνσης ΔΝΔ - ΑΒΑ, οι οποίες σχετίζονται με την δεξιόστροφη

οριζόντια ολίσθηση του ρήγματος Ληξουρίου – Λευκάδας, το οποίο θεωρείται ως συνέχεια της ρηξιγενούς ζώνης Σπερχειού – Αμβρακικού.



**Εικόνα 4. 5:** Γεωλογικός – Νεοτεκτονικός χάρτης νήσου Λευκάδας κατά Λέκκα Ε., Δανάμο Γ., Λόζιο Σ.

(Πηγή: [http://www.elekkas.gr/images/stories/photos/Xartes/LEFKADA\\_Neotek.jpg](http://www.elekkas.gr/images/stories/photos/Xartes/LEFKADA_Neotek.jpg))



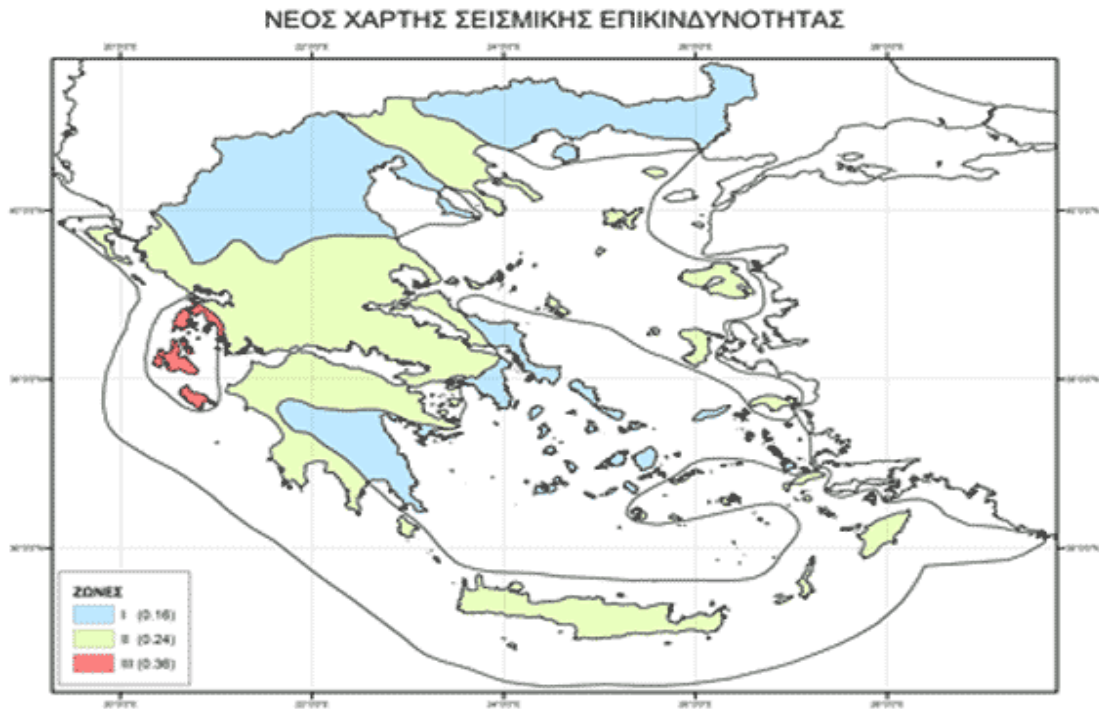
**Εικόνα 4. 6:** Χάρτης που απεικονίζει τις νεοτεκτονικές ενότητες στη νήσο Λευκάδα.

**I:** νεοτεκτονική ενότητα πόλης Λευκάδας, **II:** νεοτεκτονική ενότητα Τσουκαλάδων – Κατούνας, **III:** νεοτεκτονική ενότητα Αγίου Νικήτα, **IV:** νεοτεκτονική ενότητα Δρυμών, **V:** νεοτεκτονική ενότητα Μεγάλου Όρους – Σκάρων, **VI:** νεοτεκτονική ενότητα Βλυχού – Πόρου, **VII:** νεοτεκτονική ενότητα Σικερού – Αχράδας, **VIII:** νεοτεκτονική ενότητα χερσονήσου Λευκάτων, **IX:** νεοτεκτονική ενότητα βυθίσματος Βασιλικής. **1:** αλλούβια, **2:** κορήματ, **3:** μολασσοί σχηματισμοί, **4:** Ιόνιος Ζώνη, **5:** Ζώνη Παξών, **6:** επώθηση, **7:** εφίπτευση, **8:** ρήγμα.

(Πηγή: Λέκκας Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., 2001)

Όσον αφορά τη σεισμική επικινδυνότητα, η νήσος Λευκάδα εντάσσεται στη κατηγορία III με εδαφική επιτάχυνση 0,36 g, σύμφωνα με το νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της χώρας μας (Εικόνα 4. 7).





**Εικόνα 4. 7:** Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας για τον Ελλαδικό χώρο.

(Πηγή:

[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/EKDILOSEIS\\_P/HYPERLINKS/image002.gif](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/HYPERLINKS/image002.gif))

#### 4.4 Υδρολογικές συνθήκες νήσου Λευκάδας:

Λόγω του έντονου μορφολογικού αναγλύφου της νήσου παρατηρείται ασύμμετρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, όπου από την κατανομή των υδρογραφικών κλάδων φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειας της νήσου αποστραγγίζεται προς τα ανατολικά (Ρουσάκης Γ. et al.). Οι κλάδοι που ρέουν προς τη δυτική πλευρά της νήσου είναι μικροί τόσο σε αριθμό όσο και σε έκταση.

Ωστόσο, στη δυτική πλευρά εντοπίζονται διαπερατοί βραχώδεις ανθρακικοί σχηματισμοί λόγω δευτερογενούς πορώδους εξαιτίας της τεκτονικής καταπόνησης. Επιπλέον παρατηρούνται παραθαλάσσιες πηγές στην επαφή των ασβεστολίθων Παντοκράτορα με τις υποκείμενες μάργες της Ζώνης Παξών, όπως είναι στη περιοχή του Αγίου Ιωάννη.

Λόγω αυτού, δεν αναμένεται να υπάρχει μόνιμος υπόγειος υδάτινος ορίζοντας, ο οποίος να δημιουργεί επιπρόσθετα προβλήματα με συνέπεια να επηρεάζει τις κατολισθήσεις στη περιοχή.

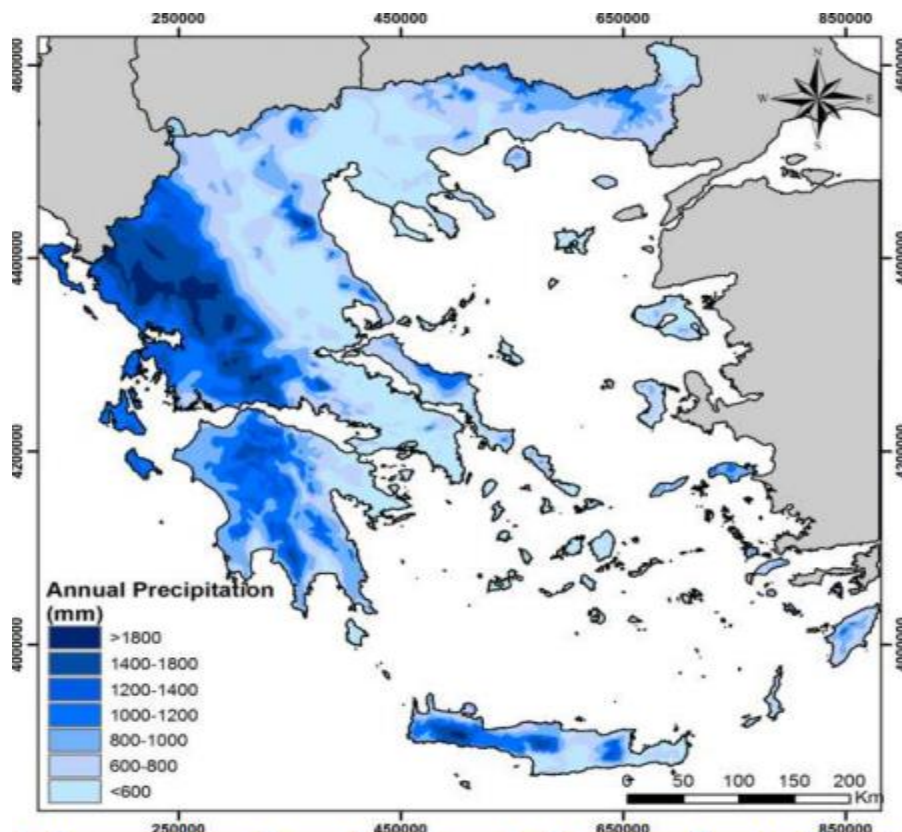
#### 4.5 Κλιματικές συνθήκες νήσου Λευκάδας:

Το κλίμα της νήσου Λευκάδας είναι τυπικό μεσογειακό, με ήπιο χειμώνα και υψηλές βροχοπτώσεις και ηλιόλουστο καλοκαίρι. Επιπλέον, στη νήσο πνέουν ισχυροί άνεμοι κατά το καλοκαίρι ενώ η υγρασία είναι αυξημένη ακόμα και το καλοκαίρι.

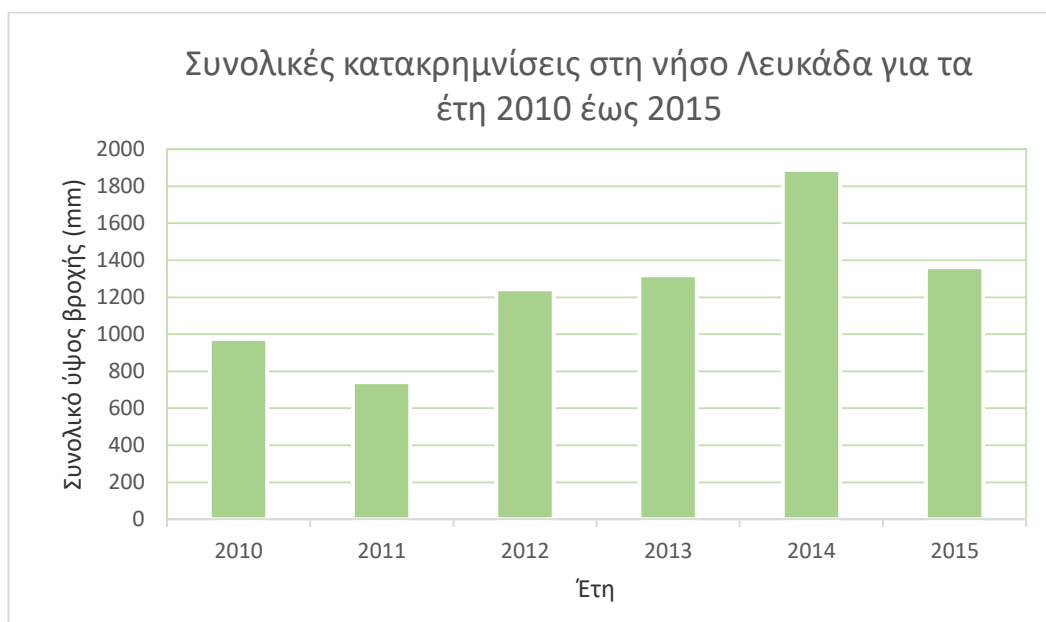
Παρατηρώντας τον κλιματολογικό χάρτη της Ελλάδας (Εικόνα 4. 8), είναι ορατό ότι η περιοχή της νήσου Λευκάδας εντάσσεται στη κατηγορία με ετήσιες βροχοπτώσεις 1.200 – 1.400mm.

Οι ετήσιες κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για τα έτη 2010 έως 2015 παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 4. 1 και είναι δυνατό να παρατηρηθεί ότι κατά το έτος 2014 σημειώθηκε το μεγαλύτερο ύψος βροχής. Τα στοιχεία αντλήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό που είναι εγκατεστημένος στη νήσο. Πιο συγκεκριμένα ο σταθμός βρίσκεται σε υψόμετρο 12m στη θέση Μαρίνα Λευκάδας και ξεκίνησε να καταγράφει δεδομένα τον Αύγουστο του 2009.

Οι έντονες κατακρημνίσεις που εκδηλώνονται στη νήσο ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, είναι ικανές να οδηγήσουν σε εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων σε περιοχές της νήσου όπου παρατηρείται μείωση της στατικής ικανότητας των γεωλογικών σχηματισμών.

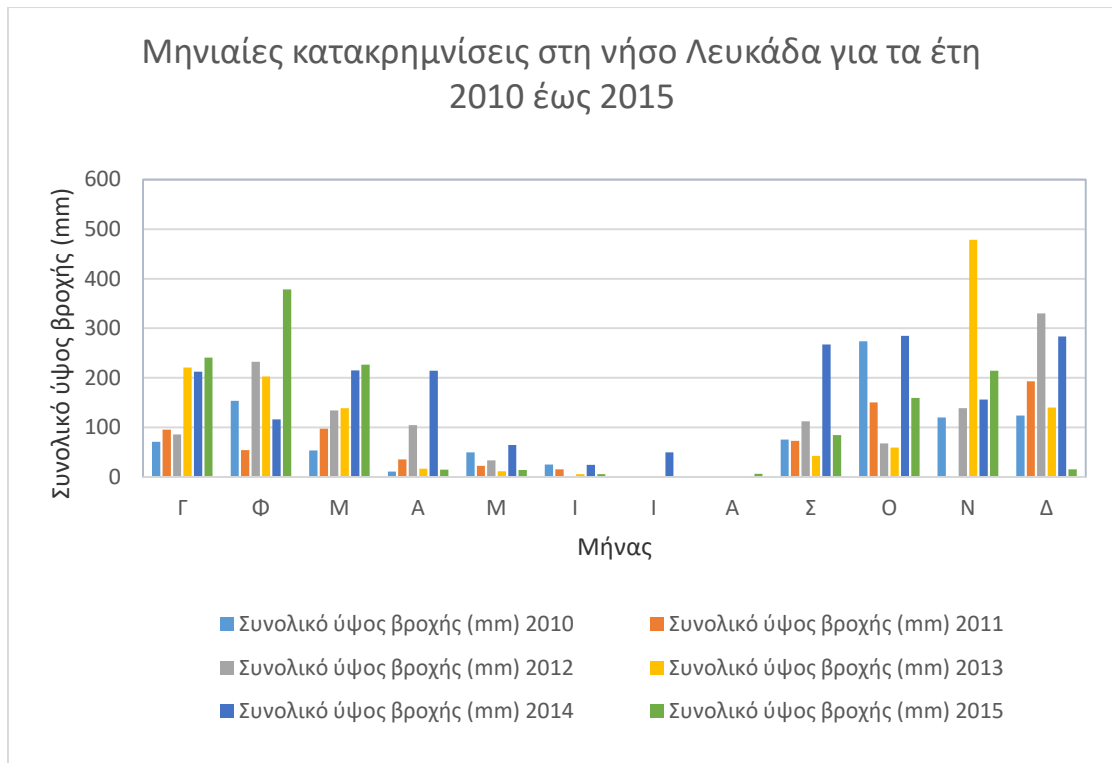


**Εικόνα 4. 8:** Χάρτης που απεικονίζει τις ετήσιες κατακρημνίσεις στην Ελλάδα κατά Σαμπατακάκη.



**Διάγραμμα 4. 1:** Συνολικές κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για τα έτη 2010 – 2015.

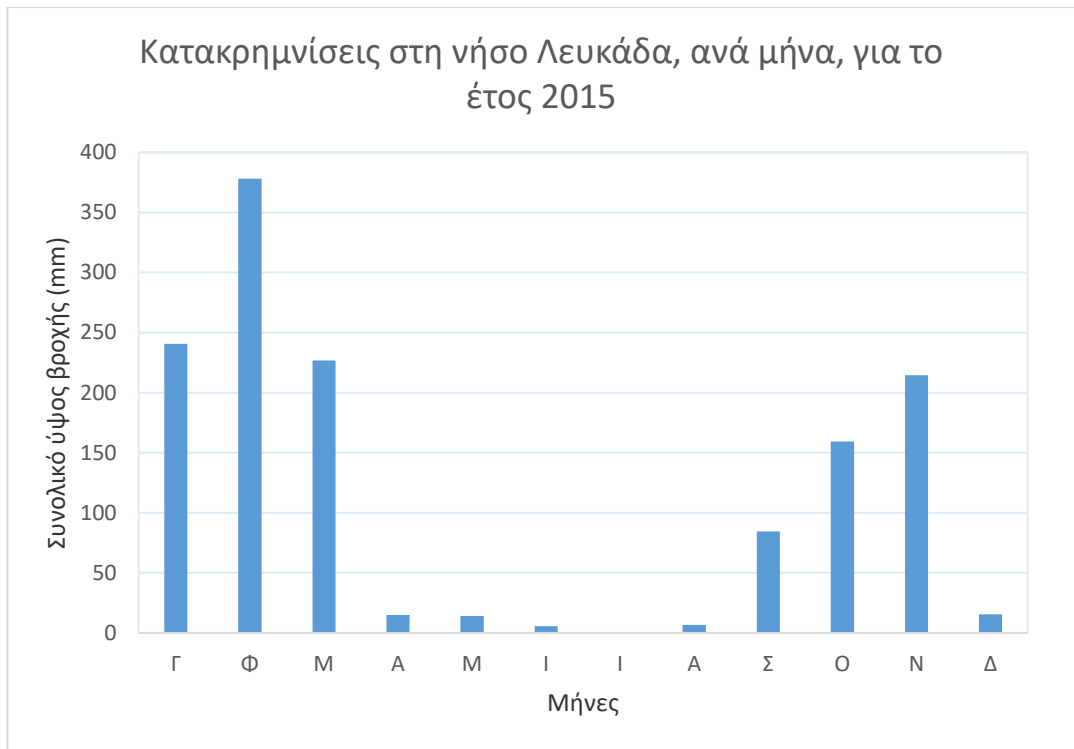
(Πηγή δεδομένων: <http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>)



**Διάγραμμα 4. 2:** Μηνιαίες κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για τα έτη 2010 – 2015.

0(Πηγή δεδομένων: <http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>)

Όσον αφορά το έτος 2015, από το Διάγραμμα 4. 3, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρήθηκε τους χειμερινούς μήνες και κυρίως το μήνα Φεβρουάριο. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο και Αύγουστο, στη νήσο παρατηρήθηκε το ελάχιστο ύψος κατακρημνίσεων ενώ κατά τον Ιούλιο δε σημειώθηκαν καθόλου κατακρημνίσεις.



**Διάγραμμα 4. 3:** Μηνιαίες κατακρημνίσεις στη νήσο Λευκάδα για το έτος 2015.

(Πηγή δεδομένων: <http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: Μεθοδολογία

### 5.1 Εισαγωγή:

Για να κατασκευαστεί ο χάρτης επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων στη νήσο Λευκάδα, χρησιμοποιήθηκε η **μέθοδος της υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών βάρους**. Σύμφωνα με τη μέθοδο, αφού ορίστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις και κάθε παράγοντας αναλύθηκε σε κατηγορίες, ακολουθήσε η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας με βάση την οποία προέκυψε ο θεματικός χάρτης κάθε παράγοντα. Στη συνέχεια, αποδόθηκε βαθμός βαρύτητας σε κάθε παράγοντα προκειμένου να συνδυστούν οι επιμέρους χάρτες και να προκύψει ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας.

### 5.2 Επεξεργασία δεδομένων:

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Quantum GIS 2.16 (Qgis). Το λογισμικό αυτό αφορά ένα ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, αφορούν τους παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις, οι οποίοι είναι:

1. Λιθολογία περιοχής
2. Απόσταση από τεκτονικές επαφές
3. Υψόμετρο
4. Κλίση
5. Προσανατολισμός πρηνών
6. Χρήσες γης

Στη συνέχεια ακολουθεί ο τρόπος επεξεργασίας και βαθμονόμησης του κάθε παράγοντα.

### 5.2.1 Βαθμονόμηση παραγόντων:

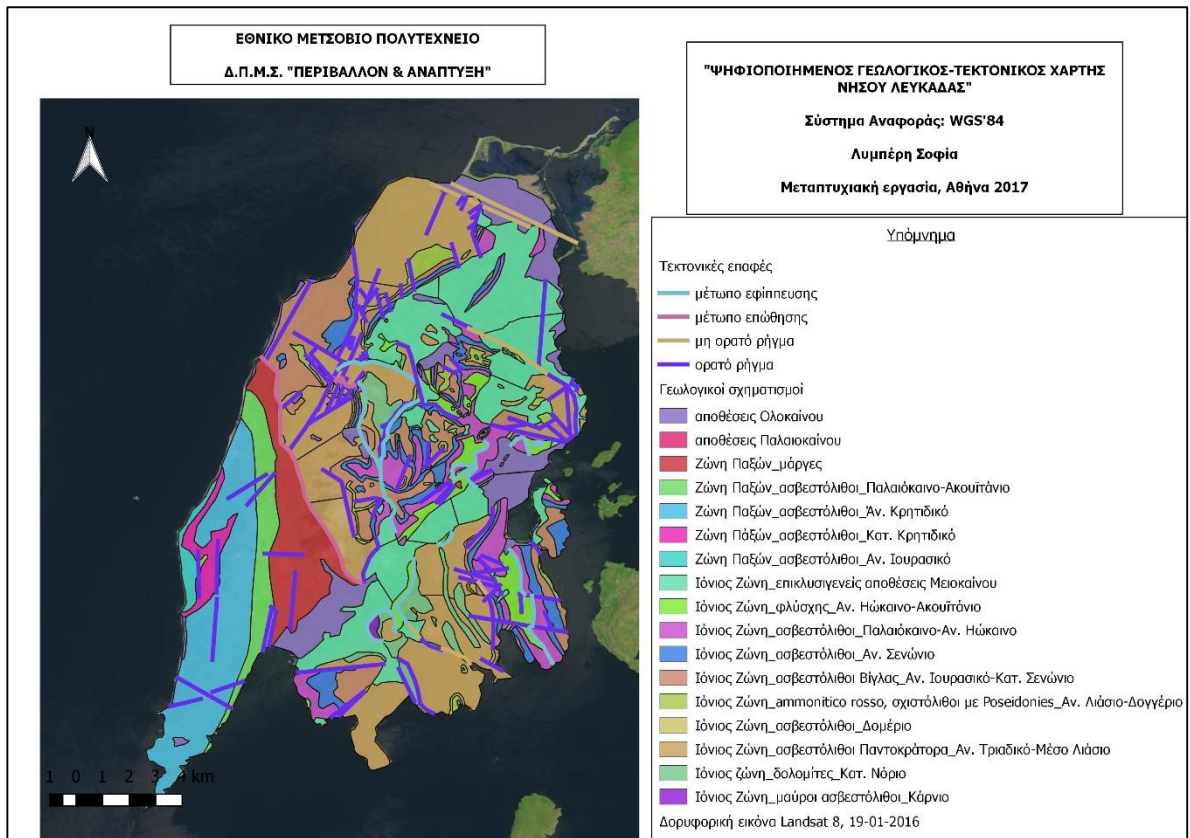
Η κλίμακα βαθμονόμησης επιλέχτηκε να είναι από το 1 έως το 5, όπου με 1 χαρακτηρίζεται η μικρότερη επικινδυνότητα και με 5 η μεγαλύτερη.

#### 5.2.1.1 Λιθολογία:

Στη περιοχή μελέτης εμφανίζονται λιθολογίες που αντιστοιχούν σε πετρώματα της Ζώνης Παξών και της Ιόνιας Ζώνης, τα οποία αναλύθηκαν στις ενότητες 4.2.1 και 4.2.2 αντίστοιχα. Πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση των σχηματισμών όπως απαντούν στο γεωλογικό χάρτη του Ι.Μ.Γ.Ε. (φύλλο Λευκάς), κλίμακας 1:50.000 με χρήση του προγράμματος QGIS (Εικόνα 5. 1).

Το αρχείο που προέκυψε, μετά τη ψηφιοποίηση των σχηματισμών, είναι της μορφής vector αρχείου. Προκειμένου να κατασκευαστεί ο χάρτης με τη βαθμονόμηση των σχηματισμών, έγινε μετατροπή αυτού του vector αρχείου σε αρχείο raster με την εντολή Conversion.

Στη συνέχεια, με την εντολή Raster calculator εισήχθη η φόρμουλα βαθμονόμησης κάθε κατηγορίας-είδος λιθολογίας (Εικόνα 5. 2) και δημιουργήθηκε ο χάρτης επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων βασισμένος στη βαθμονόμηση των λιθολογιών της νήσου (Εικόνα 5.3).



**Εικόνα 5. 1:** Ψηφιοποιημένος γεωλογικός-τεκτονικός χάρτης νήσου Λευκάδας (vector αρχείο).

Η βαθμονόμηση των σχηματισμών στηρίχτηκε στις μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάζουν στη νήσο και στο βαθμό συνεκτικότητάς τους.

Πιο συγκεκριμένα, οι αποθέσεις Παλαιokaίνου και Ολοκαίνου, αν και στη νήσο εμφανίζονται σε σχεδόν οριζόντια στρώματα, βαθμονομήθηκαν με τον μέγιστο βαθμό επικινδυνότητας (5) διότι σαν πιο πρόσφατες γεωλογικά αποθέσεις έχουν μικρό βαθμό συνεκτικότητας και παρουσιάζουν εύκολα κατολισθητικά φαινόμενα, ιδίως μετά από ανθρώπινη επίδραση (Λέκκας, Βερυκίου, Δανάμος, Λόζιος, Σκούρτσος). Παρόμοια βαθμονομήθηκαν και οι οι επικλυσιογενείς αποθέσεις Μειokaίνου της Ιόνιας Ζώνης.

Ο σχηματισμός των αβεστολίθων Παντοκράτορα της Ιόνιας Ζώνης βαθμονομήθηκε με βαθμό επικινδυνότητας (4). Η διεύρυνση των ασυνεχειών του και των διακλάσεων του από το νερό μειώνουν τις μηχανικές του ιδιότητες και τον καθιστούν ευάλωτο σε πτώσεις τεμαχών. Στις

μειωμένες μηχανικές του ιδιότητες, στη μεγάλη καταπόνηση που έχει υποστεί αυτός ο σχηματισμός αλλά και τον κατακερματισμό του επενεργούν η μεγάλη πυκνότητα τεκτονικών επαφών (ρήγματα) αλλά και η επαφή του με την επώθηση που παρατηρείται στη νήσο, η οποία φέρνει την Ιόνια Ζώνη πάνω από τη Ζώνη Παξών, όπως φαίνεται και από το νεοτεκτονικό χάρτη της νήσου κατά Λέκκα Ε., Δανάμο Γ., Λόζιο Σ.

Οι φλυσικοί σχηματισμοί της Ιόνιας Ζώνης λόγω της ετερογένειας που παρουσιάζουν καθώς και οι μαργαϊκοί σχηματισμοί της Ζώνης Παξών παρουσιάζουν μειωμένη συνεκτικότητα (Λέκκας, Βερυκίου, Δανάμος, Λόζιος, Σκούρτσος) και βαθμονομήθηκαν με βαθμό επικινδυνότητας (4).

Οι ασβεστόλιθοι της Ζώνης Παξών βαθμονομήθηκαν με το βαθμό (4) διότι στη βιβλιογραφία (Λέκκας, Βερυκίου, Δανάμος, Λόζιος, Σκούρτσος) αναφέρονται ως κατακερματισμένοι και βρίσκονται και αυτοί κοντά στη ζώνη της επώθησης.

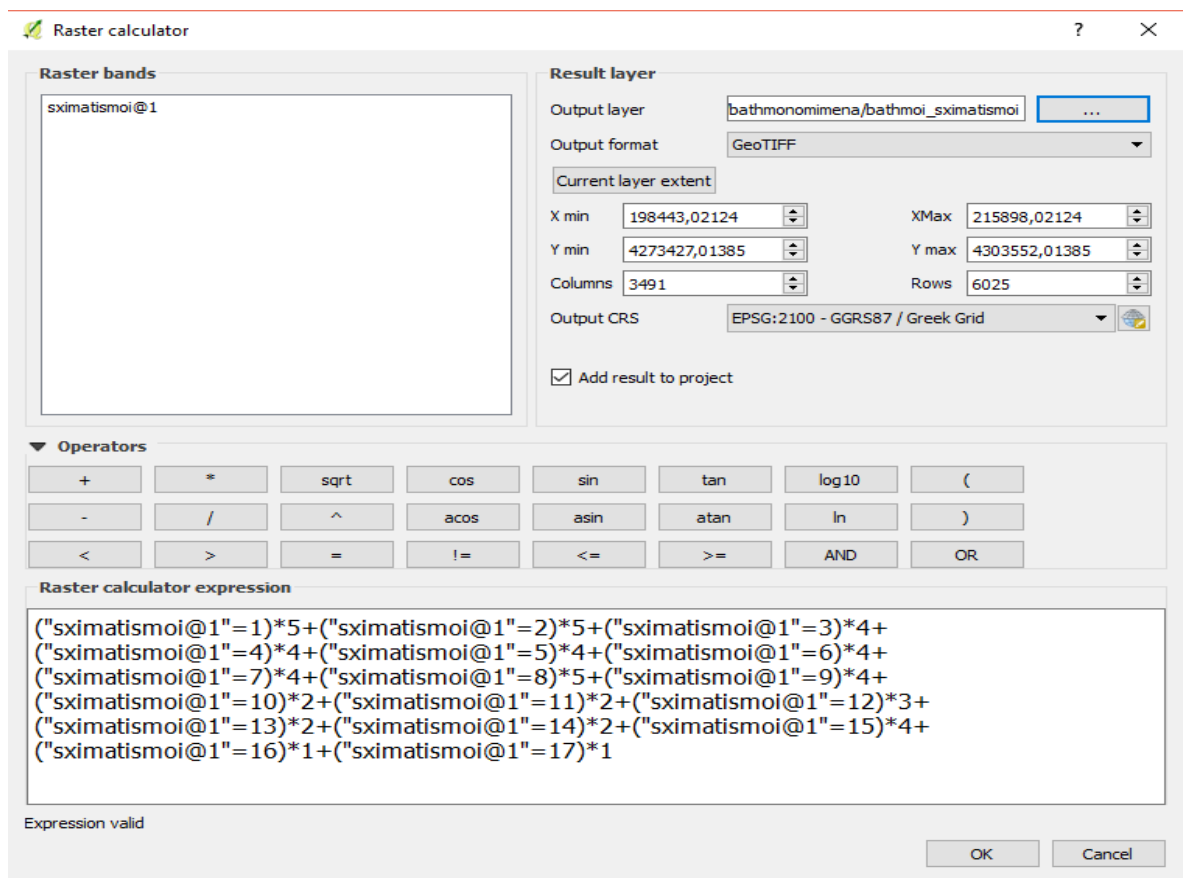
Με το βαθμό (2) βαθμονομήθηκαν οι ασβεστόλιθοι Βίγλας της Ιόνιας Ζώνης, οι οποίοι παρουσιάζονται κατακερματισμένοι (Λέκκας, Βερυκίου, Δανάμος, Λόζιος, Σκούρτσος) αλλά σε σχέση με τους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα έχουν μικρότερη πυκνότητα τεκτονικών επαφών. Επιπλέον με χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας (2) βαθμονομήθηκαν και οι σχηματισμοί με ammonitico rosso και οι σχιστόλιθοι με Poseidonies.

Τέλος, με το βαθμό (1) βαθμονομήθηκαν οι μαύροι βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι Καρνίου της Ιόνιας Ζώνης διότι παρουσιάζουν μικρή πυκνότητα τεκτονικών επαφών όπως φαίνεται από το νεοτεκτονικό χάρτη της νήσου κατά Λέκκα Ε., Δανάμο Γ., Λόζιο Σ. και οι μηχανικές τους ιδιότητες κρίνονται καλές.

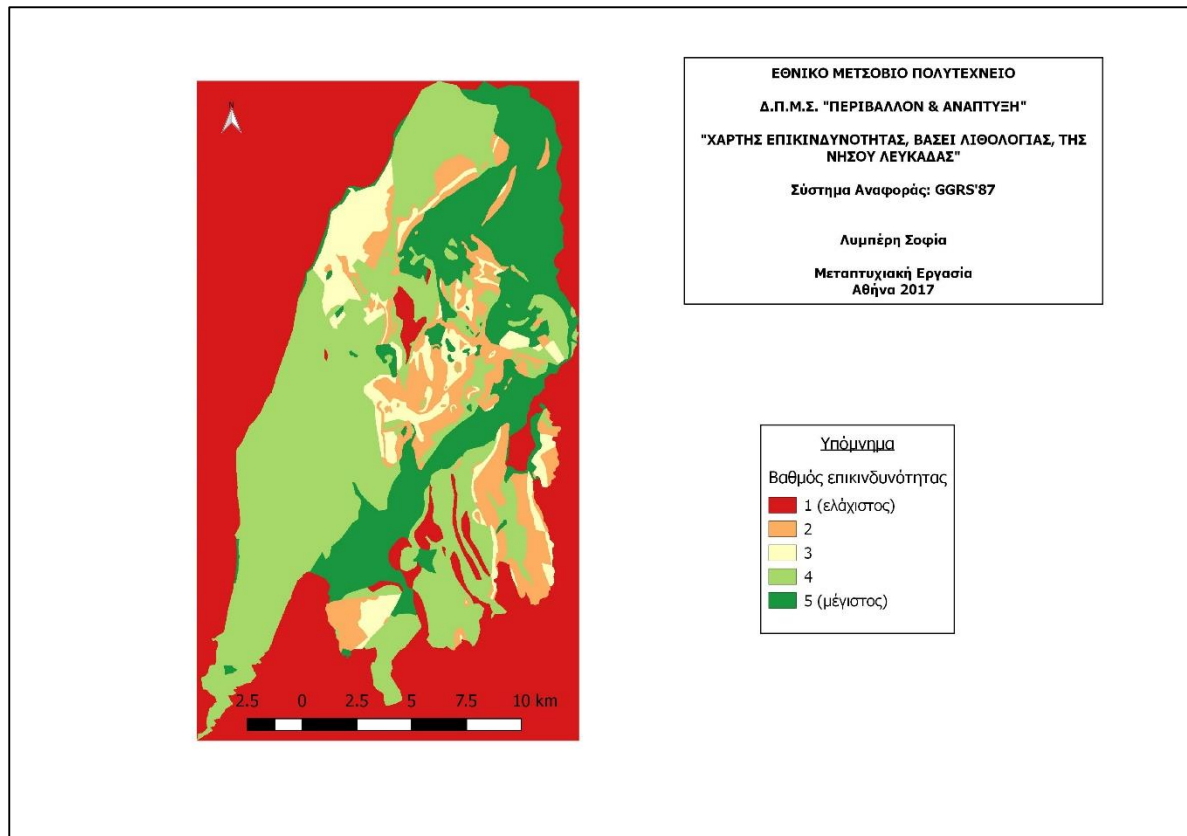
Στον πίνακα 5. 1 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση των λιθολογιών.

ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
αποθέσεις Ολοκαίνου	5
αποθέσεις Παλαιοκαίνου	5
μάργες Ζώνης Παξών	4
ασβεστόλιθοι Ζώνης Παξών	4
επικλυσιγενείς αποθέσεις	5
φλύσχης Ιόνιας Ζώνης	4
ασβεστόλιθοι Ιόνιας Ζώνης	2
ασβεστόλιθοι Βίγλας Ιόνιας Ζώνης	3
ammonitico rosso και σχιστόλιθοι Ιόνιας Ζώνης	2
ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα Ιόνιας Ζώνης	4
δολομίτες Ιόνιας Ζώνης	1
μαύροι ασβεστόλιθοι Ιόνιας Ζώνης	1

Πίνακας 5. 1: Βαθμονόμηση λιθολογίας.



Εικόνα 5. 2: Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των λιθολογιών της νήσου.



**Εικόνα 5. 3:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει λιθολογίας.

#### 5.2.1.2 Τεκτονικές επαφές:

Στη νήσο παρατηρείται πλήθος τεκτονικών επαφών, όπως παρατηρούμε και από τον νεοτεκτονικό χάρτη κατά Λέκκα Ε., Δανάμο Γ., Λόζιο Σ. (Εικόνα 4. 5). Επιλέχθηκε να βαθμονομηθούν αυτές οι τεκτονικές επαφές και όχι οι τεκτονικές επαφές που παρουσιάζονται στο γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε, διότι ο νεοτεκτονικός χάρτης είναι πιο πρόσφατος (2001) με συνέπεια να αποδίδει καλύτερα τις συνθήκες της νήσου.

Στο νεοτεκτονικό χάρτη παρατηρούμε ότι οι τεκτονικές επαφές που εμφανίζονται είναι οι εξής:

- Επώθηση
- Εφίπλευση
- Ενεργό ρήγμα

- Ρήγμα πιθανά ενεργό
- Πιθανό ή καλυμμένο ρήγμα
- Ανενεργό ρήγμα

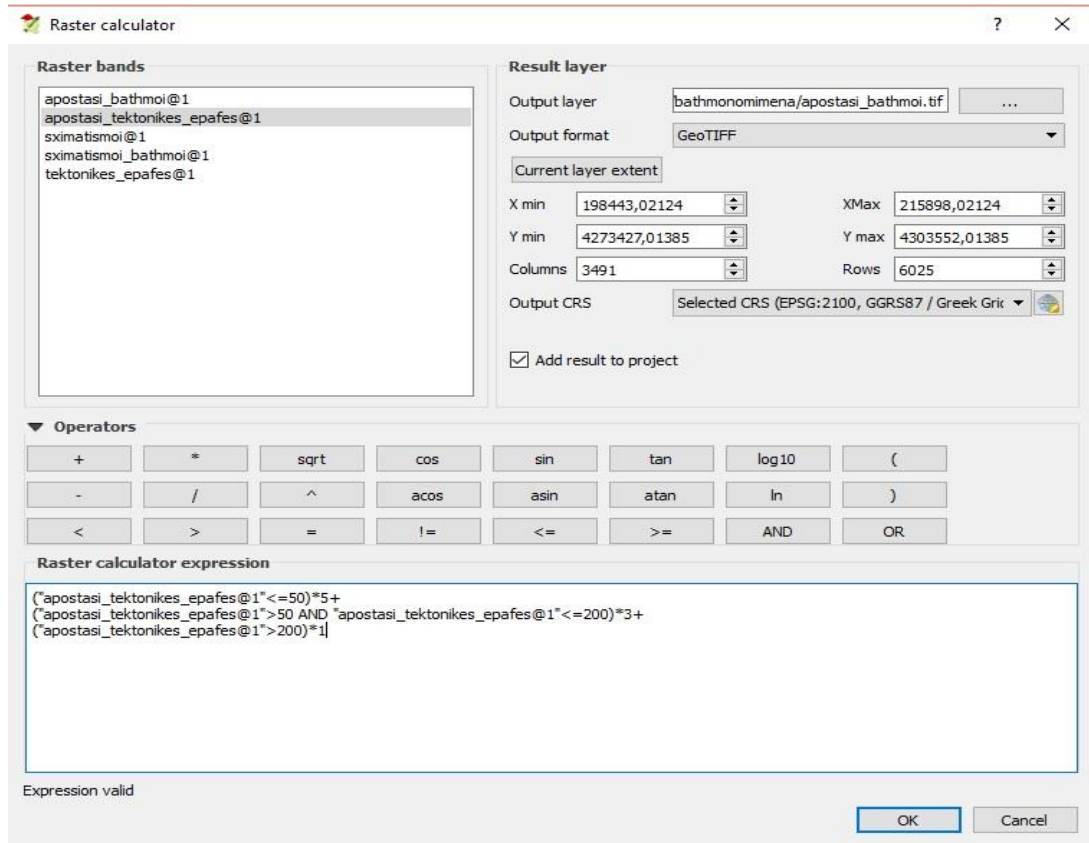
Από τις παραπάνω κατηγορίες, τα ανενεργά ρήγματα δεν απασχόλησαν στη βαθμονόμηση αφού κρίθηκε ότι δεν μπορούν να δράσουν πλέον άρα δεν αποτελούν αιτία εκδήλωσης κατολίσθησης.

Η βαθμονόμηση στηρίχθηκε στην απόσταση από αυτές τις επαφές και δίνεται στον Πίνακα 5.2. Με το μέγιστο βαθμό (5) βαθμονομήθηκε η ελάχιστη απόσταση από τις τεκτονικές επαφές.

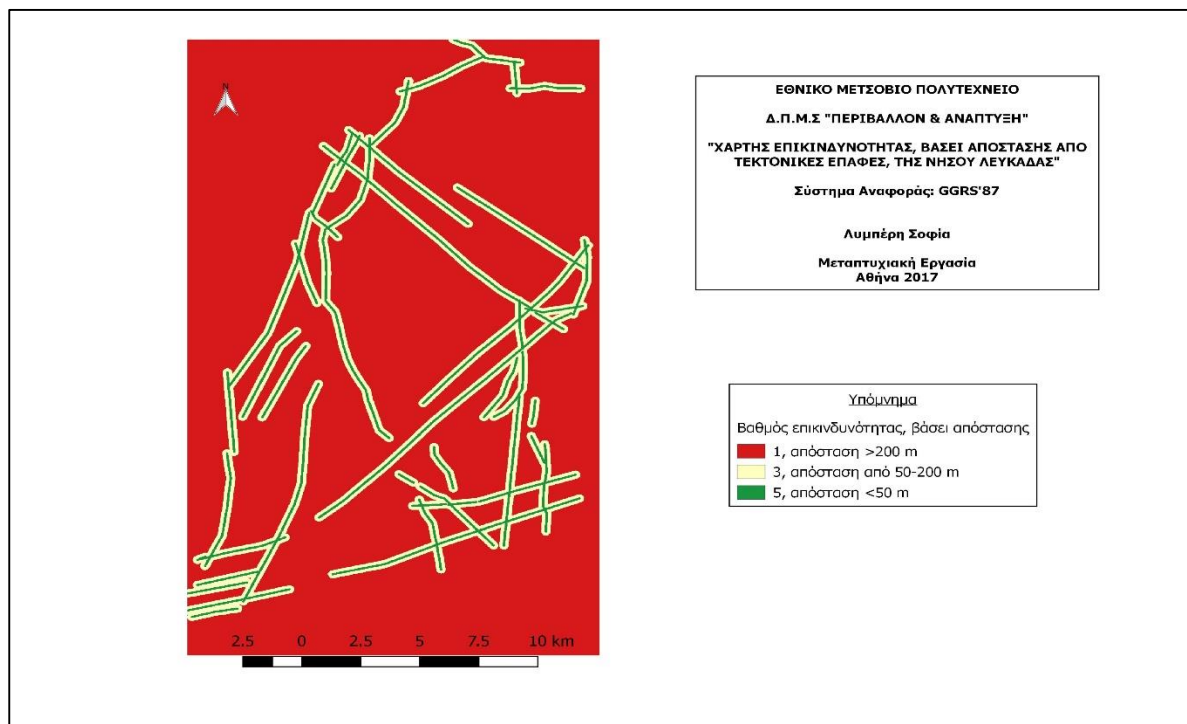
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ (m)	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
0-50	5
50-200	3
>200	1

**Πίνακας 5. 2:** Βαθμονόμηση απόστασης από τεκτονικές επαφές.

Στην Εικόνα 5. 4, παρουσιάζεται το παράθυρο διαλόγου Raster calculator με τη φόρμουλα βαθμονόμησης των αποστάσεων από τις τεκτονικές επαφές ενώ η Εικόνα 5. 5 παρουσιάζει τον χάρτη επικινδυνότητας, βάσει της παραπάνω βαθμονόμησης.



**Εικόνα 5. 4:** Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των αποστάσεων από τεκτονικές επαφές της νήσου Λευκάδας.

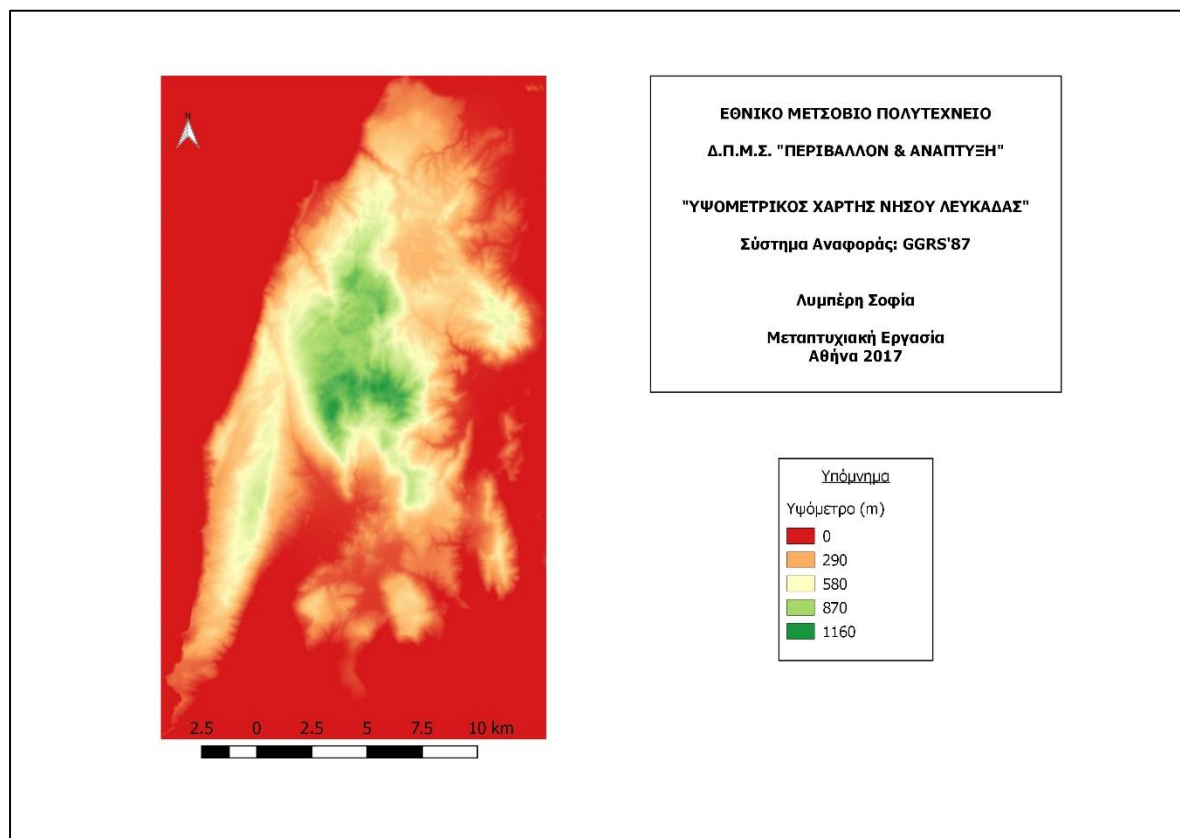


**Εικόνα 5. 5:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει απόστασης από τεκτονικές επαφές.



### 5.2.1.3 Υψόμετρο:

Για το υψόμετρο της νήσου, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), από τα οποία προέκυψε ο υψομετρικός χάρτης της Εικόνας 5. 6.



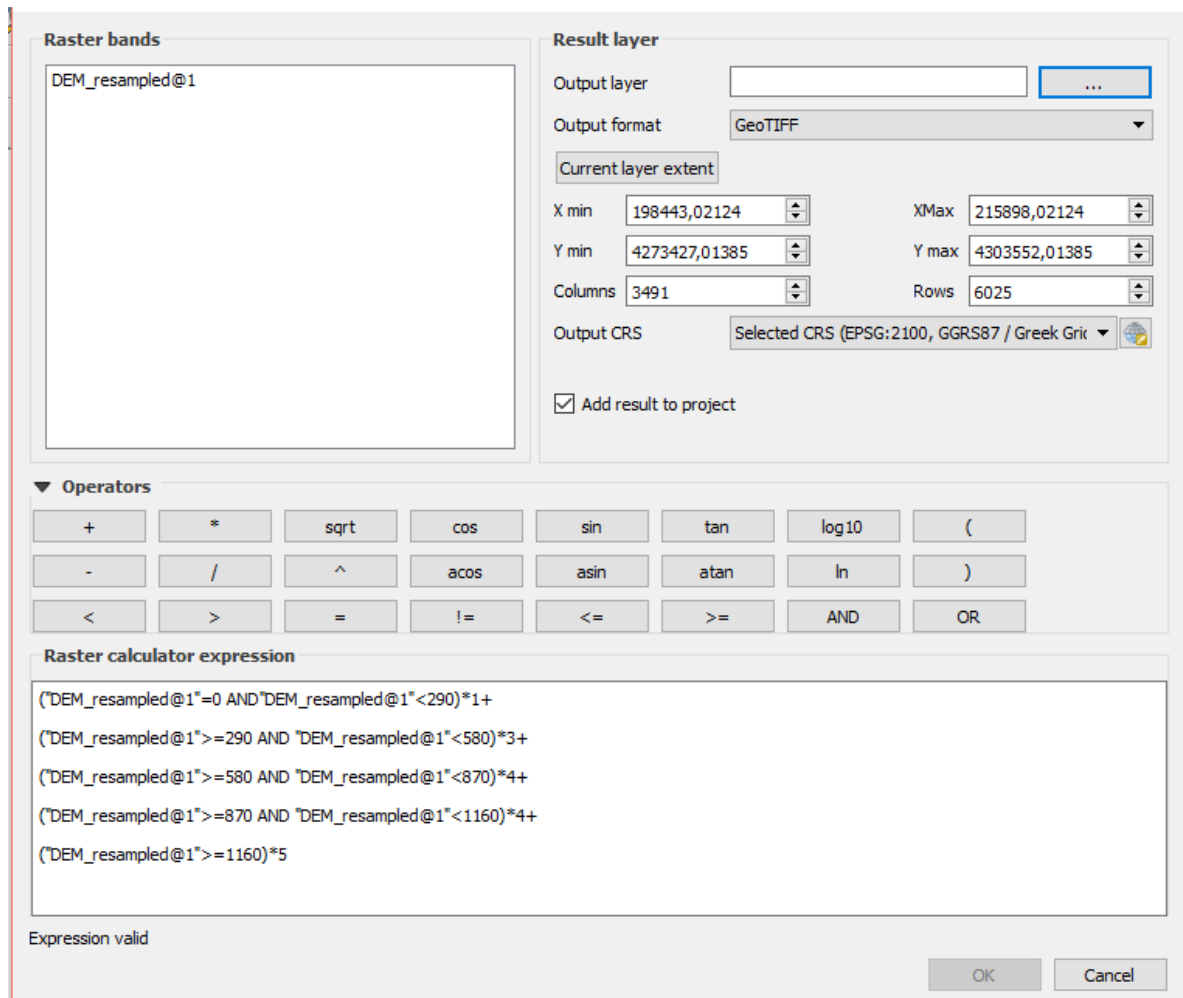
**Εικόνα 5. 6:** Υψομετρικός χάρτης νήσου Λευκάδας.

Η βαθμονόμηση του υψομέτρου δίνεται στο Πίνακα 5. 3 ενώ η φόρμουλα βαθμονόμησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 5. 7. Η βαθμονόμηση του υψομέτρου στηρίχθηκε στο γεγονός ότι σε ολόενα και μεγαλύτερα υψόμετρα ο κίνδυνος εμφάνισης κατολισθήσεων είναι μεγαλύτερος (Γαλανού, Κολοκούσης, 2010).

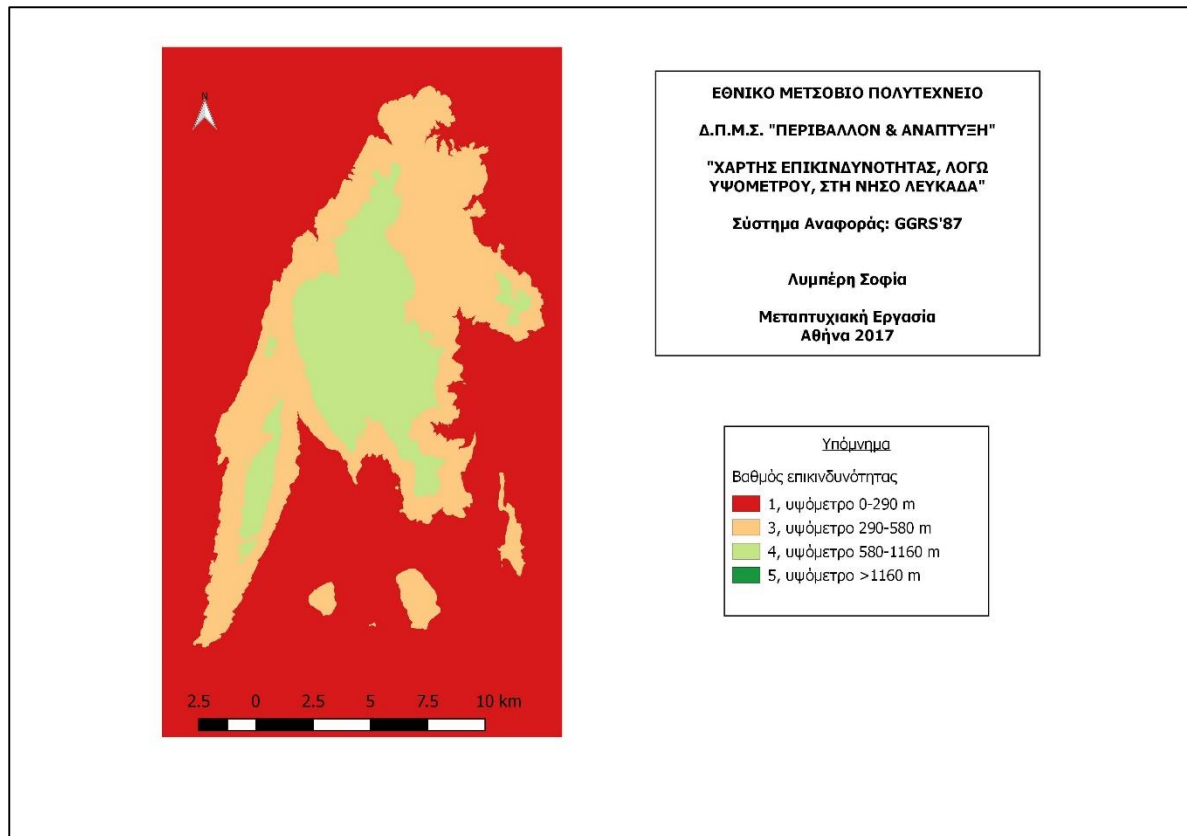
Ο χάρτης επικινδυνότητας λόγω υψομέτρου που προέκυψε, δίνεται στην Εικόνα 5. 8.

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
0-289	1
290-579	3
580-869	4
870-1160	4
>1160	5

Πίνακας 5. 3: Βαθμονόμηση υψομέτρου.



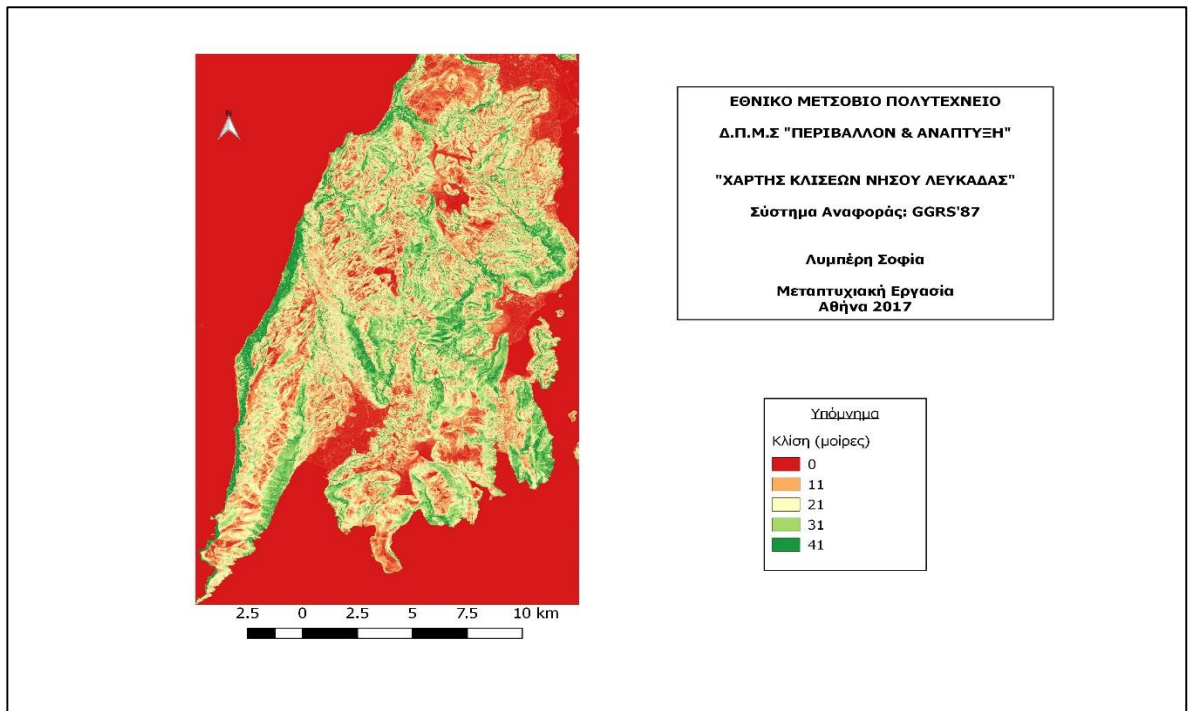
Εικόνα 5. 7: Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης του υψομέτρου στη νήσο Λευκάδα.



**Εικόνα 5. 8:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει υψομέτρου.

#### 5.2.1.4 Κλίση:

Από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, κάνοντας χρήση της εντολής Slope στο πρόγραμμα QGIS, προέκυψε ο χάρτης κλίσεων για τη νήσο Λευκάδα (Εικόνα 5. 9).



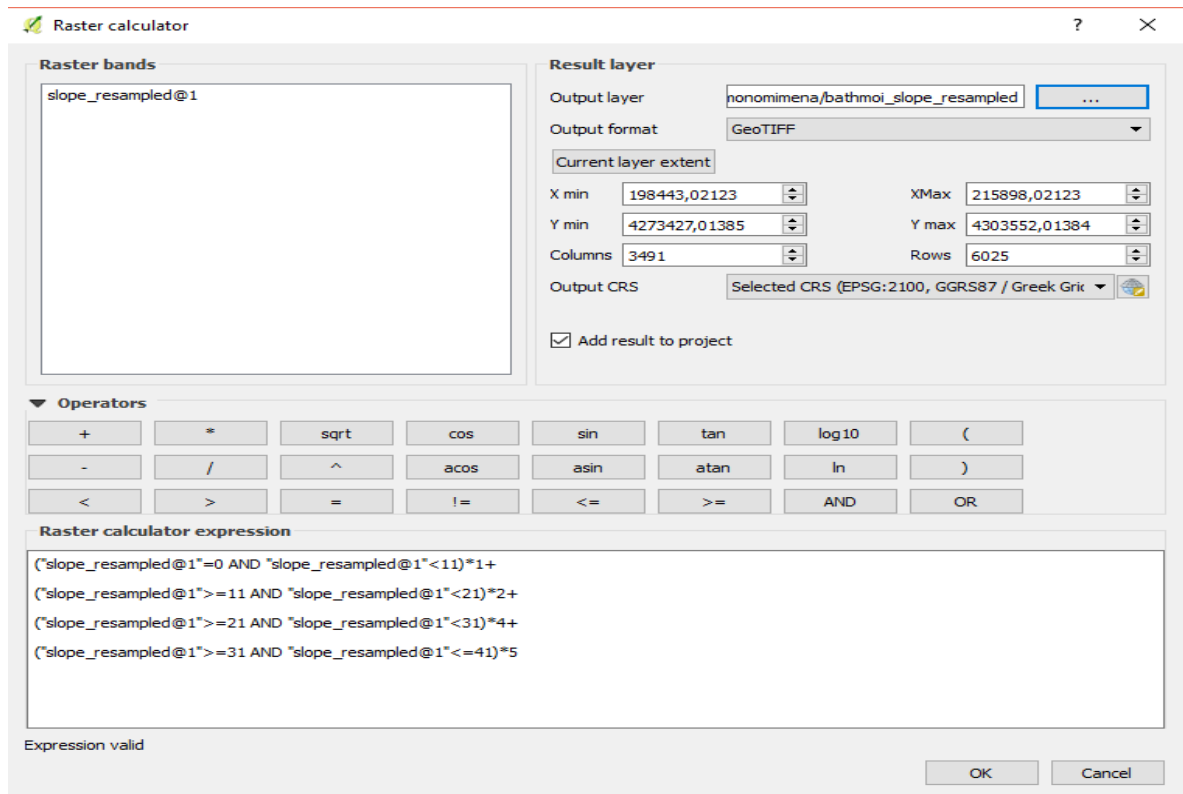
**Εικόνα 5. 9:** Χάρτης κλίσεων νήσου Λευκάδας.

Ο Πίνακας 5. 4 παρουσιάζει τη βαθμονόμηση των κλίσεων ενώ στην Εικόνα 5. 10 παρουσιάζεται η εντολή Raster calculator. Σε σχέση με τη βαθμονόμηση των κλίσεων, θεωρήθηκε ότι μεγαλύτερος βαθμός επικινδυνότητας (5) έπρεπε να δοθεί στα πρανή με κλίση μεγαλύτερη των 31° (Γαλανού, Κολοκούσης, 2010) ενώ σε πιο ήπιας κλίσης πρανή αποδόθηκαν μικρότεροι βαθμοί επικινδυνότητας.

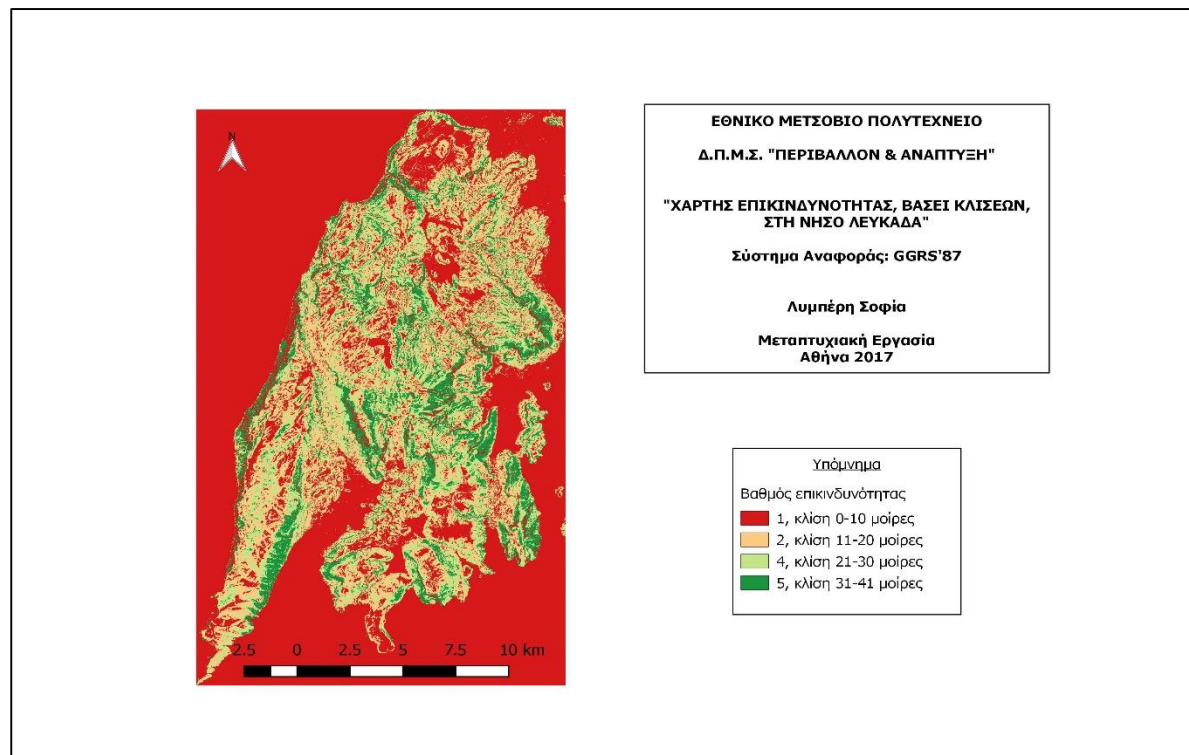
Στην Εικόνα 5. 11 απεικονίζεται ο χάρτης επικινδυνότητας λόγω κλίσεων για τη νήσο Λευκάδα.

ΚΛΙΣΗ (°)	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
0-10	1
11-20	2
21-30	4
31-41	5

**Πίνακας 5. 4:** Βαθμονόμηση κλίσεων.



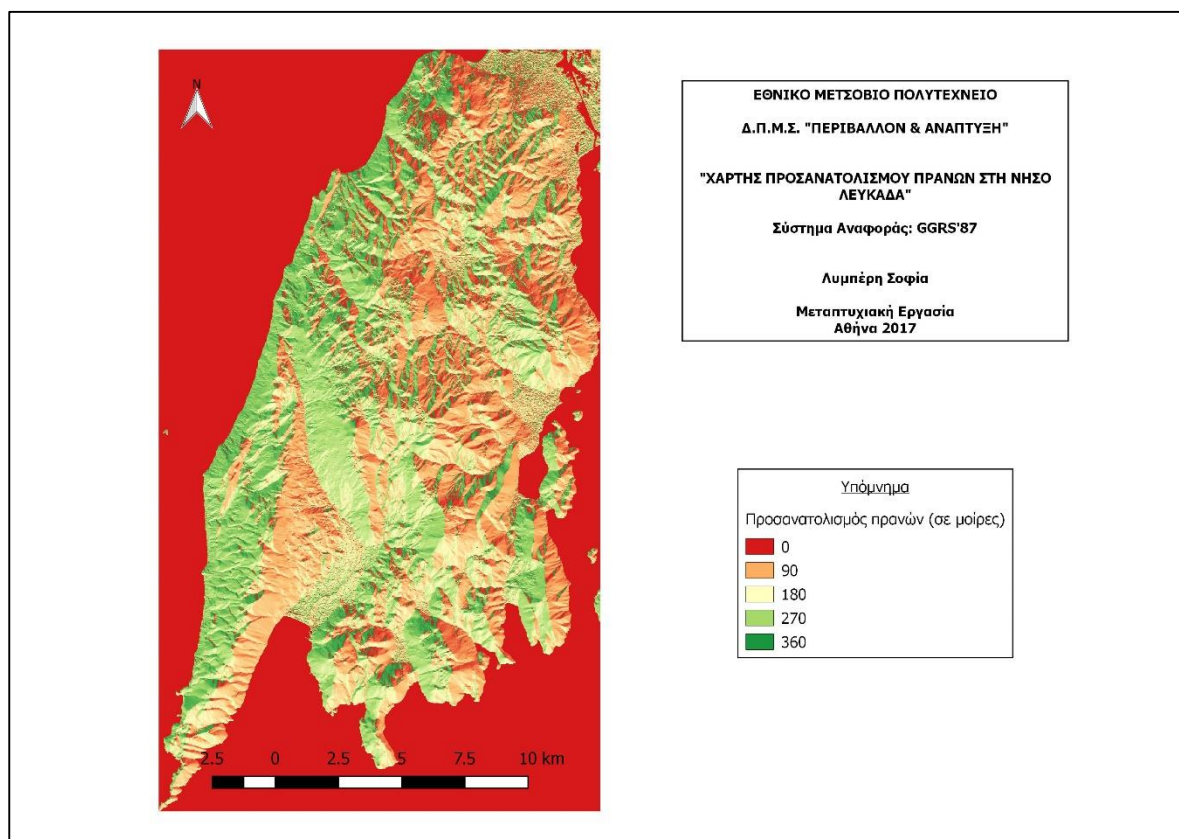
**Εικόνα 5. 10:** Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των κλίσεων στη νήσο Λευκάδα.



**Εικόνα 5. 11:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας βάσει κλίσεων.

### 5.2.1.5 Προσανατολισμός πρανών:

Από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, κάνοντας χρήση της εντολής Aspect στο πρόγραμμα QGIS, προέκυψε ο χάρτης προσανατολισμού πρανών για τη νήσο Λευκάδα (Εικόνα 5. 12).



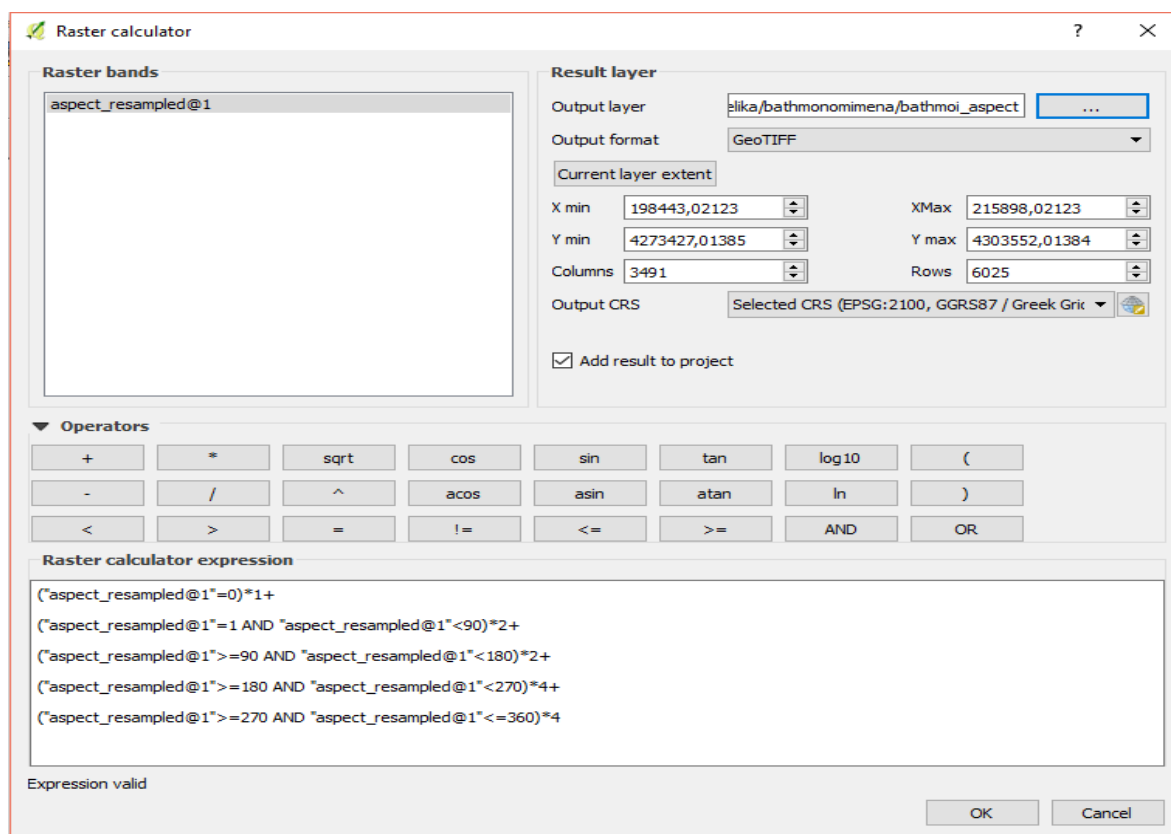
**Εικόνα 5. 12:** Χάρτης προσανατολισμού πρανών για τη νήσο Λευκάδα.

Στον Πίνακα 5. 5 παρουσιάζεται τη βαθμονόμηση του προσανατολισμού των πρανών ενώ η Εικόνα 5. 13 παρουσιάζει τη βαθμονόμηση του παράγοντα κάνοντας χρήση της εντολής Raster calculator. Η βαθμονόμηση του προσανατολισμού των πρανών στηρίχθηκε στο γεγονός ότι στα δυτικά πρανή παρατηρούνται οι μεγαλύτερες κλίσεις και από εικόνες της περιοχής φαίνεται ότι είναι τα πιο απότομα πρανή, ικανά να δώσουν κατολισθητικά φαινόμενα. Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η διεύθυνση από την οποία προέρχονται οι βροχωπτώσεις στη νήσο, η οποία είναι κυρίως ΒΔ. Για το λόγο αυτό, τα δυτικά πρανή βαθμονομήθηκαν με βαθμό επικινδυνότητας (4) ενώ τα ανατολικά πρανή βαθμονομήθηκαν με βαθμό (2).

Η Εικόνα 5. 14 απεικονίζει το χάρτη επικινδυνότητας λόγω προσανατολισμού πρανών για τη νήσο Λευκάδα.

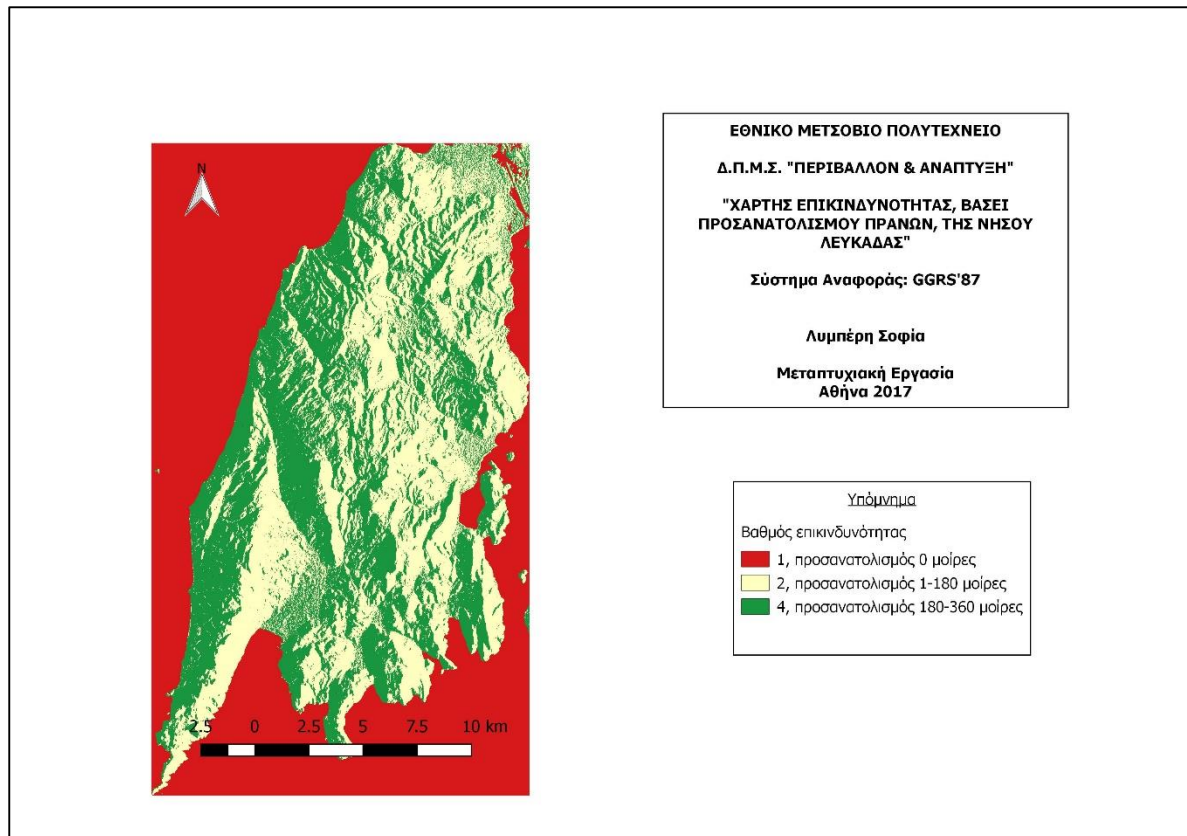
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΡΑΝΩΝ (°)	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
0-89	2
90-179	2
180-269	4
270-360	4

**Πίνακας 5. 5:** Βαθμονόμηση προσανατολισμού πρανών.



**Εικόνα 5. 13:** Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης του προσανατολισμού πρανών στη νήσο Λευκάδα.

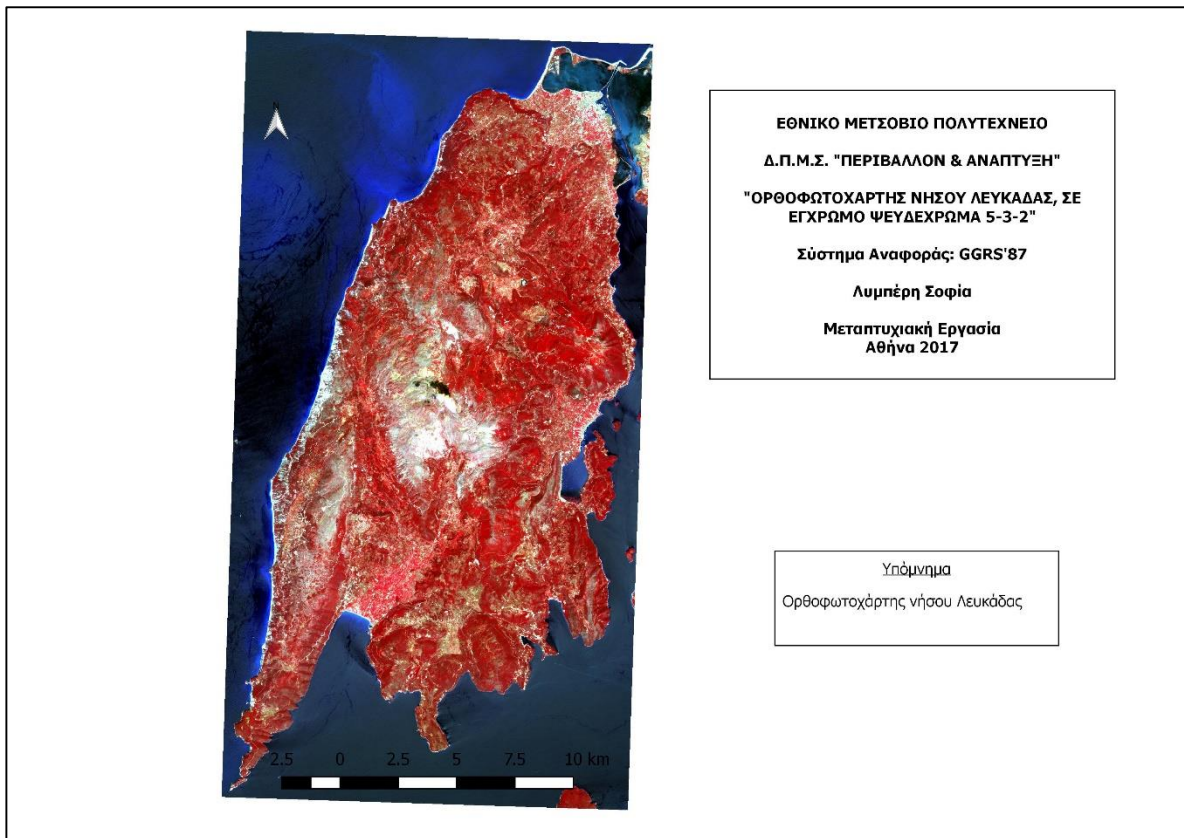




**Εικόνα 5. 14:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας, βάσει προσανατολισμού των πρानών.

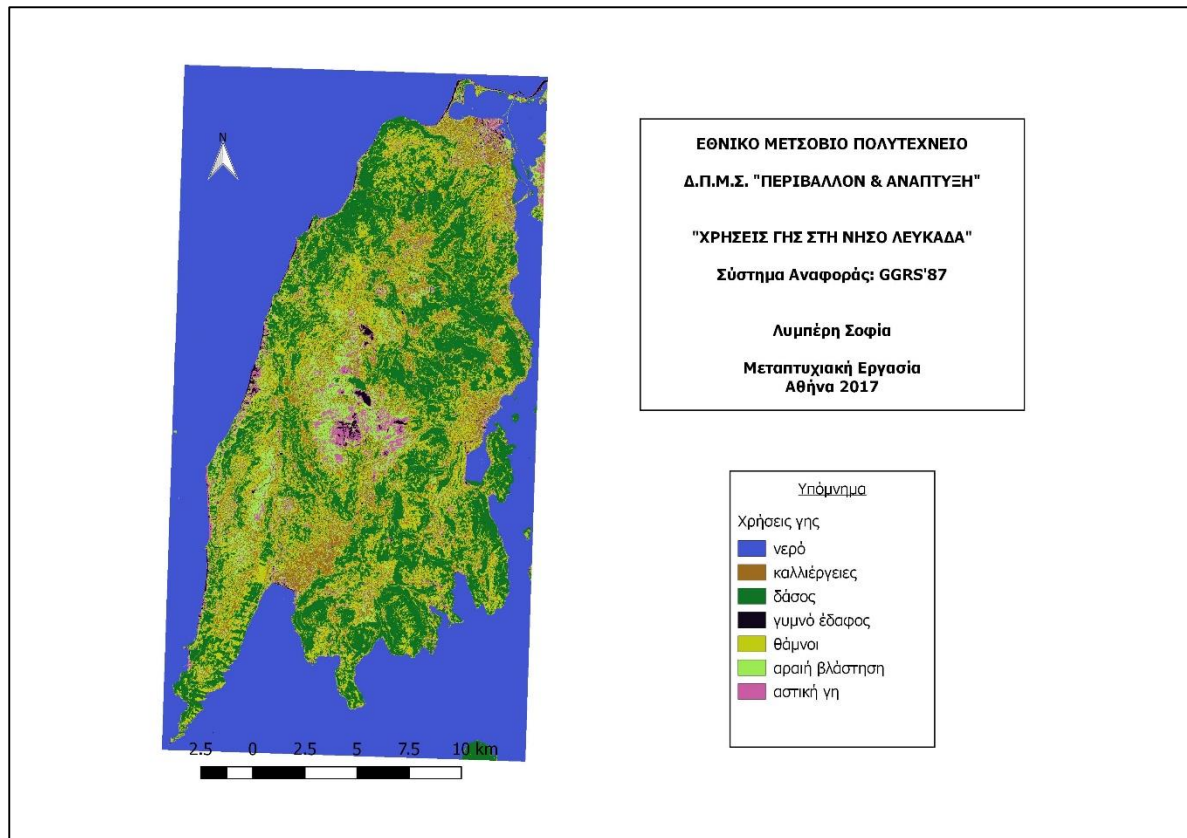
#### 5.2.1.6 Χρήσεις γης:

Για να βρεθούν οι χρήσεις γης στη νήσο Λευκάδα, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση ορθοφωτοχάρτη (Εικόνα 5. 15) με χρήση της εντολής Semi-automatic Classification σε περιβάλλον QGIS. Αφορά μια πρόσθετη εφαρμογή ανοιχτού λογισμικού του Luca Congedo, η οποία στηρίζεται στη διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων.



**Εικόνα 5. 15:** Ορθοφωτοχάρτης νήσου Λευκάδας σε έγχρωμο σύνθετο 5-3-2.

Για την ταξινόμηση του ορθοφωτοχάρτη, ορίσθηκαν περιοχές εκπαίδευσης και στη συνέχεια με χρήση της εντολής Minimum Distance πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση του ορθοφωτοχάρτη (Εικόνα 5. 16). Ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε και με χρήση της εντολής Maximum Likelihood, η οποία όμως έδωσε μη αποδεκτά αποτελέσματα.



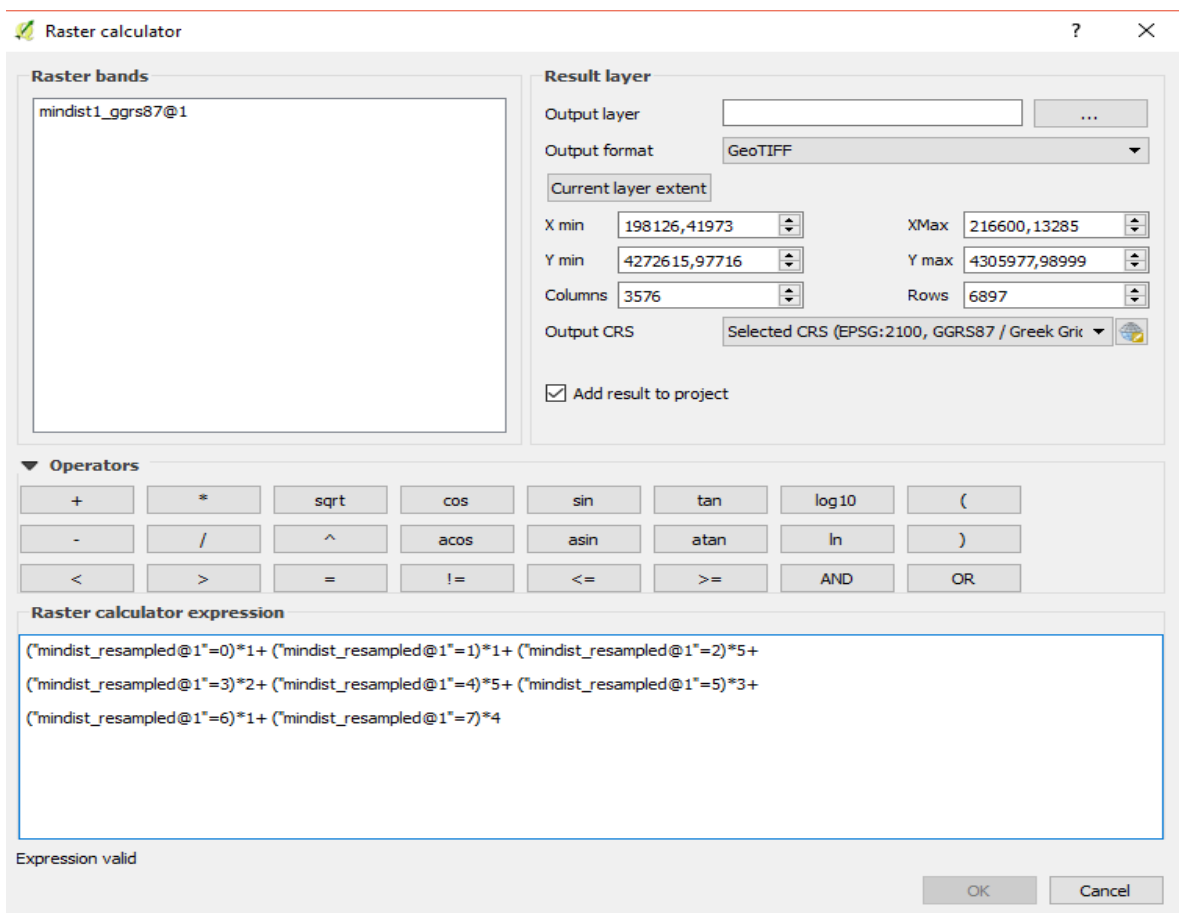
**Εικόνα 5. 16:** Ταξινόμηση χρήσεων γης για τη νήσο Λευκάδα, με χρήση της εντολής Minimum Distance της εφαρμογής Semi-automatic Classification.

Η βαθμονόμηση των διαφόρων κατηγοριών χρήσης γης φαίνεται στον Πίνακα 5. 6. Ο μέγιστος βαθμός επικινδυνότητας (5) δόθηκε στο γυμνό έδαφος διότι αυτό συναντάται κυρίως στα δυτικά πρανή, τα οποία παρουσιάζουν απότομη κλίση και δύναται να κατολισθήσουν. Επίσης μέγιστος βαθμός δόθηκε και στις καλλιέργειες λόγω της διατάραξης που προκαλεί ο άνθρωπος στο φυσικό περιβάλλον. Αντίστοιχα με υψηλό βαθμό (4) βαθμονομήθηκε και η αστική γη. Η κατηγορία θάμνοι βαθμονομήθηκε με έναν ενδιάμεσο βαθμό επικινδυνότητας (3) λόγω του ότι δεν επιδρά σημαντικά σε κατολισθητικά φαινόμενα. Αντίστοιχα βαθμονομήθηκαν και οι κατηγορίες δάσος και αραιή βλάστηση. Πιο συγκεκριμένα, σε σχέση με τη κατηγορία δάσος, αποδόθηκε μικρός βαθμός βαρύτητας (2) λόγω του ότι το ριζικό σύστημα των δέντρων δρα κατά κύριο ρόλο σταθεροποιητικά.

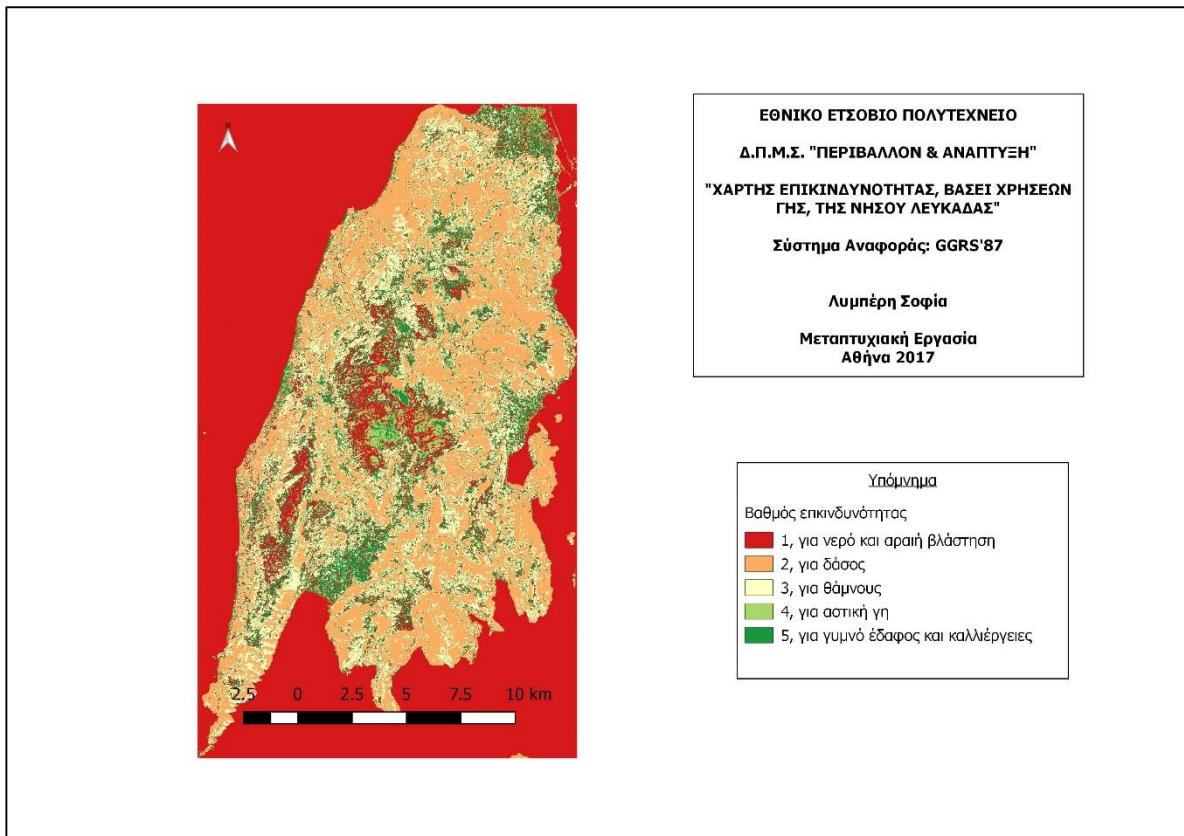
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
νερό	1
αστική γη	4
καλλιέργειες	5
θάμνοι	3
αραιή βλάστηση	1
δάσος	2
γυμνό έδαφος	5

Πίνακας 5. 6: Βαθμονόμηση χρήσεων γης.

Στην Εικόνα 5. 17 φαίνεται η εντολή Raster calculator, με χρήση της οποίας προέκυψε ο χάρτης επικινδυνότητας βάσει των χρήσεων γης στη νήσο Λευκάδα (Εικόνα 5. 18).



Εικόνα 5. 17: Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των χρήσεων γης στη νήσο Λευκάδα.



**Εικόνα 5. 18:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας, βάσει χρήσεων γης.

### 5.2.2 Κατασκευή τελικού χάρτη επικινδυνότητας:

Για να κατασκευαστεί ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας για τη νήσο, έπρεπε να συνδυαστούν με κατάλληλο τρόπο όλοι οι επιμέρους χάρτες επικινδυνότητας. Σύμφωνα με τους Γαλανού και Κολοκούση (2010), για να γίνει αυτό έπρεπε σε κάθε παράγοντα που μελετήθηκε να αποδοθούν βάρη.

Μετά από συζήτηση με τη κα. Γαλανού (2017), αποδόθηκαν βαθμοί βαρύτητας για κάθε ένα παράγοντα και στη συνέχεια, με χρήση της τεχνικής γραμμικού συνδυασμού με βάρη (Weighted Linear Combination) δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στη νήσο Λευκάδα.

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου, κρίθηκε ότι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το φαινόμενο είναι η κλίση των πρηνών και για το λόγο αυτό αποδόθηκε ο υψηλότερος βαθμός επικινδυνότητας (5).

Στη συνέχεια, θεωρήθηκε ότι σημαντικό ρόλο στις κατολισθήσεις κατέχουν τόσο η λιθολογία της περιοχής όσο και οι χρήσεις γης και για το λόγο αυτό βαθμονομήθηκαν με βαθμό (4). Η απόσταση από τεκτονικές επαφές κρίθηκε ότι επηρεάζει το φαινόμενο των κατολισθήσεων, όχι τόσο όμως όσο οι παράγοντες που προαναφέρθηκαν. Για το λόγο αυτό, η απόσταση από τεκτονικές επαφές βαθμονομήθηκε με βαθμό επικινδυνότητας (3).

Τέλος, το υψόμετρο και ο προσανατολισμός των πρηνών θεωρήθηκε ότι επιδρούν λιγότερο στο φαινόμενο, σε σχέση με τους υπόλοιπους παράγοντες και για αυτό τους αποδόθηκε βαθμός επικινδυνότητας (2).

Στο Πίνακα 5. 7 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση κάθε παράγοντα που κρίθηκε ότι επηρεάζει τις κατολισθήσεις ενώ στην Εικόνα 5. 19 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο εισήχθη η φόρμουλα βαθμονόμησης. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του τελικού χάρτη στηρίζεται στην εξίσωση:

$$R = \sum W_i X_i$$

Όπου: R = αθροιστική επικινδυνότητα για κατολισθήσεις

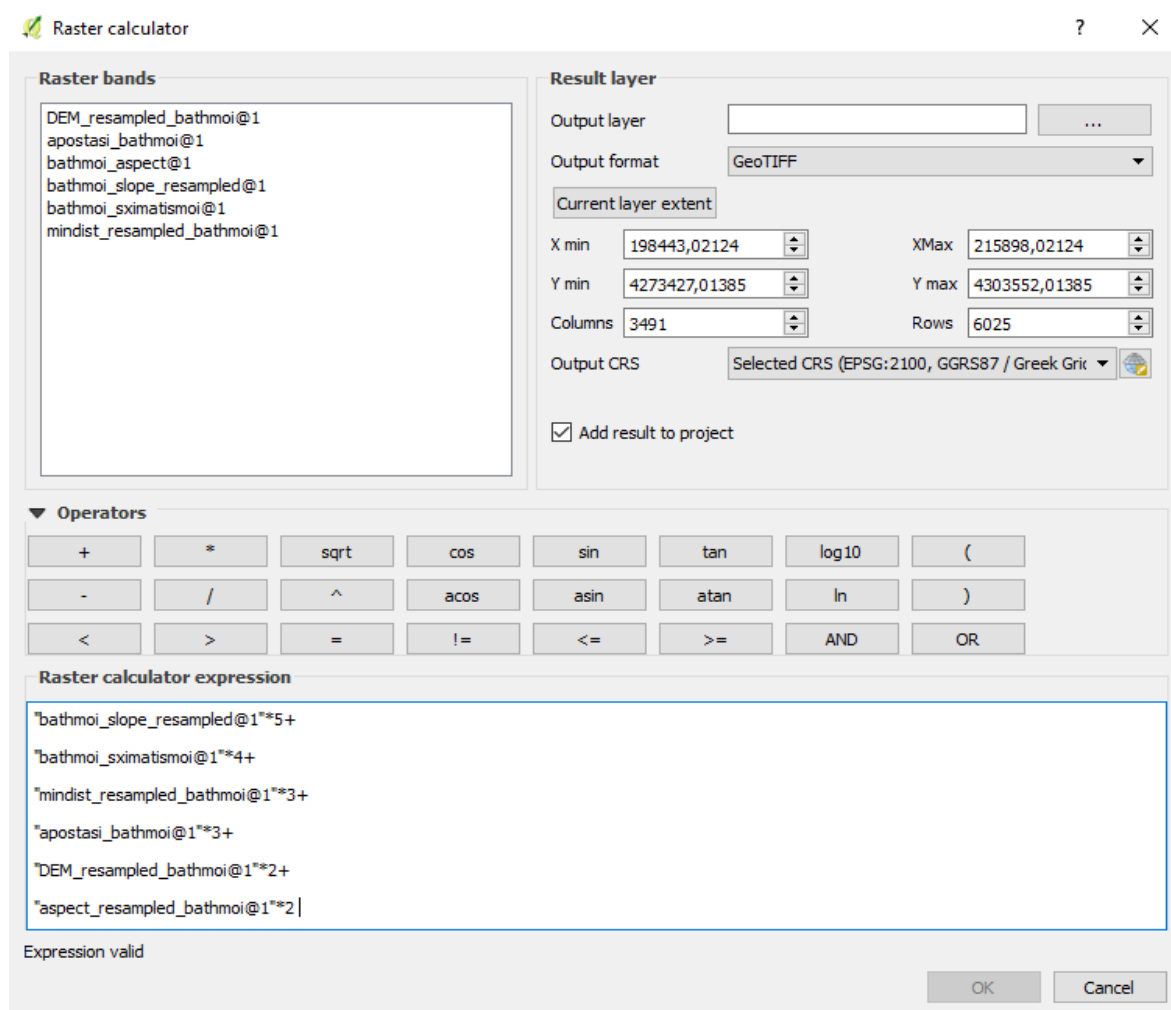
$W_i$  = το βάρος του παράγοντα  $i$

$X_i$  = η τιμή της τάξης επικινδυνότητας του παράγοντα  $i$

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ
λιθολογία	4
απόσταση από τεκτονικές επαφές	3
υψόμετρο	2
κλίση	5
προσανατολισμός πρανών	2
χρήσεις γης	3

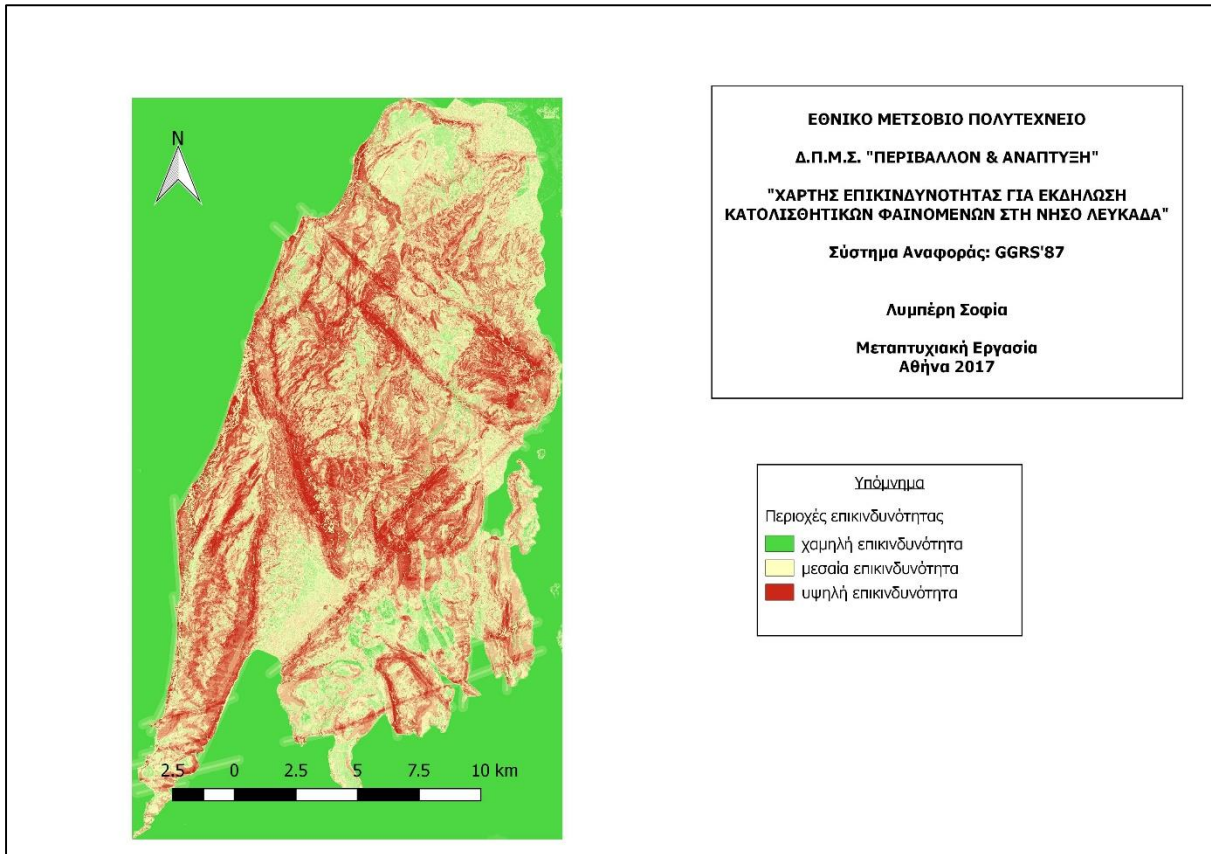
**Πίνακας 5. 7:** Βαθμονόμηση παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις.

Τέλος, στην Εικόνα 5. 20 παρουσιάζεται ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στη νήσο Λευκάδα.



**Εικόνα 5. 19:** Παράθυρο διαλόγου της εντολής Raster calculator, στο οποίο φαίνεται η φόρμουλα βαθμονόμησης των παραγόντων που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις στη νήσο Λευκάδα.





**Εικόνα 5. 20:** Τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθητικά φαινόμενα στη νήσο Λευκάδα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: Αξιολόγηση του μοντέλου - Συμπεράσματα

### 6.1 Αξιολόγηση μοντέλου:

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η κατασκευή χάρτη επικινδυνότητας για εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων στη νήσο Λευκάδα με χρήση της μεθόδου υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών βάρους.

Η κατασκευή αυτού του χάρτη (Εικόνα 5. 20) προσδιόρισε περιοχές επικίνδυνες προς κατολισθήσεις στη νήσο αλλά και άλλες στις οποίες ο κίνδυνος είναι ελάχιστος.

Από τον τελικό χάρτη που προέκυψε, γίνεται αντιληπτό ότι το μοντέλο σωστά προέβλεψε τις επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές, οι οποίες βρίσκονται:

- Στο δυτικό τμήμα της νήσου, όπου παρατηρούνται:
  - οι μεγαλύτερες κλίσεις
  - προσανατολισμός πρανών 180°-360°
  - καταπονημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί
- Σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ρήγματα.
- Σε περιοχές που εμφανίζεται γυμνό έδαφος.
- Στο ανατολικό τμήμα της νήσου, όπου εντοπίζονται καταπονημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί.

Προκύπτει ότι το μοντέλο συνδυάζοντας όλους τους παράγοντες που επιλέχθηκαν προς μελέτη, έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο συνδυασμός των παραγόντων οδήγησε σε ορθό αποκλεισμό περιοχών από υψηλή κατηγορία επικινδυνότητας όπως για παράδειγμα είναι οι περιοχές στα νότια της νήσου όπου αν και παρατηρούνται λιθολογίες που βαθμονομήθηκαν με υψηλούς βαθμούς επικινδυνότητας ωστόσο η κλίση των πρανών σε εκείνο το σημείο είναι πολύ μικρή.

Για να διαπιστωθεί αν το μοντέλο έδωσε αποτελέσματα που ανταποκρίνονται σε πραγματικά γεγονότα, πραγματοποιήθηκε συνδυασμός του τελικού χάρτη επικινδυνότητας με στοιχεία

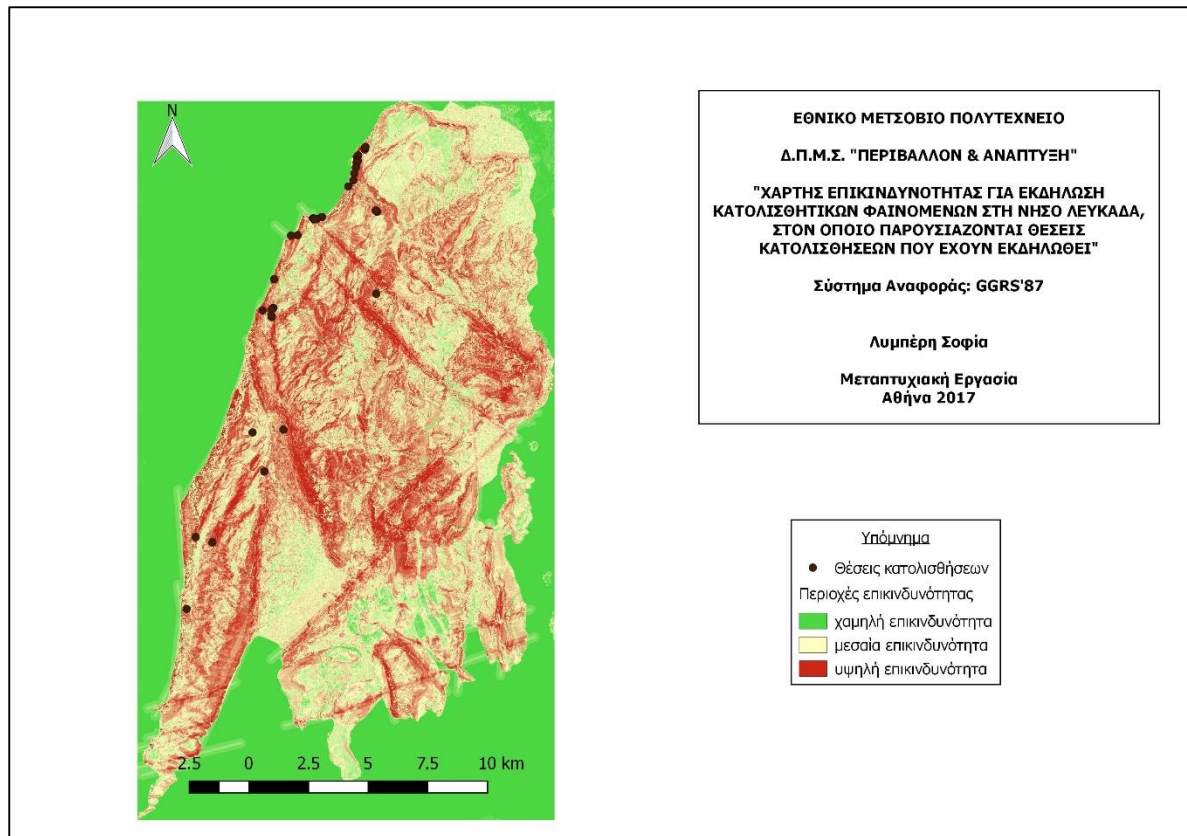
παλιότερων κατολισθήσεων στη περιοχή. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από τη διαδικτυακή πλατφόρμα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, GeoArch και αφορούν στοιχεία για 38 εκδηλωμένες κατολισθήσεις. Από τα στοιχεία αυτά δημιουργήθηκε αρχείο με τις χωρικές πληροφορίες των κατολισθήσεων, το οποίο συνδυάστηκε με τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας της νήσου.

Στην Εικόνα 6. 1 παρατηρούμε, μέσω οπτικού ελέγχου, ότι οι περισσότερες κατολισθήσεις που έχουν εκδηλωθεί στη νήσο, εντοπίζονται σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας.

Εκτός του οπτικού ελέγχου, πραγματοποιήθηκε και στατιστικός έλεγχος. Για να γίνει αυτό, το raster αρχείο με τις περιοχές επικινδυνότητας μετατράπηκε σε αρχείο vector, όπου σε κάθε πολύγωνο που δημιουργήθηκε αντιστοιχήθηκε και ο βαθμός επικινδυνότητας. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε συνδυασμός πινάκων των αρχείων με τις θέσεις κατολισθήσεων με τα πολύγωνα επικινδυνότητας προκειμένου κάθε θέση κατολίσθησης να αντιστοιχηθεί στο αντίστοιχο πολύγωνο επικινδυνότητας. Από αυτή την ένωση αρχείων προέκυψε ότι:

- Το 76,3% των εκδηλωμένων κατολισθήσεων εντοπίστηκαν σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας.
- Το 23,7% των εκδηλωμένων κατολισθήσεων εντοπίστηκαν σε περιοχές μεσαίας επικινδυνότητας.

Κατ'επέκταση, το μοντέλο που εφαρμόστηκε καθώς και η βαθμονόμηση των παραγόντων κρίθηκε ότι έδωσαν αξιόπιστα αποτελέσματα.



**Εικόνα 6. 1:** Τελικός χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις στη νήσο Λευκάδα, στον οποίο είναι σημειωμένες οι θέσεις παλαιότερων κατολισθήσεων.



**Εικόνα 6. 2:** Κατολίσθηση στο δυτικό τμήμα της νήσου Λευκάδας.

(Πηγή: Google Maps)

## 6.2 Συμπεράσματα:

Τη σημερινή εποχή, όπου ο άνθρωπος επιδρά ολοένα και περισσότερο στο φυσικό περιβάλλον, το μετασηματίζει και το χρησιμοποιεί προς όφελός του, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες, η διατάραξη των οποίων μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στον ανθρώπινο ιστό, τόσο με καταστροφή έργων υποδομής, κτιρίων, κ.α όσο όμως και με απώλειες σε ανθρώπινες ζωές.

Ένα φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές καταστροφές αφορά τις κατολισθήσεις. Φαινόμενο σύνθετο, το οποίο επηρεάζεται από αρκετούς διαφορετικούς παράγοντες και το οποίο μπορεί να εκδηλωθεί τόσο φυσικά όσο και μετά από ανθρώπινη παρέμβαση. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη χαρτών επικινδυνότητας έναντι κατολισθητικών φαινομένων, οι οποίοι θα λαμβάνονται υπόψη σε μια σειρά ζητήματα όπως είναι η χωροθέτηση διαφόρων έργων υποδομής ή ο προσδιορισμός οικιστικών ζωνών που κινδυνεύουν από κατολισθήσεις.

Στη παρούσα εργασία, κατασκευάστηκε χάρτης επικινδυνότητας έναντι κατολισθήσεων στη νήσο Λευκάδα με χρήση της τεχνικής υπέρθεσης παραμετρικών χαρτών βάρους. Από τον τελικό χάρτη που προέκυψε (Εικόνα 5. 20) παρατηρήσαμε ότι οι ζώνες επικινδυνότητας που προέκυψαν από το μοντέλο που εφαρμόστηκε, ανταποκρίνονται σε ικανοποιητικό βαθμό με τα δεδομένα πεδίου που υπάρχουν.

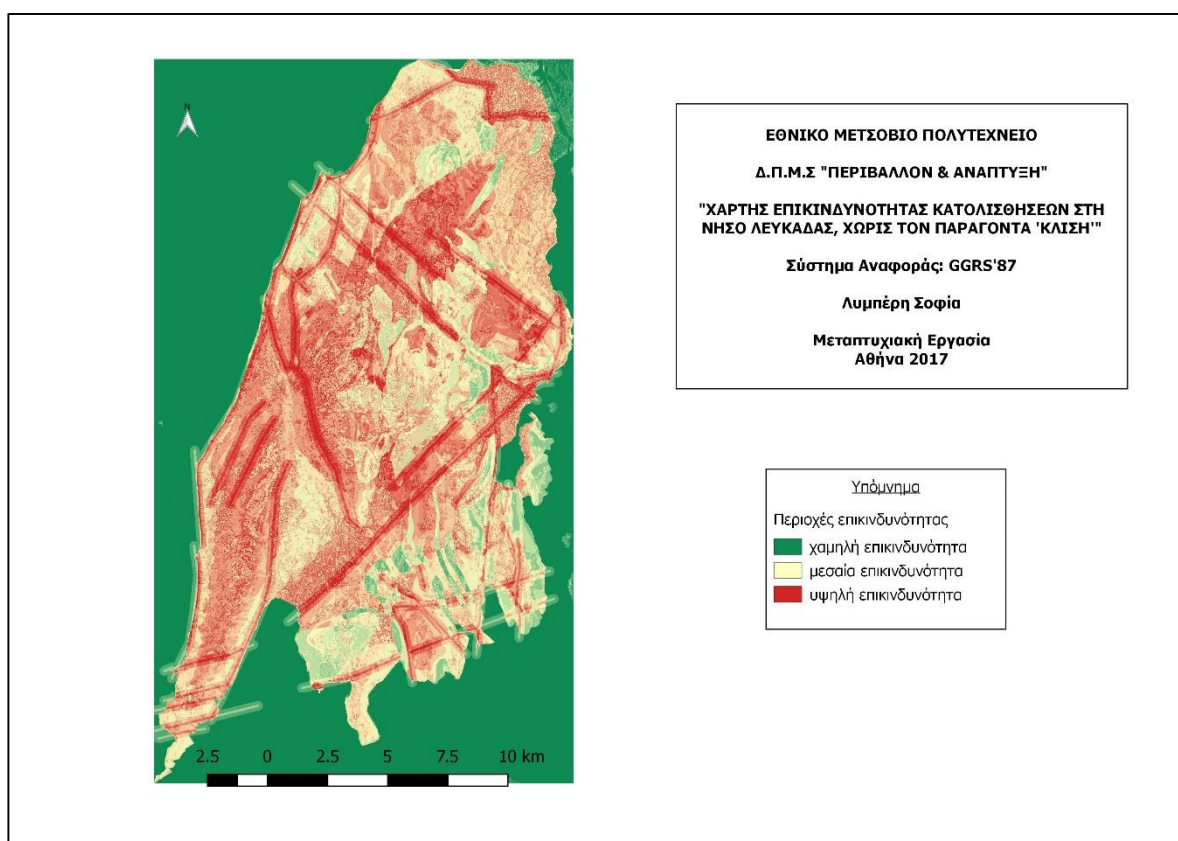
Επιπλέον, προέκυψε ότι σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων διαδραματίζει η κλίση των πρανών (Εικόνα 6. 3) καθώς και ο τύπος των λιθολογιών. Η χρήση αυτή των δύο παραγόντων φάνηκε ότι δίνει καλύτερα αποτελέσματα ως προς τον αποκλεισμό ή όχι επικίνδυνων περιοχών προς κατολίθηση.

Συγκρίνοντας τις Εικόνες 6. 3 και 6. 4 παρατηρούμε ότι η βαθμόνομηση του παράγοντα «απόσταση από τεκτονικές επαφές» αν και κρίνεται σημαντική παρόλα αυτά δε φάνηκε ότι επηρέασε σημαντικά το μοντέλο (Εικόνα 6. 4).

Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι η κατασκευή χάρτη επικινδυνότητας με χρήση βαθμονομημένων παραγόντων, μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία ζωνών επικινδυνότητας. Στη

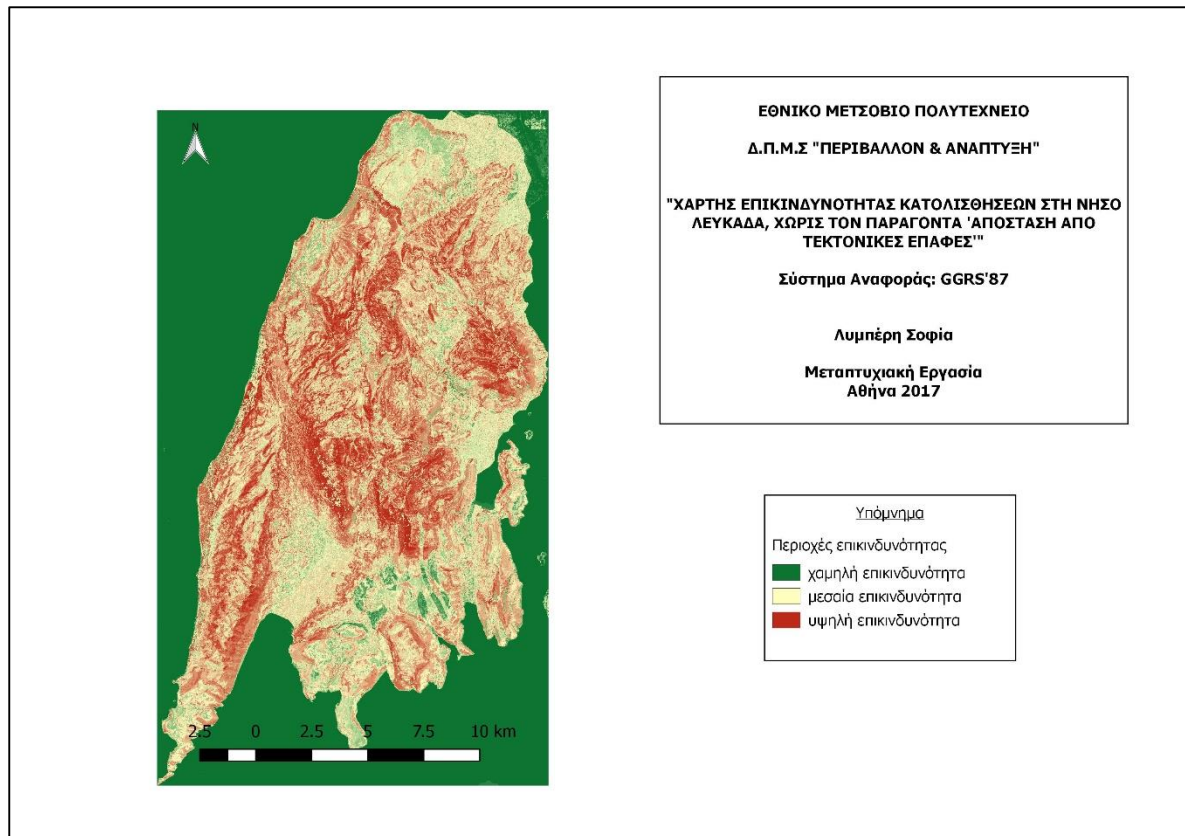
συγκεκριμένη εργασία, ως παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις θεωρήθηκαν οι εξής: λιθολογία, απόσταση από τεκτονικές επαφές, υψόμετρο, κλίση, προσανατολισμός πρανών, χρήσεις γης. Οι βαθμοί επικινδυνότητας για τις κατηγορίες κάθε παράγοντα στηρίχθηκαν σε βιβλιογραφικά δεδομένα και σε ιδιαιτερότητες της περιοχής ενώ η βαθμονόμηση κάθε παράγοντα ως προς τη σπουδαιότητά του πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ειδικού.

Χρειάζεται όμως να τονιστεί ότι σε διαφορετικά φυσιογραφικά περιβάλλοντα, το συγκεκριμένο μοντέλο και η βαθμονόμησή του θα χρειαστεί να προσαρμοστούν, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε διαφορετικού περιβάλλοντος εφαρμογής.



**Εικόνα 6. 3:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας χωρίς να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας «κλίση».





**Εικόνα 6. 4:** Χάρτης επικινδυνότητας νήσου Λευκάδας χωρίς να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας «απόσταση από τεκτονικές επαφές».

### 6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

Η συγκεκριμένη εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών. Σε μελλοντικό έργο, η παρούσα εργασία θα μπορούσε να εμπλουστεί με τα παρακάτω δεδομένα, ώστε να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα σε σχέση με όλες τις ιδιαιτερότητες της νήσου Λευκάδας.

Αρχικά, για πιο έγκυρα αποτελέσματα χρειάζεται να υπάρχει πρόσφατος γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:5.000, στον οποίο θα αποτυπώνονται καλύτερα τα λιθολογικά όρια αλλά και οι τεκτονικές επαφές (ρήγματα).

Έπειτα, σαν παράγοντας επίδρασης στις κατολισθήσεις προτείνεται να μελετηθεί και να βαθμονομηθεί το οδικό δίκτυο της νήσου και αυτό διότι το οδικό δίκτυο αποτελεί ανθρώπινη επέμβαση στη γήινη επιφάνεια με συνέπεια τη διατάραξη της υπάρχουσας ισορροπίας και την ανάγκη



ύπαρξης νέας, όπου αν δεν έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα προστασίας είναι δυνατό να εκδηλωθούν κατολισθήσεις.

Επιπλέον, σαν παράγοντας που επηρεάζει το φαινόμενο μπορεί να μελετηθεί το υδρογραφικό δίκτυο της νήσου. Αυτό συνεπάγεται καλύτερη μελέτη και αποτύπωση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου μέσω χαρτογράφησης (επιτόπου έρευνα). Μέσω αυτής της μελέτης είναι πιθανό να προκύψουν περιοχές επιρρεπείς σε κατολισθήσεις.

Τέλος, σαν επιπλέον παράγοντας θα μπορούσε να μελετηθεί το πορώδες των σχηματισμών, το οποίο επιδρά στη συνεκτικότητά τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική Βιβλιογραφία:

1. Γαλανού Ε., Κολοκούσης Π. (2010), «*Δημιουργία ζωνών επικινδυνότητας για εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στην ορεινή Νάξο με χρήση της μεθοδολογίας της τηλεπισκόπησης σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών*». 6<sup>ο</sup> Διεπιστημονικό Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο του Ε.Μ.Π. και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π. «*Η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη των Ορεινών Περιοχών*», ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π., Μέτσοβο, 16-19 Σεπτεμβρίου 2010. 16 σελ.

Ανακτήθηκε στις 30/11/2016 από:

[https://www.ntua.gr/MIRC/6th\\_conference/presentations/2\\_parallel\\_sessions/1st\\_session/GALANOS%20-%20KOLOKOYSIS%20P.pdf](https://www.ntua.gr/MIRC/6th_conference/presentations/2_parallel_sessions/1st_session/GALANOS%20-%20KOLOKOYSIS%20P.pdf)

2. Λέκκας Ε., Βερυκίου Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., Σκούρτσος Ε., «*Η Γεωγραφική κατανομή των κατολισθήσεων στον σεισμό της Λευκάδας (14 Αυγούστου 2003) και παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωσή τους*». 4 σελ.

Ανακτήθηκε στις 05/07/2016 από: [http://www.elekkas.gr/attachments/179\\_167.pdf](http://www.elekkas.gr/attachments/179_167.pdf)

3. Λέκκας Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., «*Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της νήσου Λευκάδας*». Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXXIV/1, 2001, Πρακτικά 9<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001. σελ. 157-163.

Ανακτήθηκε στις 3/10/2016 από: [http://www.elekkas.gr/attachments/160\\_148.pdf](http://www.elekkas.gr/attachments/160_148.pdf)

4. Λουπασάκης Κ., «*Γεωτεχνική Μηχανική*», Σημειώσεις μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Ε.Μ.Π, Αθήνα. 25 σελ.

Ανακτήθηκε στις 25/06/2016 από:

[http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/geotechATM/8%20Γεωτεχνική%20Μηχανική\\_Hoek\\_Bray.pdf](http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/geotechATM/8%20Γεωτεχνική%20Μηχανική_Hoek_Bray.pdf)

5. Παπανικολάου Δ., (1986), «Γεωλογία Ελλάδας», Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α, Αθήνα. 280 σελ.

6. Ρόζος Δ., «Κατολισθητικά φαινόμενα». Σημειώσεις μαθήματος. 129 σελ.

Ανακτήθηκε στις 20/06/2016 από:

[http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/geotechATM/7%20Γεωτεχνική%20Μηχανική\\_Landslides.pdf](http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/geotechATM/7%20Γεωτεχνική%20Μηχανική_Landslides.pdf)

7. Ρουσάκης Γ. et al, «Φαινόμενα παράκτιας διάβρωσης στις δυτικές και βόρειες ακτές της νήσου Λευκάδας». 10 σελ.

Ανακτήθηκε στις 20/07/2016 από: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=11772>

8. Σαμπατακάκης Ν., «Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Οι Κατολισθήσεις στην Ελλάδα», Σημειώσεις μαθήματος, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών. 23 σελ.

Ανακτήθηκε στις 15/06/2016 από:

[https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO350/ΚΕΦ5\\_ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ%20ΕΛΛΑΔΑ\\_Σ.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO350/ΚΕΦ5_ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ%20ΕΛΛΑΔΑ_Σ.pdf)

9. Στουρνάρας Γ. (2007), «Τεχνική Γεωλογία», Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α, Αθήνα. 649 σελ.

## Διπλωματικές Εργασίες:

1. Βολιώτη Κ. Γ. (2009), «*Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας λόγω κατολισθήσεων στο χώρο της ηπειρωτικής Ελλάδας με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών – Απεικόνιση σε χάρτη μικρής κλίμακας*», Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Έργων Υποδομής & Αγροτικής Ανάπτυξης, Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής, Ε.Μ.Π. Διπλωματική Εργασία, 116 σελ.
2. Κάβουρα Α. Π. (2013), «*Κατολισθήσεις στο νομό Αχαΐας: Ανάπτυξη μοντέλου επικινδυνότητας*», Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας & Γεωφυσικής, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, 98 σελ.
3. Καρακουλάκης Σ. & Παπαδόπουλος Ν. (2012), «*Το φαινόμενο της κατολίπηση στον Ελληνικό χώρο*», Τμήμα Έργων Υποδομής, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης. Διπλωματική Εργασία, 116 σελ.
4. Κιτσάκη Μ. & Μπαρμπαγιάννη Δ. (2014), «*Ζωνοποίηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας στο όρος Πήλιο με τη συμβολή δεδομένων συμβολομετρίας μόνιμων σκεδαστών*», Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π. Διπλωματική Εργασία, 129 σελ.
5. Λαζοκίτσιος Β., «*Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του Αγίου Ηλία Λευκάδος*», Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών. Διπλωματική Εργασία, 28 σελ.
6. Μπίσα Σ. (2011), «*Τα προβλήματα των κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου*», Δ.Π.Μ.Σ «Περιβάλλον & Ανάπτυξη, Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη στις Ορεινές περιοχές - Θεωρία & Πράξη», Ε.Μ.Π. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, 224 σελ.

7. Ρίσβα Ι. Γ. (2012), «Κατολισθητικές κινήσεις στην περιοχή Προυσσού, Ευρυτανίας», Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής, Πανεπιστήμιο Πατρών. Διπλωματική Εργασία, 55 σελ.
8. Τσαγκάς Δ., «Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις και κινήσεις βαρύτητας στη Βόρεια Πελοπόννησο», Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Ε.Κ.Π.Α. Διδακτορική Διατριβή, 361 σελ.

#### Διεθνής Βιβλιογραφία:

1. Himan Shahabi & Mazlan Hashim (2015), «*Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment*»  
Ανακτήθηκε στις 18/06/2016 από: <http://www.nature.com/articles/srep09899>
2. C.J. Van Westen, N. Rengers, R. Soeters (2001), «*Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment*». Natural Hazards 30: 399–419, 2003. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.  
Ανακτήθηκε στις 15/10/2016 από: [http://nceg.uop.edu.pk/workshop-17to31mar-05/Slides/day3/mool/other%20papers/r22\\_Use\\_of\\_Geomorphological.pdf](http://nceg.uop.edu.pk/workshop-17to31mar-05/Slides/day3/mool/other%20papers/r22_Use_of_Geomorphological.pdf)
3. S. Lee, D. G. Evangelista (2006), «*Earthquake-induced landslide-susceptibility mapping using an artificial neural network*». Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 687–695, 2006  
Ανακτήθηκε στις 10/09/2016 από: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/687/2006/nhess-6-687-2006.pdf>
4. Saaty, T.L. (2008) «*Decision making with the analytic hierarchy process*», Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83–98  
Ανακτήθηκε στις 03/12/2016 από: [http://www.colorado.edu/geography/levk/geog\\_5113/readings/saaty\\_2008.pdf](http://www.colorado.edu/geography/levk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf)

## Δικτυακοί Τόποι:

1. Λέκκας Ε., Δανάμος Γ., Λόζιος Σ., «Γεωλογικός – Νεοτεκτονικός Χάρτης Λευκάδας»  
Ανακτήθηκε στις 11/07/016 από:  
[http://www.elekkas.gr/images/stories/photos/Xartes/LEFKADA\\_Neotek.jpg](http://www.elekkas.gr/images/stories/photos/Xartes/LEFKADA_Neotek.jpg)
2. «Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Γεωδυναμική και Γεωτεχνική Εξέλιξη του Αλπικού Συστήματος»  
Ανακτήθηκε στις 20/06/2016 από: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch2.htm>
3. «Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Γεωδυναμική και Γεωτεκτονική Εξέλιξη του αλπικού Συστήματος στον Ελληνικό Χώρο»  
Ανακτήθηκε στις 21/06/2016 από: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch3.htm>
4. «Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Νεοτεκτονική Εξέλιξη και Ενεργός Γεωδυναμική Κατάσταση του Ελληνικού Χώρου»  
Ανακτήθηκε στις 20/06/2016 από: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch5.htm>
5. Δεδομένα κατακρημνίσεων για τη νήσο Λευκάδα ανακτήθηκαν στις 17/07/206 από:  
<http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>
6. [http://www.epirus-tv-news.gr/2015/02/blog-post\\_194.html](http://www.epirus-tv-news.gr/2015/02/blog-post_194.html)
7. [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com)
8. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CF%85%CE%BA%CE%AC%CE%B4%CE%B1>
9. «Εντοπισμός και Αξιολόγηση θέσης Χώρου Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ) της μονάδας προεπεξεργασίας , ανακύκλωσης και κομποστοποίησης απορριμμάτων του Δ. Λευκάδας , εντός του Δ. Λευκάδας» (2016), Ερευνητικό έργο Ε.Μ.Π., Παραδοτέο 2. 125 σελ.

Ανακτήθηκε στις 15/12/2016 από: <http://www.mylefkada.gr/wp-content/uploads/2016/07/%CE%98%CE%95%CE%9C%CE%91-8-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%97-%CE%95%CE%9C%CE%A0-pdf.pdf>

**10. “User Manual of the Semi-Automatic Classification Plugin”**

Ανακτήθηκε στις 28/12/2016 από: <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html>

**11. MY LEFKADA**

Ανακτήθηκε στις 11/07/2016 από: <http://www.mylefkada.gr/lefkadas-secrets/episkepsi-sto-enalio-spileo-tou-agiou-nikolaou-sto-desimi-tis-lefkadas-60778/>

**12. USGS FAQs**

Ανακτήθηκε στις 10/07/2016 από: [www2.usgs.gov/faq/node/2613](http://www2.usgs.gov/faq/node/2613)