



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ουρανία Χασιώτη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ουρανία Χασιώτη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29^η Οκτωβρίου 2021.

Αναπληρωτής Καθηγητής Κωνσταντίνος Λουπασάκης

Καθηγήτρια Μαρία Τσακίρη

Επίκουρος Καθηγητής Βασίλειος Μαρίνος

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

.....
Ουρανία Κ. Χασιώτη

Διπλωματούχος Μηχανικός Εγκαταστάσεων Σχολής Ικάρων

Copyright © Ουρανία Κ. Χασιώτη

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Οι κατολισθήσεις αποτελούν φυσικά καταστροφικά φαινόμενα που κάθε χρόνο οδηγούν στην απώλεια πολλών ανθρώπινων ζώων και επιφέρουν σημαντικές ζημιές στην τοπική και εθνική οικονομία. Η μελέτη αυτών των φαινομένων και η κατανόηση του μηχανισμού που οδηγεί στην εκδήλωση και στην ενεργοποίησή τους είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία καθώς μπορεί να οδηγήσει στη λήψη των αναγκαίων μέτρων για την πρόληψη και την αντιμετώπισή των συνεπειών τους. Στο πλαίσιο αυτό, εντάσσεται και η δημιουργία των χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας, ένα πολύτιμο εργαλείο που ως στόχο έχει τον προσδιορισμό και την απεικόνιση των υποπεριοχών που συνθέτουν μια ευρύτερη περιοχή, ανάλογα με το βαθμό στον οποίο οι υποπεριοχές αυτές παρουσιάζουν τάση να εκδηλώσουν στο άμεσο ή μακρινό μέλλον κάποιο κατολισθητικό φαινόμενο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται το αναγκαίο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση του μηχανισμού εκδήλωσης μιας κατολίσθησης και επιχειρείται η παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση του μηχανισμού αστοχίας. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιείται η σύγκριση δύο ευρύτατα χρησιμοποιούμενων μεθόδων στον τομέα του προσδιορισμού της κατολισθητικής επιδεκτικότητας: του μοντέλου Λόγου Συχνότητας (Frequency Ratio) και της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου.

Ως πεδίο εφαρμογής των δύο ανωτέρω μεθόδων επιλέχθηκε η περιοχή της Αργαλαστής -Ζαγοράς Πηλίου, μία περιοχή με ιδιαίτερο οικιστικό – τουριστικό ενδιαφέρον όπου παρατηρούνται έντονα κατολισθητικά φαινόμενα. Στο πλαίσιο αυτό η περιοχή μελέτης αναλύθηκε στους επιμέρους τομείς που δυνητικά μπορεί να προκαλέσουν μία κατολίσθηση όπως είναι η γεωλογία, η χρήση / κάλυψη γης, η απόσταση από το οδικό δίκτυο, οι βροχοπτώσεις, οι μορφολογικές κλίσεις, το υψομετρικό ανάγλυφο και το αζιμούθιο. Παράλληλα δημιουργήθηκε μία χωρική βάση δεδομένων 199 καταγεγραμμένων κατολισθητικών φαινομένων που είχαν εκδηλωθεί στο παρελθόν στην περιοχή μελέτης ενώ μέσα από τη μελέτη βροχομετρικών στοιχείων τοπικών μετεωρολογικών σταθμών, επιχειρήθηκε η διερεύνηση της ενεργοποίησης αυτών των φαινομένων.

Η ανάλυση των δύο μεθόδων σε συνδυασμό με τη χωρική βάση των κατολισθήσεων, που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τον προσδιορισμό της ακρίβειας -αποτελεσματικότητάς τους, κατέδειξε ότι το μοντέλο του λόγου Συχνότητας προσφέρει μεγαλύτερη

αποτελεσματικότητα έναντι της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου. Παρόλα αυτά η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος προσφέρει ικανοποιητική ακρίβεια και δεδομένου ότι για την εφαρμογή της δεν απαιτείται η ύπαρξη χωρικής βάσης κατολισθήσεων, μπορεί να εφαρμοστεί με επαρκή αποτελέσματα σε περιοχές όπου δεν έχει υπάρξει αρχείο προηγούμενων κατολισθήσεων.

Abstract

Landslides are a type of natural disasters which every year leads to the loss of many human lives and causes significant damages to the local and national economy. The process of studying these phenomena and understanding the mechanism that leads to their occurrence and activation, is very important as it can lead to the prevention and confronting of their consequences. In this frame, the landslides susceptibility maps are a valuable tool, designed to identify and illustrate the sub-regions of a wider area, that are prone to landslide, in the near or distant future.

This thesis attempts to present the methods most commonly used in the landslide susceptibility assessment. Two of the most commonly used methods in the field of determining landslide susceptibility are compared: the Frequency Ratio model and the Analytical Hierarchy Method.

The chosen area was Argalasti – Zagora, Pelion, an area with significant residential – tourist interest where strong landslides have been recorded in the past. The study area was analysed in the individual factors that could potentially cause a landslide such as geology, land use / coverage, distance from the road network, precipitation, slope, relative relief and aspect slope. Furthermore, a spatial database of 199 recorded landslides that had occurred in the recent past in this particular study area, was created and it was used along with the study of the rainfall data from local meteorological stations, in order to investigate the activation of these landslide phenomena.

By analysing the factors that can cause a landslide, using the Analytical Hierarchical Method (AHP) and Frequency Ratio (FR), the relative susceptibility maps were created.

Table 1: Paired comparison matrix between factors

Factor	Lithology	Landuse/ Landcover	Road Network	Precipitation	Slope Angle	Relative Relief	Slope Aspect	Average	Weight
Lithology	1	1	1	2	2	2	2	0,181	10
Landuse/ Landcover	1	1	1	1	1	1	1	0,122	7
Road Network	1	1	1	2	1	1	1	0,134	8
Precipitation	0,50	1	1	1	0,5 5	1	1	0,090	5
Slope Angle	0,50	1	1	2	1	2	2	0,149	9
Relative Relief	0,50	1	1	1	0,5 5	1	1	0,099	6
Slope Aspect	0,50	1	1	1	0,5 5	1	1	0,099	6

Table 2: Weight of each factor using the AHP method

Lithology	10
Landuse/ Landcover	7
Road Network	8
Precipitation	5
Slope Angle	9
Relative Relief	6
Slope Aspect	6

The following maps illustrate each of the individuals causal landslide factors:

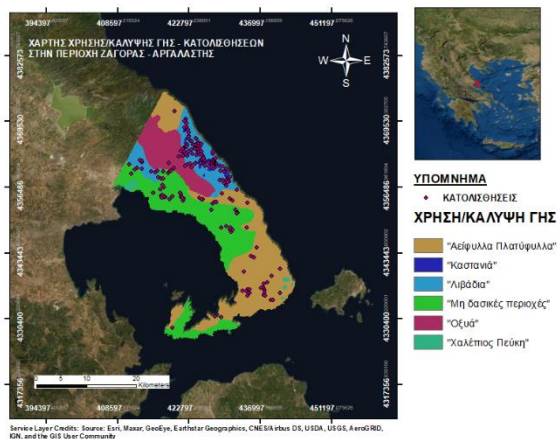
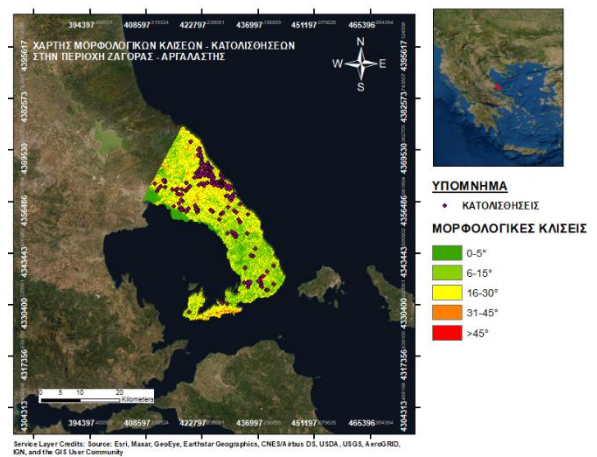
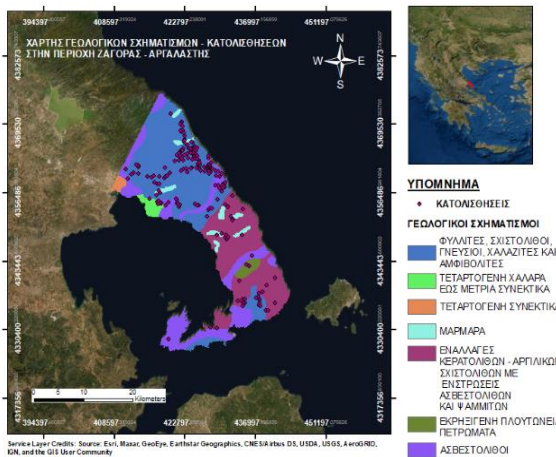
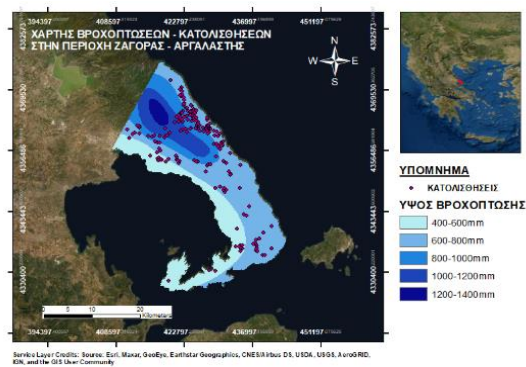
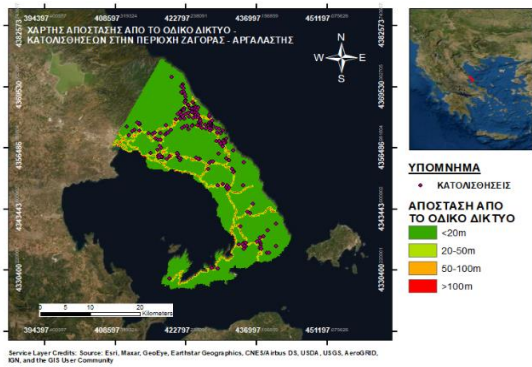
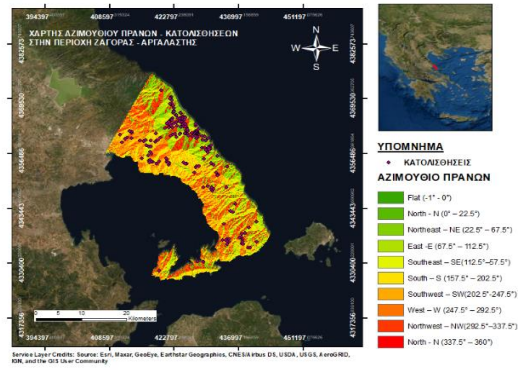
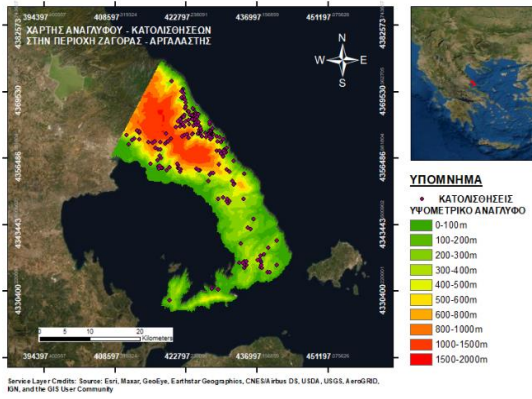


Figure 1: Factors that can cause a landslide

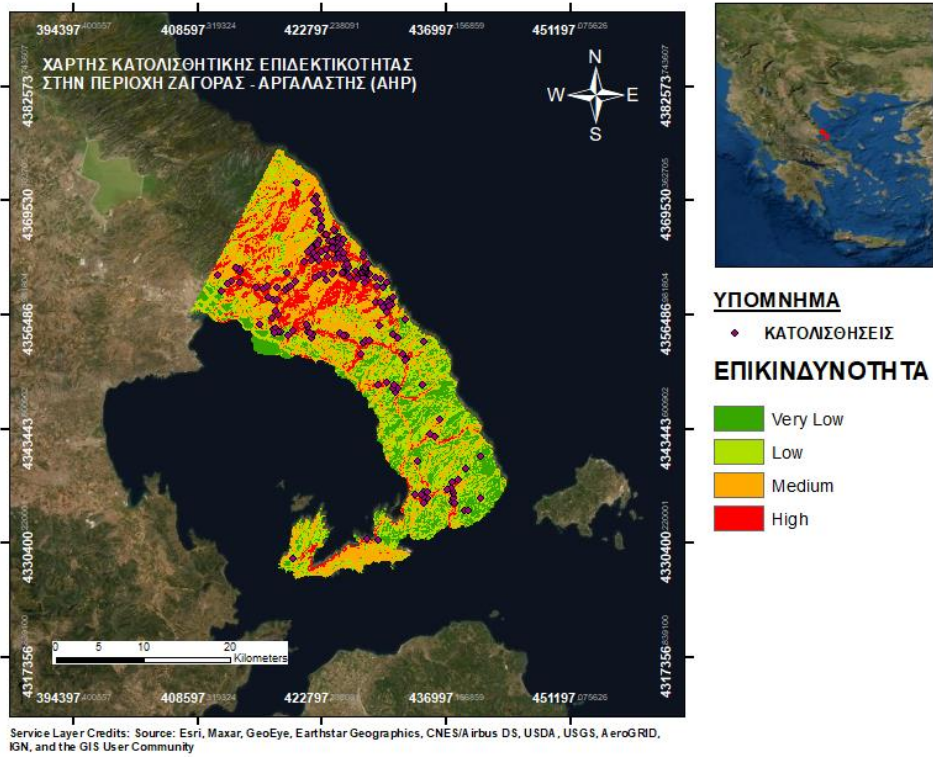


Figure 2: Landslide susceptibility map developed using the AHP approach

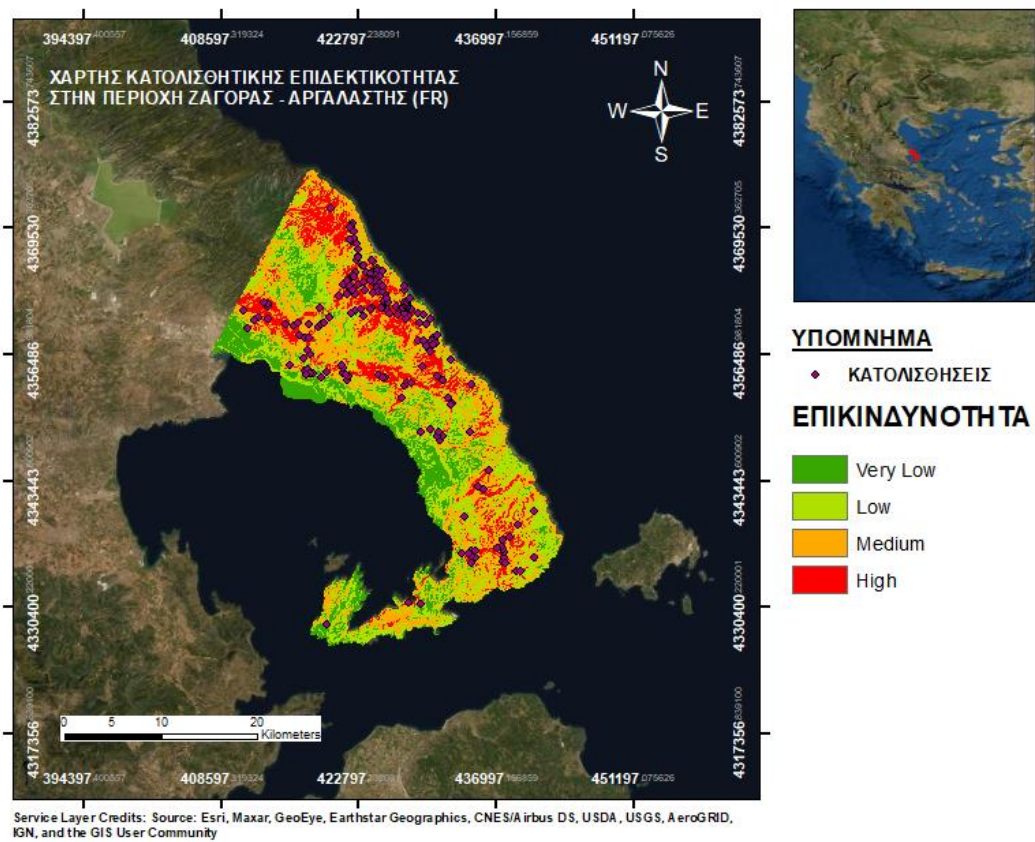


Figure 3: Landslide susceptibility map developed using the FR approach

The AHP method was found to have a rather good prediction accuracy (72.14%), while the FR was found to have an even better prediction accuracy (83.53%).

In conclusion, as it was revealed, both the AHP and FR are quite reliable methods that provide rather reliable and efficient results. More specifically the FR is by far more accurate (more than 10%) but its application demands the existence of a landslides inventory. On the other hand, the AHP demands only the use of experts and the efficacy of that method is smaller but sufficient enough. On this frame both of the created LSMs can be a rather useful tool for the stakeholders on the section of the civil protection.

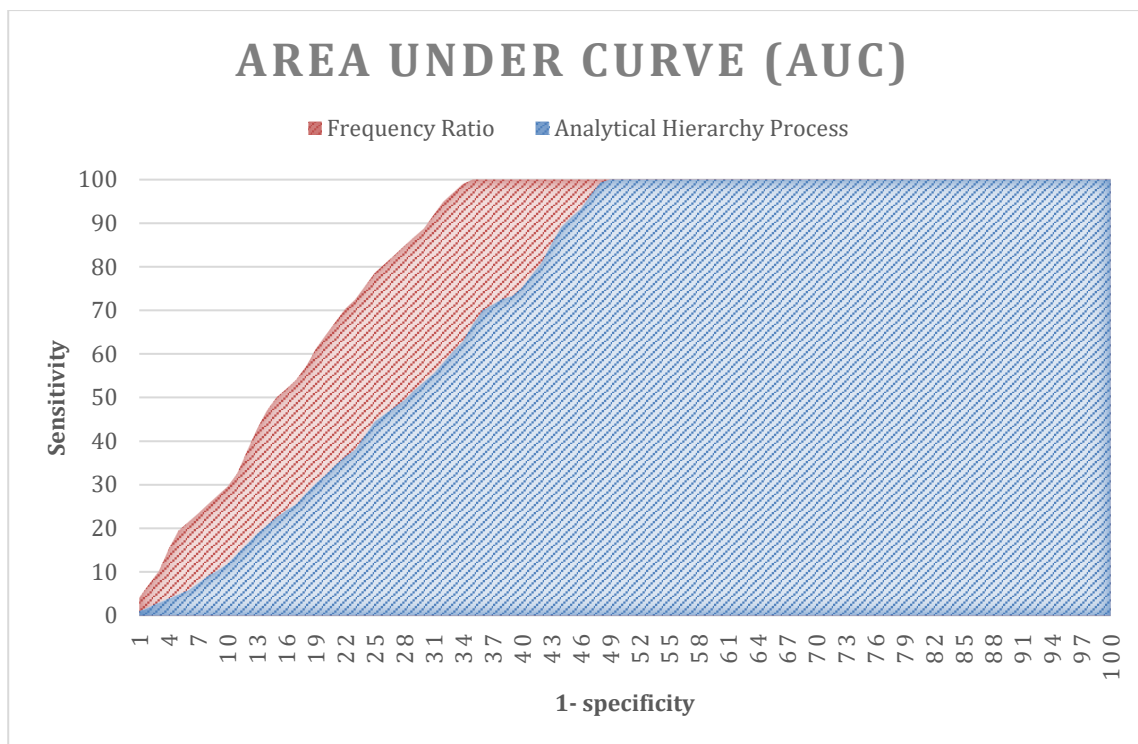


Figure 4: AUC of the landslide susceptibility analysis results

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, εκμεταλλευόμενη την ευκαιρία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και για την εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου σε όλη την διάρκεια της εργασίας.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ. Κωνσταντίνο Νεφρό για την αμέριστη βοήθειά του, τη συνεχή καθοδήγηση και τις υποδείξεις που μου προσέφερε, τις αμέτρητες ώρες που μου αφιέρωσε και τις γνώσεις που μου μετέφερε σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την υποστήριξη και συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ολοκληρώνοντας τις ευχαριστίες, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους κοντινούς μου φίλους, για την ηθική υποστήριξη και συμπαράσταση που μου έδωσαν, ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	12
Περιεχόμενα	13
Κατάλογος Εικόνων	16
Κατάλογος Σχημάτων	18
Κατάλογος Πινάκων	19
Κατάλογος Διαγραμμάτων	21
1 Εισαγωγή	22
2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Geographical Information Systems (GIS)	24
2.1 Συστήματα Συντεταγμένων και Συστήματα Αναφοράς	24
2.1.1 Συστήματα Συντεταγμένων	24
2.1.2 Συστήματα Αναφοράς	30
2.2 Ορισμός Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών	31
2.2.1 Διανυσματικά Μοντέλα (Vector)	31
2.2.2 Ψηφιδωτά Μοντέλα (Raster)	32
2.3 Γεωδαιτικά Προβολικά Συστήματα στον Ελληνικό Χώρο	33
2.4 Εφαρμογές ΓΣΠ	37
3 Κατολισθήσεις	38
3.1 Γενικά περί κατολισθήσεων	38
3.1.1 Ορισμός	38
3.2 Βασικές αρχές	40
3.2.1 Επιδεκτικότητα (Susceptibility, S)	42

3.2.2	Επικινδυνότητα κατολισθήσεων (Landslide Hazard, H)	44
3.2.3	Στοιχεία σε διακινδύνευση (Elements of Risk, E)	45
3.2.4	Τρωτότητα (Vulnerability, V)	46
3.2.5	Διακινδύνευση (Risk, E)	46
3.3	Ταξινόμηση κατολισθήσεων	46
3.3.1	Καταπτώσεις (falls)	49
3.3.2	Ανατροπές (topplings)	51
3.3.3	Ολισθήσεις (slides)	52
3.3.3.1	Περιστροφικές ολισθήσεις	53
3.3.3.2	Μεταθετικές ολισθήσεις	54
3.3.4	Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)	55
3.3.5	Σύνθετες κινήσεις (complex)	57
3.3.6	Ερπυσμοί (creep)	57
3.3.7	Ροές (flows)	58
3.4	Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης	59
3.5	Παράγοντες πρόκλησης – ενεργοποίησης κατολισθήσεων	60
3.6	Όρια Βροχοπτώσεων στην εκδήλωση κατολισθήσεων	63
3.7	Κατολισθήσεις στην Ελλάδα	65
4	Περιοχή Μελέτης	73
4.1	Γενικά Στοιχεία	73
4.2	Γεωλογία Περιοχής	74
4.3	Βροχομετρικά δεδομένα περιοχής	75
4.4	Χρήσεις γης	80
5	Μέθοδοι Υπολογισμού Δείκτη Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας	82
5.1	Εισαγωγή	82
5.1.1	Λόγος Συχνοτήτων (Frequency Ratio)	82
5.1.2	Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process)	83

6	Εφαρμογή Μεθόδων Δείκτη Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας	87
6.1	Βαθμός επιδεκτικότητας με τη χρήση του Λόγου Συχνοτήτων (Frequency Ratio)	87
6.1.1	Χάρτης ενοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών	87
6.1.2	Χάρτης Χρήσεων γης	91
6.1.3	Χάρτης απόστασης από το οδικό δίκτυο – Ανθρώπινη επέμβαση	95
6.1.4	Χάρτης βροχοπτώσεων	98
6.1.5	Χάρτης μορφολογικών κλίσεων	101
6.1.6	Χάρτης υψομετρικού αναγλύφου	104
6.1.7	Χάρτης αζιμούθιου πρανών	107
6.1.8	Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας FR	110
6.2	Βαθμός επιδεκτικότητας με τη χρήση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (Analytical Hierarchy Process)	112
6.2.1	Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας AHP	113
6.2.2	Area Under Curve	115
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
8	Βιβλιογραφία	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	123

Κατάλογος Εικόνων

<i>Εικόνα 3.1: Καταπτώσεις βράχων στα Τέμπη 17^η Δεκεμβρίου 2009(Λουπασάκης, 2013)..</i>	<i>50</i>
<i>Εικόνα 3.2: Ανατροπή βράχων (USGS, 2004)</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 3.3: Ολίσθηση τεμάχους (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)</i>	<i>55</i>
<i>Εικόνα 3.4: Σφηνοειδής ολίσθηση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).....</i>	<i>55</i>
<i>Εικόνα 3.5: Απεικόνιση πλευρικής εξάπλωσης (Saha et al. 2002).....</i>	<i>56</i>
<i>Εικόνα 3.6: Απεικόνιση ερπυσμού (USGS, 2004)</i>	<i>57</i>
<i>Εικόνα 3.7: Απεικόνιση (α) – (β) ροή κορημάτων, (γ) ροή γαιών, (δ) ροή άμμου ιλύος (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).....</i>	<i>59</i>
<i>Εικόνα 3.8: Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη της ΓΥΣ (Φύλλο ΖΑΓΟΡΑ, κλίμακα 1:50.000), στο οποίο σημειώνονται οι 43 θέσεις κατολισθήσεων στις οποίες πραγματοποιήθηκε αυτοψία κατά το διάστημα 7-9/3/2018, καθώς και οι θέσεις παλαιότερων κατολισθήσεων που έχουν εξεταστεί και μελετηθεί διαχρονικά από το ΙΓΜΕ (εξαγωγή από τη βάση δεδομένων των κατολισθήσεων του ΙΓΜΕ. Οι περισσότερες κατολισθήσεις αντιστοιχούν σε πολλαπλή εγγραφή, παρουσιάζουν δηλαδή επαναληψιμότητα)</i>	<i>68</i>
<i>Εικόνα 3.9: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)</i>	<i>69</i>
<i>Εικόνα 3.10: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)</i>	<i>70</i>
<i>Εικόνα 3.11: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)</i>	<i>71</i>
<i>Εικόνα 3.12: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)</i>	<i>72</i>
<i>Εικόνα 4.1: Περιοχή Μελέτης, Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας</i>	<i>73</i>
<i>Εικόνα 4.2: Τυπική Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης (www.geo.auth.gr) .</i>	<i>75</i>
<i>Εικόνα 4.3: Χρήση/κάλυψη γης ευρύτερης περιοχής μελέτης(Corine Land Cover 2018) ...</i>	<i>81</i>
<i>Εικόνα 6.1: Γεωλογικοί Σχηματισμοί – Κατολισθήσεις στην περιοχή μελέτης.....</i>	<i>89</i>

<i>Εικόνα 6.2: Χάρτης Χρήσης / Κάλυψης γης – κατολισθήσεων στην περιοχή της μελέτης</i>	<i>92</i>
<i>Εικόνα 6.3: Χάρτης απόστασης από το οδικό δίκτυο - κατολισθήσεων περιοχής.....</i>	<i>97</i>
<i>Εικόνα 6.4: Κατολισθητικά φαινόμενα στο βροχομετρικό χάρτη περιοχής.....</i>	<i>100</i>
<i>Εικόνα 6.5: Χάρτης μορφολογικών κλίσεων.....</i>	<i>103</i>
<i>Εικόνα 6.6: Χάρτης Υψομετρικού αναγλύφου</i>	<i>106</i>
<i>Εικόνα 6.7: Χάρτης αξιμούθιου πρανών περιοχής.....</i>	<i>109</i>
<i>Εικόνα 6.8: Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας FR.....</i>	<i>111</i>
<i>Εικόνα 6.9: Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας AHP</i>	<i>114</i>

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Πολικές Συντεταγμένες (Χαλκιάς, 2015)	25
Σχήμα 2.2: Καρτεσιανές Συντεταγμένες(Χαλκιάς, 2015)	25
Σχήμα 2.3: Συσχέτιση καρτεσιανών και πολικών συντεταγμένων (Χαλκιάς, 2015)	26
Σχήμα 2.4: (α) Καρτεσιανές και (β) καμπυλόγραμμες συντεταγμένες (https://www.calculushowto.com/curvilinear/).....	27
Σχήμα 2.5: Κυλινδρικές Συντεταγμένες (Παράσχος 2012).....	28
Σχήμα 2.6: Ψηφιδωτό Μοντέλο Χωρικών Δεδομένων (Χαλκιάς, 2015)	32
Σχήμα 2.7: Σχήμα διανομής του προβολικού συστήματος Hatt σε φύλλα χάρτη κλίμακας 1:100.000 (πηγή: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού 1990).....	36
Σχήμα 3.1: Ονοματολογία τυπικής κατολισθήσης (IAEG, 1990)	40
Σχήμα 3.2: Είδη Κατολισθήσεων κατά Varnes και Cruden (Cruden, and Varnes, 1996) ...	47
Σχήμα 3.3: Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης [(από Λέκκας, 2000)]	54
Σχήμα 3.4: Παράγοντες ενεργοποίησης κατολισθήσεων (WP/WLI, 1994).....	61
Σχήμα 6.1: Ποσοστιαίο Γράφημα Κατολισθήσεων – Γεωλογίας	91
Σχήμα 6.1: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – χρήσης γης.....	93
Σχήμα 6.3: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – απόστασης από το οδικό δίκτυο	96
Σχήμα 6.4: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – ύψος βροχοπτώσεων	99
Σχήμα 6.5: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – κλίσεων	102
Σχήμα 6.6: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – υψομετρικού αναγλύφου.....	105
Σχήμα 6.7: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – υψομετρικού αναγλύφου.....	108
Σχήμα 6.8: AUC του λόγου Συχνότητας FR.....	115
Σχήμα 6.9: AUC της AHP.....	116
Σχήμα 6.10: Συγκριτικό διάγραμμα AUC.....	116

Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 3.1: Μεθοδολογίες στατιστικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων (Καβουρά, 2017).....</i>	<i>44</i>
<i>Πίνακας 3.2.: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (Κούκης, Σαμπατακάκης 2007).....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 3.3: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης (Varnes, 1978)</i>	<i>59</i>
<i>Πίνακας 3.4: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης (WP/WLP, 1994).....</i>	<i>60</i>
<i>Πίνακας 3.5: Ταξινόμηση παραγόντων εκδήλωσης κατολισθήσεων (WP/WLP 1994).....</i>	<i>62</i>
<i>Πίνακας 3.6: Θέσεις κατολισθήσεων στις οποίες πραγματοποιήθηκε αυτοψία από το ΙΓΜΕ κατά το διάστημα από 7-9/3/2018 μετά από υπόδειξη της Τοπικής Αυτ/σης</i>	<i>66</i>
<i>Πίνακας 5.1: Θεμελιώδης κλίμακα αξιολόγησης της AHP (Saaty,1987)</i>	<i>84</i>
<i>Πίνακας 5.2: Τιμές του μέσου όρου δείκτη συνέπειας.....</i>	<i>86</i>
<i>Πίνακας 6.1: Τεχνικογεωλογικές ενότητες περιοχής.....</i>	<i>88</i>
<i>Πίνακας 6.2: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – γεωλογίας.....</i>	<i>90</i>
<i>Πίνακας 6.3: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – χρήσης γης</i>	<i>93</i>
<i>Πίνακας 6.4: Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER ανά επίπεδο πληροφόρησης</i>	<i>94</i>
<i>Πίνακας 6.5: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με την απόστασή τους από το οδικό δίκτυο.</i>	<i>95</i>
<i>Πίνακας 6.6: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με το ύψος των βροχοπτώσεων</i>	<i>98</i>
<i>Πίνακας 6.6: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με τη μορφολογική κλίση. 101</i>	
<i>Πίνακας 6.7: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με το υψομετρικό ανάγλυφο</i>	<i>104</i>

Πίνακας 6.8: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με το αζιμούθιο 107

Πίνακας 6.10: Πίνακας συγκρίσεων παραγόντων..... 112

Πίνακας 6.11: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης παραγόντων..... 113

Κατάλογος Διαγραμμάτων

<i>Διάγραμμα 4.1: Βροχοπτώσεις Πορταριά Πηλίου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)</i>	<i>76</i>
<i>Διάγραμμα 4.2: Βροχοπτώσεις Μονή Πάου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)</i>	<i>77</i>
<i>Διάγραμμα 4.3: Βροχοπτώσεις Ζαγορά(Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)</i>	<i>78</i>
<i>Διάγραμμα 4.4: Βροχοπτώσεις Βόλο (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)</i>	<i>79</i>
<i>Διάγραμμα 4.5: Βροχοπτώσεις Βόλος - Πολυτεχνείο (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).....</i>	<i>80</i>

1 Εισαγωγή

Οι κατολισθήσεις εδαφών είναι ένα φυσικό φαινόμενο, που κάθε χρόνο προκαλεί την απώλεια ενός μεγάλου αριθμού ανθρώπινων ζώων αλλά και εκτεταμένες καταστροφές των έργων υποδομών αλλά και γενικότερα του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό η διεθνής επιστημονική κοινότητα καταβάλλει προσπάθειες να κατανοήσει το φαινόμενο και να προσδιορίσει τις αιτίες που προκαλούν την εκδήλωσή του. Οι παράγοντες αυτοί γενικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τους παράγοντες που καθιστούν μία περιοχή επιρρεπή σε κατολισθήσεις (όπως η κλίση των πρανών και η χρήση γης) και οι παράγοντες που ενεργοποιούν την κατολίσθηση (όπως η βροχόπτωση ή η σεισμική δραστηριότητα) (Παπανικολάου και Διακάκης (2011)). Στην Ελλάδα ο πιο συχνός παράγοντας ενεργοποίησης κατολισθήσεων είναι η βροχόπτωση (Koukis et al. (1997)).

Για να μπορέσει μια περιοχή να αναπτυχθεί ομαλώς συνίσταται να πραγματοποιηθεί μια έγκαιρη πρόβλεψη και εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και επικινδυνότητας. Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσουν να προσδιοριστούν οι πιο επικίνδυνες επιμέρους περιοχές της, για τις οποίες είναι απαραίτητη η λήψη άμεσων μέτρων προστασίας, καθώς και οι αντίστοιχες πιο ασφαλείς που προσφέρονται για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη κατοικιών και έργων υποδομής.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την σύνταξη των χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας, επικινδυνότητας και διακινδύνευσης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Στις Ποιοτικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στην εμπειρία του ειδικού (van Westen and Bonilla 1990) και
- Στις Ποσοτικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται σε μαθηματικούς τύπους (Soeters and van Westen 1996, Aleotti and Chowdhury 1999, Fell et al 2008).
- Στις Ημιποσοτικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στην σχετική σπουδαιότητα των παραγόντων που προκαλούν τις κατολισθήσεις και βασίζονται σε παρατηρήσεις πεδίου (Saha et al, 2002).

Μία ποιοτική μέθοδος διαφοροποιεί την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων σε ένα χάρτη με περιγραφικούς όρους, χρησιμοποιώντας δηλαδή απλές χαρτογραφικές μεθόδους. Είναι δεδομένο, ότι με την συγκεκριμένη μέθοδο είναι δυνατόν να υπάρχουν πολλά υποκειμενικά στοιχεία, που επηρεάζουν την αντικειμενικότητα της μελέτης, καθώς ο προσδιορισμός του κινδύνου στηρίζεται κυρίως στην εμπειρία του μελετητή.

Αντίθετα, μία ποσοτική μέθοδος προσδιορισμού των κατολισθήσεων πραγματοποιείται με αριθμητικά μοντέλα που στοχεύουν στον ποσοτικό προσδιορισμό των μεγεθών που εξετάζονται.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση αυτών των δύο μεθόδων. Εν συνεχεία επιλέγονται δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις τους, η «αναλυτική ιεραρχική μέθοδος (Analytical Hierarchy Process)» και ο «λόγος συχνότητας (Frequency Ratio)» και παρουσιάζεται ο τρόπος που αυτές εφαρμόζονται, προκειμένου να διαμορφωθούν οι αντίστοιχοι χάρτες κατολισθητικής επιδεκτικότητας με πεδίο εφαρμογής την περιοχή του Πήλιου. Τέλος πραγματοποιείται η συγκριτική αξιολόγηση των παραγόμενων χαρτών ως προς το ποσοστό επιτυχίας να συμπεριλάβουν θέσεις παλαιών κατολισθήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο πρόσφατο παρελθόν.

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών Q (QGIS) ενώ τα δεδομένα αντλήθηκαν κυρίως από ανοιχτές πηγές δεδομένων (open source). Επισημαίνεται ότι τα στοιχεία των θέσεων των κατολισθήσεων δημιουργήθηκαν από εκθέσεις της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ) ενώ τα δεδομένα βροχόπτωσης από τη βάση δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (noa-meteo.gr).

Κύριος σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα στη μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων και την παραγωγή των αντίστοιχων χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Η παραγωγή αυτών των χαρτών σε τοπικό επίπεδο, όπως στην περιοχή του Πήλιου, είναι πολύ σημαντική καθώς συνιστά σημαντικό μέρος της διαδικασίας διαχείρισης των φυσικών καταστροφών και κινδύνων σε τοπικό επίπεδο ενώ παράλληλα συμβάλει και στο σωστό προγραμματισμό και κατασκευή των τεχνικών έργων – έργων υποδομής.

2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Geographical Information Systems (GIS)

2.1 Συστήματα Συντεταγμένων και Συστήματα Αναφοράς

Στα γεωδαιτικά συστήματα, προκειμένου να προσδιορίσουμε τη θέση σημείων στο χώρο χρησιμοποιούμε τα Συστήματα Αναφοράς (reference system), όπου ένα σημείο προσδιορίζεται με τη χρήση συντεταγμένων, όπως είναι οι καρτεσιανές ή οι πολικές. Προκειμένου όμως να λειτουργεί ένα σύστημα αναφοράς είναι απαραίτητο να συνδυαστεί με ένα σύστημα συντεταγμένων όπου θα έχουν οριστεί κάποιες παράμετροι που θα καθορίζουν το πλαίσιο αναφοράς.

2.1.1 Συστήματα Συντεταγμένων

Ο απλούστερος και πιο διαδεδομένος τρόπος για την εύρεση ενός σημείου πάνω στην γήινη επιφάνεια είναι με την χρήση δύο συντεταγμένων, των λεγόμενων επιφανειακών συντεταγμένων. Στις αρχές του 17^{ου} αιώνα, στο ζεύγος συντεταγμένων για τον προσδιορισμό ενός σημείου, προστέθηκε και η τρίτη διάσταση του υψομέτρου.

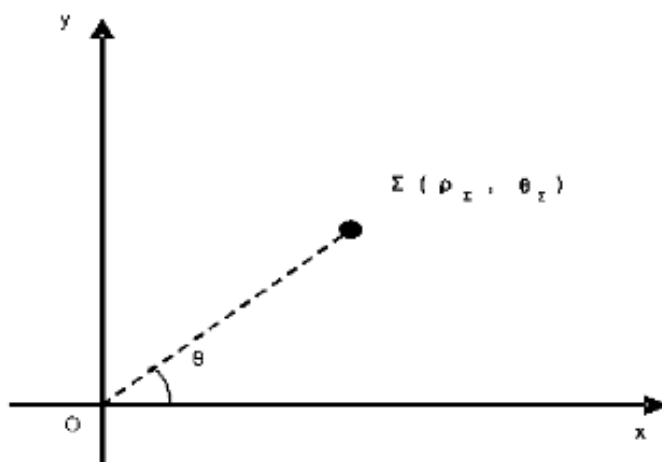
Οι επιφανειακές συντεταγμένες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις επίπεδες και τις καμπυλόγραμμες συντεταγμένες (Κάβουρας, κα 2016). Οι πρώτες χρησιμοποιούνται ώστε να προσδιοριστεί μια θέση σημείου σε ένα δισδιάστατο σύστημα αναφοράς. Αποτελούνται από τις γωνιακές και τις γραμμικές συντεταγμένες. Όσον αφορά στις γωνιακές συντεταγμένες, στο ορθοκανονικό σύστημα αξόνων ονομάζονται πολικές συντεταγμένες, ενώ οι γραμμικές, ονομάζονται καρτεσιανές.

Στο πολικό σύστημα συντεταγμένων (polar coordinate system) ένα σύστημα ορίζεται με τους εξής παράγοντες:

- Πολική ακτίνα ρ , η οποία αποτελεί την απόσταση από την αρχή των αξόνων

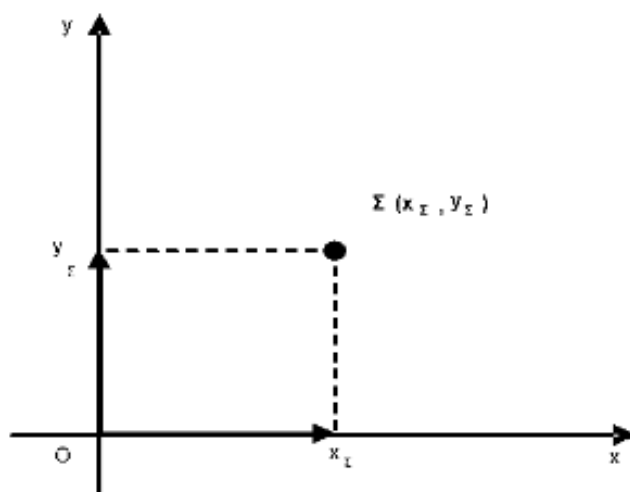
Ο

- Πολική γωνία θ , δηλαδή η γωνία που δημιουργείται από την ευθεία που σχηματίζεται από το σημείο ενδιαφέροντος και την αρχή των αξόνων.



Σχήμα 2.1: Πολικές Συντεταγμένες (Χαλκιάς, 2015)

Όσον αφορά στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (Cartesian or rectangular coordinate system), ένα σημείο στο σύστημα ορίζεται από δύο αποστάσεις κάθετες μεταξύ τους από τους άξονες αναφοράς (Κάβουρας, κα 2016). Οι άξονες αναφοράς, είναι δύο προσανατολισμένες ευθείες κάθετες μεταξύ τους, όπου ο οριζόντιος άξονας – άξονας x- αποτελεί τον άξονα των τετμημένων και ο κατακόρυφος άξονας – άξονας y- αποτελεί τον άξονα των τεταγμένων.



Σχήμα 2.2: Καρτεσιανές Συντεταγμένες(Χαλκιάς, 2015)

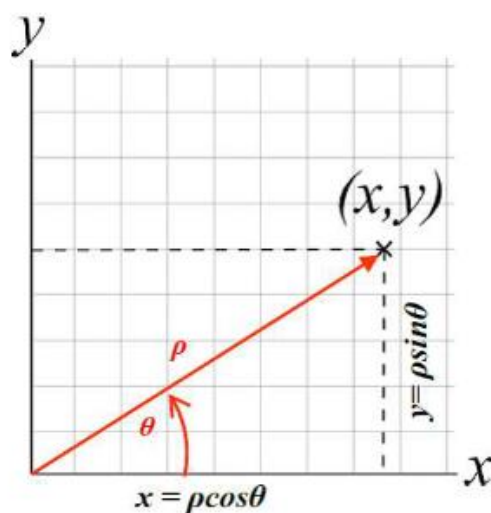
Οι πολικές και οι καρτεσιανές συντεταγμένες συνδέονται μεταξύ τους με τις εξής εξισώσεις:

$$x_{\Sigma} = \rho_{\Sigma} \cos \theta_{\Sigma}$$

$$y_{\Sigma} = \rho_{\Sigma} \sin \theta_{\Sigma}$$

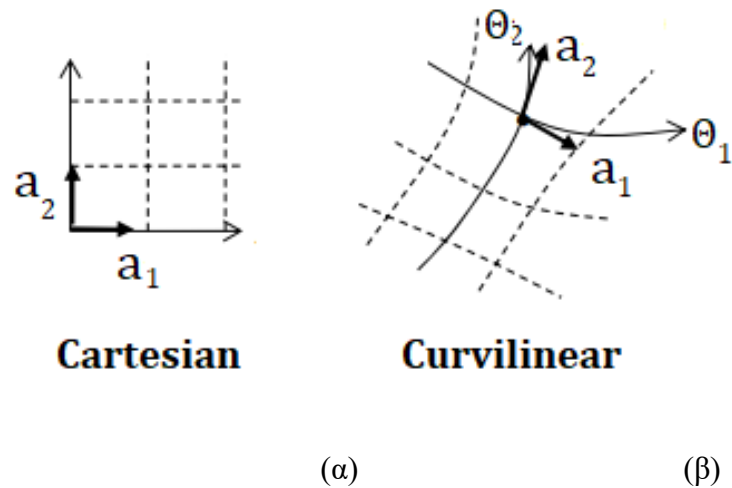
$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = \left(\frac{y}{x}\right)$$



Σχήμα 2.3: Συσχέτιση καρτεσιανών και πολικών συντεταγμένων (Χαλκιάς, 2015)

Σχετικά με τις καμπυλόγραμμες επιφανειακές συντεταγμένες, δύο γωνίες είναι αυτές που καθορίζουν τη θέση ενός σημείου στο καμπυλόγραμμο διδιάστατο πλέον σύστημα συντεταγμένων (two-dimensional curvilinear coordinate system) (Κάβουρας, κα 2016).

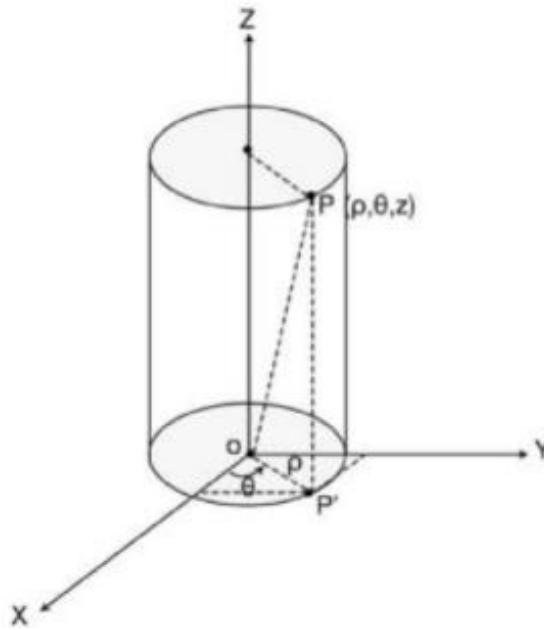


Σχήμα 2.4: (α) Καρτεσιανές και (β) καμπυλόγραμμες συντεταγμένες (<https://www.calculushowto.com/curvilinear/>)

Συνεχίζοντας με τη διάταξη των σημείων στο τρισδιάστατο χώρο, οι καρτεσιανές (x_{Σ} , y_{Σ} , z_{Σ}) και οι καμπυλόγραμμες (θ_1 , θ_2 και θ_3) συντεταγμένες μπορούν να εκφραστούν και με τρία σημεία στο χώρο.

Οι πολικές συντεταγμένες στο τρισδιάστατο επίπεδο ονομάζονται κυλινδρικές (ρ_{Σ} , φ_{Σ} , z_{Σ}). Η θέση ενός σημείου Σ ορίζεται από:

- την προβολή του στο επίπεδο
- το μήκος ρ_{Σ}
- τη γωνία φ_{Σ}
- τη συντεταγμένη z_{Σ} στον κάθετο άξονα (Κάβουρας, κα. 2016).



Σχήμα 2.5: Κυλινδρικές Συντεταγμένες (Παράσχος 2012)

Οι καρτεσιανές και κυλινδρικές συντεταγμένες στο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων συνδέονται με τις εξής εξισώσεις:

$$x_{\Sigma} = \rho_{\Sigma} \cos \theta_{\Sigma}$$

$$y_{\Sigma} = \rho_{\Sigma} \sin \theta_{\Sigma}$$

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta_{\Sigma} = \left(\frac{y}{x}\right)$$

$$z_{\Sigma} = z_{\Sigma}$$

Το σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων $(r_{\Sigma}, \theta_{\Sigma}, \varphi_{\Sigma})$ ορίζει τη θέση ενός σημείου Σ από:

- την απόσταση r_{Σ} , η οποία είναι η απόσταση του σημείου από το κέντρο (αρχή Ο)
- την αρχή των αξόνων
- τη γωνία φ_{Σ} , η γωνία μεταξύ του r και του άξονα x
- τη γωνία θ_{Σ} , η αζιμουθιακή γωνία

Ουσιαστικά, το σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων ορίζει την θέση ενός σημείου με τη βοήθεια δύο γωνιών και μιας απόστασης από την αρχή των αξόνων (Κάβουρας, κα 2016).

Οι σφαιρικές και οι καρτεσιανές συντεταγμένες συνδέονται ως ακολούθως:

$$x_{\Sigma} = r_{\Sigma} \cos \varphi_{\Sigma} \sin \theta_{\Sigma}$$

$$y_{\Sigma} = r_{\Sigma} \sin \varphi_{\Sigma} \sin \theta_{\Sigma}$$

$$z_{\Sigma} = r_{\Sigma} \cos \theta_{\Sigma}$$

$$r_{\Sigma} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\theta_{\Sigma} = \arctan(z_{\Sigma}/r_{\Sigma})$$

$$\varphi_{\Sigma} = \begin{cases} \arcsin\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) & , x \geq 0 \\ \pi - \arcsin\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) & , x < 0 \end{cases}$$

Τέλος, σε ένα ελλειψοειδές με διαστάσεις (μικρή και μεγάλη ακτίνα) a και φ , ένα σημείο P ορίζεται με τις γεωδαιτικές συντεταγμένες.

Η θέση ενός σημείου πάνω στην γήινη επιφάνεια αλλάζει συνεχώς εξαιτίας κυρίως της κίνησης των τεκτονικών πλακών, οι οποίες ορίζουν τον στερεό φλοιό της γης. Επομένως κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι ένα σημείο θα πρέπει να δίνεται και ως συνάρτηση του

χρόνου t και επομένως θα πρέπει να προσδιορίζεται με τη μορφή $P(x,y,z,t)$. Επιπλέον, η ετήσια ταχύτητα της κίνησης του σημείου ως διάνυσμα στο χώρο (mm/χρόνο και διεύθυνση διανύσματος), είναι ένας ακόμα τρόπος για να καθορίσουμε με ακρίβεια τη θέση του σημείου .

2.1.2 Συστήματα Αναφοράς

Ένα σύστημα αναφοράς μπορεί να είναι είτε γεωμετρικό είτε φυσικό. Τα γεωμετρικά συστήματα αναφοράς αποτελούν αφηρημένα συστήματα. Τα φυσικά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως στις φυσικές επιστήμες, όπως και στη Γεωδαισία. Για να λειτουργήσει ένα φυσικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιούνται άξονες και επίπεδα αναφοράς που αντικατοπτρίζουν φυσικά δεδομένα.

Υπάρχουν διάφορα γεωμετρικά συστήματα αναφοράς, όπως είναι το γεωκεντρικό, το αστρονομικό, το γεωγραφικό και το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Όσον αφορά στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (geocentric reference system), το κέντρο μάζας της Γης αποτελεί χωρική αφετηρία του συστήματος. Από το σημείο αυτό, ορίζεται το σημείο μηδέν 0 και με τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής της γης προσανατολίζεται και ο άξονας z .

Αναφορικά με το αστρονομικό σύστημα αναφοράς (astronomical reference system), το σημείο ορίζεται από τη διεύθυνση ενός κατακόρυφου διανύσματος. Το αστρονομικό σύστημα αναφοράς χρησιμοποιεί το γεωειδές ως επιφάνεια αναφοράς καθώς και την κατακόρυφο. Η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται από:

- Το αστρονομικό πλάτος Φ , το οποίο προσδιορίζεται από αστρονομικές παρατηρήσεις στο σημείο με ακρίβεια καλύτερη από $\pm 0,1''$
- Το αστρονομικό μήκος Λ , το οποίο προσδιορίζεται από αστρονομικές παρατηρήσεις στο σημείο με ακρίβεια καλύτερη από $\pm 0,1''$
- Τον γεωδυναμικό αριθμό C , που αποτελεί τη διαφορά του δυναμικού πεδίου βαρύτητας της γης στη γεωειδές από το δυναμικό στο σημείο, και προσδιορίζεται από μετρήσεις έντασης της βαρύτητας και γεωμετρική χωροστάθμιση (Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταξάκη, Σ., Τομαή, Ε. 2016).

Στη θέση του γεωδυναμικού αριθμού C, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το ορθομετρικό υψόμετρο H°.

2.2 Ορισμός Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

«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». (Κουτσόπουλος, 2002).

Σύμφωνα με τον Burrough (1983), τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αντιπροσωπεύουν «ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάληψη ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου».

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Π.Σ.) αποτελούν μέσα για συλλογή, μετασχηματισμό, ανάκληση και απεικόνιση των χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου. Ένα Γ.Π.Σ. διαθέτει διάφορες λειτουργίες, όπως είναι η χωρική ανάλυση των στοιχείων. Τα Γ.Π.Σ. αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την αποθήκευση, τη διαχείριση και την ενσωμάτωση μεγάλου όγκου χωρικών στοιχείων. Επιπλέον, λειτουργεί για την επίλυση χωρικών προβλημάτων οργανώνοντας, κάνοντας σωστή διαχείριση, και μετασχηματίζοντας τα στοιχεία με απλοποιημένο τρόπο.

Ουσιαστικά, η χρήση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών αποσκοπεί στην μετατροπή ακατέργαστων δεδομένων – data – σε πληροφορίες – information. Τα μοντέλα που αναπαριστούν τα γεωγραφικά δεδομένα είναι είτε διανυσματικά (vector) είτε ψηφιδωτά μοντέλα (raster) ή αλλιώς μοντέλα κανάβου (Χαλκιάς, Χ., Γκούσια, Μ., 2015)

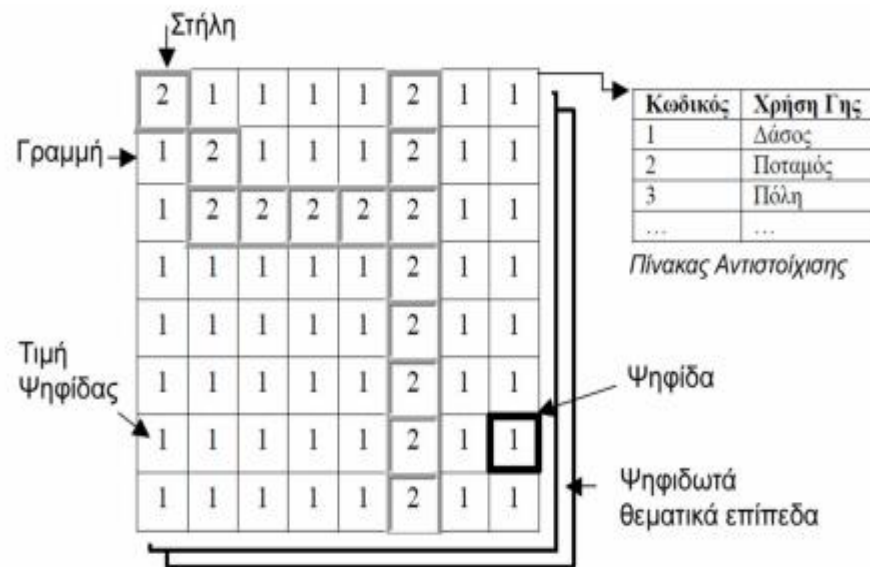
2.2.1 Διανυσματικά Μοντέλα (Vector)

Τα διανυσματικά μοντέλα προσδιορίζουν χωρικά τα σημεία με τη χρήση συντεταγμένων. Κάθε σημείο της γήινης επιφάνειας αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό ζεύγος αριθμών όπως είναι οι x,y,z καρτεσιανές συντεταγμένες. Χρησιμοποιούνται για να

αναπαραστήσουν οποιαδήποτε πραγματική γεωγραφική μεμονωμένη οντότητα ή να συνδυαστούν έτσι ώστε να δώσουν σύνθετα χωρικά στοιχεία. Τα χωρικά δεδομένα μοντελοποιούνται και αναλύονται με διανυσματικό τρόπο, χρησιμοποιώντας στοιχεία του πραγματικού κόσμου όπως διακριτές οντότητες ή αντικείμενα.

2.2.2 Ψηφιδωτά Μοντέλα (Raster)

Τα ψηφιδωτά μοντέλα προσδιορίζουν καθορισμένες περιοχές του πραγματικού κόσμου. Ο χώρος απαρτίζεται από διατεταγμένα δομικά στοιχεία – τα λεγόμενα ψηφίδες ή κελιά (pixels, cells) - που δημιουργούν πλέγματα. Οι ψηφίδες είναι συνήθως τετράγωνα και η θέση τους καθορίζονται συνήθως από μια γραμμή και μια στήλη, και η έκταση που καταλαμβάνουν καθορίζει τη χωρική ανάλυση των δεδομένων. Οι ψηφίδες προσδιορίζουν τον τύπο των γεωγραφικών δεδομένων και στοιχείων με περιγραφές όπως αριθμητικές τιμές ή χαρακτήρες. Ένα γεωγραφικό στοιχείο αντιστοιχεί στην πιο κοντινή χωρικά ψηφίδα. Συνήθως, ενδείκνυται για την αναπαράσταση μιας συνεχούς μεταβλητής, όπως είναι το υψόμετρο, η θερμοκρασία ή η βροχόπτωση. Χρησιμοποιείται δε και για διακριτές οντότητες.



Σχήμα 2.6: Ψηφιδωτό Μοντέλο Χωρικών Δεδομένων (Χαλκιάς, 2015)

Ανάλογα με το σχήμα της ψηφίδας τα ψηφιδωτά δεδομένα μπορούν να διαχωριστούν σε δεδομένα κανονικής και μη κανονικής μορφής. Το πλέον πιο διαδεδομένο μοντέλο είναι ένα μοντέλο με βάση το τετράγωνο, το οποίο χωρίζεται σε τεταρτημόρια και μπορεί να υποδιαιρεθεί σε απεριόριστο αριθμό περιοχών ίδιου σχήματος. Η ανάλυση του ψηφιδωτού αρχείου εξαρτάται από το μέγεθος της τετραγωνισμένης ψηφίδας που ορίζει την επιφάνεια του εδάφους που προσδιορίζει. Όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος της ψηφίδας τόσο υψηλότερη ανάλυση προσφέρει στο αρχείο δηλαδή και η ανάλυση και λεπτομέρεια της πληροφορίας που παρέχει. Το μέγεθος της ψηφίδας είναι ανάλογο με τον αποθηκευτικό χώρο και το υπολογιστικό σύστημα που απαιτείται.

2.3 Γεωδαιτικά Προβολικά Συστήματα στον Ελληνικό Χώρο

Ένα γεωδαιτικό/προβολικό σύστημα ορίζεται από κάποιες κύριες παραμέτρους:

1. Τον κεντρικό μεσημβρινό (central meridian, λ_0), ο οποίος καθορίζει την αρχή των x συντεταγμένων
2. Τον κεντρικό παράλληλο (central parallel, ϕ_0), που καθορίζει την αρχή των y συντεταγμένων
3. Το False Easting (E_0), που αποτελεί μια ποσότητα που προστίθεται για να μην ξεπερνάται η μέγιστη αρνητική τετμημένη, και να μην υπάρχουν αρνητικές τιμές στις τετμημένες, δηλαδή σημεία δυτικά του κεντρικού μεσημβρινού. Αυτή η ποσότητα έχει τιμές 500.000 m για ζώνες εύρους 6° και 200.000 m για ζώνες εύρους 3° .
4. Το False Northing (N_0), που αντιστοίχως είναι μια ποσότητα που προστίθεται για την αποφυγή αρνητικών τιμών στις τεταγμένες. Οι τιμές που λαμβάνει είναι 10.000.000 m για το νότιο ημισφαίριο 0 m για το βόρειο ημισφαίριο.
5. Τέλος, τον συντελεστή κλίμακας σημείου (Point scale factor) ή μέτρο γραμμικής παραμόρφωσης (m) του στοιχειώδους μήκους (s) στο προβολικό σύστημα, προς το αντίστοιχο στοιχειώδες μήκος (S) στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει τη συνολική παραμόρφωση της προβολής στην περιοχή ενδιαφέροντος. Αποτελεί καθαρό αριθμό και η τιμή που λαμβάνει είναι λίγο μικρότερη από τη μονάδα.

Στον ελλαδικό χώρο χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα γεωδαιτικά – προβολικά συστήματα αναφοράς:

- Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87). Αποτελεί ένα σύστημα του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τμήματος Αγρονόμων – Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και του Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (ΟΚΧΕ) και χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου (Νάκος, Β., 2015). Το ΕΓΣΑ '87 χρησιμοποιεί το γεωκεντρικό ελλειψοειδές GRS-80 και οι παραμορφώσεις που παρουσιάζει είναι κλίμακας 1:1000 στα άκρα της χώρας. Αποτελεί παραλλαγή της επικρατέστερης παγκοσμίως σύμμορφης προβολής, της εγκάρσιας μερκατορικής προβολής (UTM) με κεντρικό μεσημβρινό στις 24° ανατολικά του Αστεροσκοπείου του Greenwich. Ο κεντρικός μεσημβρινός 24° αποτελεί την οριοθέτηση που διαχωρίζει τις ζώνες 34 και 35 του UTM και λοιπές παραμέτρους όπως το UTM που διέρχεται από τον Διόνυσο Αττικής, άξονα τετμημένων τον Ισημερινό. Προκειμένου να μην εμφανίζονται οι τετμημένες x αρνητικές τιμές προστίθεται μια σταθερά False Easting $x=500.000$ m και συντελεστή κλίμακας $K_0=0,9996$. Η παραμόρφωση των μηκών είναι της τάξης των 670ppm σε όλη την επικράτεια, που μεταφράζεται ότι σε μια απόσταση ενός χιλιομέτρου η παραμόρφωση που θα υφίσταται θα είναι της τάξης τ των 67 εκατοστών. Το ΕΓΣΑ 87 αποτελεί ένα σύστημα που συνδυάζει datum και προβολικό σύστημα που έχουν επιλεγθεί για χρήση σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο με τις μικρότερες δυνατές παραμορφώσεις καθώς και σύνδεση αυτού με τα παγκόσμια δορυφορικά γεωδαιτικά συστήματα (π.χ. WGS 84).

- Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς HEPOS (Hellenic Positioning System). Αποτελεί ένα από τα πιο σύγχρονα και μεγαλύτερα δίκτυα μονίμων σταθμών αναφοράς GPS εθνικής κάλυψης σε πανευρωπαϊκή κλίμακα. Είναι ένα σύστημα μέσω του οποίου επιτυγχάνονται ακριβείς και ομοιογενείς τοπογραφικές μετρήσεις σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο. Το συγκεκριμένο σύστημα απαρτίζεται από 98 μόνιμους σταθμούς αναφοράς GPS που έχουν κατανεμηθεί σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο. Στο Κέντρο ελέγχου του συστήματος - το οποίο στεγάζεται στις εγκαταστάσεις της εταιρίας ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. - συγκεντρώνονται όλες οι μετρήσεις και στη συνέχεια πραγματοποιείται επεξεργασία, αρχειοθέτηση, διάθεση και αποστολή των αρχείων προς τους χρήστες (Γιαννίου και Μάστορης, 2006) Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το HEPOS αφορούν σε πραγματικό χρόνο (real-time services) καθώς και τις

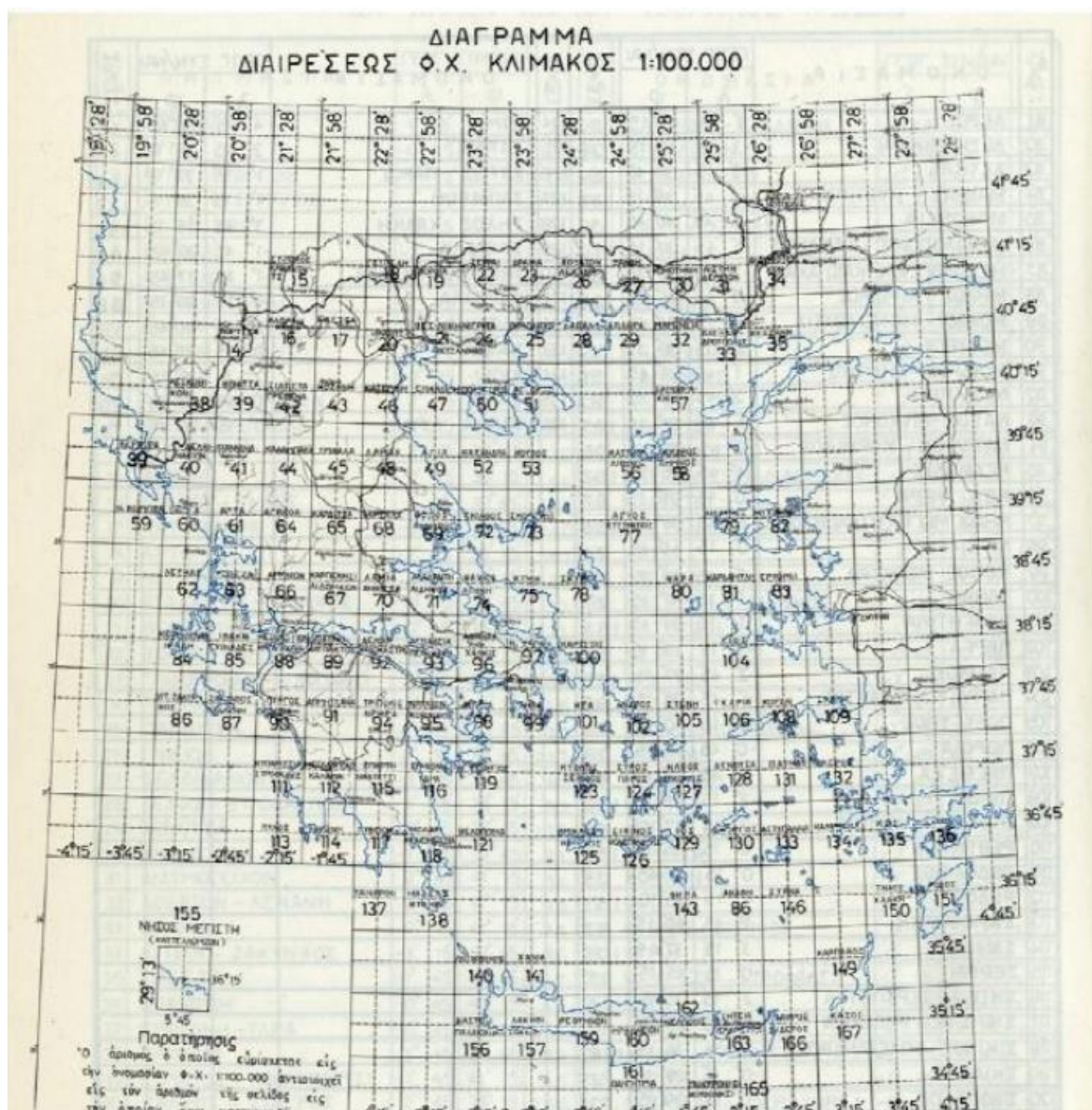
υπηρεσίες μετεπεξεργασίας (post-processing services). Το HEPOS έχει τη δυνατότητα να προσδιορίζει με πολύ καλή ακρίβεια, λίγων εκατοστών τη θέση ενός σημείου σε πραγματικό χρόνο, με μικρό κόστος προμήθειας - αγοράς εξοπλισμού που επιβαρύνει τον χρήστη, προσφέρει αυξημένη αμεσότητα, απόδοση και οικονομία για τοπογραφήσεις πεδίου (Γιαννίου και Μάστορης, 2006)

- Παγκόσμιο Γεωδαιτικό σύστημα Αναφοράς WGS 1984. Το εν λόγω σύστημα χρησιμοποιεί ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής που έχει ως κέντρο το κέντρο μάζας της Γης και προσαρμόζεται καλύτερα στο συνολικό σχήμα της Γης. Το WGS '84 χρησιμοποιεί το γεωκεντρικό ελλειψοειδές GRS-80. Χρησιμοποιείται από το δορυφορικό σύστημα GPS.

- Προβολικό σύστημα HATT. Το συγκεκριμένο σύστημα (Ισαπέχουσα Αζιμουθιακή προβολή του HATT) κάνει χρήση του ελληνικού γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς με αφετηρία το Αστεροσκοπείο Αθηνών και ελλειψοειδές αναφοράς το ελλειψοειδές του Bessel.

Το σύστημα αναφοράς HATT διαθέτει ένα κέντρο φύλλου που απεικονίζει την επιφάνεια ενός ελλειψοειδούς εκ περιστροφής κατά την αναπαράστασή του στο επίπεδο. Η απεικόνιση του ελλειψοειδούς πραγματοποιείται έτσι ώστε κάθε σημείο που βρίσκεται στο χώρο να έχει γωνία διεύθυνσης στο επίπεδο προβολής και απόσταση ως προς το κέντρο φύλλου που να ταυτίζονται με το αζιμούθιο και το μήκος της γεωδαιτικής γραμμής στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς (Hatt, 1886· Μπαντέκας, 1963).

Αποτελεί ένα απλό μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στην διανομή των χαρτών της ΓΥΣ κλίμακας 1:5.000 και χωρίζει την Ελλάδα σε 130 φύλλα χάρτου, σφαιροειδή τραπέζια διαστάσεων 55x45km (Βέης, 1977). Τα σφαιροειδή τραπέζια έχουν το χαρακτηριστικό ότι διαθέτουν δικό τους τοπικό προβολικό σύστημα συντεταγμένων με αρχή των αξόνων του το κάθε κέντρο φύλλου χάρτη. Το κάθε σύστημα έχει αφετηρία το κέντρο του φύλλου χάρτη. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των κέντρων φύλλων είναι πολλαπλάσια ακέραιων μοιρών και 15' ή 45'.



Σχήμα 2.7: Σχήμα διανομῆς του προβολικῆς συστήματος Hatt σε φύλλα χάρτη κλίμακος 1:100.000 (πηγή: Γεωγραφικὴ Υπηρεσία Στρατοῦ 1990).

- Προβολικὸ σύστημα ΕΜΠ. Ἡ πλήρης ονομασία του συστήματος εἶναι παγκόσμια εγκάρσια μερκατορικὴ προβολή με γεωδαιτικὸ σύστημα αναφοράς το Ευρωπαϊκὸ Γεωδαιτικὸ Σύστημα αναφοράς (ED 50) και αφετηρία το Potsdam. Το ελλειψοειδῆ που χρησιμοποιεῖται εἶναι το Hayford. Το προβολικὸ σύστημα εἶναι σύμμορφο και σχηματικὰ αντιστοιχεῖ στην απεικόνιση του ελλειψοειδούς με κυλινδρικὸ σύστημα ελλειπτικῆς διατομῆς που εφάρτεται στον μεσημβρινὸ της ζώνης (Νάκος, Β., 2015).

2.4 Εφαρμογές ΓΣΠ

Το GIS αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στο σύγχρονο κόσμο, καθώς επωφελούνται πολλοί ανεξάρτητοι τομείς για την ανάπτυξή τους. Οι περισσότερο επωφελημένοι χρήστες του συστήματος, είναι κυρίως οι κρατικοί οργανισμοί, οι οργανισμοί υγείας, τα ερευνητικά ιδρύματα, οι περιβαλλοντικές επιστήμες, ο σχεδιασμός γης, ο τουρισμός, η δασοκομία, ο χωροταξικός – αστικός σχεδιασμός καθώς και οι τοπικές κοινότητες.

Η εφαρμογή των Γ.Σ.Π. εκτός των ανωτέρω, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο που συμβάλει στην αντιμετώπιση προβλημάτων, κρίσεων και μεγάλων φυσικών καταστροφών όλων των μορφών. Μέρος των φυσικών καταστροφών αποτελούν οι κατολισθήσεις, οι οποίες αποτελούν κύριο πυλώνα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

3 Κατολισθήσεις

3.1 Γενικά περί κατολισθήσεων

3.1.1 Ορισμός

«Οι οποιοσδήποτε μετακινήσεις εδαφικών μαζών και πετρωμάτων ασχέτως μορφής, εκτάσεως και γενεσιουργών αιτίων 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» (Ι. Κουμαντάκης 1984).

Η αιτία πρόκλησης των κατολισθήσεων (Landslides) αποτελεί η κίνηση των πρανών, όπου πραγματοποιείται αστοχία είτε κατά μια συγκεκριμένη επιφάνεια είτε κατά συνδυασμό επιφανειών.

Ο Terzaghi, το 1950 όρισε ως κατολισθήσεις ή κινήσεις των πρανών, μια μάζα πετρώματος που κινείται με γρήγορη ταχύτητα, ιζήματος ή υπολειμματικού (residual) εδάφους ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα έξω και προς τακάτω.

Κατά Zaruba & Mencl (1969) ως κατολίσθηση ορίζεται ένα πέτρωμα που κινείται με γρήγορη ταχύτητα που ενεργοποιείται με την ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς που διακρίνεται με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια από το υπόλοιπο σταθερό.

Στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί μια περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών μερών μιας τυπικής κατολίσθησης. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG - Commission of Landslides), 1990 προκύπτουν οι παρακάτω ορισμοί των επιμέρους τμημάτων μίας κατολίσθησης, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1:

1. Αρχική επιφάνεια εδάφους : Αποτελεί τη μορφολογία της επιφανειακής στρώσης εδάφους πριν να εκδηλωθεί η κατολίσθηση.
2. Στέψη : Σχεδόν αμετακίνητο υλικό, δίπλα στα ψηλότερα σημεία της κύριας κλιτύος.
3. Κύρια κατακρήμνιση: Απότομη επιφάνεια στο αμετακίνητο έδαφος, στο ανώτερο μέρος της κατολίσθησης, η οποία προκαλείται από την κίνηση της

μετατιθέμενης ολισθαίνουσας μάζας. Αποτελεί ένα ορατό μέρος της επιφάνειας αστοχίας.

4. Κεφαλή: Το ανώτερο σημείο μεταξύ του μετατιθέμενου υλικού και της κύριας κατακρήμνισης.

5. Δευτερεύουσα κατακρήμνιση: Απότομη επιφάνεια στην ολισθαίνουσα μάζα, που παράγεται από τις διαφορικές κινήσεις στο εσωτερικό του υλικού.

6. Κύριο σώμα: Μέρος του μετατιθέμενου υλικού που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια αστοχίας, μεταξύ της κύριας τομής και του ποδός της επιφάνειας θραύσης.

7. Πόδας: Μέρος της κατολίσθησης, το οποίο κινήθηκε μπροστά από το μέτωπο της επιφάνειας αστοχίας και βρίσκεται πάνω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους.

8. Αιχμή: Σημείο στο πόδι το πιο απομακρυσμένο από την κορυφή της κατολίσθησης.

9. Μέτωπο: Το κατώτερο, πιο απομακρυσμένο από την κύρια τομή ανάγλυφο περιθώριο του μετατοπισμένου υλικού της κατολίσθησης.

10. Επιφάνεια θραύσης: Επιφάνεια, η οποία σχηματίζει (ή έχει σχηματιστεί) από το κατώτερο όριο του μετατιθέμενου υλικού, κάτω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους

11. Μέτωπο της επιφάνειας θραύσης: Η τομή μεταξύ της αρχικής επιφάνειας του εδάφους και του χαμηλότερου τμήματος της επιφάνειας θραύσης..

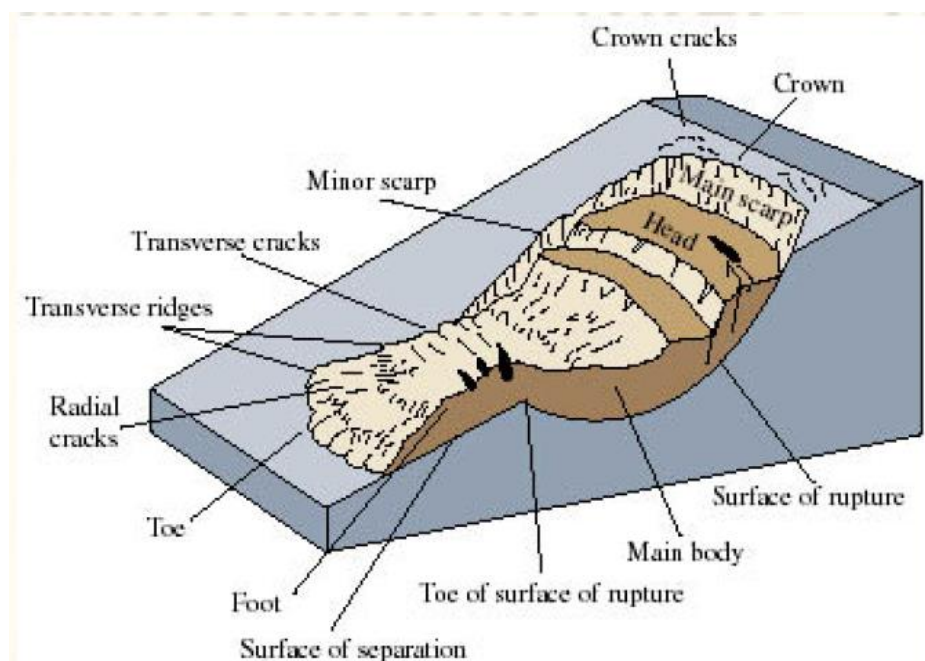
12. Επιφάνεια αποκόλλησης: Επιφάνεια η οποία αποτελεί μέρος επιφάνειας του εδάφους στην αρχική του μορφή που υπερκαλύπτεται από το πόδι της κατολίσθησης.

13. Μετακινούμενη μάζα: Υλικό μετατοπισμένο από την αρχική του θέση στην πλαγιά λόγω της κίνησης. Σχηματίζει τόσο την μάζα βύθισης όσο και την μάζα διόγκωσης.

14. Ζώνη βύθισης: Περιοχή μιας κατολίσθησης στην οποία το μετατοπισμένο υλικό βρίσκεται πάνω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους.

15. Ζώνη διόγκωσης: Περιοχή της κατολίσθησης στην οποία το μετατοπισμένο υλικό βρίσκεται πάνω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους.

16. Βύθιση : Όγκος που περιορίζεται από την κύρια τομή, την μάζα βύθισης και την αρχική επιφάνεια του εδάφους.
17. Μάζα Βύθισης: Όγκος του μετατοπισμένου υλικού, που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια αστοχίας, αλλά κάτω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους.
18. Διόγκωση: Όγκος του μετατοπισμένου υλικού που βρίσκεται πάνω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους
19. Πτερύγια: Αμετακίνητο υλικό, δίπλα στις πλευρές της επιφάνειας θραύσης . Για την περιγραφή των πτερυγίων προτιμώνται οι ενδείξεις της πυξίδας, διαφορετικά περιγράφονται ως δεξί ή αριστερό πτερύγιο έχοντας ως στάση τη στέψη.
20. Αρχική επιφάνεια εδάφους: Επιφάνεια της πλαγιάς που προϋπήρχε πριν αρχίσει η κατολίσθηση



Σχήμα 3.1: Ονοματολογία τυπικής κατολίσθησης (IAEG, 1990)

3.2 Βασικές αρχές

Η επικινδυνότητα έναντι φυσικών καταστροφών αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο διαχείρισης των φυσικών κινδύνων – καταστροφών. Είναι δυνατόν να προβλεφθεί χωρικά και χρονικά η πιθανότητα εκδήλωσης των φυσικών φαινομένων, να αξιολογηθούν οι

κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις και να μειωθεί ο κίνδυνος με την ανάπτυξη νέων σχεδίων υποδομών και επιμόρφωσης. Βασικές αρχές διαχείρισης των φυσικών καταστροφών αποτελούν η επιδεκτικότητα, η επικινδυνότητα κατολισθήσεων, τα στοιχεία σε διακινδύνευση και η τρωτότητα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια. Οι συγκεκριμένες αρχές, συνδέονται μεταξύ τους ώστε να διαχειριστεί ο κίνδυνος των κατολισθήσεων (landslide risk management). Αρχικά πρέπει να πραγματοποιείται διάθεση των πληροφοριών που προσδιορίζουν τις κατολισθήσεις σαν επικίνδυνο φυσικό φαινόμενο, αφού έχει εκτιμηθεί η διακινδύνευση (risk assessment). Βάσει του Varnes 1984 και Corominas et al 2014, οι προαναφερθείσες αρχές μπορούν να εκφραστούν με τον παρακάτω τύπο:

$$Rs = H \cdot E \cdot V$$

Όπου:

- Rs , η διακινδύνευση (Risk), δηλαδή ο βαθμός δυσμενών επιπτώσεων εξαιτίας κάποιου επικίνδυνου γεγονότος,
- H , η επικινδυνότητα (Hazard)
- E , τα στοιχεία σε διακινδύνευση (Elements at risk)
- V , η τρωτότητα (Vulnerability)

Οι χάρτες που ζωνοποιούν την επιδεκτικότητα, την επικινδυνότητα και την διακινδύνευση είναι δυνατόν να περιγράψουν την χωρική έκφραση του κινδύνου των κατολισθήσεων. Το αρχικό στάδιο εκτίμησης του κινδύνου αποτελεί η ζωνοποίηση της επιδεκτικότητας και της επικινδυνότητας, ενώ σε μεταγενέστερα στάδια μεγαλύτερων απαιτήσεων γίνεται συνδυασμός της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης. Ο βαθμός διακινδύνευσης (risk) εξετάζεται σε αστικούς σχεδιασμούς αναγνωρίζοντας στοιχεία σε κίνδυνο, ή στον σχεδιασμό και ανάπτυξη μεγάλων τεχνικών έργων, αναγνωρίζοντας ως στοιχεία σε κίνδυνο τους ίδιους τους χρήστες των έργων, όπως επιβάτες τρένου, οδηγοί αυτοκινήτων κτλ (Fell et al 2008).

3.2.1 Επιδεκτικότητα (Susceptibility, S)

Η επιδεκτικότητα αποτελεί την δυνατότητα εκδήλωσης μιας κατολίσθησης σε μια περιοχή, με βάση τις επικρατούσες τοπικές συνθήκες, όπως η γεωλογία, η γεωμορφολογία και οι φυσικές διεργασίες (Brabb, 1984). Αποτελεί μια ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση της χωρικής κατανομής των κατολισθήσεων που μπορεί να προκληθούν σε μια περιοχή ή που έχουν ήδη εκδηλωθεί. Μπορεί να περιγράψει την ταχύτητα ή/και την ένταση των υπαρχόντων ή δυνητικών κατολισθήσεων (SafeLand 2010). Η επιδεκτικότητα μιας περιοχής καθορίζεται με τη θεώρηση της χωρικής κατανομής των παραγόντων εκδήλωσης του φαινομένου ώστε να εκτιμηθούν οι ζώνες που είναι επιρρεπείς προς κατολίσθηση χωρίς καμία χρονική αναφορά (Radbruch 1970).

Η επιδεκτικότητα μπορεί να προσεγγιστεί με ποιοτικό ή ποσοτικό τρόπο αξιολογώντας τις συνθήκες εμφάνισης των κατολισθήσεων ή προσεγγίσεων στατιστικής ανάλυσης των πραγματικών μεγεθών που έχουν σχετιστεί με αυτές και το περιβάλλον που τις εμφανίζουν. Όταν πραγματοποιείται μια ποιοτική εκτίμηση, ο πιο σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση αποτελεί η εμπειρία του εκτιμητή, ενώ υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση της κατάστασης είναι πολύ πιθανό να συμβεί. Εντούτοις, τα στατιστικά εργαλεία προσφέρουν σύγκριση των επιμέρους παραγόντων που εκτιμούν την επιδεκτικότητα, αλλά και σύγκριση αποτελεσμάτων και έλεγχο αυτών ώστε το τελικό μοντέλο που θα επιλεγεί να αποτελεί το πλέον κατάλληλο.

Οι στατιστικές μέθοδοι διακρίνονται στη διμεταβλητή ανάλυση (bivariate) και την πολυμεταβλητή ανάλυση (multivariate). Η διμεταβλητή ανάλυση θεωρεί ότι οι παράγοντες δεν συνδέονται μεταξύ τους (Suzen and Doyuran 2004), ενώ η πολυμεταβλητή ανάλυση θεωρεί ότι όλοι οι παράγοντες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, το οποίο ερμηνεύει τα φαινόμενα μετά από στατιστική ανάλυση.

Η διμεταβλητή ανάλυση συνδυάζει τους επιμέρους χάρτες από τους παράγοντες πρόκλησης (causal factors) - που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις (π.χ. κλίσεις-προσανατολισμός πρανούς, γεωλογία, χρήση- κάλυψη γης, κτλ) – με έναν χάρτη όπου καταγράφονται κατολισθήσεις που έχουν γίνει τα προηγούμενα χρόνια ενδεχομένως και με ορισμένα χαρακτηριστικά τους (landslides' inventory). Κάθε παράγοντας των βαρών (weights) προέρχεται από τις κατολισθήσεις που ανήκουν σε κάθε κλάση (class) του ίδιου

παράγοντα (factor). Για την εφαρμογή των συγκεκριμένων αναλύσεων υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί, οι οποίοι συγκεντρώνονται αναλυτικά από τους Thiery et al (2007).

Η πολυμεταβλητή ανάλυση χρησιμοποιεί τους παράγοντες που είναι σχετικοί με την εκδήλωση των κατολισθήσεων, οι οποίοι διαχειρίζονται μαζί. Τα βάρη των παραγόντων κατανέμονται σε μια συγκεκριμένη έκταση σε περιοχές που υπάρχουν κατολισθητικά φαινόμενα ή όχι. Είναι δυνατόν μέσω των συγκεκριμένων αναλύσεων να υπολογισθεί η σύνθετη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μιας σειράς ανεξάρτητων μεταβλητών (Suzen and Doyuran 2004).

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται όλες οι μεθοδολογίες για την ανάλυση κατολισθήσεων.

Πίνακας 3.1: Μεθοδολογίες στατιστικής ανάλυσης για τον προσδιορισμό της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων (Καβουρά, 2017)

Διμεταβλητές μέθοδοι		Πολυμεταβλητές μέθοδοι	
Frequency Ratio (FR)	Lee and Talib, 2005 Lee, 2005 Lee and Pradhan, 2007 Lee and Sambath, 2006 Yilmaz,2009a Yilmaz,2009b Pradhan and Lee, 2010 Pradhan and Youssef, 2010 Oh et al, 2010 Choi et al, 2012 Regmi et al, 2014 Sharma et al, 2014 Meten et al, 2015	Logistic Regression (LR)	Attkinson and Massari, 1997 Dai et al, 2001 Dai and Lee, 2002 Lee, 2004 Lee, 2005 Lee and Pradhan, 2007 Lee, 2007 Nandi and Shakoore, 2009 Yilmaz,2009a Yilmaz,2009b Pradhan and Youssef, 2010 Oh et al, 2010 Mancini et al, 2010 Bui et al, 2011 Choi et al, 2012 Schicker and Moon, 2012 Akgun 2012 Althuwaynee et al, 2014 Colkesen et al, 2016
Landslide Relative Frequency (LRF)	Sabatakakis et al, 2013 Myronidis et al, 2015	Discriminant Analysis	Carrara et al, 1991 Baeza and Corominas, 2001 Guzzetti et al, 2006
Likelihood ratio (LR)	Lee, 2004 Lee, 2007 Akgun et al, 2008 Regmi et al, 2010 Kanungo et al, 2011 Akgun, 2012 Sujatha et al, 2013 Sharma et al, 2014		
Weights of Evidence (WoE)	Bohnam-Carter, 1994 Lee et al, 2002 Lee and Choi, 2004 Regmi et al, 2010 Armas 2012 Schicker and Moon, 2012 Neuhauser et al, 2012 Regmi et al, 2014 Meinhardt et al 2015 Ilia and Tsangaratos, 2016 Hussin et al, 2016	Factor Analysis	Komac, 2006
		Artificial Neural Network (ANN)	Lee et al, 2003 Lee et al, 2004 Kanungo et al, 2006 Pradhan and Lee, 2009 Yilmaz,2009a Pradhan and Lee, 2010 Oh et al, 2010 Choi et al, 2012 Bi et al, 2014
Statistical Index (SI)	van Westen, 1997 Rautela and Lakhera, 2000 Cevik and Topal, 2003 Bui et al, 2011 Bijukchhen et al, 2013 Pourghasemi et al, 2013 Regmi et al, 2014 Meinhardt et al 2015	Fuzzy Logic	Ercanoglu and Gokceoglu, 2004 Akgun et al. 2012 Roodposhti et al, 2014 Feizizadeh et al, 2014

3.2.2 Επικινδυνότητα κατολισθήσεων (Landslide Hazard, H)

Η επικινδυνότητα των κατολισθήσεων αποτελεί την πιθανότητα να εκδηλωθεί μια κατολίσθηση σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αποτελεί συνάρτηση της χωρικής και της

χρονικής κατανομής του φαινομένου και ενδεχομένως να είναι καταστρεπτική (Varnes 1984). Με τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας μιας περιοχής περιγράφεται και η περιοχή, ο όγκος ή η έκταση, ο τύπος, η ταχύτητα μιας πιθανής κατολίσθησης και η πιθανότητα εμφάνισης σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (IUGS 1997 & ISSMGE Technical Committee 32). Οι στατικούς παράγοντες εκδήλωσης, όπως είναι η αντοχή του εδάφους και η κλίση του πρανούς, επηρεάζουν την επιδεκτικότητα, η οποία αναφέρεται στην χωρική κατανομή του φαινομένου των κατολισθήσεων. Αντιστοίχως, η χρονική κατανομή του φαινομένου σχετίζεται με τους δυναμικούς παράγοντες εκδήλωσης, όπως η βροχόπτωση, ο σεισμός κτλ (van Westen et al 2006).

Σε πολλούς ορισμούς κατά καιρούς, όπως κατά Guzzetti et al (1999), Glade (2005), International Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land-use planning and their Commentary (Fell 2008a), Corominas et al (2014) αναγνωρίζονται οι έννοιες του μεγέθους (magnitude) του φαινομένου και της έντασης (intensity).

Το μέγεθος υπολογίζεται συνήθως μέσω της έκτασης ή του όγκου και εκφράζει ένα μέτρο των διαστάσεων της κατολίσθησης. Παρόλο που εκφράζει μέτρο διάστασης, δεν μπορεί να περιγράψει την καταστροφικότητα που μπορεί να επιφέρει μια κατολίσθηση ή σε πόσο μεγάλο βαθμό μπορεί να επηρεάζει το περιβάλλον.

Η ένταση εκφράζει το πόσο καταστρεπτική μπορεί να είναι μια κατολίσθηση αναλόγως με τον μηχανισμό εκδήλωσής της. Έτσι για μια αργή κατολίσθηση η ένταση μπορεί να εκφραστεί μέσω της συνολικής της μετατόπισης ενώ για μια κατάπτωση μέσω της κινητικής ενέργειας (Nikolakopoulos et al 2015). Όλες οι κατολισθήσεις και οι εντάσεις τους τοποθετούνται πάνω σε ένα χρονικό πλαίσιο, το οποίο ορίζεται από την κλίμακα που χρησιμοποιείται κάθε φορά για την εκτίμηση της επικινδυνότητας.

3.2.3 Στοιχεία σε διακινδύνευση (Elements of Risk, E)

Τα στοιχεία σε διακινδύνευση αποτελούν αυτά που επηρεάζονται από την εκδήλωση ενός επικίνδυνου φαινομένου. Τέτοια στοιχεία αποτελούν ο πληθυσμός, οι περιουσίες και άλλες οικονομικές επιπτώσεις. (Varnes 1984, Κούκης & Σαμπατακάκης 2007, Corominas et al 2014)

3.2.4 Τρωτότητα (Vulnerability, V)

Η τρωτότητα αποτελεί τον βαθμό απώλειας ενός συνόλου στοιχείων σε κίνδυνο ή ενός δεδομένου στοιχείου, που συνεπάγεται της εμφάνισης ενός φυσικού φαινομένου. Μετριέται σε κλίμακα από 0 έως 1, που εκφράζει καμία βλάβη (0) έως συνολική απώλεια (1), αντιστοίχως (Varnes 1984, Κούκης & Σαμπατακάκης 2007).

3.2.5 Διακινδύνευση (Risk, E)

Η διακινδύνευση αναφέρεται στις απώλειες που αναμένεται να συμβούν λόγω του συγκεκριμένου φαινομένου - επικινδυνότητας. Αναφέρεται σε φυσικές απώλειες, όπως είναι ο πληθυσμός αλλά και διάφορες κατασκευές. Η διακινδύνευση μπορεί να είναι συνολική ή ειδική. Η συνολική διακινδύνευση (total risk) αναφέρεται στον αναμενόμενο αριθμό τραυματισμών, θυμάτων, ζημιών σε περιουσίες, επιβαρύνσεις σε οικονομικές δραστηριότητες. Η ειδική διακινδύνευση (specific risk) αφορά στον αναμενόμενο βαθμό μιας μόνο φυσικής απώλειας λόγω της κατολίπησης, όπως είναι ο πληθυσμός.

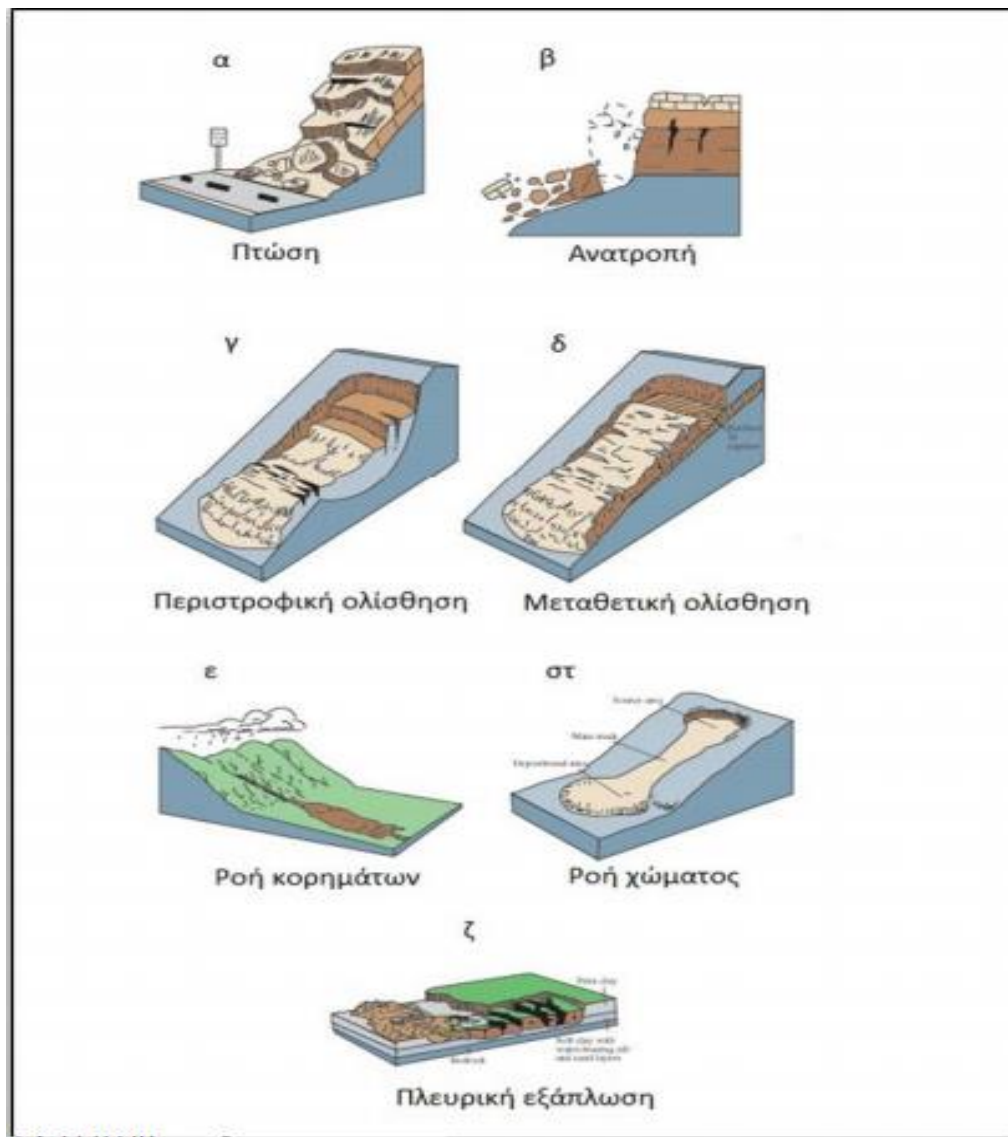
3.3 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Ο Varnes (1978) δημιούργησε και πρότεινε στην επιστημονική κοινότητα ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων που αφορά το σύνολο των εδαφικών μετακινήσεων που είναι δυνατόν να παρατηρηθούν σε πρανή πέραν των καθιζήσεων. Η ταξινόμηση των κατολισθήσεων (Cruden and Varnes, 1996) γίνεται είτε με βάση τον τύπο της μετακίνησης είτε με βάση το είδος του μετακινούμενου υλικού.

Αναλόγως του τύπου της μετακίνησης οι κατολισθήσεις μπορούν να διακριθούν σε:

1. Καταπτώσεις (falls)
2. Ανατροπές (topplings)
3. Ολισθήσεις (slides)
4. Ροές (flows)

5. Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)
6. Σύνθετες κινήσεις (complex)
7. Ερπυσμοί



Σχήμα 3.2: Είδη Κατολισθήσεων κατά Varnes και Cruden (Cruden, and Varnes, 1996)

Αναλόγως με τον τρόπο που μετακινείται το γεωλογικό υλικό διακρίνονται κινήσεις που εκδηλώνονται:

1. Σε κορήματα (debris) και γαίες (earth), τα οποία ονομάζονται επιφανειακά εδάφη που διακρίνονται
2. Στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock)

Ως βραχώδεις υπόβαθρο ορίζεται κάθε σκληρό συνεκτικό πέτρωμα (βράχος ή ημίβραχος).

Ως έδαφος ορίζονται τα ασθενώς συνδεδεμένα ή χαλαρά συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων τα οποία προέρχονται από αποσάθρωση, διάβρωση και μεταφορά προϋπάρχοντων πετρωμάτων ή από την επί τόπου αποσάθρωσή τους.

Επιπλέον, τα εδάφη μπορούν να διακριθούν σε:

- Γαίες, που αποτελούν εδαφικά υλικά τα οποία με βάση τη μηχανική τους ταξινόμηση περιέχουν ποσοστό μεγαλύτερο του 80% άμμου, ιλύος και αργίλου και το μέγεθος κόκκων είναι μικρότερο των 2mm, που αποτελεί κλάσμα άμμου, ιλύος και αργίλου.
- Κορήματα, που αποτελούν εδαφικά υλικά που περιέχουν ποσοστό έως και 20%-80% χαλίκια, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθους, που αποτελούν χονδρόκοκκα υλικά με μέγεθος μεγαλύτερο των 2mm, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό τους αποτελείται από λεπτομερή υλικά.

Παρακάτω, παρατίθεται σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης VARNES ένας περιγραφικός πίνακας αναλόγως του τύπου μετακίνησης:

Πίνακας 3.2:: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (Κούκης, Σαμπατακάκης 2007)

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν τη μετακίνηση)		
		Υπόβαθρο	Εδαφος	
			Επικρατούν τα αδρομερή υλικά	Επικρατούν τα λεπτόκοκκα υλικά
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων	Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Ολίσθηση τεμάχους Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση τεμάχους κορημάτων Ολίσθηση κορημάτων	Ολίσθηση τεμάχους γαιών Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις		Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές		Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
		(Βαθύς ερπυσμός)	(ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετες		Συνδυασμός δυο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακίνησης		

3.3.1 Καταπτώσεις (falls)

Ο συγκεκριμένος τύπος κατολισθήσεων αφορά στην απόσπαση τμήματος βράχου ή εδάφους από ένα πρανές με απότομη κλίση, κατά μήκος μιας επιφάνειας με διατμητική αντοχή η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή έως μηδενική. Το υλικό μετακινείται πάνω την επιφάνεια του πρανούς κυρίως ελεύθερα, με κύλιση ή αναπήδηση. Ο εν λόγω τύπος κατολισθήσεων εντοπίζεται σε πετρώματα αλλά και συνεκτικά εδάφη. Το φαινόμενο των καταπτώσεων εμφανίζεται συνήθως σε απότομα πρανή, τα οποία μπορεί να έχουν υποσκαφθεί από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, από την ενέργεια θαλασσίων κυμάτων ή από ρεύματα ποταμών.

Η μετακίνηση χαρακτηρίζεται από πολύ γρήγορη έως εξαιρετικά γρήγορη και μπορεί να έπεται μικρότερων μετακινήσεων που αποτελούν αιτία προοδευτικού αποχωρισμού της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα (Varnes, 1976)



Εικόνα 3.1: Καταπτώσεις βράχων στα Τέμπη 17^η Δεκεμβρίου 2009(Λουπασάκης, 2013)

Οι καταπτώσεις εμφανίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα στον ελλαδικό χώρο και μπορεί να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα σε οδικούς άξονες και ορεινούς οικισμούς κυρίως λόγω του αιφνίδιου της εμφάνισής τους.

Η κίνηση που θα ακολουθήσει το υλικό της κατολίσθησης εξαρτάται και σε σημαντικό βαθμό από την κλίση του πρανούς:

1) Η κίνηση των καταπτώσεων γίνεται κύλιση, στην περίπτωση που το πρανές ακολουθεί μικρότερη κλίση από 1:1.

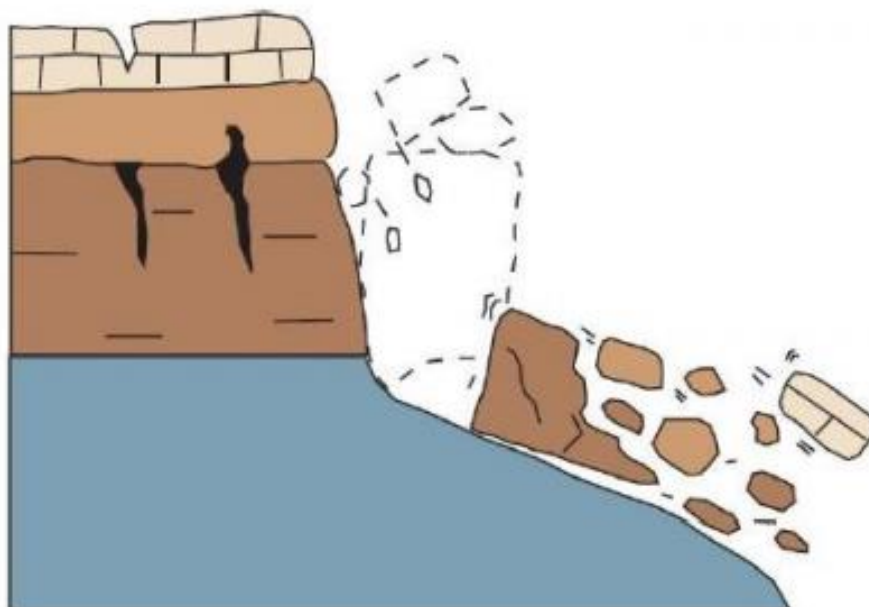
2) Εάν δε η κλίση του πρανούς είναι ηπιότερη, τότε η κίνηση της μάζας αναπηδά στην επιφάνεια του πρανούς και θραύεται σε πιο μικρά τεμάχια.

Με κλίσεις μεγαλύτερες του 4:1 το υλικό κατάπτωσης ακολουθεί συνήθως ελεύθερη πτώση.

3.3.2 Ανατροπές (topplings)

Η αποσπώμενη μάζα εκτελεί μια περιστροφή προς τα έξω ως προς ένα σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται σε πιο χαμηλό σημείο από το κέντρο βάρους της μάζας που μετακινείται. Οι κύριες αιτίες εκδήλωσής τους αποτελούν:

1. Η βαρύτητα
2. Οι δυνάμεις που ασκούν τα γειτονικά τεμάχια
3. Η επίδραση του νερού, από παγετό και υδροστατικές πιέσεις, που μπορεί να πληρώνει τις ρωγμές και τις ασυνέχειες του πετρώματος .



Εικόνα 3.2: Ανατροπή βράχων (USGS, 2004)

Η αποσπώμενη μάζα εκτελεί συνήθως πτώση ή ολίσθηση, αναλόγως με τη γεωμετρία του πρανού, της μάζας που μετακινείται καθώς και της επιφάνειας απόσπασής της. (Varnes, 1976) Συνήθως η ανατροπή της μάζας εμφανίζεται σε βραχώδη πρανή που το δίκτυο των ασυνεχειών είναι πολύ πυκνό. Αντιθέτως, τα κορήματα και οι γαίες δεν εκδηλώνουν ανατροπή σαν κίνηση που οφείλεται κυρίως στην υποσκαφή της βάσης του πρανού από φυσικές διεργασίες, όπως είναι η διάβρωση, ή λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων (λατομεία, εκσκαφές κ.λ.π.).

Η ταχύτητα με την οποία μετακινείται το υλικό χαρακτηρίζεται συνήθως ως εξαιρετικά αργή στα αρχικά στάδια ενώ στα τελευταία στάδια μετατρέπεται σε εξαιρετικά γρήγορη.

Κατά Goodnab & Bray (1976) και Hoek & Bray (1977), οι ανατροπές έχουν ταξινομηθεί ως εξής:

- Ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling) όπου το πέτρωμα αποχωρίζεται σε κολώνες – πλάκες. Η κίνηση αυτή οφείλεται στην ύπαρξη ενός καλά ανεπτυγμένου υποκατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών, το ανώτερο τμήμα των οποίων αστοχεί σε κάμψη
- Ανατροπή τεμαχίων (block toppling): όπου όπως και με τις ανατροπές λόγω κάμψης, υπάρχει ένα καλά ανεπτυγμένο υποκατακόρυφο σύστημα ασυνεχειών, όπου σχεδόν κάθετα σε αυτό βρίσκεται ένα δεύτερο. Η ανατροπή των στοιχείων οφείλεται σε αυτά τα συστήματα.
- Ανατροπή τεμαχίων λόγω κάμψης (block – flexural toppling). Παρατηρείται κυρίως σε απότομα βραχώδη πρανή, από λεπτοστρωματώδη κερματισμένα πετρώματα ή σχιστόλιθους. Στα πετρώματα πραγματοποιείται σημαντική κατά μήκος μιας επιφάνειας καλά διαμορφωμένης που μπορεί να αποτελέσει μια επιφάνεια ολίσθησης του βραχώδους πρανούς.
- Δευτερογενείς ανατροπές (secondary toppling) στις οποίες κύρια αιτία εμφάνισής τους αποτελεί η υποσκαφή της βάσης του πρανούς λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων ή διεργασιών που οφείλονται σε φυσικούς παράγοντες..



3.3.3 Ολισθήσεις (slides)

Οι ολισθήσεις αφορούν μια μετακίνηση του εδάφους η οποία πραγματοποιείται προς τα κάτω σε σχετικά λεπτές ζώνες διάτμησης ή κατά μήκος επιφανειών θραύσης. Η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει προς τα κάτω και ταυτόχρονα απομακρύνεται από την αρχική επιφάνεια θραύσης. Πρόκειται για κίνηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας. Προϋποθέτει διατμητική παραμόρφωση - μετατόπιση και επιπλέον διατμητική θραύση του υλικού που συμβαίνει κατά μήκος μιας επιφάνειας ή περισσότερων μιας σχετικά στενής ζώνης που βρίσκεται εντός συγκεκριμένων. Η μετακίνηση δύναται να είναι προοδευτική ή ακαριαία (ταχεία), η επέκτασή της γίνεται σε διαδοχικά στάδια,

πέρα από την αρχική περιοχή τοπικής θραύσης και η διατμητική θραύση δεν συμβαίνει συγχρόνως σε όλη την επιφάνεια που θα συνθέσει την καταληκτική επιφάνεια θραύσης. Επίσης, η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να είναι επίπεδη ή κυκλική. Στους βραχώδεις σχηματισμούς οι επιφάνειες ασυνεχειών που είναι καλά διαμορφωμένες (στρώση, διακλάσεις, σχιστότητα κ.λ.π.) δύναται να ταυτίζονται με την επιφάνεια αστοχίας

Η μετακινούμενη μάζα είναι δυνατόν να διατηρηθεί ενιαία κατά την ολίσθηση ή να διαχωριστεί σε μικρότερες μάζες οι οποίες κινούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους. Οι πρώτες ενδείξεις της ολίσθησης είναι ρωγμές που διακρίνονται στην αρχική επιφάνεια εδάφους, κατά μήκος της οποίας θα σχηματιστεί το κύριο μέτωπο της ολίσθησης. (Varnes 1978)

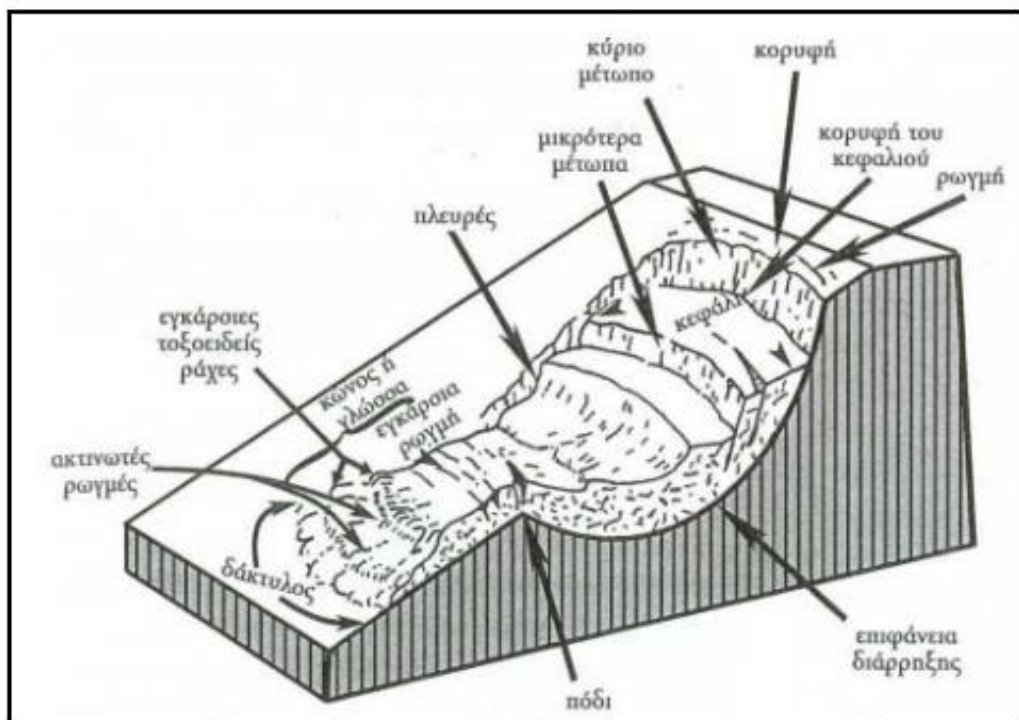
Οι ολισθήσεις μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, στις περιστροφικές (rotational) και στις μεταθετικές (translational)

3.3.3.1 Περιστροφικές ολισθήσεις

Οι περιστροφικές ολισθήσεις ή κυκλικές ολισθήσεις λαμβάνουν χώρα κατά μήκος κεκλιμένης επιφάνειας, η οποία είναι κοίλη προς τα πάνω. Συνήθως, εμφανίζεται σε ομοιογενή εδαφικά υλικά και το μήκος τους συνήθως κυμαίνεται από 3 έως 7 φορές το βάθος τους (Skempton & Hatchinson, 1969). Επομένως, εκδηλώνονται σε φυσικά πρανή αλλά και σε επιχώματα (φράγματα, επιχώματα οδοποιίας κ.α.).

Εκδηλώνονται, επίσης, σε πρανή με έντονα κατακερματισμένες βραχομάζες, που έχει σαν αποτέλεσμα να δομούνται από αδρομερή εδαφικά υλικά, λόγω του έντονου κατακερματισμού της βραχομάζας,

Η ολίσθηση πραγματοποιείται πάνω σε μια επιφάνεια κυλινδρική, κατά την οποία ο άξονας είναι παράλληλος προς την περιστροφή της κατολίσθησης. Το σώμα της κατολίσθησης χωρίζεται σε μια ζώνη απομείωσης και μια ζώνη συσσώρευσης. Η κεφαλή, η οποία αποτελεί το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που βρίσκεται στο ανώτερο σημείο, κινείται προς τα κάτω ενώ στον πόδα, δηλαδή στη βάση παρατηρείται ανύψωση.

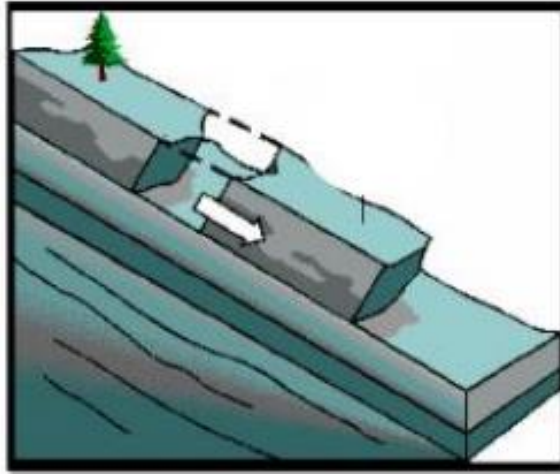


Σχήμα 3.3: Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης [(από Λέκκας, 2000)]

3.3.3.2 Μεταθετικές ολισθήσεις

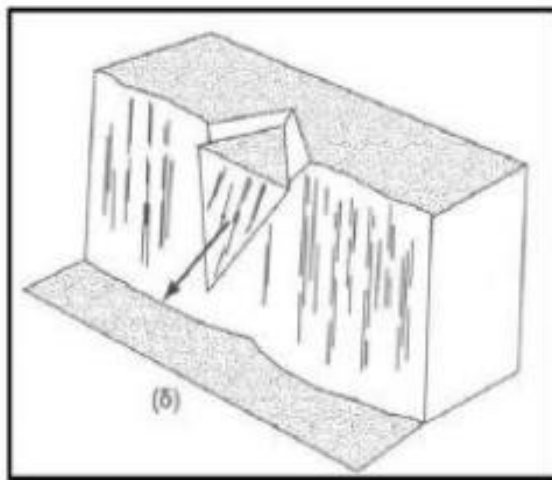
Αφορούν αστοχίες που το υλικό ολίσθησης μετακινείται κατά μήκος μιας περίπου επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας, ενώ η περιστροφική κίνηση είναι ελάχιστη έως μηδενική. Σε σχέση με την περιστροφική ολίσθηση, η μάζα δεν σταθεροποιείται σταδιακά, εξαιτίας της μορφής της επιφάνειας ολίσθησης. Στην μεταθετική ολίσθηση, αντιθέτως με την περιστροφική, υπάρχει μια «εγγενής» διάθεση εξασφάλισης της ισορροπίας στην ασταθή μάζα, η επιφάνεια ολίσθησης στον πόδα έχει κλίση προς το πρηνές. Επιπλέον, η διαφορά τους με τις περιστροφικές ολισθήσεις είναι ότι έχουν μικρότερο βάθος και συνήθως το μήκος τους είναι δεκαπλάσιο από το βάθος τους (Skempton & Hatchinson, 1969). Όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει μεγάλη κλίση και ταυτόχρονα η σταθερή δύναμη που αποτελεί έναυσμα της κίνησης είναι μεγαλύτερη από τη διατμητική αντίσταση κατά μήκος της επιφάνειας αυτής, η μετακίνηση μπορεί να προχωρήσει απεριόριστα.

Οι μεταθετικές ολισθήσεις διακρίνονται στις επίπεδες ολισθήσεις (Hoek and Bray, 1977) και στις σφηνοειδείς ολισθήσεις. Οι επίπεδες ολισθήσεις κινούνται κατά μήκος μιας συγκεκριμένης ασυνέχειας σε ασυνεχείς βραχώμαζες.



Εικόνα 3.3: Ολίσθηση τεμάχου (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

Αντιθέτως, οι σφηνοειδείς ολισθήσεις πραγματοποιούνται πάνω σε δύο επιφάνειες ασυνεχειών που τέμνονται και κατά μήκος της τομής τους.

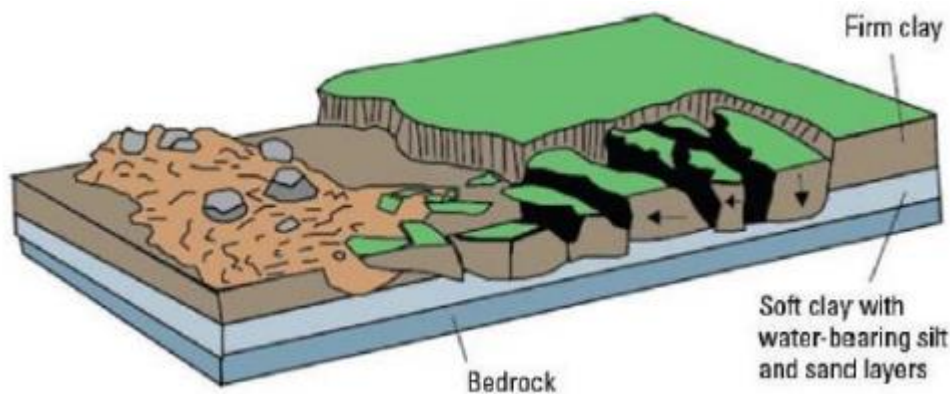


Εικόνα 3.4: Σφηνοειδής ολίσθηση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

3.3.4 Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)

Αποτελούν υποοριζόντιες μετακινήσεις πάνω σε στρώσεις υλικών με ασθενή μηχανικά υλικά. Οι μετακινήσεις των υλικών διευκολύνονται από διατμητικές και εφελκυστικές ρωγμές. Οι πλευρικές εξαπλώσεις αναλύονται σε τρεις διαφορετικούς τύπους μετακινήσεων, στην εξάπλωση τεμαχίων, στις εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης και στις σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις.

Η εξάπλωση τεμαχίων (block spread) εκδηλώνεται συνήθως σε βραχώδη σχηματισμό που είναι πάνω από πιο ασθενείς σχηματισμούς, τους οποίους και συνθλίβουν. Η μετατόπιση λαμβάνει χώρα σε ολόκληρη την εκτεινόμενη μάζα, με μια επιφάνεια διάτμησης μη καλά καθορισμένη και χωρίς να ελέγχεται η μετακίνηση. Η κίνηση των τεμαχίων είναι εξαιρετικά αργή.



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση πλευρικής εξάπλωσης (Saha et al. 2002)

Όσον αφορά τις εξαπλώσεις που δημιουργούνται λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads), αποτελούν αστοχίες που έχουν εκδηλωθεί σε ευαίσθητες αργίλους ή ρευστοποιήσιμους σχηματισμούς. (Varnes, 1978) Πραγματοποιείται μια βαθμιαία θραύση από ένα σημείο του πρανούς και μετακινείται προς τα πίσω έως τη στέψη της αστοχίας. Γίνεται καθίζηση των αποσπώμενων τεμαχίων με ή χωρίς περιστροφή και έπειτα μπορεί να σημειωθεί εξώθηση και ροή του ρευστοποιημένου υλικού και των υπερκείμενων τεμαχίων. Αποτελεί ένα αιφνίδιο φαινόμενο και η ταχύτητα εξέλιξής του μπορεί να είναι μεγάλη έως πολύ μεγάλη, χωρίς ιδιαίτερη προειδοποίηση. Η αιτία εκδήλωσής του συγκεκριμένου φαινομένου αποτελεί η αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων, που μπορεί να οφείλεται στις έντονες βροχοπτώσεις ή και στο λιώσιμο του χιονιού. Επιπλέον, ενδέχεται να οφείλεται σε σεισμικές δονήσεις ακόμα και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως από εκσκαφές και επιβολές φορτίσεων.

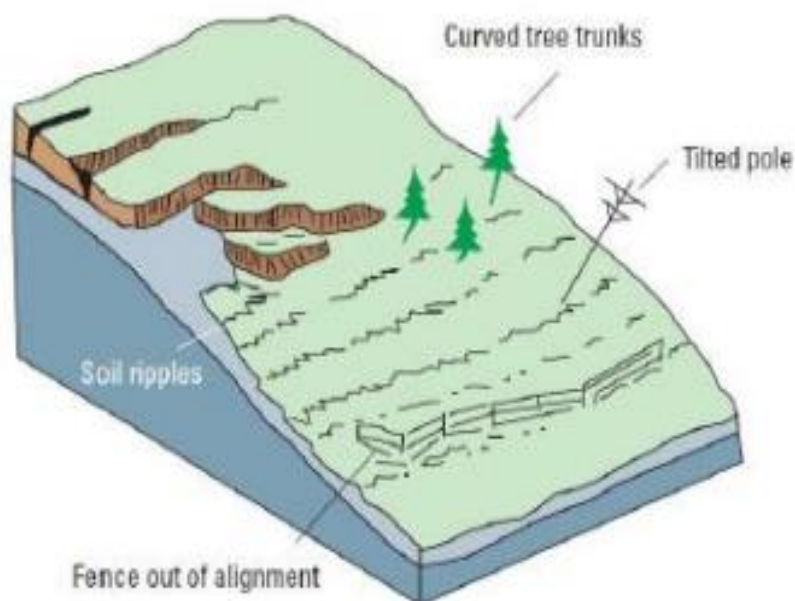
Οι σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads) αποτελούν πολλά διαφορετικά είδη σύνθετων εξαπλώσεων χωρίς να έχει προσδιοριστεί η αιτία δημιουργίας τους.

3.3.5 Σύνθετες κινήσεις (complex)

Οι σύνθετες κινήσεις αποτελούν ένα σύμπλεγμα – συνδυασμό διαφορετικών μετακινήσεων που εκδηλώνονται ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα σε διαφορετικές περιοχές της κατολισθαίνουσας μάζας (composite slides). Ένα ακόμα είδος σύνθετων μετακινήσεων αποτελεί μια μετακίνηση που βρίσκεται σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης της και μεταβαίνει σε μια άλλη μορφή μετακίνησης (complex slides).

3.3.6 Ερπυσμοί (creep)

Οι ερπυσμοί αναφέρονται ως αργές ροές σε επιφανειακά στρώματα του εδαφικού μανδύα ή στο μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων (USGS, 2004) Οι ερπυσμοί συνήθως έχουν τη μορφή των κυματοειδών παραμορφώσεων χωρίς να εκδηλώνονται εφελκυστικές και διατμητικές ρωγμές. Το μέγιστο βάθος των μετακινούμενων μαζών είναι συνήθως 2 – 3 m ενώ συνήθως προσβάλλουν μεγάλες εκτάσεις. Οι κάμπυεις κορμών δέντρων και η εκτροπή στύλων από την κατακόρυφο αποτελούν ενδείξεις ερπυστικών κινήσεων.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση ερπυσμού (USGS, 2004)

3.3.7 Ροές (flows)

Αποτελούν αστοχίες που δημιουργούνται κυρίως σε χαλαρά υλικά αλλά και σε βραχώδεις σχηματισμούς (USGS, 2004). Η μορφή τους μπορεί να είναι υγρή ή ξηρή και η κίνησή τους γρήγορη ή αργή. Οι ροές μπορεί να αφορούν βραχώδεις σχηματισμούς, κορήματα και γαίες.

Σχετικά με τις ροές βραχώδων σχηματισμών, αποτελούν ροές που συνδέονται με φαινόμενα κάμψης και πτύχωση;. Είναι εξαιρετικά αργές παραμορφώσεις που δημιουργούνται κατά μήκος των ασυνεχειών μιας βραχώμαζας χωρίς να είναι ευδιάκριτη η επιφάνεια ολίσθησης.

Οι **ροές κορημάτων** αποτελούν αστοχίες κατά της οποίες το υλικό παραμορφώνεται και αναμοχλεύεται πολύ έντονα, ενώ η δομή του διαφοροποιείται από αυτή στην αρχική του θέση. Η έκταση που καταλαμβάνουν στην αρχή τα υλικά είναι πολύ μικρότερη από την τελική έκταση, ενώ για να καταλήξουν στο τελικό σημείο μπορεί να έχουν διασχίσει πολύ μεγάλες αποστάσεις.

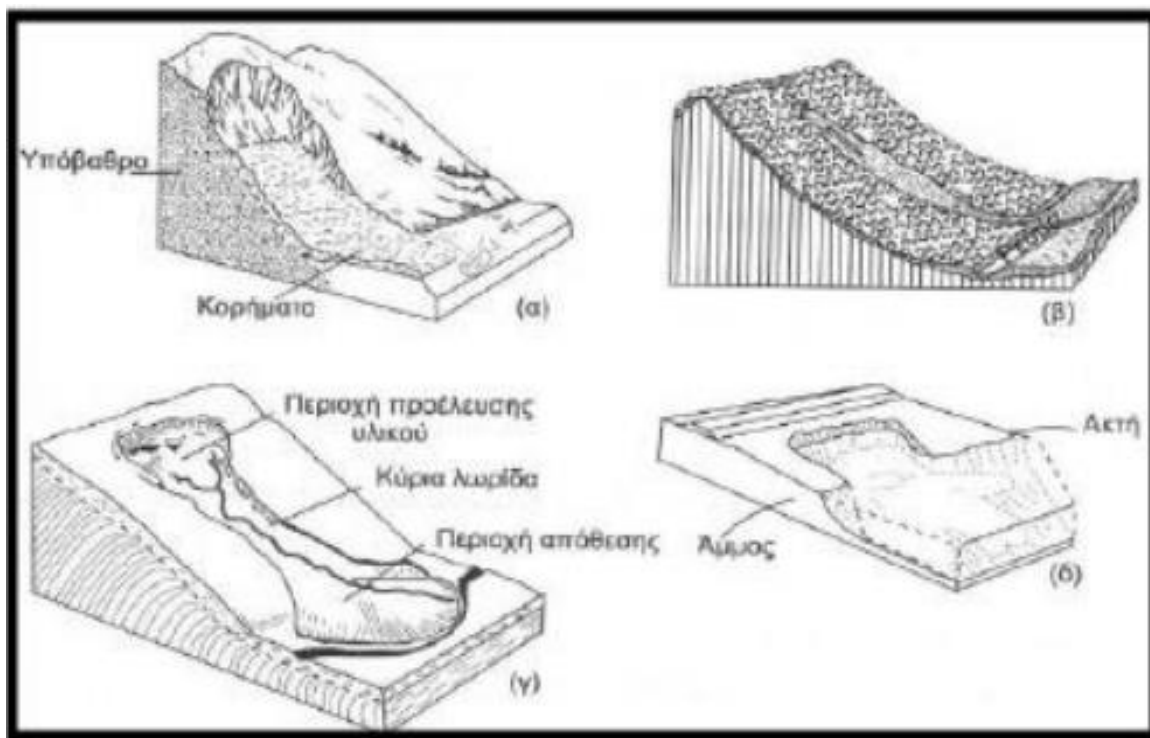
Το νερό και η περιεκτικότητα των κορημάτων σε λεπτομερή υλικά επηρεάζουν την ταχύτητα της ροής τους. Τα λεπτομερή υλικά αυξάνουν την κινητικότητα των ροών, ενώ η αύξηση του ποσοστού των λεπτόκοκκων συνεπάγεται ροές γαιών.

Η ροή, όταν χαρακτηρίζεται ως ξηρή υποδηλώνει την απουσία νερού, σε πρηνή με απότομες κλίσεις και με τη δράση των βαρυτικών δυνάμεων. Η υποσκαφή στη βάση ενός πρηνούς ή μια σεισμική δράση μπορούν να αποτελέσουν αιτία της εν λόγω κίνησης.

Όταν μια ροή κορημάτων χαρακτηρίζεται ως «χιονοστιβάδα», τότε αποτελεί μια πολύ έως εξαιρετικά γρήγορη ροή κορημάτων, με αυξημένη περιεκτικότητα νερού, συμπαρασύροντας μεγάλο ποσοστό λεπτομερών κλασμάτων.

Οι **ροές γαιών** αφορούν εδαφικά υλικά με ελάχιστο ποσοστό 50% λεπτομερούς κλάσματος, δηλαδή άμμο, ιλύ και άργιλο. Συνήθως, αφορούν ροές του μανδύα αποσάθρωσης, δηλαδή ροές αποσαθρωμάτων. Όσον αφορά την ταχύτητα και τη μορφή της ροής γαιών, εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό των υλικών και την περιεκτικότητα σε λεπτομερή υλικά. Μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό συνεπάγεται εξαιρετικά γρήγορες κινήσεις και χαρακτηρίζονται ως ροές λάσπης ή λασποροές (mud flows). Αιτία της παρούσας κίνησης αποτελούν οι έντονες βροχοπτώσεις ή το ξαφνικό λιώσιμο των πάγων.

Οι λασπορροές μπορούν να επιφέρουν ιδιαίτερα καταστροφικές συνέπειες (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)



Εικόνα 3.7: Απεικόνιση (α) – (β) ροή κορημάτων, (γ) ροή γαιών, (δ) ροή άμμου ιλύος (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

3.4 Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης

Σύμφωνα με τον Varnes (1978) οι κατολισθήσεις ταξινομούνται αναλόγως με την ταχύτητα σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.3: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης (Varnes, 1978)

Χαρακτηρισμός	Ταχύτητα
Πάρα πολύ αργές	< 0,06m/year
Πολύ αργές	0,06 – 1,5m/year
Αργές	1,5m/year -1,5m/month

Χαρακτηρισμός	Ταχύτητα
Μέτριες	1,5m/month -1,5m/day
Γρήγορες	1,5m/day – 0,3m/min
Πολύ γρήγορες	0,3m/min – 3m/sec
Πάρα πολύ γρήγορες	> 3m/sec

Μια διαφορετική ερμηνεία ταξινόμησης αναλόγως με την ταχύτητα κίνησης έχει δοθεί κατά WP/WLP (1994) σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.4: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης (WP/WLP, 1994)

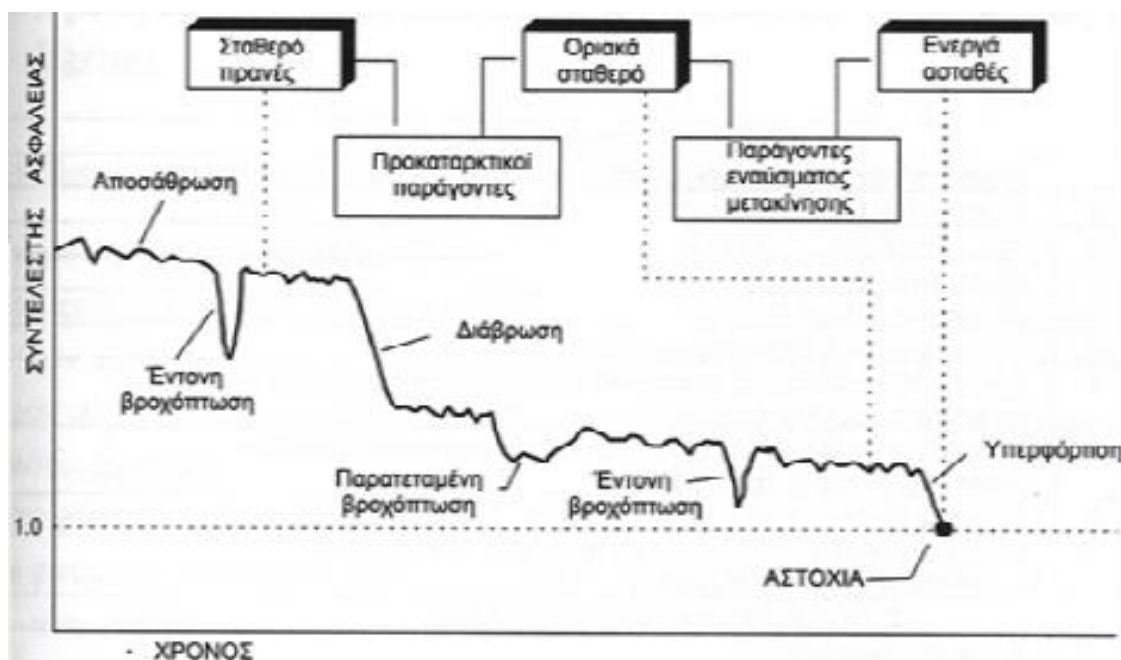
Χαρακτηρισμός	Ταχύτητα
Πάρα πολύ αργές	< 16mm/year
Πολύ αργές	16mm/year– 1,6m/year
Αργές	1,6m/year -13m/month
Μέτριες	13m/month -1,8m/hour
Γρήγορες	1,8m/hour – 3m/min
Πολύ γρήγορες	3m/min – 5m/sec
Πάρα πολύ γρήγορες	> 5m/sec

Παρατηρούμε ότι στην ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης κατά WP/WLP (1994) εντοπίζεται μικρότερη ταχύτητα των πάρα πολύ αργών κατολισθήσεων σε σχέση με την ταξινόμηση κατά Varnes (1978).

3.5 Παράγοντες πρόκλησης – ενεργοποίησης κατολισθήσεων

Προκειμένου να ενεργοποιηθεί μια κατολίσθηση, έχει προηγηθεί μια αλληλουχία γεγονότων που οφείλονται σε διάφορες αιτίες που επηρεάζουν τις συνθήκες ισορροπίας του

πρανούς και αποτελούν έναυσμα για την διατάραξή του, μέχρις ότου προκληθεί θραύση και μετακίνηση. Συνήθως, η κατολισθήση οφείλεται σε παραπάνω από ένα αίτιο. Το δεύτερο χρονικά αίτιο αποτελεί διέγερση ενεργοποίησης της κίνησης μιας μάζας που βρισκόταν ήδη σε μια οριακή κατάσταση ισορροπίας. Ως εκ τούτου, το αίτιο που ενεργοποιεί την κίνηση της μάζας ονομάζεται έναυσμα μετακίνησης.



Σχήμα 3.4: Παράγοντες ενεργοποίησης κατολισθήσεων (WP/WLI, 1994)

Το παραπάνω διάγραμμα αντιπροσωπεύει την πορεία του πρανούς από την αρχική του σταθερή κατάσταση έως την αστοχία. Το πρανές μετά την σταθερή του κατάσταση εξαιτίας κάποιων προκαταρκτικών παραγόντων (preparatory casual factors) μεταβαίνει σε μια οριακά σταθερή κατάσταση. Έπειτα, με την παρουσία παραγόντων εναύσματος μετακίνησης (triggering factors) σε μια χρονική περίοδο υπερφορτίζεται το πρανές, είναι ενεργά ασταθές όπου και συμβαίνει η αστοχία.

Κατά Terzaghi (1950) τα αίτια που προκαλούν κατολισθήσεις διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στα εξωγενή και στα ενδογενή αίτια. Τα εξωγενή αίτια αυξάνουν την αναπτυσσόμενη διατμητική τάση, με τρόπους όπως αλλάζοντας τη γεωμετρία, αποφορτίζοντας τον πόδα, σεισμοί, επιφορτίζοντας το πρανές κ.α.. Τα ενδογενή αίτια μειώνουν τη διατμητική αντοχή του υλικού, με τρόπους όπως η προοδευτική θραύση, η αποσάθρωση, η διάβρωση κ.α..

Ο Varnes (1978) διακρίνει τα αίτια των κατολισθήσεων σε τρεις βασικούς παράγοντες:

- Στους παράγοντες που αυξάνουν την αναπτυσσόμενη διατμητική τάση, π.χ. μεταβολή στη γεωμετρία, αποφόρτιση του πόδα, σεισμοί, επιφόρτιση του πρανούς.
- Η πιθανή χαμηλή διατμητική αντοχή του υλικού μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες, όπως η δομή και η ορυκτολογική σύσταση
- Και τέλος, στους παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού. Τέτοιοι παράγοντες είναι η αποσάθρωση, η προοδευτική θραύση, η διάβρωση κ.α..

Κατά WP/WLP 1994, οι παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων έχουν διακριθεί σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, στους γεωλογικούς παράγοντες, στις γεωμορφολογικές διεργασίες, στις φυσικές διεργασίες και στις ανθρωπογενείς διεργασίες, που διακρίνονται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.5: Ταξινόμηση παραγόντων εκδήλωσης κατολισθήσεων (WP/WLP 1994)

Γεωλογικοί παράγοντες	Γεωμορφολογικές διεργασίες	Φυσικές διεργασίες	Ανθρωπογενείς διεργασίες
Πλαστικό – χαμηλής αντοχής υλικό	Τεκτονική ανύψωση	Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση	Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς
Ευαίσθητο υλικό	Διόγκωση ηφαιστειών	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς
Καταρρέσιμο υλικό	Προώθηση παγετώνων	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση	Υποβιβασμός στάθμης σε ταμειυτήρες – Υποβιβασμός της στάθμης υπογείων υδροφόρων
Αποσαθρωμένο υλικό	Ποτάμια διάβρωση στη βάση του πρανούς	Γρήγορη πτώση στάθμης νερού (μετά από πλημμύρες, παλίρροιες κ.α.)	Άρδευση – Καλλιέργεια πρανούς

Γεωλογικοί παράγοντες	Γεωμορφολογικές διεργασίες	Φυσικές διεργασίες	Ανθρωπογενείς διεργασίες
Διατμημένο υλικό	Θαλάσσια διάβρωση στη βάση του πρανούς	Σεισμοί	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
Ρωγματωμένο υλικό	Διάβρωση στη βάση του πρανούς από παγετώνα	Εκρήξεις ηφαιστειών	Διαρροή νερού από τεχνικά έργα
Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα)	Διάβρωση των παριών των πρανών	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστειών	Αποψίλωση βλάστησης
Βραχώμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (διακλάσεις, ρήγματα, ασυμφωνίες)	Εσωτερική διάβρωση (διασωλήνωση – διάλυση)	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους	Λατομική – μεταλλευτική δραστηριότητα – κατάρρευση ανθρωπογενών εγκοίλων
Υλικά με διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα	Φόρτιση από φυσικές διεργασίες στη στέψη του πρανούς	Αποσάθρωση λόγω παγετού	Δημιουργία χωματερών
Υλικά με διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία	Καταστροφή φυτοκάλυψης	Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών	Τεχνητές δονήσεις (εκρήξεις, λειτουργία μηχανημάτων, διέλευση βαρέων οχημάτων)

3.6 Όρια Βροχοπτώσεων στην εκδήλωση κατολισθήσεων

Γενικά, έχουν διατυπωθεί αρκετές απόψεις και εξισώσεις για τα όρια των βροχοπτώσεων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω:

- Κατά Lumb (1975) συνδέονται συγκεκριμένα ποσά ημερήσιας βροχόπτωσης με την εκδήλωση κατολισθήσεων στην περιοχή του Hong Kong.

- Αντιστοίχως, ο Caine (1980) προτείνει ένα όριο (threshold) που εκφράζει τις κατολισθήσεις εδαφικών μαζών από την ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Το όριο αυτό δίνεται από τον τύπο:

$$I = 14,82 * D^{-0.39}$$

Όπου:

- D: η διάρκεια της βροχής σε ώρες (h)
- I: η ένταση της βροχής σε χιλιοστά ανά ώρα (mm/hr)

- Οι Guzzetti et al (2008) συσχετίζουν την ένταση της βροχόπτωσης με τη διάρκεια και προτείνουν για τον Μεσογειακό χώρο το όριο που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I = 4,81 * D^{-0.49}$$

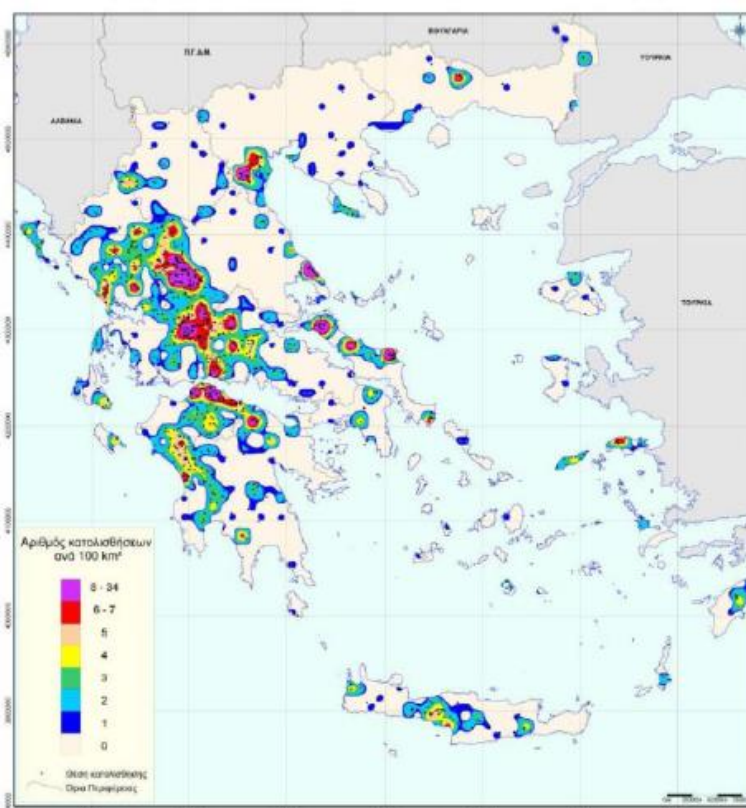
- Οι Calcaterra et al (2000) προτείνουν για την ευρύτερη περιοχή της Καμπανίας το παρακάτω όριο:

$$I = 28,10 * D^{-0.74}$$

Από το εύρος των ορίων βροχόπτωσης, το όριο των Calcaterra et al (2000) αφορά περισσότερο τον ελληνικό χώρο καθώς αφορά περιοχή με παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά και πιο κοντινή γεωγραφικά.

3.7 Κατολισθήσεις στην Ελλάδα

Στον ελλαδικό χώρο έχουν παρατηρηθεί εκτενώς φαινόμενα κατολισθήσεων με αρκετές επιπτώσεις στην οικονομία και στην κοινωνία. Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων αποτελούν η έντονη τεκτονική παραμόρφωση, οι μορφολογικές κλίσεις των πρανών, οι έντονες κλιματολογικές και καιρικές συνθήκες, η υψηλή σεισμικότητα, το ανάγλυφο και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στο περιβάλλον.



Σχήμα 3.5: Συχνότητα κατολισθητικών φαινομένων στον ελλαδικό χώρο (Βασιλειάδης, 2010).

Στον παραπάνω χάρτη απεικονίζεται η συχνότητα κατολισθητικών φαινομένων στον ελλαδικό χώρο (Βασιλειάδης, 2010). Παρατηρείται ότι το Όρος του Πηλίου έχει κριθεί ως περιοχή με υψηλή και πολύ υψηλή συχνότητα κατολισθητικών φαινομένων.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκε ένα γεωχωρικό αρχείο απεικόνισης κατολισθήσεων που είχαν εκδηλωθεί τα προηγούμενα χρόνια στην εν λόγω περιοχή. Τα στοιχεία για τη δημιουργία αυτού του αρχείου κατολισθήσεων προέκυψαν

από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και την βιβλιογραφική αναζήτηση στο αρχείο εκθέσεων του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.

Πίνακας 3.6: Θέσεις κατολισθήσεων στις οποίες πραγματοποιήθηκε αυτοψία από το ΙΓΜΕ κατά το διάστημα από 7-9/3/2018 μετά από υπόδειξη της Τοπικής Αυτ/σης

A/A	X	Y	ΘΕΣΗ
1	421948	4369794	Τ.Κ. ΠΟΥΡΙΟΥ
2	421849	4369638	Τ.Κ. ΠΟΥΡΙΟΥ
3	421810	4368343	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ – ΠΟΥΡΙ
4	424516	4364240	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ
5	424235	4364063	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ
6	424261	4364018	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ
7	423993	4364894	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ – ΜΑΚΡΥΡΑΧΗ
8	424447	4364177	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ
9	425695	4362310	Ε.Ο. ΑΝΗΛΙΟ – ΜΟΥΡΕΣΙ (ΜΑΥΡΟΥΤΣΑ-1)
10	425109	4361291	Ε.Ο. ΑΝΗΛΙΟ – ΜΟΥΡΕΣΙ (ΜΑΥΡΟΥΤΣΑ-2)
11	427993	4361389	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΒΙΛΑ ΙΑΤΡΙΔΗ)
12	428253	4361248	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΟΙΚΙΑ Ν. ΖΑΧΑΡΑ))
13	423140	4365702	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΟΡΕΥΤΟ
14	423204	4365666	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΟΡΕΥΤΟ
15	424192	4366170	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΟΡΕΥΤΟ
16	424173	4366250	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΟΡΕΥΤΟ
17	422567	4366205	Τ.Κ. ΖΑΓΟΡΑΣ (ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ)
18	422686	4366631	Τ.Κ. ΖΑΓΟΡΑΣ (ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΩΤΗΡΟΣ - ΜΟΥΣΓΑ)
19	422648	4366537	Τ.Κ. ΖΑΓΟΡΑΣ (ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΩΤΗΡΟΣ -ΟΙΚΙΑ Μ. ΛΕΧΩΝΙΤΟΥ)
20	424445	4364164	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ (ΟΙΚΙΕΣ Φ. ΤΣΕΧΟΥ, Κ. ΓΡΑΜΜΕΝΟΥ)
21	424030	4364255	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ (ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ)

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

Α/Α	Χ	Υ	ΘΕΣΗ
22	423984	4364089	Τ.Κ. ΜΑΚΡΥΡΑΧΗΣ (ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ)
23	427455	4361287	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ -PARKIN)
24	427181	4361313	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ)
25	427276	4361284	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ)
26	427319	4361291	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ)
27	427734	4361365	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ)
28	427744	4361447	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ)
29	427793	4361451	Τ.Κ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ (ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΔΡΟΜΟΣ)
30	427654	4361659	Ε.Ο. ΜΟΥΡΕΣΙ – ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ
31	427762	4361722	Ε.Ο. ΜΟΥΡΕΣΙ – ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ
32	427812	4361750	Ε.Ο. ΜΟΥΡΕΣΙ – ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ
33	427780	4361900	Ε.Ο. ΜΟΥΡΕΣΙ – ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ (ΞΕΝΩΝΑΣ ΕΚΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ)
34	427932	4362222	Ε.Ο. ΜΟΥΡΕΣΙ – ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ
35	428071	4362328	Ε.Ο. ΜΟΥΡΕΣΙ – ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ
36	427571	4363208	Τ.Κ. ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗ (ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗ)
37	427516	4363525	Τ.Κ. ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗ (ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ)
38	422230	4364638	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΑΝΙΑ
39	421706	4364145	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΑΝΙΑ
40	421645	4364088	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΑΝΙΑ
41	421807	4363515	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΑΝΙΑ
42	422135	4363179	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΑΝΙΑ
43	421538	4362735	Ε.Ο. ΖΑΓΟΡΑ - ΧΑΝΙΑ



Εικόνα 3.8: Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη της ΓΥΣ (Φύλλο ΖΑΓΟΡΑ, κλίμακα 1:50.000), στο οποίο σημειώνονται οι 43 θέσεις κατολισθήσεων στις οποίες πραγματοποιήθηκε αυτοψία κατά το διάστημα 7-9/3/2018, καθώς και οι θέσεις παλαιότερων κατολισθήσεων που έχουν εξεταστεί και μελετηθεί διαχρονικά από το ΙΓΜΕ (εξαγωγή από τη βάση δεδομένων των κατολισθήσεων του ΙΓΜΕ. Οι περισσότερες κατολισθήσεις αντιστοιχούν σε πολλαπλή εγγραφή, παρουσιάζουν δηλαδή επαναληψιμότητα)

Οι παρακάτω φωτογραφίες αντιπροσωπεύουν τις θέσεις στις οποίες πραγματοποιήθηκε η αυτοψία και εκδηλώθηκαν οι κατολισθήσεις του πίνακα 3.6.

Οι παρακάτω φωτογραφίες αντιπροσωπεύουν τις θέσεις στις οποίες πραγματοποιήθηκε η αυτοψία και εκδηλώθηκαν οι κατολισθήσεις του πίνακα 3.6. Οι αριθμοί των εικόνων αντιστοιχούν στις θέσεις του πίνακα 3.6.



Εικόνα 3.9: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)



Εικόνα 3.10: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)



Εικόνα 3.11: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)



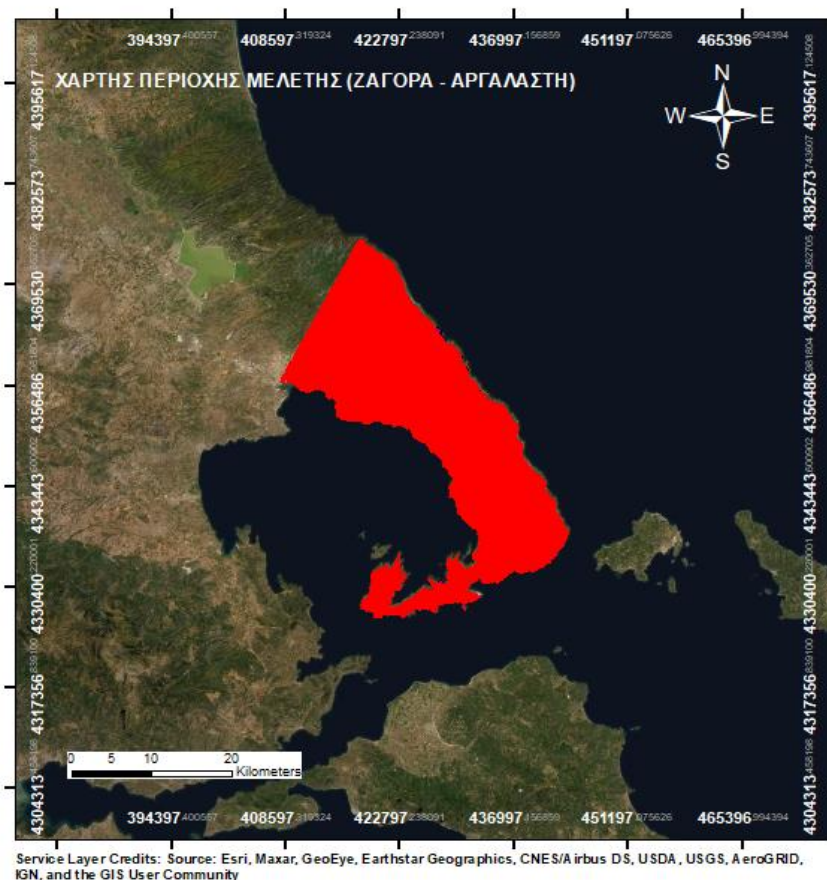
Εικόνα 3.12: Φωτογραφίες κατολισθήσεων στην περιοχή με αντιστοιχία αριθμών του πίνακα 3.6 (ΙΓΜΕ, 2018)

4 Περιοχή Μελέτης

4.1 Γενικά Στοιχεία

Η περιοχή που επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης είναι η περιοχή του Πηλίου στην Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας και πιο συγκεκριμένα η περιοχή Αργαλαστής - Ζαγοράς. Η διαδικασία με την οποία θα πραγματοποιηθεί η εκτίμηση της επιδεκτικότητας των κατολισθήσεων στην περιοχή έρευνας θα αναλυθεί σε αυτό το κεφάλαιο.

Με βάση το αρχείο απογραφής κατολισθήσεων, θα επιλεγθούν κάποιοι παράγοντες που συντέλεσαν στην εκδήλωση αυτών. Θα προσδιοριστεί η πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, δηλαδή η επιδεκτικότητα των κατολισθήσεων. Η επιδεκτικότητα καθορίζεται με διαφορετικούς συνδυασμούς συνθηκών με επάλληλες δοκιμές για τα διάφορα σενάρια.



Εικόνα 4.1: Περιοχή Μελέτης, Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας

4.2 Γεωλογία Περιοχής

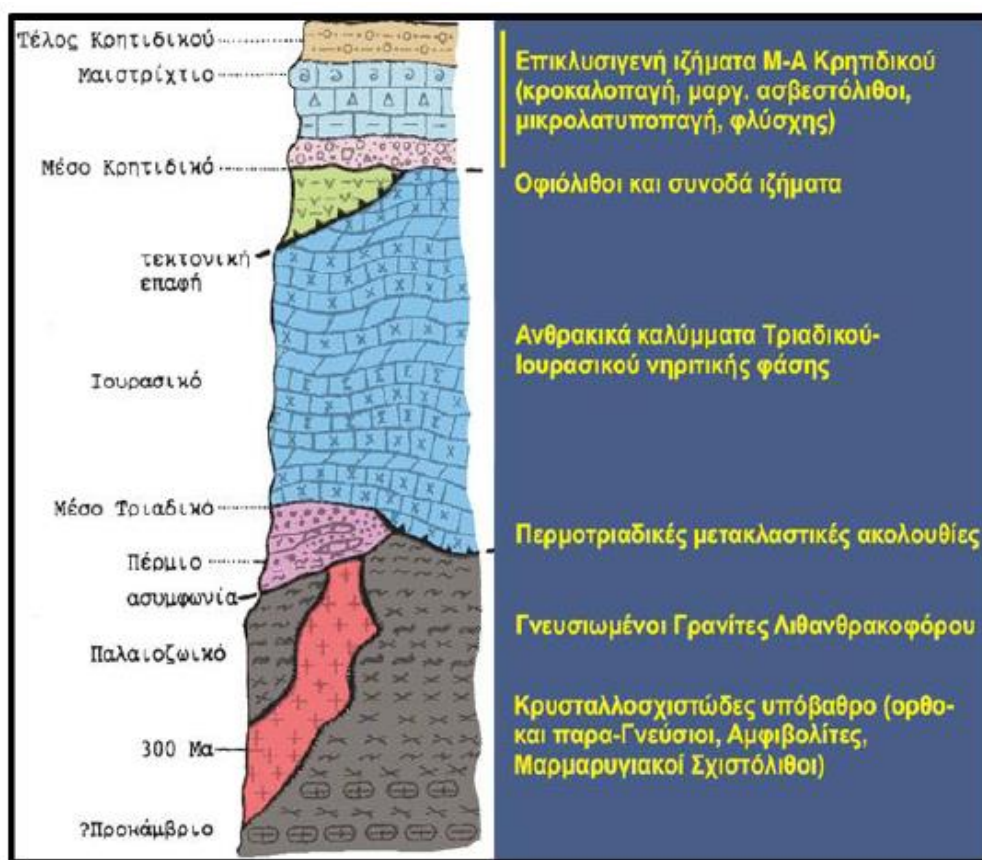
Η μορφολογία του Όρους Πηλίου παρουσιάζει έντονες μορφολογικές κλίσεις και αποτελείται από μεσοζωικά – παλαιοζωικά πετρώματα. Η περιοχή ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, που αποτελεί μέρος των Εσωτερικών Ελληνίδων. Η Πελαγονική ζώνη απαρτίζεται από Παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιστόδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου, μέσα στα οποία διείσδυσαν γρανιτικά σώματα του Άνω Λιθανθρακοφόρου. Περμοτριάδικά μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού-Ιουρασικού αποτέθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια τα ζώνης και πάνω σε αυτά επωθήθηκαν οι οφιολιθικές μάζες προερχόμενες από τις εκατέρωθεν ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος (Χατζηπέτρος, 2006).

Τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης είναι επηρεασμένα από την ερκύνια αμφοβολιτική φάση στο κρυσταλλοσχιστόδες υπόβαθρο και από την πρασινοσχιστολιθική φάση Ιουρασικού – Κρητιδικού στα πετρώματα Άνω Παλαιοζωικού – Ιουρασικού. Η οριστική ανάδυση της Ζώνης πραγματοποιείται στο ανώτερο Κρητιδικό – Ηώκαινο (Χατζηπέτρος, 2006)

Η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής δομείται από αλλούβια Ολοκαίνου στα παράλια, τεταρτογενείς θαλάσσιους και λιμναίους σχηματισμούς μη διαχωριζόμενους στην περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας, νεογενείς λιμναίες αποθέσεις κροκαλοπαγών μαργών και αργίλου με στρώματα λιγνίτη στην περιοχή του Αλμυρού, φλύσχη σε Βελεστίνο, Σκιάθο και Σκόπελο, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, βιοσπαρουδίτες (Τριαδικού και Κατ. Ιουρασικού) και δολομίτες με τοπική εμφάνιση της φάσης Hallstatt στο Μαυροβούνι, Πήλιο και Χλωμό Όρος, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, βιοσπαρουδίτες Α. Κρητιδικού στο Βελεστίνο, στο ακρωτήρι Τρίκερι, Α. Πήλιο (μεταμορφωμένοι), Γιούρα, Κυρα-Παναγιά, Αλόνησο, Περιστερά, Παλούκι Σκοπέλου. Στο Ν. Πήλιο, Σκιάθο, Αγκίστρι, περιοχή Βελανιδιά ΒΑ Ν. Αγκιάλου εμφανίζεται σχιστοκερατολιθική διαπλαση (κερατόλιθοι, ψαμμίτες, πηλίτες, φακοί ασβεστόλιθων και εγλωβισμένα στρώματα οφιολίθων. Στο Κ. Πήλιο υπάρχουν οφθαλμογενέσιοι, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες (Παλαιοζωϊκού Τριαδικού), οφιοίλιθοι στην περιοχή του Βελεστίνου, βασάλτης πλειοκαίνου στις Μικροθήβες και τέλος πρασινοσχιστόλιθοι, φυλλίτες και γραουβάκες στη Β. Σκόπελο και στην περιοχή Πτελεού-Γαβριανής-Δρυμώνα (Κωτουλάκης, 2005).

Μια τυπική Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Τα κατώτερα στρώματα αποτελούνται από σχηματισμούς του Κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου (ορθο – και παρα – Γνεύσιοι, Αμφιβολίτες, Μαρμαρυγικοί Σχιστόλιθοι).

Η στενή περιοχή ενδιαφέροντος αποτελείται από Μάρμαρα, Ασβεστόλιθους, εναλλαγές Κερατολιθών – Αργιλικών Σχιστόλιθων με ενστρώσεις Ασβεστόλιθων και Ψαμμιτών, Φυλλίτες, Σχιστόλιθους, Γνεύσιους, Χαλαζίτες και Αμφιβολίτες, Εκρηξηγενή πλουτώνεια πετρώματα και Τεταρτογενή χαλαρά έως μέτρια Συνεκτικά.



Εικόνα 4.2: Τυπική Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής ζώνης (www.geo.auth.gr)

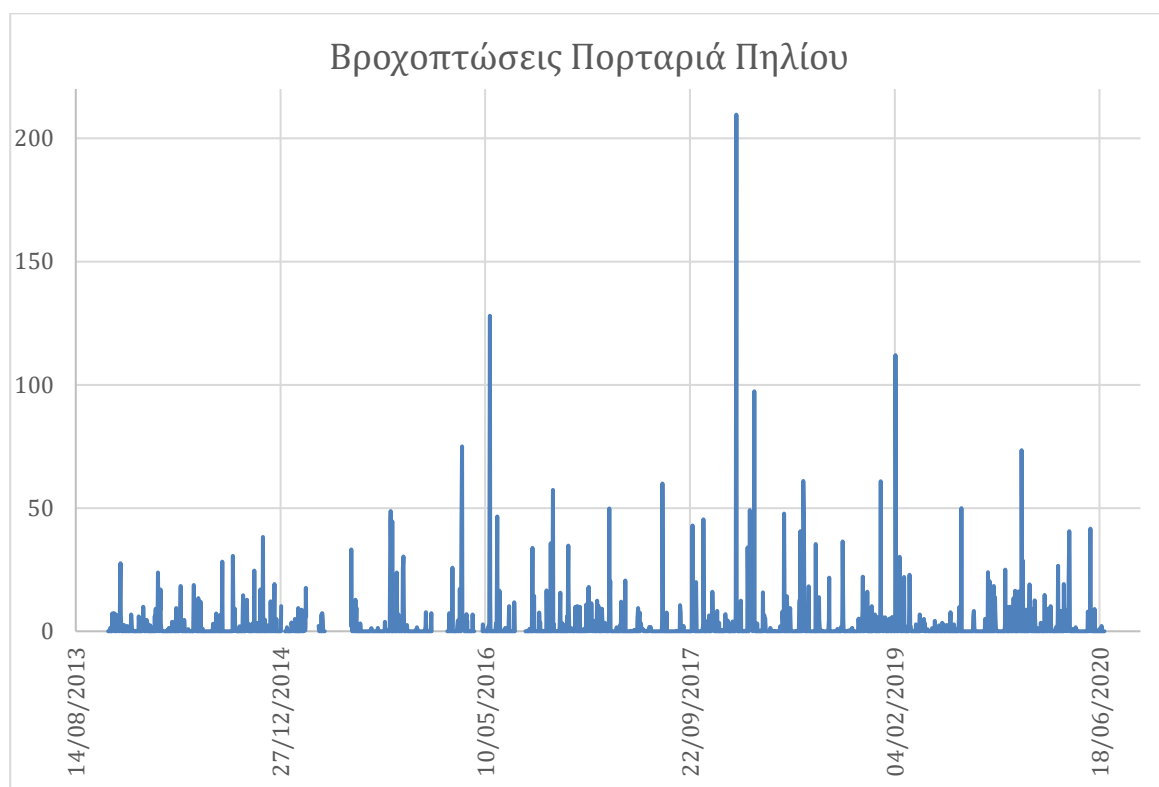
4.3 Βροχομετρικά δεδομένα περιοχής

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκαν διαγράμματα ημερήσιων βροχοπτώσεων σε συγκεκριμένες θέσεις μετεωρολογικών σταθμών στην

περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ).

Στα συγκεκριμένα διαγράμματα παρατηρούνται τοπικά μεμονωμένες ημερήσιες μέγιστες τιμές, που παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από τις υπόλοιπες τιμές και σχετίζονται με την ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων που εκδηλώθηκαν σε αυτή την περιοχή την αντίστοιχη χρονική περίοδο. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί διαθέτουν χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων με ημερήσιο βήμα.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούνται τα αποτελέσματα από μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στην Πορταριά Πηλίου με συντεταγμένες $39^{\circ} 12' 00''$ N LONG: $22^{\circ} 55' 00''$ E. Τα βροχομετρικά δεδομένα που διαθέτουμε αφορούν συγκεκριμένη περίοδο, η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από Νοέμβριο 2013 έως Ιούνιο 2020. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο μετεωρολογικός σταθμός έχει καταγράψει μέγιστη τιμή στις 13-01-2018 με τιμή 209,6mm.



Διάγραμμα 4.1: Βροχοπτώσεις Πορταριά Πηλίου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

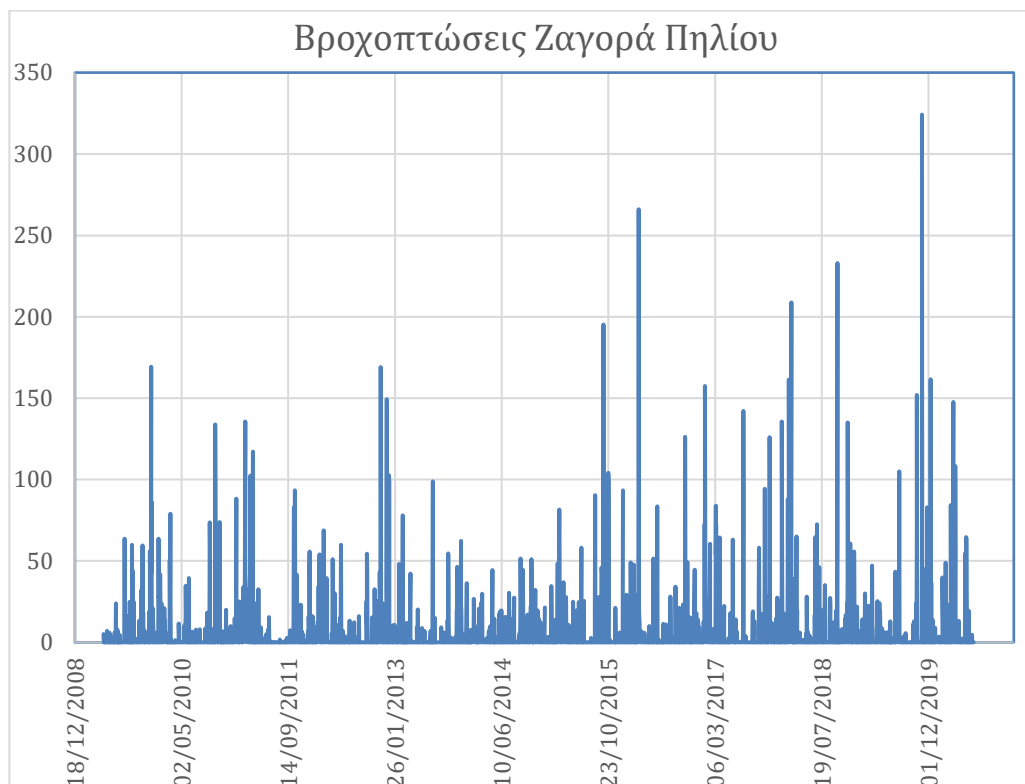
Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούνται τα αποτελέσματα από μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στη Μονή Πάου με συντεταγμένες $39^{\circ} 12' 26''$ N LONG: $23^{\circ} 12' 13''$ E. Τα βροχομετρικά δεδομένα που διαθέτουμε αφορούν συγκεκριμένη περίοδο, η οποία

αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από Δεκέμβριο 2014 έως Σεπτέμβριο 2019. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο μετεωρολογικός σταθμός έχει καταγράψει μέγιστη τιμή στις 13-01-2018 με τιμή 105,8mm.



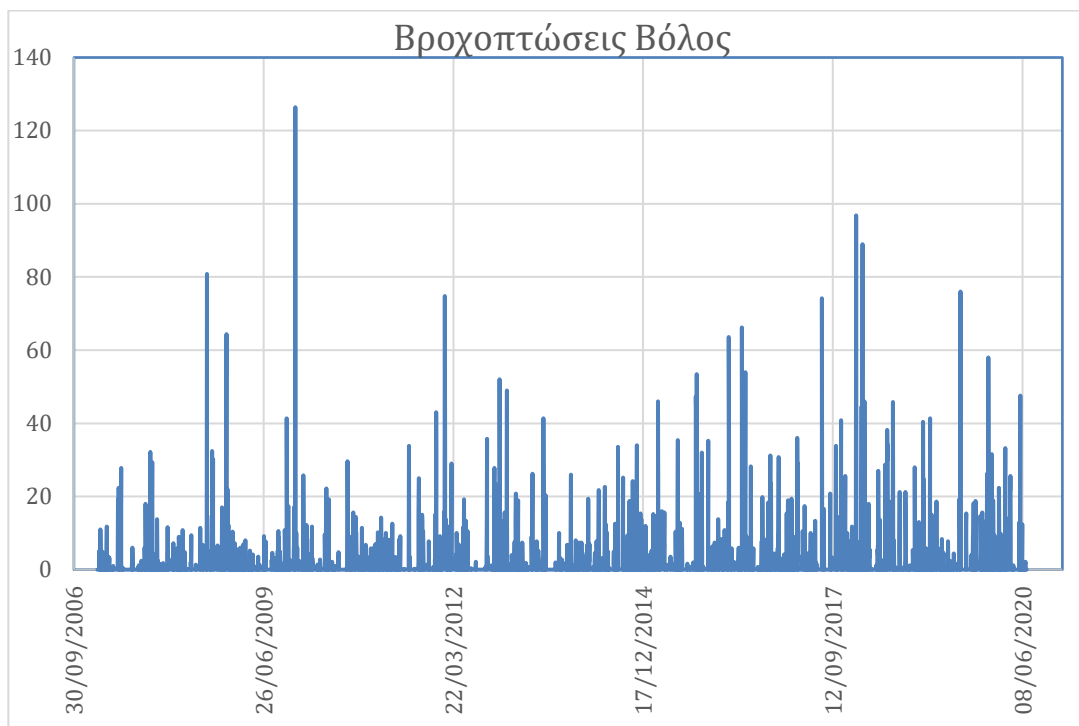
Διάγραμμα 4.2: Βροχοπτώσεις Μονή Πάου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούνται τα αποτελέσματα από μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στη Ζαγορά Πηλίου με συντεταγμένες 38° 32' LONG: 22° 36'. Τα βροχομετρικά δεδομένα που διαθέτουμε αφορούν συγκεκριμένη περίοδο, η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από Μάιο 2009 έως Ιούνιο 2020. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο μετεωρολογικός σταθμός έχει καταγράψει μέγιστη τιμή στις 01-11-2019 με τιμή 324,2mm.



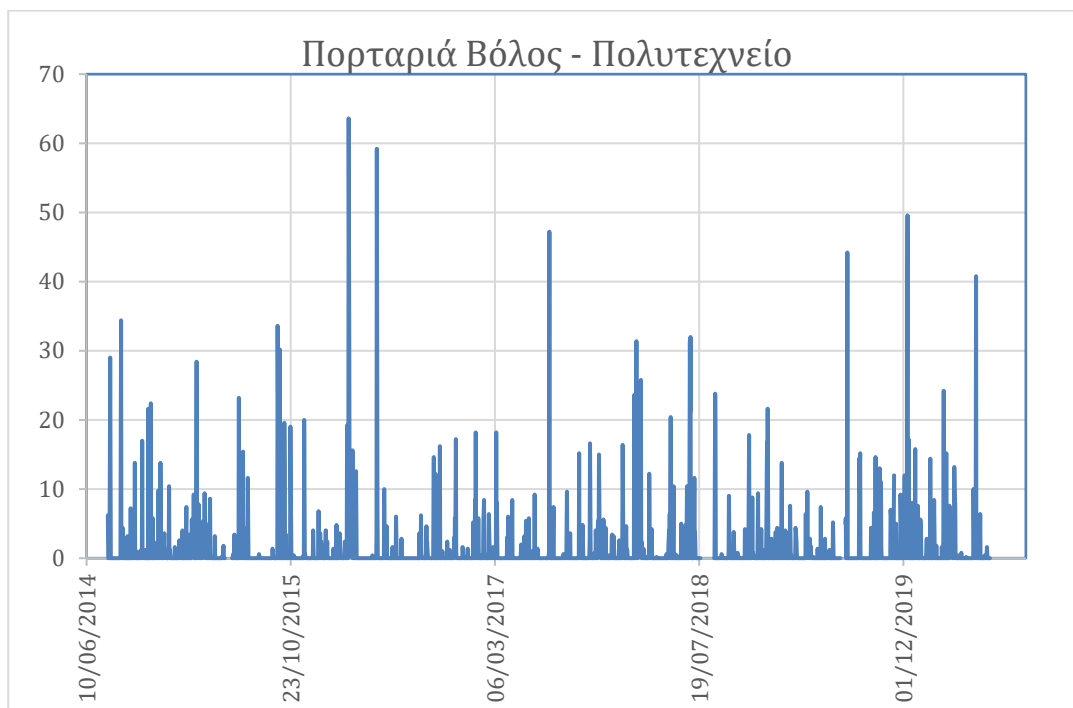
Διάγραμμα 4.3: Βροχοπτώσεις Ζαγορά(Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

Στα πλαίσια αρχικής μελέτης της ευρύτερης περιοχής, παρουσιάζονται βροχομετρικά δεδομένα και από μετεωρολογικό σταθμό του Βόλου, ο οποίος έχει συντεταγμένες $39^{\circ} 22' 31''$ N LONG: $22^{\circ} 57' 32''$ E. Τα βροχομετρικά δεδομένα που διαθέτουμε αφορούν συγκεκριμένη περίοδο, η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από Φεβρουάριο 2007 έως Ιούνιο 2020. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο μετεωρολογικός σταθμός έχει καταγράψει μέγιστη τιμή στις 10-12-2009 με τιμή 126,4mm.



Διάγραμμα 4.4: Βροχοπτώσεις Βόλο (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

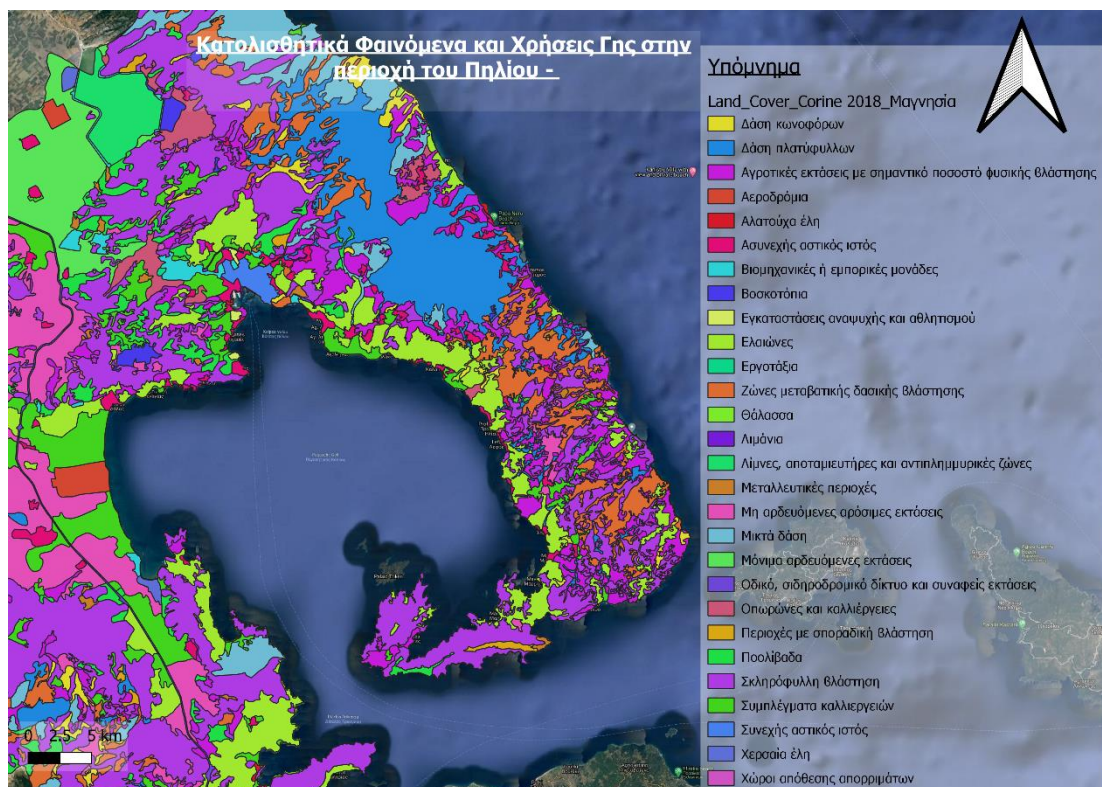
Ομοίως, στα πλαίσια αρχικής μελέτης της ευρύτερης περιοχής, παρουσιάζονται βροχομετρικά δεδομένα και από μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Βόλου, ο οποίος έχει συντεταγμένες $39^{\circ} 21' 36''$ N LONG: $22^{\circ} 55' 54''$ E. Τα βροχομετρικά δεδομένα που διαθέτουμε αφορούν συγκεκριμένη περίοδο, η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από Αύγουστο 2014 έως Ιούνιο 2020. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο μετεωρολογικός σταθμός έχει καταγράψει μέγιστη τιμή στις 13-03-2016 με τιμή 63,6mm.



Διάγραμμα 4.5: Βροχοπτώσεις Βόλος - Πολυτεχνείο (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

4.4 Χρήσεις γης

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και κατ' επέκταση η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων συνδέονται πολύ συχνά με την ανθρωπογενή δραστηριότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια σύνδεση κατολισθήσεων – χρήσεων γης για την κάθε περιοχή. Η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται από την παρουσία βλάστησης, καθώς ευνοεί την αποστράγγιση μέρους του νερού μέσω του ριζικού συστήματος. Έτσι, περιορίζεται η διαβρωτική δράση των επιφανειακών υδάτων. Παρόλα αυτά, το ριζικό σύστημα μπορεί να προκαλέσει και επιφόρτιση των άκρων απότομων πρανών ημισυνεκτικών πετρωμάτων, το οποίο οφείλεται στην αύξηση του βάρους. Επιπλέον, είναι δυνατόν να διευρυνθούν ρωγμές ή να κερματιστούν πετρώματα, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο, τη διατμητική τους αντοχή.



Εικόνα 4.3: Χρήση/κάλυψη γης ευρύτερης περιοχής μελέτης(Corine Land Cover 2018)

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται ένας χάρτης χρήσης – κάλυψης γης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Η ταξινόμηση των χρήσεων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το σχέδιο Corine Land Cover 2018, το οποίο αποτελεί μέρος Πανευρωπαϊκής βάσης δεδομένων χρήσεων γης.

5 Μέθοδοι Υπολογισμού Δείκτη Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας

5.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία θεματικών χαρτών. Πραγματοποιείται σύγκριση ως προς την αποτελεσματικότητα δύο μεθόδων, της Analytical Hierarchy Process και του Λόγου Συχνοτήτων (Frequency Ratio).

Σε κάθε μέθοδο προσδιορίστηκε η AUC (Area Under Curve) τιμή, η οποία χαρακτηρίζει την ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει σωστά την εκδήλωση ή μη των προκαθορισμένων γεγονότων (Devkota et al. 2013).

5.1.1 Λόγος Συχνοτήτων (Frequency Ratio)

Ο λόγος συχνοτήτων (Frequency Ratio – FR) αποτελεί μοντέλο με εύκολη εφαρμογή σε περιπτώσεις που η βάση δεδομένων κατολισθήσεων είναι ολοκληρωμένη. Αποτελεί τον λόγο της έκτασης που καταλαμβάνουν οι κατολισθήσεις σε μια περιοχή σε σχέση με την συνολική έκταση περιοχής ενδιαφέροντος. Χρησιμοποιείται στην διεθνή βιβλιογραφία (Lee and Tallib 2005, Pradhan and Youssef 2010, Sabatakakis et al 2013, Regmi et al 2014, Meten et al 2015) και δεν απαιτούνται γνώσεις στατιστικής για την εφαρμογή του. Ο δείκτης FR εκφράζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$FR = \frac{\frac{N_{pix}(SX_i)}{\sum_i^n N_{pix}(SX_i)}}{\frac{N_{pix}(X_j)}{\sum_j^n N_{pix}(X_j)}}$$

- $N_{pix}(SX_i)$ η έκταση που καλύπτεται από κατολισθήσεις για μία κλάση i του παράγοντα X ,
- $N_{pix}(X_j)$ η έκταση που καλύπτεται από τον παράγοντα X_j ,

- m ο αριθμός των κλάσεων του παράγοντα X και
- n ο αριθμός των παραγόντων στη περιοχή που εξετάζεται (Τσούβαλης, 2020)

Η συνολική τιμή της κατολισθητικής επιδεκτικότητας για κάθε φατνίο του τελικού επιπέδου προκύπτει αθροίζοντας τις τιμές του FR των εξεταζόμενων παραγόντων.

$$LSI = \sum_{i=1}^n FR_{i,j}$$

Όπου:

- $FR_{i,j}$ είναι η τιμή FR για την κατηγορία j του παράγοντα i
- n: ο αριθμός των παραγόντων (Τσούβαλης, 2020)

5.1.2 Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process)

Ως δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιήθηκε η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία. Η συγκεκριμένη διαδικασία αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '70 στο πανεπιστήμιο Wharton School of Business από τον Thomas Saaty. Η ιεραρχική ανάλυση ενός προβλήματος διεκπεραιώνεται έπειτα από τέσσερα στάδια (Saaty, 1987):

1. Ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος σε στοιχεία απόφασης (decision elements).

Στο συγκεκριμένο βήμα της μεθόδου ο αναλυτής πρέπει να δομήσει το πρόβλημα ιεραρχικά σε επίπεδα. Ο επιδιωκόμενος στόχος του προβλήματος τοποθετείται στην κορυφή της ιεραρχίας. Ο αναλυτής αποφασίζει την βαρύτητα του στόχου τόσο σε ποιότητα όσο και σε κόστος. Ο πρωταρχικός στόχος, στη συνέχεια, αναλύεται σε υποκριτήρια – υποστόχους, οι οποίοι εξειδικεύονται σε πλήθος εναλλακτικών λύσεων.

2. Συλλογή των προτιμήσεων από τον αναλυτή που αφορούν στα στοιχεία απόφασης. Στο δεύτερο αυτό στάδιο ο αναλυτής πραγματοποιεί συγκρίσεις μεταξύ όλων των δυνατών ζευγών μεταξύ των στοιχείων – παραγόντων ενός ιεραρχικού επιπέδου. Η σύγκριση των παραγόντων γίνεται ως προς το βαθμό προτίμησης του ενός παράγοντα έναντι του δεύτερου σε σχέση με το κριτήριο που εφαρμόζεται στο αμέσως επόμενο – ανώτερο επίπεδο, το οποίο ορίζεται ως το «γόνιμο στοιχείο απόφασης». Κατόπιν δημιουργούνται

πίνακες απόφασης (response matrices) που το πλήθος τους ισούται με το πλήθος των κόμβων ιεραρχίας, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι εναλλακτικές δράσεις (Saaty,1987).

Οι τιμές που προκύπτουν από μια σύγκριση καταλαμβάνουν εύρος από 1 έως 9.

Πίνακας 5.1: Θεμελιώδης κλίμακα αξιολόγησης της AHP (Saaty,1987)

Βαθμός Σημαντικότητας	Ερμηνεία	Περιγραφή
1	Ίσης σπουδαιότητας	Δύο παράγοντες συμβάλλουν εξίσου μεταξύ τους στο στόχο ή στο κριτήριο
3	Μικρή σπουδαιότητα ενός σε σχέση με τον άλλο	Απαιτείται εμπειρία και κρίση για να ευνοηθεί ελαφρώς ο ένας παράγοντας έναντι του άλλου
5	Βασική ή Πολύ Ισχυρής σπουδαιότητας	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ουσιαστικά ή πολύ ισχυρά τον έναν παράγοντα έναντι του άλλου
7	Πάρα πολύ Ισχυρής – απόλυτης σπουδαιότητας	Ένας παράγοντας υπερισχύει έναντι του άλλου, το οποίο αποδεικνύεται στην πράξη.
9	Απόλυτης Σημαντικότητας	Ο συγκεκριμένος βαθμός δείχνει την υπερίσχυση του ενός παράγοντα έναντι του άλλου, και είναι ο μεγαλύτερος βαθμός σημαντικότητας.
2, 4, 6, 8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο όμορες κρίσεις	Αποτελούν ενδιάμεσες τιμές που δίνονται ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις (1, 3, 5, 7 και 9). Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται συμβιβασμός
0	Καμία σχέση	Ο παράγοντας δεν συμβάλλει στον στόχο

3. Εκτίμηση των σχετικών προτεραιοτήτων (weights) των παραγόντων

Στο συγκεκριμένο και τρίτο στάδιο της μεθόδου, ακολουθείται διαδικασία υπολογισμού σχετικών βαρών ή προτεραιοτήτων των στοιχείων απόφασης ως το προαναφερθέν γονικό στοιχείο για όλους τους συγκριτικούς πίνακες που έχουν δημιουργηθεί κατά το δεύτερο στάδιο. Οι προτιμήσεις του ερευνητή είναι αυτές που καθορίζουν τον υπολογισμό των σχετικών βαρών, ήτοι κατά πόσο συμμετέχουν τα στοιχεία της απόφασης στην εκπλήρωση του γονικού στοιχείου (Saaty, 1980).

4. Σύνθεση των προτεραιοτήτων σε γενικές προτεραιότητες των σχετικών λύσεων.

Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας πραγματοποιείται σύνθεση βαρών προκειμένου να εξαχθούν οι σχετικές προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων ή σεναρίων. Στη συνέχεια εκφράζονται οι προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων ως προς το γενικό στόχο – πρόβλημα (Saaty, 1980), που προκύπτουν από πολλαπλασιασμό μεταξύ των πινάκων βαρών ακολουθώντας μια αντίστροφη ιεραρχική δομή (από το κατώτερο προς το ανώτερο επίπεδο).

Η ποιότητα του πίνακα συγκρίσεων εκφράζεται με έναν δείκτη συνέπειας (Consistency Index, CI), ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

- λ_{max} η μεγαλύτερη ή κύρια τιμή ενός συνόλου τιμών που έχει προκύψει από μια σειρά αριθμητικών υπολογισμών

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Όπου:

- RI: ο μέσος όρος του προκύπτοντος δείκτη συνέπειας
- CI: η μεταβλητή του δείκτη συνέπειας

Η αποδεκτή τιμή του δείκτη CR έπειτα από την ολοκλήρωση της μεθόδου, θεωρείται η τιμή 0,1 ή μικρότερη από αυτή. Εάν δεν είναι εντός αυτού του εύρους, πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Πίνακας 5.2: Τιμές του μέσου όρου δείκτη συνέπειας

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,46	1,49

Στην διαδικασία εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας αθροίζεται το γινόμενο των συντελεστών βαρύτητας που υπολογίσθηκαν σε κάθε κλάση I και κάθε μεταβλητής j.

Ο Δείκτης Κατολισθητικής επιδεκτικότητας (LSI) δίνεται από τον παρακάτω τύπο και είναι το άθροισμα των raster μετά από τον πολλαπλασιασμό τους από τα αντίστοιχα βάρη (Kouli et al, 2010; Pandley et al, 2007; Saha et al, 2002).

$$LSI = \sum_{j=1}^n W_j * w_{ij}$$

Όπου:

LSI: ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας,

W_j : η βαρύτητα της παραμέτρου j,

w_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i στην παράμετρο j,

n: ο αριθμός των παραμέτρων.

6 Εφαρμογή Μεθόδων Δείκτη Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας

6.1 Βαθμός επιδεκτικότητας με τη χρήση του Λόγου Συχνότητας (Frequency Ratio)

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η κατολισθητική επιδεκτικότητα στην περιοχή του Νοτιοανατολικού Πηλίου, με την Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο και τη μέθοδο του Λόγου Συχνότητας. Για την εφαρμογή των μεθόδων χρησιμοποιήθηκε μια βάση δεδομένων με 199 θέσεις καταγεγραμμένων κατολισθήσεων, οι οποίες προέρχονταν από τα αρχεία μελετών του Εργαστήριου Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, καθώς και της διεύθυνσης Τεχνικής Γεωλογίας – Γενικής Γεωλογίας και Χαρτογράφησης του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.

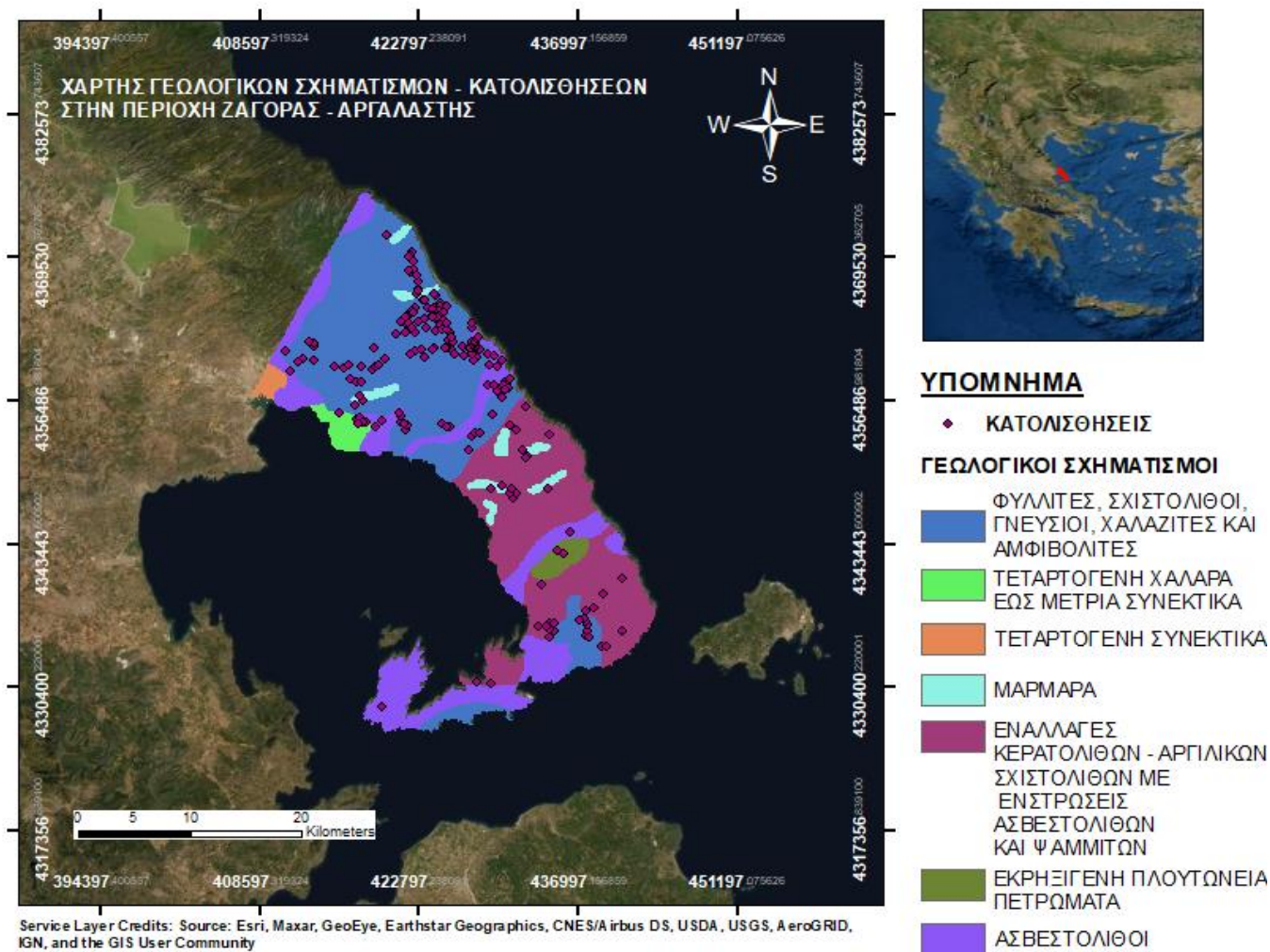
6.1.1 Χάρτης ενοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών

Ο βασικός παράγοντας που συνυπολογίζεται για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας είναι το τεχνικογεωλογικό υπόβαθρο. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη. Οι γεωλογικές ενότητες έχουν διαχωριστεί σε 7 κατηγορίες όπου κάθε ενότητα αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο εύρος μηχανικής συμπεριφοράς και χαρακτηριστικών. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που έχει χωριστεί η περιοχή στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας 6.1: Τεχνικογεωλογικές ενότητες περιοχής

Κλάση	Ενότητα
1	ΜΑΡΜΑΡΑ
2	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
3	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ
4	ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΩΝ - ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ ΜΕ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ ΚΑΙ ΨΑΜΜΙΤΩΝ
5	ΦΥΛΛΙΤΕΣ, ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ, ΓΝΕΥΣΙΟΙ, ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ ΚΑΙ ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ
6	ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΛΟΥΤΩΝΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
7	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΧΑΛΑΡΑ ΕΩΣ ΜΕΤΡΙΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ

Έπειτα, παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης στον οποίο διαφαίνονται οι κατολισθήσεις που διερευνούμε στην περιοχή.



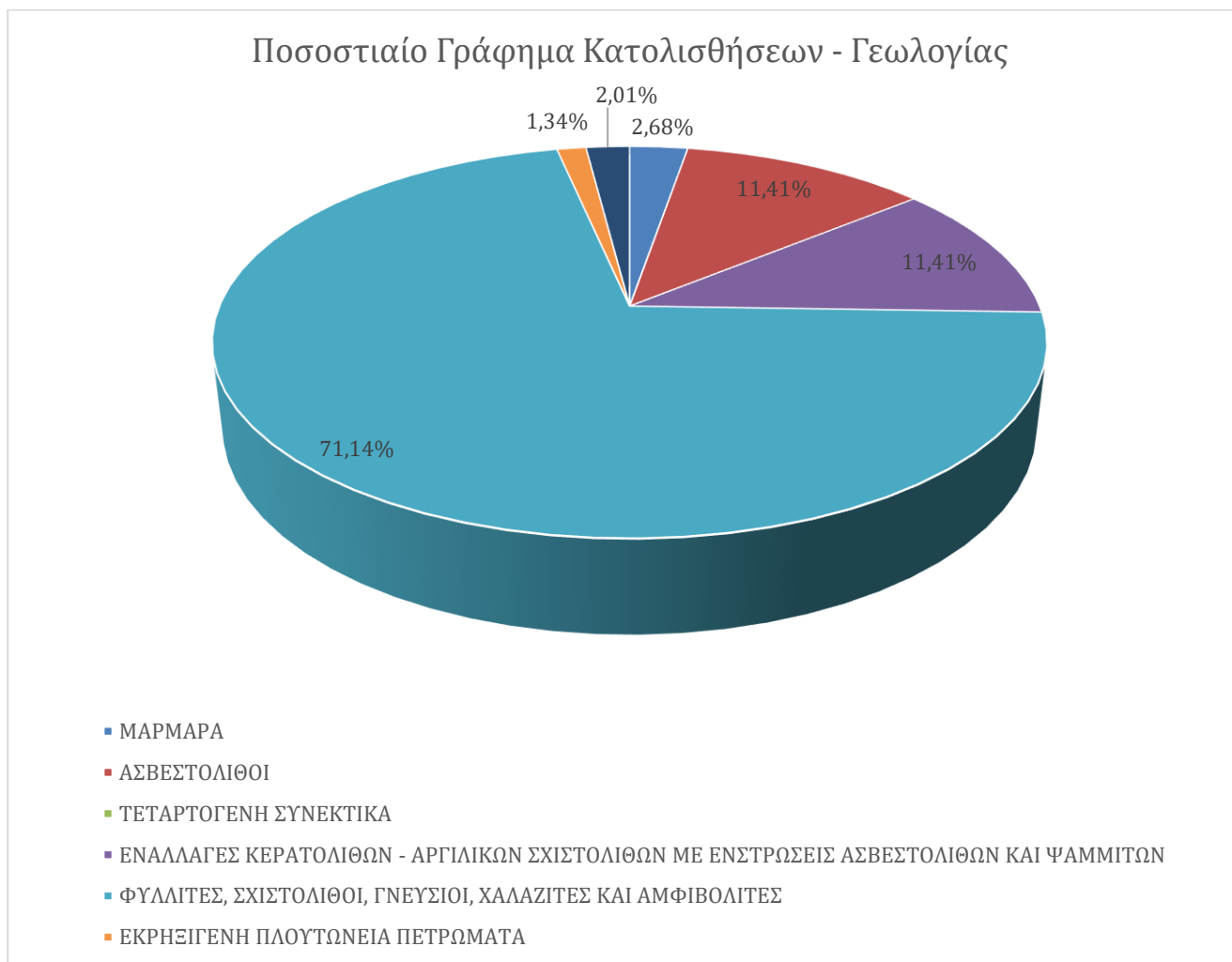
Εικόνα 6.1: Γεωλογικοί Σχηματισμοί – Κατολισθήσεις στην περιοχή μελέτης

Από στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε όσον αφορά στην κατανομή των κατολισθήσεων σε σχέση με την γεωλογία της περιοχής, προέκυψε ότι στα μάρμαρα εντοπίζεται το 2,68% των κατολισθήσεων, στους Ασβεστόλιθους το 11,41% των κατολισθήσεων, στα τεταρτογενή συνεκτικά δεν εντοπίζεται καμία κατολίσθηση, στις εναλλαγές κερατολιθών με ενστρώσεις ασβεστολιθών και ψαμμιτων το 11,41%, στους Φυλλίτες, Σχιστόλιθους, Γνεύσιους, Χαλαζίτες και Αμφιβολίτες το 71,14%, στα Εκρηξιγενή Πλουτώνεια Πετρώματα εντοπίζεται το 1,34% των κατολισθήσεων και 2,01% των κατολισθήσεων εντοπίζεται στα Τεταρτογενή χαλαρά έως μέτρια συνεκτικά.

Πίνακας 6.2: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – γεωλογίας

Γεωλογία	% Κατολισθήσεις
ΜΑΡΜΑΡΑ	2,68%
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	11,41%
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ	0,00%
ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΩΝ - ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ ΜΕ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ ΚΑΙ ΨΑΜΜΙΤΩΝ	11,41%
ΦΥΛΛΙΤΕΣ, ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ, ΓΝΕΥΣΙΟΙ, ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ ΚΑΙ ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ	71,14%
ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΛΟΥΤΩΝΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	1,34%
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΧΑΛΑΡΑ ΕΩΣ ΜΕΤΡΙΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ	2,01%

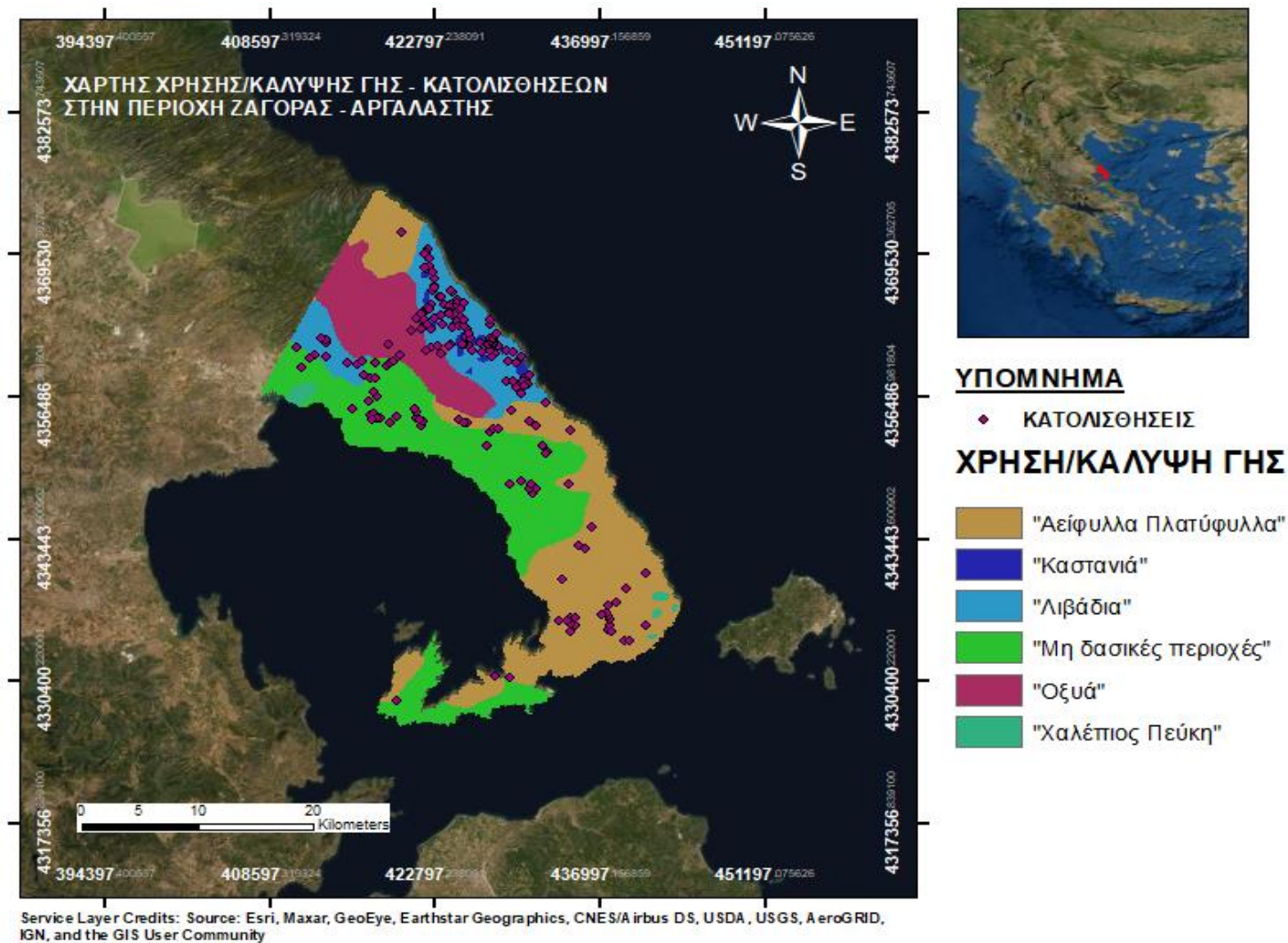
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το ποσοστιαίο διάγραμμα κατολισθήσεων αναλόγως με την γεωλογική ενότητα.



Σχήμα 6.1: Ποσοστιαίο Γράφημα Κατολισθήσεων – Γεωλογίας

6.1.2 Χάρτης Χρήσεων γης

Ως χρήση γης ορίζεται η οποιαδήποτε σταθερή ή τακτική ανθρώπινη παρέμβαση υλικά ή/και πνευματικά στους φυσικούς ή τεχνητούς πόρους προκειμένου να καλυφθούν οι ανθρώπινες ανάγκες. (Vos et al 1992). Ωστόσο, ως κάλυψη γης ορίζονται οι κατηγορίες των στοιχείων που καλύπτουν την επιφάνεια του τοπίου, όπως κτίρια δάση, λίμνες, βραχώδεις εξάρσεις, κ.α. (Bankov , 1998).



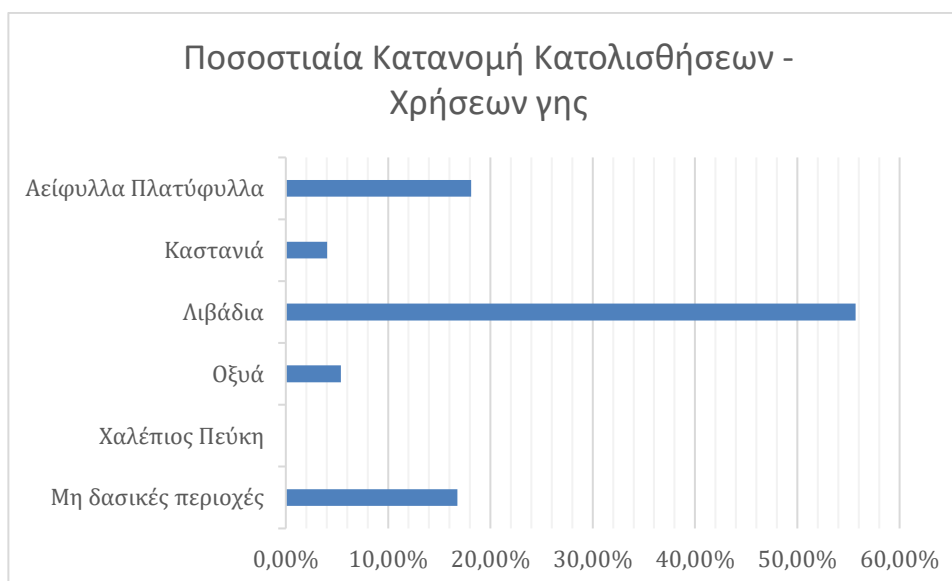
Εικόνα 6.2: Χάρτης Χρήσης / Κάλυψης γης – κατολισθήσεων στην περιοχή της μελέτης

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με το ποσοστό κατολισθήσεων αναλόγως με τη χρήση γης περιοχής.

Πίνακας 6.3: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – χρήσης γης

Χρήσεις γης	% Κατολισθήσεις
Μη δασικές περιοχές	16,78%
Χαλέπιος Πεύκη	0,00%
Οξυά	5,37%
Λιβάδια	55,70%
Καστανιά	4,03%
Αείφυλλα Πλατύφυλλα	18,12%

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ποσοστιαίο διάγραμμα κατολισθήσεων αναλόγως με τη χρήση γης περιοχής.



Σχήμα 6.2: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – χρήσης γης

Στην περιοχή της έρευνας αναγνωρίζονται συνολικά έξι (6) κατηγορίες κάλυψης γης, εκ των οποίων οι πέντε (5) φέρουν κατολισθήσεις και μία (1) δεν συμπεριλαμβάνει καμία κατολίπηση. Πιο συγκεκριμένα, οι μη δασικές περιοχές καταλαμβάνουν το 16,78% των κατολισθήσεων, η χαλέπιος πεύκη είναι η περιοχή στην οποία δεν έχουν προκύψει δεδομένα

κατολισθήσεων συνεπώς 0%, οξυά 5,37%, λιβάδια 55,70%, καστανιά 4,03%, αείφυλλα πλατύφυλλα 18,12%.

Πίνακας 6.4: Ελληνική ονοματολογία CORINE LAND COVER ανά επίπεδο πληροφόρησης

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1. Τεχνητές επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 Βιομηχανικές-εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα 1.2.3 Ζώνες λιμένων 1.2.4 Αεροδρόμια
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Όπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αένας χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Υδατορρέυματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

6.1.3 Χάρτης απόστασης από το οδικό δίκτυο – Ανθρώπινη επέμβαση

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν και τα αποτελέσματα της ανθρώπινης επέμβασης στην υπό μελέτη περιοχή. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε το υφιστάμενο οδικό δίκτυο της περιοχής. Οι επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον με εκσκαφές και διαστρώσεις δικτύων έχουν ως αποτέλεσμα να εκδηλώνονται κινήσεις βαρύτητας, ιδιαίτερα σε ημιορεινές και ορεινές περιοχές.

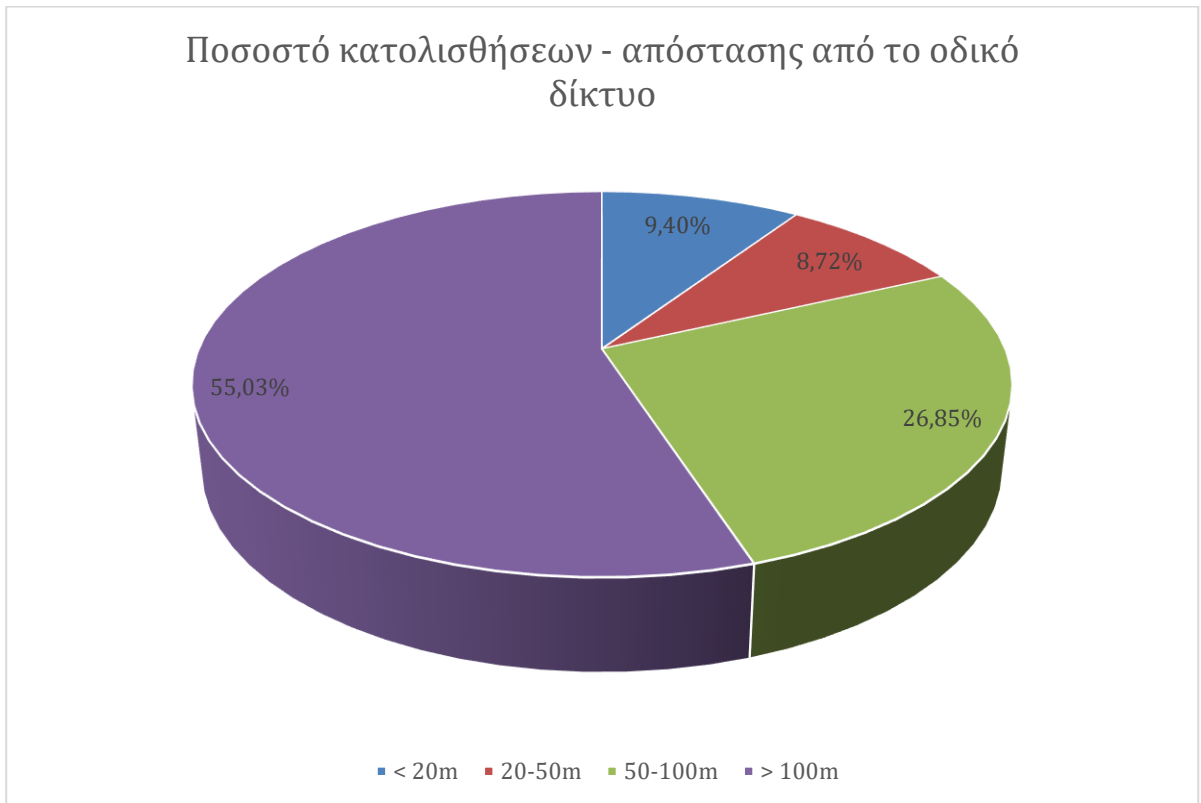
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει την ποσοστιαία κατανομή του συνόλου των κατολισθήσεων που μελετήθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αναλόγως με την απόστασή τους από το οδικό δίκτυο.

Πίνακας 6.5: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με την απόστασή τους από το οδικό δίκτυο.

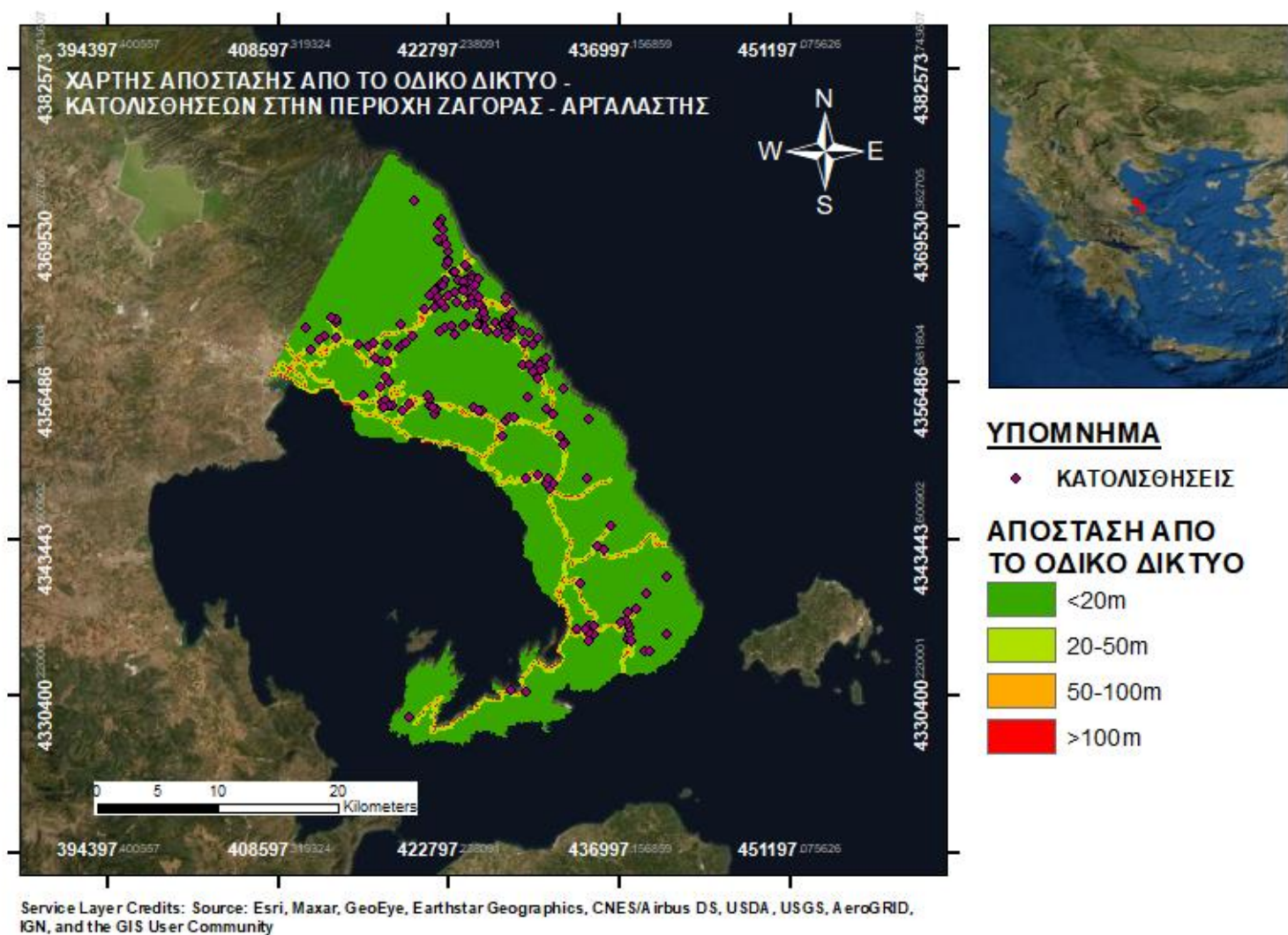
Απόσταση	% Κατολισθήσεις
< 20m	9,40%
20-50m	8,72%
50-100m	26,85%
> 100m	55,03%

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, τα οποία φαίνονται και στον παραπάνω πίνακα, είναι 9,40% των κατολισθήσεων που εκδηλώθηκαν παρουσιάζονται σε απόσταση μικρότερη των 20 μέτρων από το οδικό δίκτυο, 20-50m το 8,72% των κατολισθήσεων, σε απόσταση 50-100m το 26,85% και σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 μέτρων το 55,03%.

Έπειτα, παρουσιάζεται το ποσοστιαίο διάγραμμα κατανομής των κατολισθήσεων αναλόγως με την απόστασή τους από το οδικό δίκτυο.



Σχήμα 6.3: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – απόστασης από το οδικό δίκτυο



Εικόνα 6.3: Χάρτης απόστασης από το οδικό δίκτυο - κατολισθήσεων περιοχής

6.1.4 Χάρτης βροχοπτώσεων

Οι κατολισθήσεις που εκδηλώνονται σε μια περιοχή επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις βροχοπτώσεις, οι οποίες αποτελούν φυσική διαδικασία εναύσματος των κατολισθητικών φαινομένων (Kouli et al,2010). Ο μηχανισμός δράσης του νερού στα πρανή είναι διμερής. Η πρώτη δράση του είναι να προκαλεί κορεσμό των πόρων των πρανών και να μειώνει την συνεκτικότητά τους και δεύτερον αυξάνει τη βαρυτική δύναμη του πρανούς (Hamblin and Christiansen,2004).

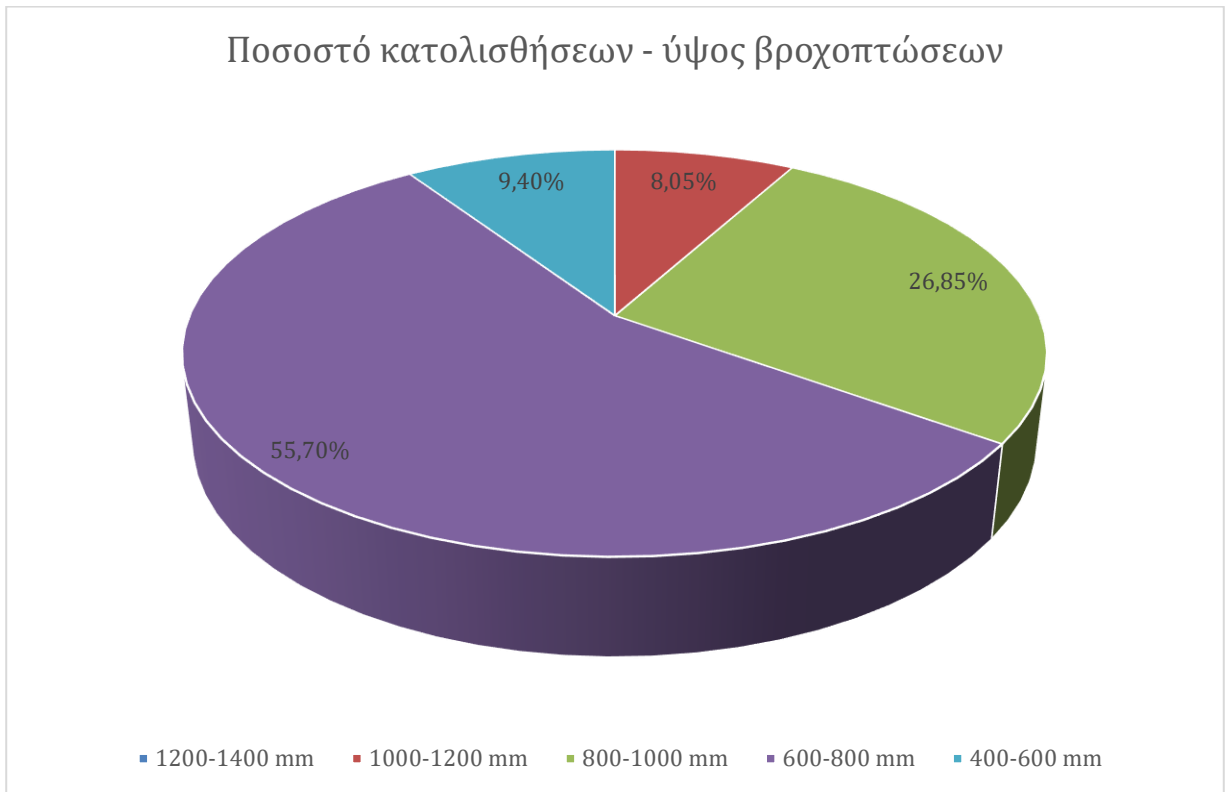
Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το ποσοστό των κατολισθήσεων αναλόγως με το ύψος της βροχόπτωσης.

Πίνακας 6.6: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με το ύψος των βροχοπτώσεων

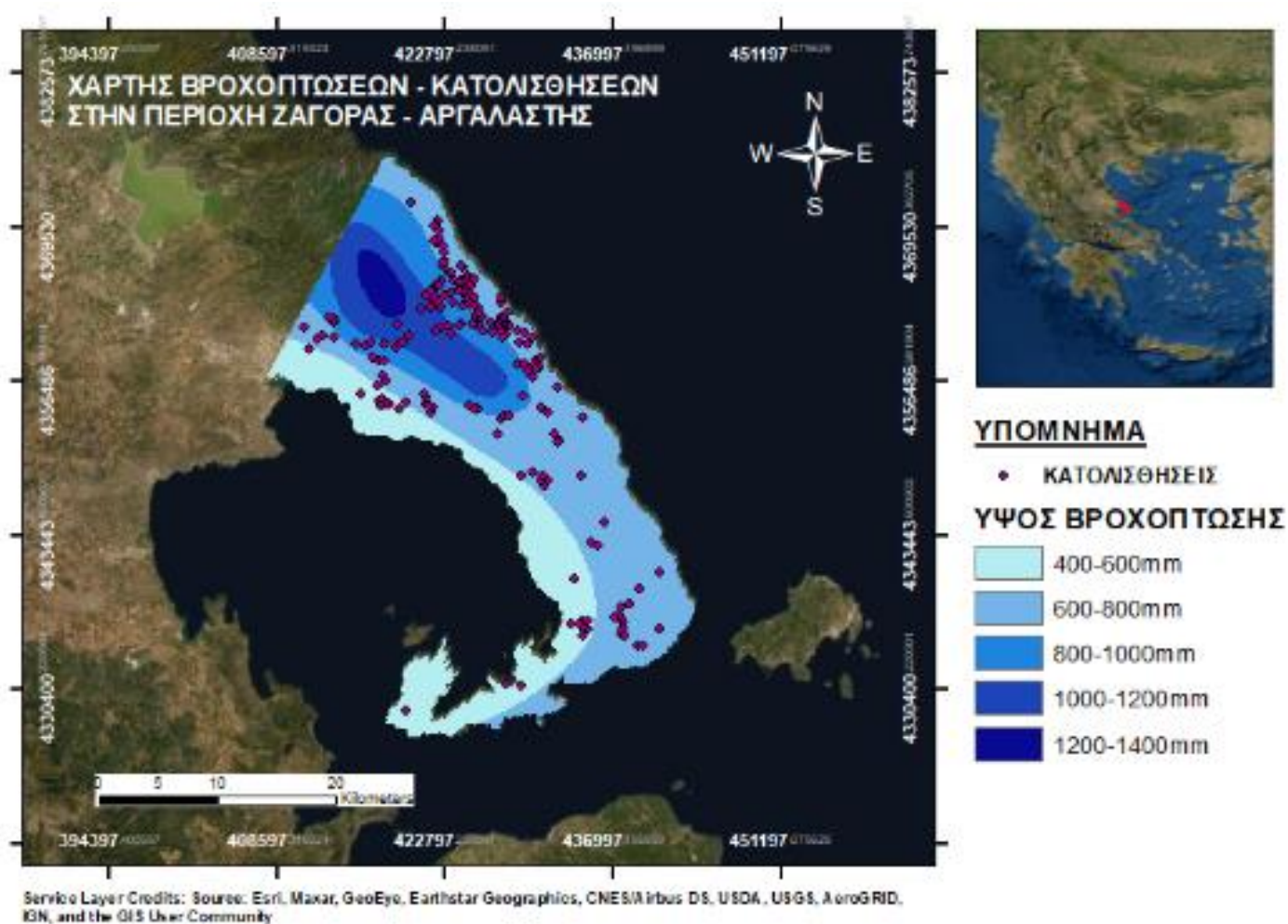
Ύψος Βροχόπτωσης	% Κατολισθήσεις
1200-1400 mm	0,00%
1000-1200 mm	8,05%
800-1000 mm	26,85%
600-800 mm	55,70%
400-600 mm	9,40%

Παρατηρούμε ότι στα 400-600mm βροχοπτώσεων έχει ενεργοποιηθεί το 9,40% των κατολισθήσεων, στα 600-800mm το 55,70%, στα 800-1000mm το 26,85% και στα 1000-1200mm το 8,05%.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ποσοστιαίο διάγραμμα κατανομής των κατολισθήσεων αναλόγως με το ύψος βροχοπτώσεων.



Σχήμα 6.4: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – ύψος βροχοπτώσεων



Εικόνα 6.4: Κατολισθητικά φαινόμενα στο βροχομετρικό χάρτη περιοχής

6.1.5 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων

Ο παράγοντας μορφολογικών κλίσεων των πρηνών αποτελεί μια σημαντική παράμετρο προκειμένου να εξετασθεί η σταθερότητά τους (Saha et al, 2002) και αποτελεί σημαντικό μοντέλο αξιολόγησης (Clerici et al. 2002; Saha et al. 2002; Cevik and Topal 2003; Ercanoglu and Gokceoglu 2004; Lee et al. 2004a, b; Yalcin 2008). Η κλίση ενός πρηνούς εκφράζει τον μέγιστο ρυθμό αλλαγής του υψομέτρου, ως προς τον άξονα Z, στην έκταση της επιφάνειας που εξετάζεται. Η μονάδα μέτρησης των κλίσεων είναι οι μοίρες (°) ή ποσοστό επί τοις εκατό, δηλαδή σε 45° κλίση το ποσοστό είναι 100%.

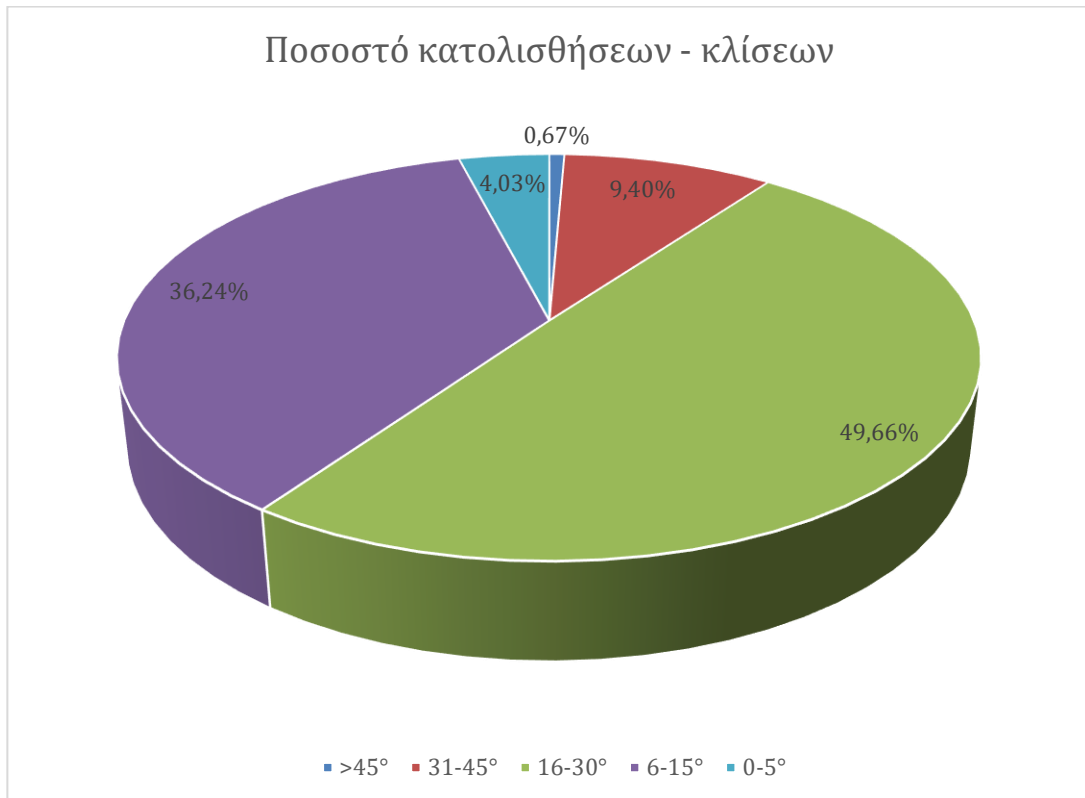
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται πίνακας που διαφαίνεται το ποσοστό κατολισθήσεων που έχουν συμβεί αναλόγως με τις μορφολογικές κλίσεις.

Πίνακας 6.7: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με τη μορφολογική κλίση

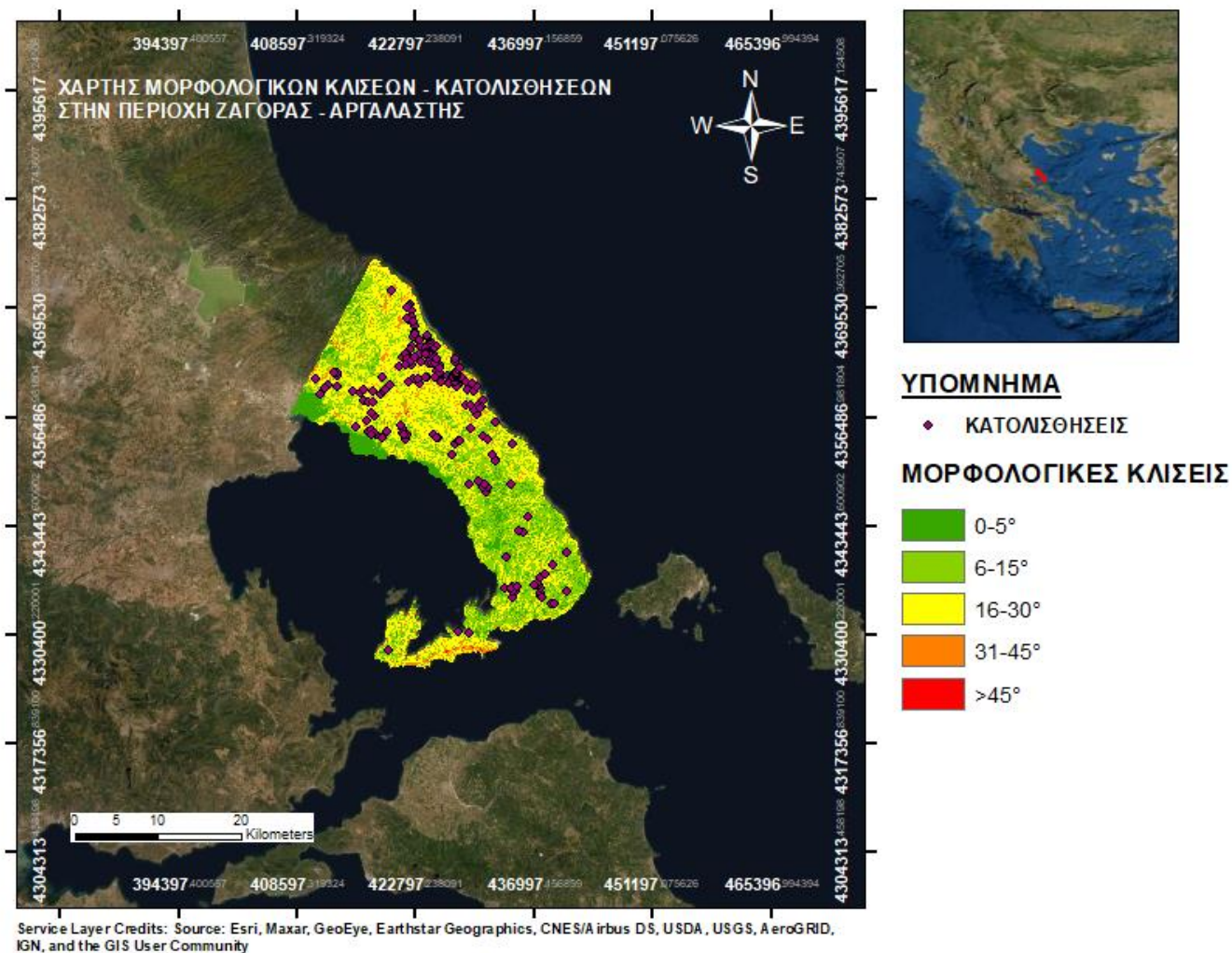
Κλίσεις	% Κατολισθήσεις
>45°	0,67%
31-45°	9,40%
16-30°	49,66%
6-15°	36,24%
0-5°	4,03%

Παρατηρούμε ότι το 4,03% των κατολισθήσεων εντοπίζεται σε κλίσεις από 0-5° , 36,24% σε 6-15°, 49,66% σε 16-30°, 9,40% σε 31-45% και 0,67% των συνολικών κατολισθήσεων σε κλίσεις μεγαλύτερες των 45°.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ποσοστιαίο διάγραμμα κατανομής κατολισθήσεων που έχουν ενεργοποιηθεί στην περιοχή, αναλόγως με τη μορφολογική κλίση.



Σχήμα 6.5: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – κλίσεων



Εικόνα 6.5: Χάρτης μορφολογικών κλίσεων

6.1.6 Χάρτης υψομετρικού αναγλύφου

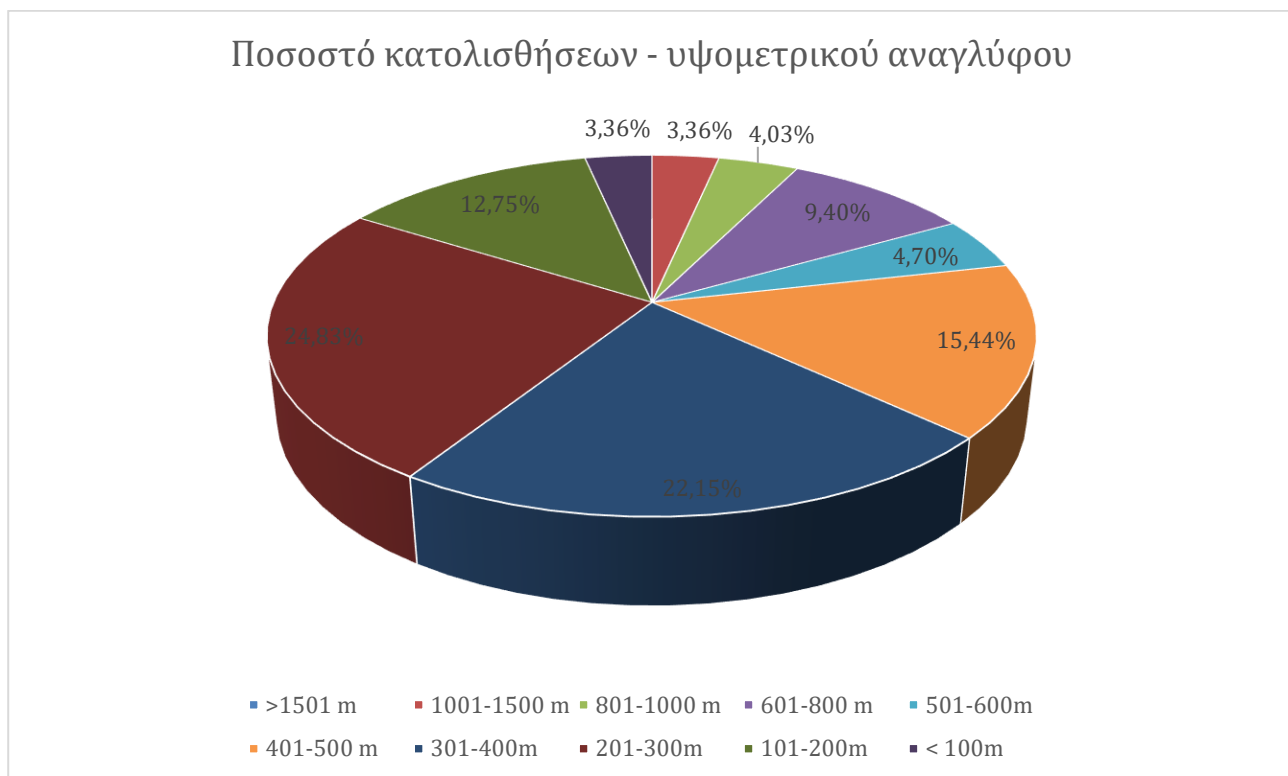
Το μορφολογικό ανάγλυφο μιας περιοχής είναι αποτέλεσμα κλιματικών και γεωλογικών διεργασιών που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή κατά την πάροδο των χρόνων. Η Ελλάδα είναι μια χώρα που χαρακτηρίζεται ως ορεινή. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ποσοστιαία οι κατολισθήσεις που παρατηρήθηκαν σε κάθε ζώνη αναλόγως με την τιμή του υψομετρικού αναγλύφου, το οποίο έχει διαχωριστεί σε 10 ζώνες.

Πίνακας 6.8: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με το υψομετρικό ανάγλυφο

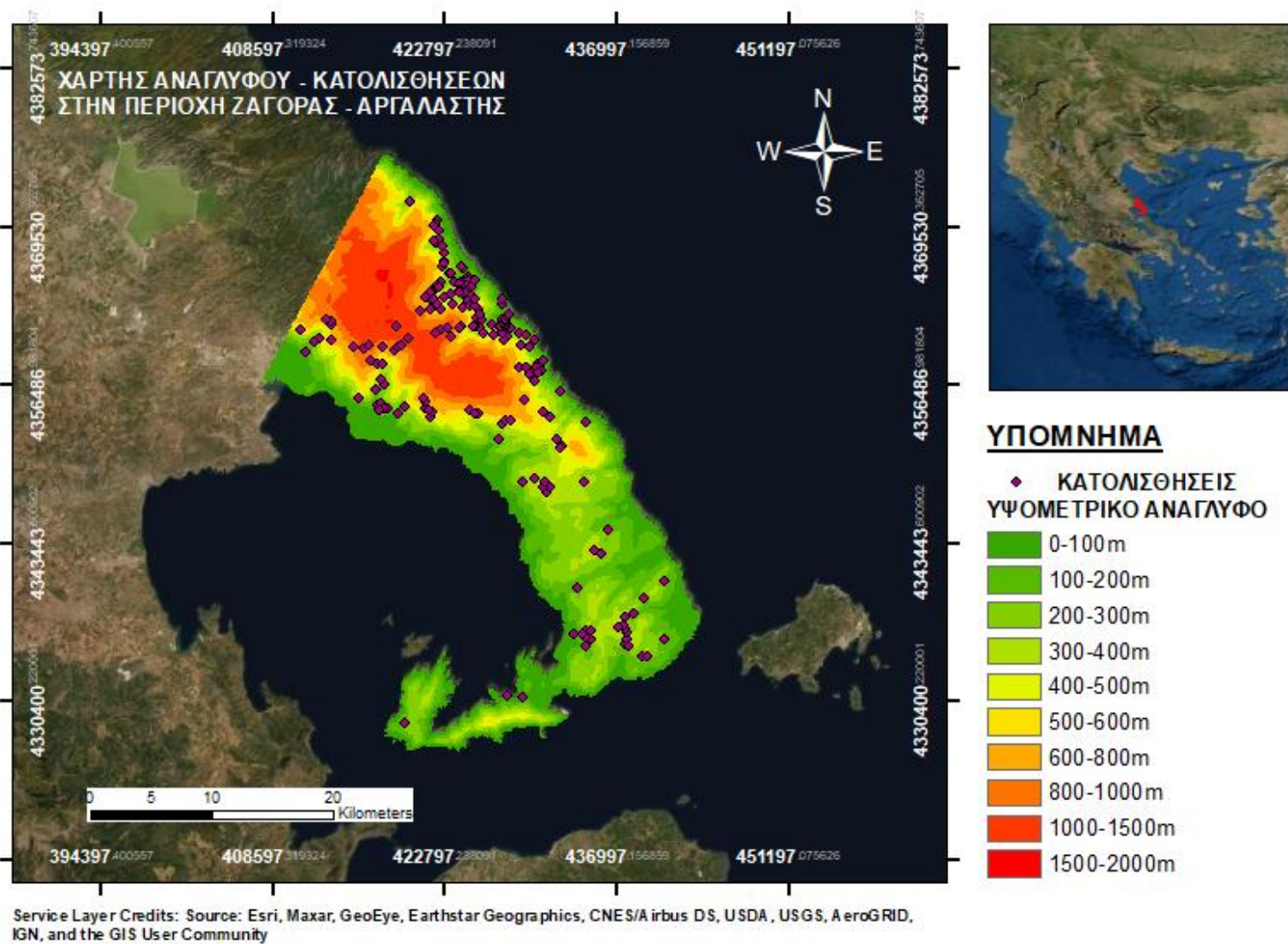
Υψομετρικό ανάγλυφο	% Κατολισθήσεις
>1501 m	0,00%
1001-1500 m	3,36%
801-1000 m	4,03%
601-800 m	9,40%
501-600m	4,70%
401-500 m	15,44%
301-400m	22,15%
201-300m	24,83%
101-200m	12,75%
< 100m	3,36%

Παρατηρούμε ότι σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 1500m δεν έχουν λάβει χώρα κατολισθήσεις. Ωστόσο, από 1001-1500m έχει ενεργοποιηθεί το 3,34% του συνόλου των κατολισθήσεων της παρούσας μελέτης, 4,03% σε ανάγλυφο 801-1000m, 9,40% στα 601-800m, 4,70% στα 501-600 m, 15,44% στα 401-500 m, 22,15% στα 301-400m, 24,83% στα 201-300 m, 12,75 στα 101-200 m και 3,36% σε υψόμετρο μικρότερο των 100m.

Έπειτα, παρουσιάζεται διάγραμμα που διαφαίνεται το ποσοστό των κατολισθήσεων που έχουν ενεργοποιηθεί αναλόγως με το υψομετρικό ανάγλυφο,



Σχήμα 6.6: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – υψομετρικού αναγλύφου



Εικόνα 6.6: Χάρτης Υψομετρικού αναγλύφου

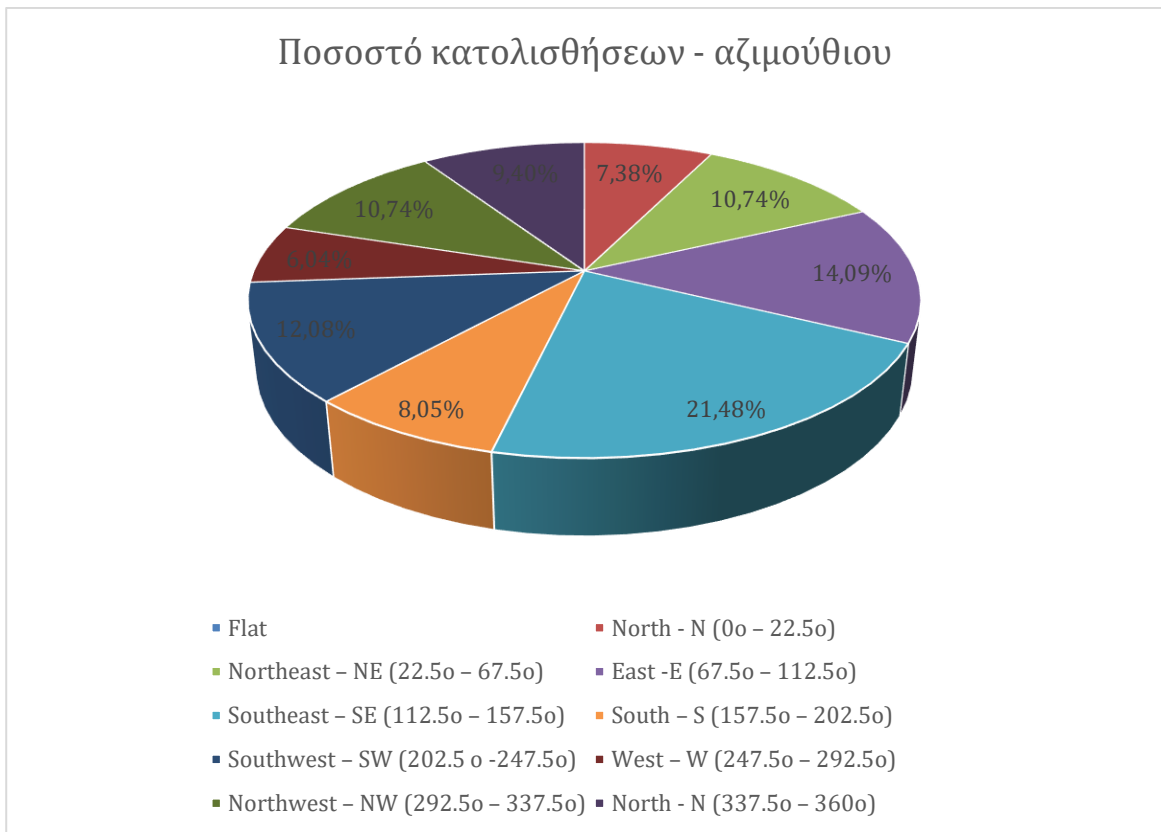
6.1.7 Χάρτης αζιμούθιου πρανών

Το αζιμούθιο των πρανών, δηλαδή ο προσανατολισμός τους, αποτελεί βασικό παράγοντα που επηρεάζει το είδος της βλάστησης που θα αναπτυχθεί σε αυτά. (Wieczoreketal.1997; Daietal. 2002; CevikandTopal2003; Suzenand Doyuran2004; Komac2006) .Αναλόγως με τον προσανατολισμό τους κρίνεται το κατά πόσο ευνοούνται κατά την ηλιακή ενέργεια που δέχονται. Ο νοτιοδυτικός προσανατολισμός ευνοεί περισσότερο την βλάστηση από άποψη ηλιακής ενέργειας (στο βόρειο ημισφαίριο) σε σχέση με τον βόρειο προσανατολισμό. Καταλαμβάνει τιμές από 0 έως 360, και οι μοίρες έχουν κατεύθυνση από τα βόρεια με ωρολογιακή φορά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ποσοστιαία οι κατολισθήσεις που παρατηρήθηκαν σε κάθε ζώνη αναλόγως με την τιμή του αζιμούθιου, το οποίο έχει διαχωριστεί σε 10 ζώνες.

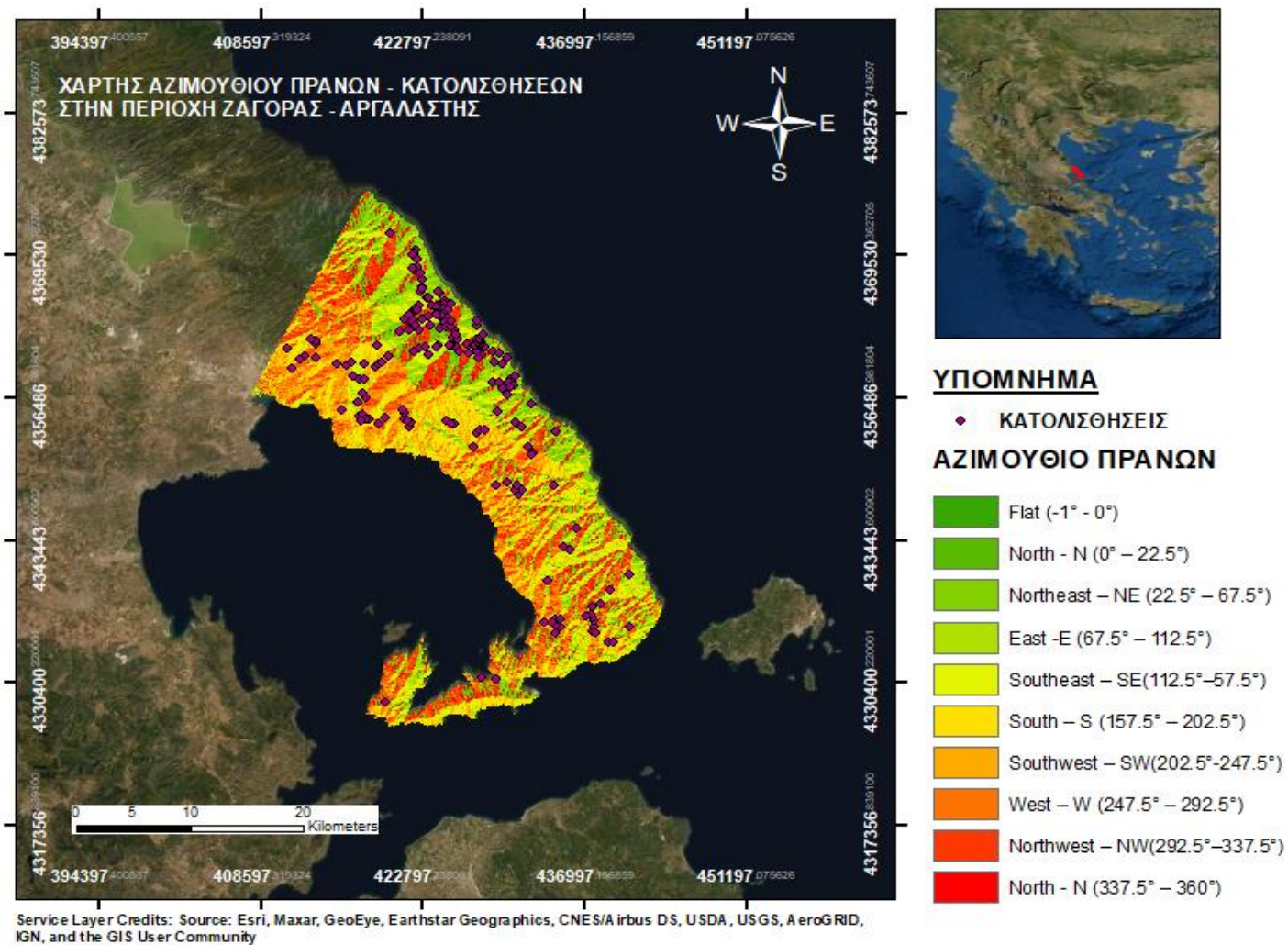
Πίνακας 6.9: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων σε σχέση με το αζιμούθιο

Αζιμούθιο	% Κατολισθήσεις
Flat (-1°)	0,00%
North - N (0° – 22.5°)	7,38%
Northeast – NE (22.5° – 67.5°)	10,74%
East -E (67.5° – 112.5°)	14,09%
Southeast – SE (112.5° – 157.5°)	21,48%
South – S (157.5° – 202.5°)	8,05%
Southwest – SW (202.5° -247.5°)	12,08%
West – W (247.5° – 292.5°)	6,04%
Northwest – NW (292.5° – 337.5°)	10,74%
North - N (337.5° – 360°)	9,40%

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρουσιάζουν ότι σε αζιμούθια από $-1-0^\circ$ δεν έχουν ενεργοποιηθεί κατολισθήσεις, Ωστόσο, σε προσανατολισμό Βόρειο -North - N ($0^\circ - 22.5^\circ$) -έχει ενεργοποιηθεί το 7,38% του συνόλου των κατολισθήσεων της παρούσας μελέτης, 10,74% σε αζιμούθιο Βορειοανατολικό - Northeast – NE ($22.5^\circ - 67.5^\circ$) 14,09% σε ανατολικό - East -E ($67.5^\circ - 112.5^\circ$) - προσανατολισμό, 21,48% σε νοτιοανατολικό - Southeast – SE ($112.5^\circ - 157.5^\circ$)- προσανατολισμό, 8,05% σε νότιο -South – S ($157.5^\circ - 202.5^\circ$)- προσανατολισμό, 12,08% σε νοτιοδυτικό -Southwest – SW ($202.5^\circ - 247.5^\circ$)- προσανατολισμό, 6,04% σε δυτικό -West – W ($247.5^\circ - 292.5^\circ$)- προσανατολισμό, 10,74% σε βορειοδυτικό - Northwest – NW ($292.5^\circ - 337.5^\circ$)- προσανατολισμό και 9,40% του συνόλου των κατολισθήσεων σε βόρειο - North - N ($337.5^\circ - 360^\circ$) - προσανατολισμό,



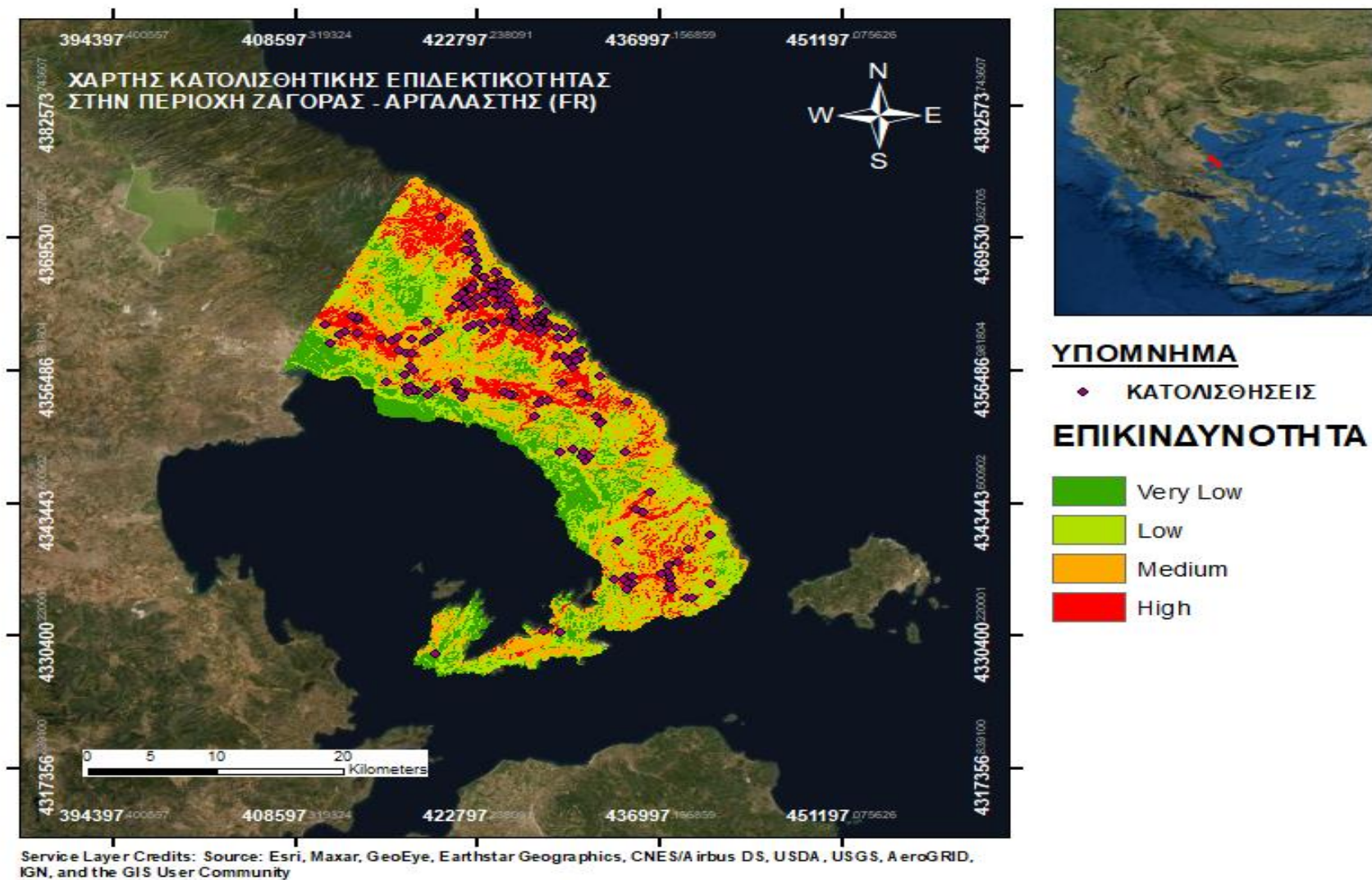
Σχήμα 6.7: Ποσοστιαία κατανομή κατολισθήσεων – υψομετρικού αναγλύφου



Εικόνα 6.7: Χάρτης αζιμούθιου πρανών περιοχής

6.1.8 Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας FR

Ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας που προέκυψε ταξινομήθηκε σε τέσσερις (4) κλάσεις, έτσι ώστε να είναι διακριτή η διαβάθμιση της περιοχής ως προς τον δείκτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας: πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή επιδεκτικότητα



Εικόνα 6.8: Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας FR

6.2 Βαθμός επιδεκτικότητας με τη χρήση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (Analytical Hierarchy Process)

Ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας που δημιουργήθηκε με την Αναλυτική Ιεραρχική μέθοδο, προέκυψε από τους παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν μια κατολισθητική ενέργεια. Σκοπός είναι να προβλεφθούν μελλοντικές κατολισθητικές ενέργειες που θα ενεργοποιηθούν με παρόμοιες συνθήκες των προηγούμενων – καταγεγραμμένων φαινομένων. Συνεπώς, οι κατολισθήσεις που πιθανόν να εμφανιστούν στο μέλλον έχουν προβλεφθεί από στατιστικές σχέσεις, οι οποίες προκύπτουν από φαινόμενα και παράγοντες που επιδρούν στην ενεργοποίηση κατολισθητικών κινήσεων.

Σύμφωνα με την ιεραρχική μέθοδο, προκύπτει ένας πίνακας με ζευγάρια συγκρίσεων των κριτηρίων, με βάση την εννοιολογική κλίμακα τιμών από 1-9, προκειμένου να εξαχθούν τα βάρη σπουδαιότητας από τον λήπτη της απόφασης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μήτρα συγκρίσεων.

Πίνακας 6.10: Πίνακας συγκρίσεων παραγόντων

Παράγοντας	Γεωλογία	Χρήση / Κάλυψη γης	Απόσταση από το οδικό δίκτυο	Βροχοπτώσεις	Κλίση εδάφους	Υψομετρικό ανάγλυφο	Αζιμούθιο
Γεωλογία	1	1	1	2	2	2	2
Χρήση/Κάλυψη γης	1	1	1	1	1	1	1
Απόσταση από το οδικό δίκτυο	1	1	1	2	1	1	1
Βροχόπτωση	0,50	1	1	1	0,50	1	1
Κλίση εδάφους	0,50	1	1	2	1	2	2
Υψομετρικό ανάγλυφο	0,50	1	1	1	0,50	1	1
Αζιμούθιο	0,50	1	1	1	0,50	1	1

Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε μια βαθμονόμηση σε κάθε κατηγορία του κάθε παράγοντα χωριστά και αντικαταστάθηκε ποιοτικό ή αριθμητικό της στοιχείο με τιμές από 1 έως 9. Οι τιμές που ορίστηκαν προσδιορίζουν την επιδεκτικότητα του κάθε παράγοντα για την εμφάνιση κατολισθήσεων.

Όπως έχει προαναφερθεί, τα ζευγάρια σύγκρισης αποτελούν τον βασικό τρόπο εκτίμησης της Αναλυτικής Ιεραρχικής μεθόδου. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η εννοιολογική πολυπλοκότητα ενός προβλήματος, ενώ σε κάθε σύγκριση εξετάζονται μόνο δύο παράγοντες.

Στην παρούσα μελέτη, η τιμή του δείκτη CR για επτά (7) κατολισθητικούς παράγοντες είναι 0,02 το οποίο εκφράζει την ύπαρξη λογικού επιπέδου συνεκτικότητας στα συγκρίσιμα ζεύγη.

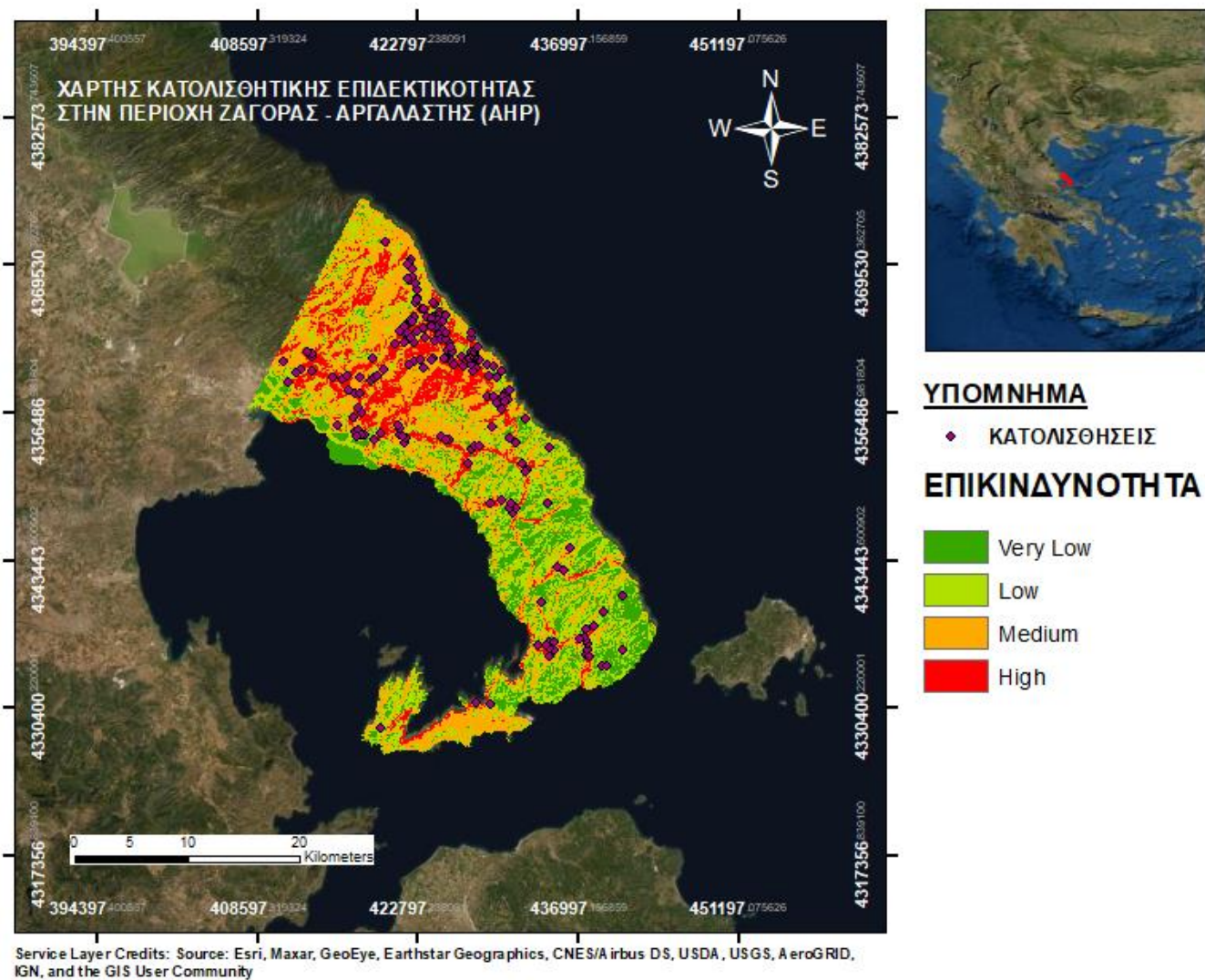
Οι αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των παραγόντων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.11: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης παραγόντων

Παράγοντας	Τιμή μεταβλητής
Γεωλογία	10
Χρήση γης / κάλυψη γης	7
Οδικό δίκτυο	8
Βροχοπτώσεις	5
Κλίσεις	9
Υψόμετρο αναγλύφου	6
Αζιμούθιο πρανών	6

6.2.1 Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ΑΗΡ

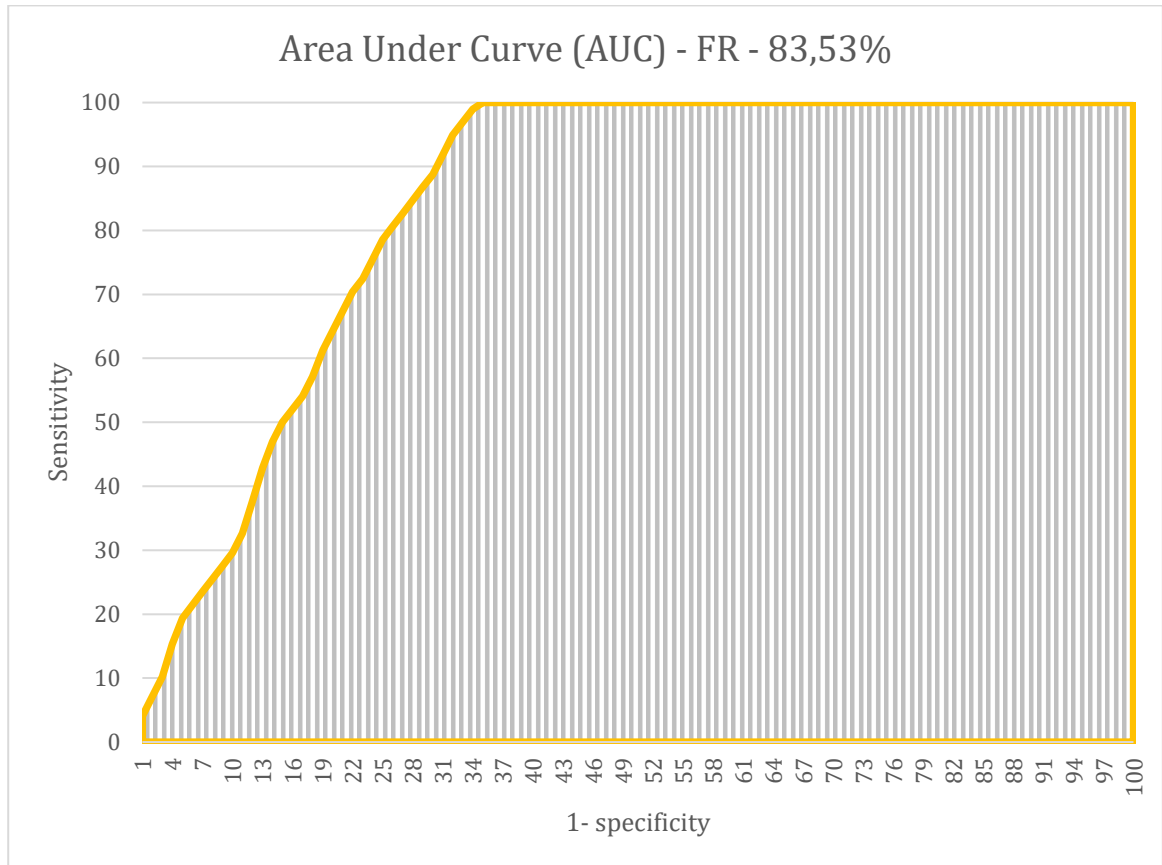
Ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας που προέκυψε ταξινομήθηκε σε τέσσερις (4) κλάσεις, με αποτέλεσμα να είναι διακριτή η κατάταξη της περιοχής ως προς τον δείκτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας: πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή επιδεκτικότητα.



Εικόνα 6.9: Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ΑΗΡ

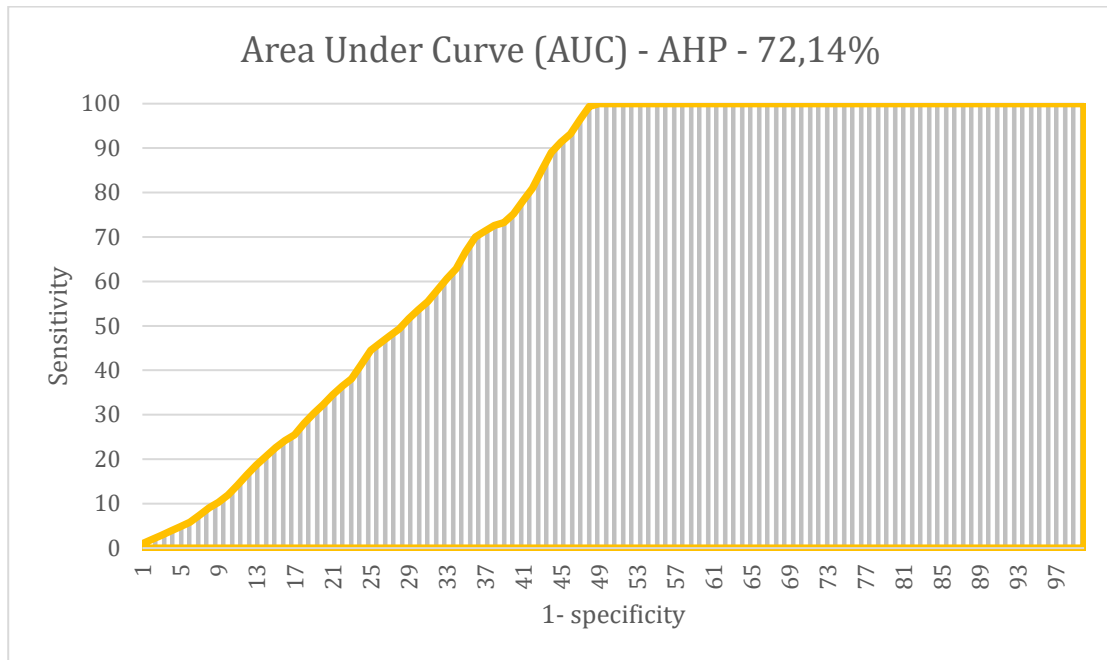
6.2.2 Area Under Curve

Έπειτα προσδιορίστηκε η AUC τιμή, η οποία κυμαίνεται από 0,5 (τυχαία προσαρμογή) έως 1 (τέλεια προσαρμογή).



Σχήμα 6.8: AUC του λόγου Συχνότητας FR

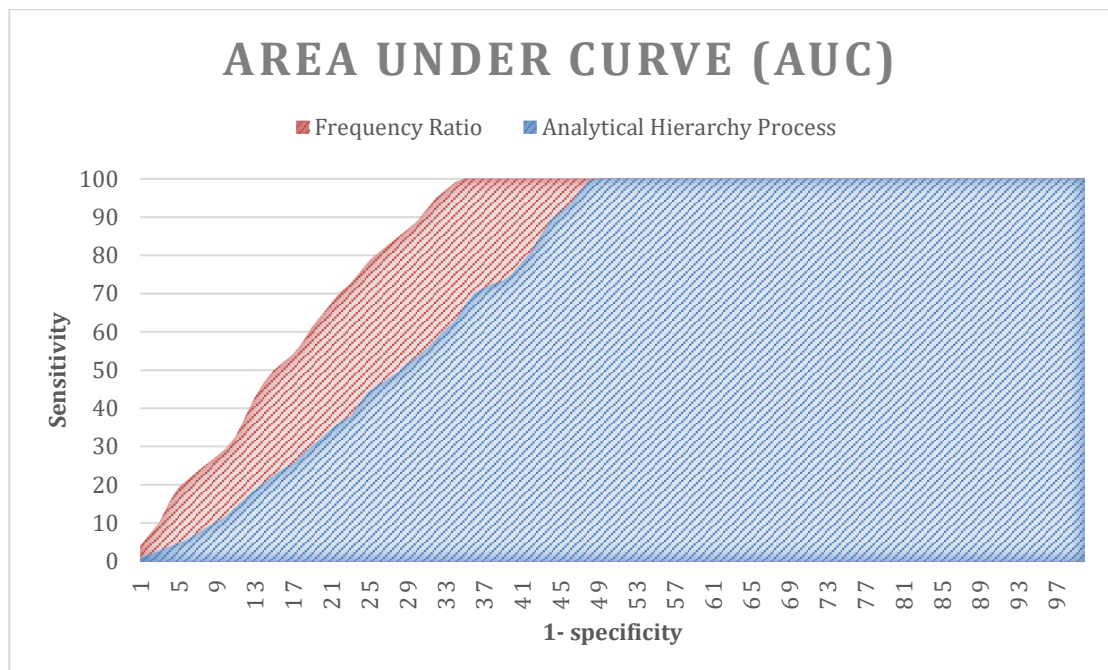
Στην μέθοδο FR η AUC τιμή προέκυψε 83,53%, συνεπώς η ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει είναι πολύ καλή.



Σχήμα 6.9: AUC της AHP

Στην μέθοδο AHP η AUC τιμή προέκυψε 72,14 %, συνεπώς η ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει είναι καλή.

Στο παρακάτω διάγραμμα διαφαίνεται ένα συγκριτικό διάγραμμα του δείκτη ακρίβειας των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 6.10: Συγκριτικό διάγραμμα AUC

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι χάρτες κατολισθητικής επιδεκτικότητας που παράχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα κρίσιμα συμπεράσματα, αποτελούν ένα εργαλείο, που δύναται να χρησιμοποιηθεί από τους κρατικούς φορείς προκειμένου να εντοπιστούν οι πιο επικίνδυνες για κατολίσθηση περιοχές και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης και προστασίας.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η κατολισθητική επιδεκτικότητα στην περιοχή του Νοτιοανατολικού Πηλίου, με την Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο και τη μέθοδο του Λόγου Συχνότητας. Για την εφαρμογή των μεθόδων δημιουργήθηκε μια βάση κατολισθήσεων με 199 θέσεις καταγεγραμμένων κατολισθήσεων με βάση δεδομένα, τα οποία παρείχε το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, καθώς και η διεύθυνση Τεχνικής Γεωλογίας – Γενικής Γεωλογίας και Χαρτογράφησης του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών από.

Η ανάπτυξη του μοντέλου βασίστηκε σε επτά (7) μεταβλητές που σχετίζονται με την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων, οι οποίες είναι: η γεωλογία, η χρήση / κάλυψη γης, η απόσταση από το οδικό δίκτυο, οι βροχοπτώσεις, οι μορφολογικές κλίσεις, το υψομετρικό ανάγλυφο και το αζιμούθιο. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου Frequency Ratio στην υπό μελέτη έρευνα περιοχή διαπιστώνονται τα εξής:

- Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής που διερευνάται αποτελείται από φυλλίτες, σχιστόλιθους, γνεύσιους, χαλαζίτες και αμφιβολίτες και καταλαμβάνουν το 43,50% της συνολικής έκτασης. Στην συγκεκριμένη περιοχή παρατηρείται και το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθήσεων που έχουν εντοπιστεί, το οποίο προσδιορίζεται ως 71,14%.
- Στον παράγοντα χρήσης/κάλυψης γης, το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθήσεων εντοπίζεται στην έκταση με τα λιβάδια, με ποσοστό 55,70% των κατολισθήσεων.
- Στον παράγοντα των βροχοπτώσεων, το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθήσεων εντοπίζεται στην έκταση (46,26% του συνόλου) με τιμές 600-800mm βροχοπτώσεων, με ποσοστό 55,70% των κατολισθήσεων.

- Οι περισσότερες κατολισθήσεις που έχουν προκύψει επηρεαζόμενες από τον παράγοντα απόστασης από το οδικό δίκτυο, έχουν εμφανιστεί σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100 μέτρων με ποσοστό 55,03%.
- Σχετικά με τις μορφολογικές κλίσεις στην περιοχή της μελέτης κυρίαρχες είναι οι κλίσεις μεταξύ των $16-30^\circ$, οι οποίες χαρακτηρίζουν το 43,80% της συνολικής έκτασης. Στην συγκεκριμένη έκταση παρατηρείται και το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των κατολισθήσεων, το οποίο ανέρχεται σε 49,66%.
- Η μεγαλύτερη κλάση του υψομετρικού αναγλύφου αφορά στα υψόμετρα μικρότερα των 100m. Ωστόσο, οι περισσότερες κατολισθήσεις παρατηρούνται σε υψόμετρα 201-300m και ανέρχονται στο ποσοστό 24,83%.
- Τελευταίος παράγοντας που χρησιμοποιήθηκε είναι το αζιμούθιο και κυρίαρχη είναι η νοτιοανατολική κατεύθυνση με ποσοστό 14,58%. Στην συγκεκριμένη έκταση έχουν παρατηρηθεί και οι περισσότερες κατολισθήσεις με ποσοστό εκδήλωσης 21,48%.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της σπουδαιότητας των μεταβλητών, με σπουδαιότερη μεταβλητή αυτή της γεωλογίας. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδιες με αυτές της μεθόδου Λόγου Συχνοτήτων, ήτοι η γεωλογία, η χρήση / κάλυψη γης, η απόσταση από το οδικό δίκτυο, οι βροχοπτώσεις, οι μορφολογικές κλίσεις, το υψομετρικό ανάγλυφο και το αζιμούθιο.

Τέλος, η διαδικασία επαλήθευσης των μεθόδων (AUC) απέδειξε ότι η μέθοδος του Λόγου Συχνοτήτων – Frequency Ratio παρέχει καλύτερη πρόβλεψη στην εκδήλωση των κατολισθήσεων, καθώς η τιμή προέκυψε 83,53%, σε σχέση με αυτή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου, που ανέρχεται στο 72,14%.

Η εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας μιας περιοχής αποτελεί το πρωταρχικό στοιχείο αντιμετώπισης του κινδύνου των κατολισθητικών φαινομένων, καθώς και στη διαχείριση των επιπτώσεων τους. Οι αρμόδιοι φορείς είναι σημαντικό να αξιοποιούν τους χάρτες κατολισθητικής επιδεκτικότητας, ώστε να αντιμετωπίζονται ταχύτερα τα υφιστάμενα προβλήματα, αλλά και για την ανάπτυξη αποδοτικότερων αναπτυξιακών έργων.

8 Βιβλιογραφία

1. Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.
2. Loukas, A., L. Vasiliades and N.R. Dalezios, 2002: Potential climate change impacts on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMA1 simulation results. *J. Hydrol.*, 259, 163-188.
3. Κουτσόπουλος Κ. ,2002, Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών & ανάλυση χώρου, Αθήνα, Παπασωτηρίου.
4. Καβουρας, Μ., Αρχές Γεωπληροφορικής και ΣΓΠ. Αθήνα: Τομέας Τοπογραφίας, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, 1998.
5. Κάβουρας, Μ., Β, Νάκος, Α, Τσούλος, Β, Φιλιππακοπούλου, και Ε, Τομαή. Στοιχεία Χαρτογραφίας. Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2002.
6. Κορακίτης, Ρ., Σημειώσεις Γεωδαιτικής Αστρονομίας. Αθήνα: Τομέας Τοπογραφίας, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, 2008.
7. Νάκος, Β., Αναλυτική Χαρτογραφία. Αθήνα: Τομέας Τοπογραφίας, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, 2011.
8. <http://www.eng.ucy.ac.cy/ece331/notes/>, Πανεπιστήμιο Κύπρου 2005 *George Georgiou, University of Cyprus, last update on: 11/07/2012 09:12:50*

9. Χαλκιάς Χρίστος, Γεωγραφική Ανάλυση με την Αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής, Αθήνα: Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2015
10. Νάκος, Β. (2010) Μια Ανασκόπηση των Προβολικών Συστημάτων που Εφαρμόστηκαν στον Ελληνικό Χώρο.11ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας. Ναύπλιο, 9-10 Δεκεμβρίου 2010. Θεσσαλονίκη: Χαρτογραφική Επιστημονική Εταιρία Ελλάδος.
11. Χατζηπέτρος Α., 2006, Γεωλογία της Ελλάδος.
12. Λουπασάκης Κ., 2013: «Τεχνική Γεωλογία Ι» Διαφάνειες Μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
13. Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2002). Τεχνική Γεωλογία, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
14. Λέκκας, Ε. Α., Α., Ζόζιος, Σ. Γ, Δανάμος, Γ. Δ. (2001) Γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής μεταξύ των ορέων Αιγάλεω και Πάρνηθας (Αττική, Ελλάδα) και η σημασία τους στον αντισεισμικό σχεδιασμό.
15. Χύσαϊ Α., 2018 : «Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας και σχεδίαση των έργων ανάσχεσης σε βραχώδη πρανή του λόφου των Τουρκοβουνίων», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
16. Saha AK, Gupta RP, Arora MK, 2002: *GIS – based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalaya.*
17. Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταζάκη, Σ., Τομαή, Ε. 2016. Συστήματα Αναφοράς και Μετασχηματισμοί Δεδομένων. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κονταζάκη, Σ., Τομαή, Ε. 2016. Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας - Αρχές και Τεχνολογίες.
18. Χαλκιάς, Χ., Γκούσια, Μ., 2015. Γεωγραφική ανάλυση με την αξιοποίηση της γεωπληροφορικής.
19. Νάκος, Β., 2015. Αναλυτική χαρτογραφία. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

20. Γιαννίου και Μάστορης, 2006, *Ανάπτυξη του ελληνικού συστήματος εντοπισμού HEPOS, Κτηματολόγιο Α.Ε., Χολαργός.*
21. Suzen M and Doyuran V (2004) *Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. Engineering Geology 71:303-321. DOI:10.1016/S0013-7952(03)00143-1*
22. Cruden, D.M., and Varnes, D. J., (1996), «Landslide types and processes», In: Turner, A.K., & Shuster, R.L., (ed.) *Landslides: Investigation and Mitigation, Transp Res Board, Spec. Rep. 247, pp 36-75*
23. Saaty W. R., 1987. *The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used, Mathematical Modelling, Vol. 9, p. 161-176*
24. Vos, W. & Stortelder, A.H.F., 1992: «*Vanishing Tuscan Landscapes. Landscape Ecology of a Submediterranean Montane Area*», Solano Basin, Tuscany, Italy.
25. Bankov, N., 1998: «*Dynamics Of Land Cover/Use Changes In Relation To Socio –Economic Conditions In The Psilorites Mountain Of Crete, Greece*» MSc, *Mediterranean Agronomic Institute Of Chania (M.A.I.Ch.), Chania*
26. Wieczorek, GF., Mandrone, G. & DeCola, L. ,1997, *The influence of hillslope shape on debris-flow initiation. In: Chen, C.L. (Ed.) Debrisflow Hazards Mitigation*
27. Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I.C., Dhital, M.R., Althuwaynee, O.F. (2013) “*Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya*”, *Natural Hazards, 65, 135–165*
28. Κιτσάκη Μ., Μπαρμπαγιάννη Δ. (2014). *Ζωνοποίηση της Κατολισθητικής Επικινδυνότητας στο Όρος Πήλιο με τη Συμβολή Δεδομένων Συμβολομετρίας Μόνιμων Σκεδαστών, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Αθήνα.*

29. Τσούβαλης Ο. (2020). *Διερεύνηση Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας με την Εφαρμογή Προηγμένων Τεχνικών Χωρικής Ανάλυσης – Η περίπτωση του Ανατολικού Πηλίου*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Αθήνα
30. Ε.Α.Γ.Μ.Ε., 2019. *Τεχνικογεωλογική έρευνα οριοθέτησης πληγείσων περιοχών του Δήμου Ζαγοράς – Μουρεσίου από τις κατολισθήσεις του 2018*.
31. <https://www.calculushowto.com/curvilinear/>
32. Παράσχος Α.. (2012). *Συστήματα Αναφοράς στη Γεωδαισία, Κρήτη*
33. Κωτούλάκης Μ., 2005. *Η Κατάσταση του Περιβάλλοντος στον Νομό Μαγνησίας*, Κεφαλαίο 9.

9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Frequency Ratio

Data Layers	Class	Pixels	% Class Pixels	Landslide Pixels	% Landslide Pixels	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)	MinR F	MaxRF	Max- MinRF	(Max- Min)MinRF	PR
Lithology	ΜΑΡΜΑΡΑ	31715	3,10	2500	2,68	0,078827	0,164308	16,43082	16					
	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	209733	20,47	10625	11,41	0,05066	0,105596	10,55957	10					
	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ	9792	0,96	0	0,00	0	0	0	0					
	ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΩΝ - ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ ΜΕ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ ΚΑΙ ΨΑΜΜΙΤΩΝ	290132	28,32	10625	11,41	0,036621	0,076334	7,633388	7					
	ΦΥΛΛΙΤΕΣ, ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ, ΓΝΕΥΣΙΟΙ,	445720	43,50	66250	71,14	0,148636	0,309819	30,98188	30					

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ ΚΑΙ ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ														
ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΛΟΥΤΩΝΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	17495	1,71	1250	1,34	0,071449	0,148929	14,89293	14						
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΧΑΛΑΡΑ ΕΩΣ ΜΕΤΡΙΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ	20041	1,96	1875	2,01	0,093558	0,195014	19,50141	19						
SUM	1024628	1	93125	1	0,4797511	1	100		0	0,3098	19	0,30982	0,16404525	1,8886

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

Landuse/ Landcover	Μη δασικές περιοχές	333791	32,58	15625	16,78	0,046811	0,057343	5,734318	5					
	Χαλέπιος Πεύκη	9449	0,92	0	0,00	0	0	0	0					
	Οξυά	144401	14,09	5000	5,37	0,034626	0,042417	4,241663	4					
	Λιβάδια	146441	14,29	51875	55,70	0,354238	0,433942	43,39421	43					
	Καστανιά	11155	1,09	3750	4,03	0,336172	0,411811	41,18111	41					
	Αείφυλλα Πλατύφυλλα	379391	37,03	16875	18,12	0,044479	0,054487	5,448703	5					
	SUM	1024628	1	93125	1	0,816326	1	100		0	0,4339 42	0,433942	0,16404525	2,645258

Distance From Road Network	< 20m	18678	1,82	8750	9,40	0,468466	0,432443	43,24427	43					
	20- 50m	25594	2,50	8125	8,72	0,317457	0,293046	29,30462	29					
	50- 100m	104667	10,22	25000	26,85	0,238853	0,220486	22,0486	22					
	> 100m	875688	85,46	51250	55,03	0,058525	0,054025	5,402507	5					
SUM	1024627	1	93125	1	1,083301	1	100		0,05402 5	0,43244 3	0,37841 8	0,16404525	2,30678 8	

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

Precipitation	1200-1400 mm	25118	2,45	0	0,00	0	0	0	0					
	1000-1200 mm	118351	11,56	7500	8,05	0,063371	0,167776	6	16					
	800-1000 mm	146042	14,27	25000	26,85	0,171184	0,453212	3	45					
	600-800 mm	473435	46,26	51875	55,70	0,109572	0,290093	29,0093	29					
	400-600 mm	260527	25,46	8750	9,40	0,033586	0,088919	8,89190	5	8				
	SUM	1023473	1	93125	1	0,377712	1	100			0	0,453212	0,453212	0,16404525

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

Slope Angle	>45°	1307	0,13	625	0,67	0,478194	0,542393	54,2393	54					
	31-45°	47861	4,72	8750	9,40	0,182821	0,207365	20,73652	20					
	16-30°	44401 4	43,80	46250	49,66	0,104163	0,118148	11,81476	11					
	6-15°	41219 6	40,66	33750	36,24	0,081879	0,092871	9,287091	9					
	0-5°	10844 2	10,70	3750	4,03	0,034581	0,039223	3,922324	3					
	SUM	10138 20	1	93125	1	0,881638	1	100			0,039223	0,542393	0,50317	0,16404525

Relative Relief	>1501 m	3125	0,31	0	0,00	0	0	0	0					
	1001-1500 m	11626 6	11,40	3125	3,36	0,026878	0,02899	2,898995	2					
	801-1000 m	76759	7,53	3750	4,03	0,048854	0,052693	5,269291	5					
	601-800 m	74556	7,31	8750	9,40	0,117361	0,126583	12,65831	12					
	501-600m	45544	4,47	4375	4,70	0,096061	0,103609	10,36089	10					
	401-500 m	62302	6,11	14375	15,44	0,230731	0,248861	24,88606	24					
	301-400m	10940 1	10,73	20625	22,15	0,188527	0,20334	20,334	20					
	201-300m	17830 7	17,48	23125	24,83	0,129692	0,139883	13,98826	13					
	101-200m	16356 8	16,04	11875	12,75	0,0726	0,078304	7,830428	7					
	< 100m	19002 2	18,63	3125	3,36	0,016445	0,017738	1,773766	1					
SUM	10198 50	1	93125	1	0,927149	1	100		0	0,248861	0,248861	0,16404525	1,517024	

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

Slope Aspect	Flat (-1°)	98	0,01	0	0,00	0	0	0	0					
	North - N (0° – 22.5°)	56917	5,61	6875	7,38	0,12079	0,140759	14,07591	14					
	Northeast – NE (22.5° – 67.5°)	11271	7	11,12	10000	10,74	0,088718	0,103385	10,33847	10				
	East - E (67.5° – 112.5°)	12856	1	12,68	13125	14,09	0,102092	0,11897	11,89695	11				
	Southeast – SE (112.5° – 157.5°)	14786	2	14,58	20000	21,48	0,135261	0,157623	15,76228	15				
	South – S (157.5° – 202.5°)	13103	0	12,92	7500	8,05	0,057239	0,066702	6,670159	6				
	Southwest – SW (202.5° - 247.5°)	12678	3	12,51	11250	12,08	0,088734	0,103404	10,3404	10				
	West – W (247.5° – 292.5°)	11662	3	11,50	5625	6,04	0,048232	0,056206	5,620617	5				
	Northwest – NW (292.5° – 337.5°)	13107	2	12,93	10000	10,74	0,076294	0,088907	8,890695	8				

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

	North - N (337.5° - 360°)	62157	6,13	8750	9,40	0,140773	0,164045	16,40453	16					
	SUM	10138 20	1	93125	1	0,858132	1	100		0	0,164045	0,164045	0,16404525	1

Analytical Hierarchy Process

Factor	Lithology	Landuse/ Landcover	Road Network	Precipitation	Slope Angle	Relative Relief	Slope Aspect	Average	Weight
Lithology	1	1	1	2	2	2	2	0,181	10
Landuse/ Landcover	1	1	1	1	1	1	1	0,122	7
Road Network	1	1	1	2	1	1	1	0,134	8
Precipitation	0,50	1	1	1	0,50	1	1	0,090	5
Slope Angle	0,50	1	1	2	1	2	2	0,149	9
Relative Relief	0,50	1	1	1	0,50	1	1	0,099	6
Slope Aspect	0,50	1	1	1	0,50	1	1	0,099	6

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΤΟΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΓΟΡΑΣ – ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ ΠΗΛΙΟΥ

Factor	Lithology	LU/LC	Road Network	Precipitation	Slope Angle	Relative Relief	Slope Aspect	Total	Average	Consistency Measure
Lithology	0,20	0,14	0,15	0,20	0,31	0,22	0,22	1,45	0,181	7,25
LU/LC	0,20	0,14	0,15	0,10	0,15	0,11	0,11	0,97	0,122	7,20
Road Network	0,20	0,14	0,15	0,20	0,15	0,11	0,11	1,07	0,134	7,20
Precipitation	0,10	0,14	0,08	0,10	0,08	0,11	0,11	0,72	0,090	7,15
Slope Angle	0,10	0,14	0,15	0,20	0,15	0,22	0,22	1,19	0,149	7,19
Relative Relief	0,10	0,14	0,15	0,10	0,08	0,11	0,11	0,80	0,099	7,13
Slope Aspect	0,10	0,14	0,15	0,10	0,08	0,11	0,11	0,80	0,099	7,13
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		λmax	7,18
									CI	0,03
									RI	1,41
									C.Ratio	0,021084

Factors	Lithology	LU/LC	Road Network	Precipitation	Slope Angle	Relative Relief	Slope Aspect
Average	0,181	0,122	0,134	0,090	0,149	0,099	0,099
Final Weigth	10	7	8	5	9	6	6

