



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΠΑΠΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ GIS ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ
ΜΑΖΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΠΑΠΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5337

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ GIS ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΑΖΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής
Γεωγραφίας

Επιβλέπων

Αντώνιος Μουρατίδης

© Κωνσταντίνα Παπία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Φυσικής και
Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, 2019
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.



ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ GIS ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΑΖΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ –
Διπλωματική Εργασία

© Konstantina Papia, School of Geology, Dept. of Physical and Environmental
Geography, 2019

All rights reserved.

CONTRIBUTION OF GIS AND SATELLITE REMOTE SENSING IN THE
RECORDING OF MASS MOVEMENTS IN GREECE – *Bachelor Thesis*

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 το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το
συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του
Α.Π.Θ.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	8
1.1. Ορισμοί.....	8
1.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	10
2.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	10
2.2 Τηλεπισκόπηση	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	13
3.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά	13
3.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά	14
3.3 Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη του Ελληνικού χώρου	15
3.4 Σεισμικότητα και Σεισμική Επικινδυνότητα	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΕΡΓΑΛΕΙΑ	22
4.1 Συλλογή πληροφοριών	22
4.2 Συλλογή δεδομένων και εργαλεία επεξεργασίας.....	22
4.3 Προεπεξεργασία δεδομένων.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΥΡΙΩΣ ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS	24
5.1 Εισαγωγή δεδομένων σε περιβάλλον GIS.....	24
5.2 Διαμόρφωση και κατηγοριοποίηση δεδομένων	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΧΑΡΤΕΣ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: CASE STUDY	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	35



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Διπλωματική Εργασία» του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή και επιβλέποντα της εργασίας, κ. Αντώνιο Μουρατίδη, για την ανάθεση αυτής καθώς και για την εμπιστοσύνη, τον χρόνο και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον υποψήφιο διδάκτορα Καλαϊτζή Παναγιώτη, για τις συμβουλές και την βοήθεια του κατά την εκπόνηση της εργασίας.



Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της οργάνωσης και δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων των μετακινήσεων μαζών στον Ελληνικό χώρο, σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems/G.I.S.). Η συλλογή των δεδομένων βασίστηκε σε ηλεκτρονικά δημοσιεύματα και ερευνητικές εργασίες και πραγματεύεται κυρίως κατολισθητικά φαινόμενα που συνέβησαν κατά το διάστημα 1998-2018. Σκοπός είναι η δημιουργία μιας ευέλικτης και λεπτομερούς βάσης δεδομένων των κατολισθήσεων που συνέβησαν στην περιοχή της Ελλάδας καθώς και η δημιουργία χαρτών που δείχνουν την κατανομή τους στο χώρο και το χρόνο. Η επεξεργασία και η τελική διαμόρφωση των δεδομένων έγινε κυρίως με την χρήση του λογισμικού QGIS, όπως και άλλων λογισμικών (Google Earth, Microsoft Office).

ABSTRACT

The subject of the present study is the organization and production of a database concerning mass movement phenomena in Greece, in a GIS (Geographical Information System) environment. Data collection was based on articles and research papers and mainly deals with landslide phenomena concerning the period 1998-2018. The aim of this study is the production of a flexible and extensive database of landslides, alongside with the production of maps indicating their distribution in Greece. Processing and final configuration of data was accomplished with the use of software, such as QGIS and Google Earth.



Οι φυσικές καταστροφές, όπως είναι οι μετακινήσεις μαζών/κατολισθήσεις, οι πλημμύρες, οι σεισμοί, οι τυφώνες κ.α. έχουν σοβαρές συνέπειες τόσο κοινωνικές όσο και οικονομικές. Μια κατολίσθηση αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο καθώς εξαρτάται πολλούς παράγοντες όπως είναι η γεωλογία, η τεκτονική, οι υδρολογικές συνθήκες κ.α.. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η γνώση των διαδικασιών και των συνθηκών που τις προκαλούν. Η γνώση όλων των παραπάνω δίνει την δυνατότητα δημιουργίας βάσεων δεδομένων, που περιγράφουν επαρκώς τα φαινόμενα και επιτρέπουν την κατασκευή χαρτών επικινδυνότητας για την πρόληψη και άμεση ενημέρωση για αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

1.1. Ορισμοί

Η έννοια του όρου «κατολίσθηση», με την ευρύτερη έννοια της «μετακίνησης μαζών», περιλαμβάνει οποιαδήποτε αλλαγή στην επιφάνεια μιας κεκλιμένης επιφάνειας (πλαγιάς) που συνοδεύεται από μετακίνηση υλικού προς αναζήτηση μιας νέας θέσης ισορροπίας.

Διάφοροι ερευνητές, κατά καιρούς, έχουν προτείνει πολλούς ορισμούς σχετικά με τον όρο «κατολίσθηση» μερικοί από αυτούς αναφέρονται παρακάτω:

- Ο Varnes (1978) για να περιγράψει τις κατολισθήσεις χρησιμοποιεί τον όρο «μετακίνηση μαζών» θεωρώντας τον πιο πλήρη καθώς δεν αφορά μόνο την διαδικασία της ολίσθησης. Έτσι με τον όρο «μετακίνηση μαζών» περιλαμβάνει «κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή ροή και ερπυσμό»
- Ο Terzaghi (1950) ορίζει μια κατολίσθηση ως μια «γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω»
- Ο Cruden (1991) ορίζει την κατολίσθηση ως «κίνηση μιας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς τα κατάντη ενός πρανούς».

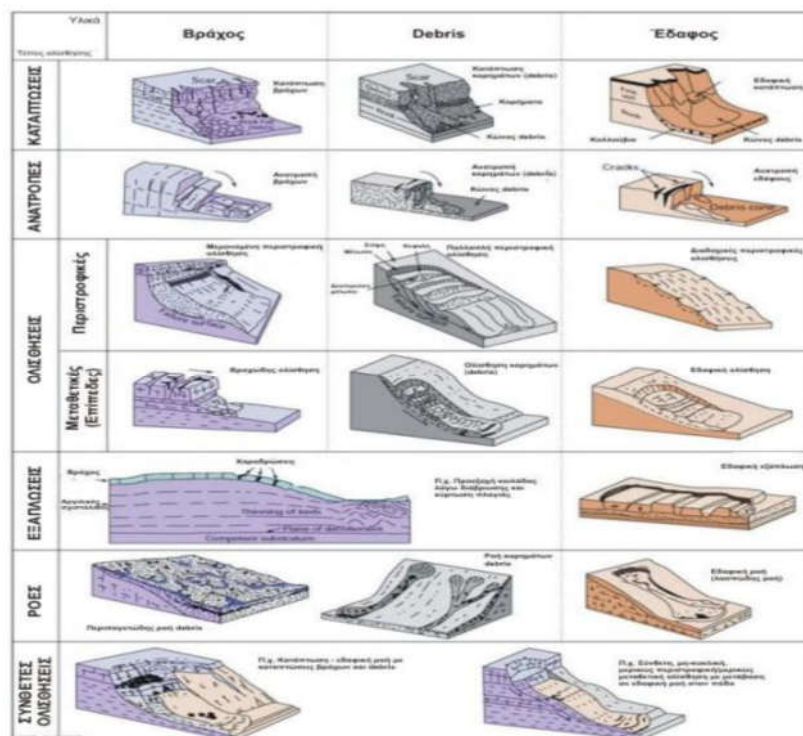
1.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Από τις ταξινομήσεις επικρατέστερη είναι η ταξινόμηση του Varnes (1978), ο οποίος χρησιμοποίησε δύο βασικά κριτήρια: τον τύπο της μετακίνησης και το είδος του μετακινούμενου υλικού.

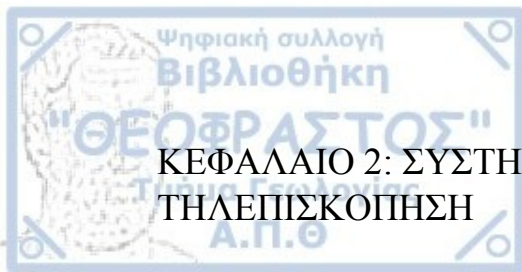
Οι τύποι της μετακίνησης, κατά τον Varnes, διακρίνονται σε:

- Πτώσεις (falls)
- Ανατροπές (topples)
- Ολισθήσεις (slides), οι οποίες διακρίνονται σε μεταθετικές και περιστροφικές
- Εξαπλώσεις (spreads)
- Ροές (flows)

Επίσης ο Varnes ορίζει μία έκτη κατηγορία, τις σύνθετες μετακινήσεις (complex movements), οι οποίες είναι συνδυασμοί δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης. Η ταξινόμηση αυτή φαίνεται στην Εικόνα 1.2.1.



Εικόνα 1.2.1 Απεικόνιση της ταξινόμησης κατολισθήσεων κατά Varnes 1978



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών/ΣΓΠ (Geographical Information Systems/G.I.S.) αποτελεί ένα «δυναμικό» εργαλείο συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, επεξεργασίας και απεικόνισης χωρικών δεδομένων που εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο (Goodchild 1985, Burrough and McDonnell 2000).

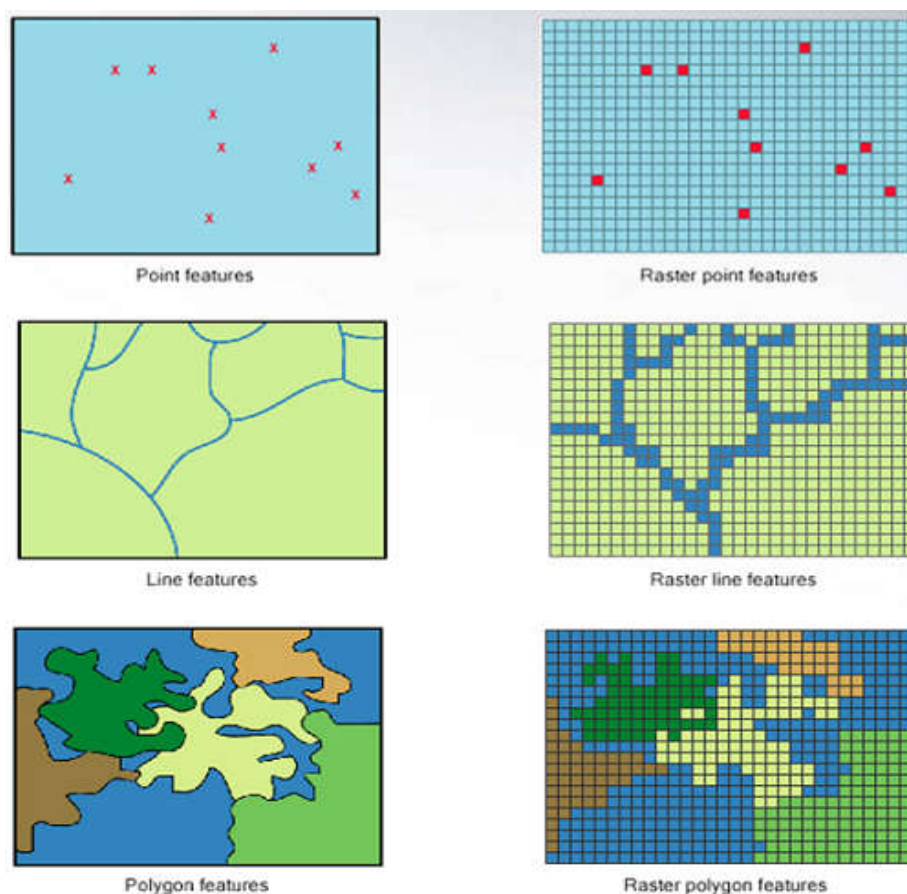
Πρόκειται για συστήματα τα οποία ασχολούνται με τη λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικά θέματα με την χρήση ή όχι Η/Υ. Ένα ΣΓΠ στηρίζεται σε μια βάση δεδομένων, αυστηρά προσανατολισμένων σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, η οποία αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων που σχετίζονται γεωγραφικά (Αστάρας κ.α. 2011).

Τα γεωγραφικά δεδομένα που εισάγονται σε ένα ΣΓΠ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Σε χωρικά δεδομένα, π.χ. θέσης, τα οποία χαρακτηρίζονται από την θέση τους στο χώρο σε σχέση με ένα σύστημα συντεταγμένων. Αυτά διακρίνονται σε:
 - Σημειακά επίπεδα πληροφοριών (points, nodes) όπως τριγωνομετρικά σημεία, θέσεις γεωτρήσεων κ.α.
 - Γραμμικά επίπεδα πληροφοριών (lines, arcs, edges) όπως ισοϋψείς καμπύλες, ρήγματα κ.α.
 - Επιφανειακά επίπεδα πληροφοριών ή πολύγωνα (polygons, patches) που καταλαμβάνουν μια έκταση όπως γεωλογικοί σχηματισμοί, διοικητικές ενότητες κ.α.
 - Δεδομένα αναγλύφου (ογκομετρικά) όπου καταλαμβάνουν μια συγκεκριμένη επιφάνεια αλλά εκτείνονται και στο χώρο.
- ii. Σε μη χωρικά δεδομένα, π.χ. τιμές, τα οποία περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της χωρικής θέσης.

Τα ψηφιακά δεδομένα που εισάγονται σε ένα ΣΓΠ καταχωρούνται με δυο βασικές δομές (Εικόνα 2.1.1.):

- Τη δομή κανάβου (raster), όπου ο χώρος διαιρείται σε ένα σύνολο βασικών μονάδων, κελιά ή ψηφίδες, με κανονικό σχήμα και διαμορφώνουν μια ψηφιδωτή δομή. Τα κελιά αυτά είναι τετράγωνα ίσου μεγέθους και καθορίζουν την διακριτική ικανότητα που απαιτείται να την σωστή καταγραφή της διαφοροποίησης των χαρακτήρων.
- Την δομή διανύσματος (vector), που έχει ως βασική μονάδα το διάνυσμα και επιδιώκει τον ακριβή εντοπισμό στο χώρο. Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για δεδομένα που ορίζονται ακριβώς με την χρήση γραμμών. Τα σημειακά δεδομένα είναι διανυσματικά δεδομένα μηδενικού μήκους και τα επιφανειακά δεδομένα ή πολύγωνα είναι κλειστές διανυσματικές γραμμές που ορίζουν μια έκταση.



Εικόνα 2.1.1. Αναπαράσταση σημειακών, γραμμικών, επιφανειακών δεδομένων σε μορφή διανύσματος (αριστερά) και σε μορφή κανάβου (δεξιά), πηγή: <http://gsp.humboldt.edu>.

Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) γενικά ονομάζεται η τεχνική συλλογής δεδομένων για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή περισσότερων αντικειμένων μια περιοχής, που συλλέγονται από απόσταση, είτε από τον αέρα είτε από το διάστημα, χωρίς την φυσική επαφή με τα αντικείμενα αυτά (Αστάρης, 2011).

Σήμερα στις γεωεπιστήμες χρησιμοποιούνται ευρέως οι «εικόνες», δηλαδή καταγραφές σε ορατά και μη τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έτσι, ο όρος της τηλεπισκόπησης έχει συνήθως την σημασία της «τηλεεικόνας» (remote imaging) (Verstappen, 1977).

Οι πιο χρήσιμες εικόνες στις γεωεπιστήμες είναι:

- Εικόνες ραντάρ από ραντάρ συνθετικής κεραίας ή αλλιώς SAR (Synthetic Aperture Radar)
- Πολυφασματικές εικόνες (Multispectral)
- Εικόνες σάρωσης στο υπέρυθρο (infrared) και κοντινό υπέρυθρο (near infrared) τμήμα του H/M φάσματος
- Θερμογραφήματα από σάρωση του μεσαίου (middle) και του μακρινού (far) υπέρυθρου τμήματος της H/M ακτινοβολίας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει, ότι η δυνατότητα ύπαρξης πολλών εικόνων, που σχηματίζονται σε διάφορες περιοχές του H/M φάσματος, είναι δυνατόν να παρέχει πληροφορίες για αντικείμενα που δεν μπορούν να ληφθούν από έναν μόνο τύπο εικόνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Γεωγραφικά, η Ελλάδα τοποθετείται στο νότιο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου μεταξύ της 34^{ης} και 42^{ης} παραλλήλου του Βόρειου ημισφαιρίου και καταλαμβάνει έκταση 132.049 km² (ΕΛΣΤΑΤ 2019). Η μορφολογία του εδάφους είναι έντονη με ορεινό-ημιορεινό ανάγλυφο του οποίου το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνεται από την ηπειρωτική χώρα και ένα μικρότερο ποσοστό από τα νησιά.

Η μορφολογία της ηπειρωτικής χώρας διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Στην κεντρική ηπειρωτική χώρα επικρατούν μεγάλα υψόμετρα και λίγες πεδινές εκτάσεις, εξαιτίας της οροσειράς της Πίνδου, ενώ ανατολικά αυτής κυριαρχούν μικρότερα υψόμετρα με περισσότερες πεδινές εκτάσεις. Αυτές οι μεταβολές του αναγλύφου (ορεινές και πεδινές περιοχές, νησιά) συμβάλουν στη διαφοροποίηση του κλίματος στον Ελληνικό χώρο.



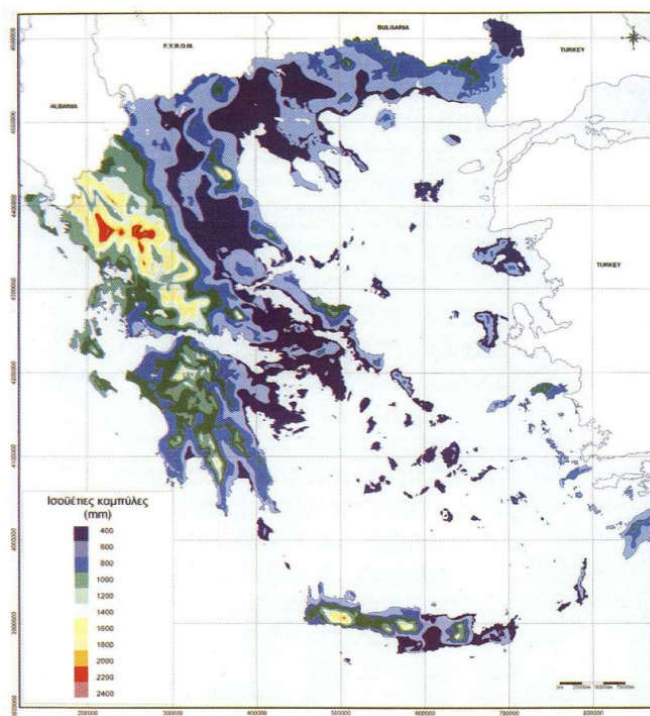
Εικόνα 3.1.1. Γεωμορφολογικός χάρτης της Ελλάδας, πηγή: <https://maps-for-free.com/>

3.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα στην Ελλάδα είναι κυρίως μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ήπιους και υγρούς χειμώνες και από θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Ωστόσο λόγω του έντονου αναγλύφου, παρουσιάζεται ποικιλία κλίματος σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Έτσι, η Ελλάδα μπορεί να χωριστεί, από κλιματική άποψη, με βάση την διάταξη των ορεινών της όγκων σε τρεις περιοχές (Βουβαλίδης Κ., 2011):

- Τη Δυτική περιοχή, η οποία εκτείνεται στα δυτικά του ορεινού όγκου της Πίνδου και τις δυτικές ακτές της Πελοποννήσου
- Την υπόλοιπη Ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, μαζί με τη Θάσο, τις Σποράδες και την Εύβοια.
- Τα νησιά του Αιγαίου πελάγους και την Κρήτη.

Οι αλλαγές στο κλίμα έχουν άμεση σχέση στην κατανομή των βροχοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο. Παρατηρείται ότι το ετήσιο ύψος βροχής αυξάνεται από την οροσειρά την Πίνδου και δυτικά της σε αντίθεση με τα ανατολικά όπου παρατηρείται μείωση αυτού (Εικόνα 3.2.1.). Οι ισοϋετείς καμπύλες φαίνεται να ακολουθούν την μορφολογία του εδάφους.



Εικόνα 3.2.1. Βροχομετρικός χάρτης του Ελληνικού χώρου (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο (Ε.Μ.Υ., 2019).

3.3 Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη του Ελληνικού χώρου

Ο Ελληνικός χώρος χαρακτηρίζεται από σύνθετη γεωλογική δομή που οφείλεται κυρίως στην Αλπική ορογένεση με δύο κύριες περιόδους τεκτονικών διεργασιών κατά το Κρητιδικό και το Ηώκαινο-Ολιγόκαινο. Σύμφωνα με την στρωματογραφική και τεκτοορογενετική εξέλιξη, ο Ελληνικός χώρος χωρίζεται σε 14 γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες ονομάζονται «Ελληνίδες Ζώνες». Οι Ελληνίδες ζώνες χωρίζονται επιμέρους στις Εσωτερικές (Περιοδοπική, Αξιού, Πελαγονική, Αττικοκυκλαδική, Υποπελαγονική), στις Εξωτερικές (Παρνασσού-Γκιώνας, Ωλονού-Πίνδου, Γαβρόβου-Τρίπολης, Αδριατικοϊόνιος, Παξών) και στην Ελληνική Ενδοχώρα (μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής). Εκτός από τις παραπάνω 12 ζώνες αναφέρονται επίσης η ενότητα «Πλακωδών ασβεστολίθων-Ταλέα όρη» και η ενότητα Βοιωτίας. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των κύριων γεωτεκτονικών ζωνών.

Μάζα Ροδόπης (Rh)

Η Γεωτεκτονική ζώνη της Ροδόπης βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Ελλάδας και περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο της Ροδόπης ενώ δυτικό όριό της αποτελεί η γραμμή του ποταμού Στρυμόνα. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα ηλικίας Κάτω Παλαιοζωικού και Τριτογενούς, αντίστοιχα. Η Μάζα της Ροδόπης χωρίζεται σε δυο επιμέρους τεκτονικές ενότητες:

- Την ενότητα Σιδηρόνερου, που αποτελείται από ορθογνέσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων, μιγματίτες και αμφιβολίτες.
- Την ενότητα Παγγαίου, που αποτελείται από ένα κατώτερο ορίζοντα ορθογνέσιων, σχιστόλιθων και αμφιβολιτών, ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων



μεγάλου πάχους και έναν ανώτερο ορίζοντα εναλλαγών σχιστολίθων και μαρμάρων.

Σερβομακεδονική Μάζα (Sm)

Η Σερβομακεδονική Μάζα εκτείνεται από το δυτικό όριο της Μάζας της Ροδόπης (δυτικά του ποταμού Στρυμόνα) μέχρι και το ανατολικό όριο της Ζώνης Αξιού και τη Χαλκιδική. Αποτελείται, όπως και η μάζα της Ροδόπης, κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα και χωρίζεται σε δυο μεγάλες ενότητες:

- Την ενότητα των Κερδυλλιών, με μιγματιτικούς βιοτιτικούς γνεύσιους, γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, αμφιβολίτες, αμφιβολιτιωμένους εκλογίτες και μάρμαρα.
- Την ενότητα του Βερτίσκου, που αποτελείται από μια ακολουθία μιγματιτικών, οφθαλμοειδών ορθογνεύσιων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και μαρμάρων, ενώ στα ανώτερα συμμετέχουν μεταγάββροι-μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες.

Περιοδοπική Ζώνη (CR)

Η Γεωτεκτονική ζώνη αυτή βρίσκεται μεταξύ του δυτικού περιθωρίου της Σερβομακεδονικής μάζας και της Ζώνης Αξιού και μαζί με την Σερβομακεδονική καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της Χαλκιδικής. Αποτελείται κυρίως από Περμοτριάδικα ιζήματα και τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Ροδόπης-Σερβομακεδονικής.

Ζώνη Αξιού (Pe:Υποζώνη Παιονίας, Pa:Υποζώνη Πάικου, Al:Υποζώνη Αλμωπίας)

Η ζώνη Αξιού εκτείνεται από το δυτικό όριο της Περιοδοπικής ζώνης, επεκτείνεται μέχρι το Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο και κάμπτεται προς την Μικρά Ασία. Η ζώνη αυτή συγκροτείται από τρεις επιμέρους υποζώνες, της Παιονίας, του Πάικου και της Αλμωπίας και αποτελείται από αλπικά ιζήματα συχνά συμπτυχωμένα με μεταμορφωμένα πετρώματα του Παλαιοζωικού. Κύριο χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η παρουσία μεγάλων οφειολιθικών μαζών που εξαπλώνονται σε όλο τον χώρο της καθώς και η τεκτονική δομή της που χαρακτηρίζεται από συνεχή τεκτονικά λέπια με παράταξη ΒΔ-ΝΑ.

Πελαγονική Ζώνη (Pl)

Η ζώνη αυτή αποτελούσε το ύβωμα που χώριζε την αύλακα της Αλμωπίας στα ανατολικά από την αύλακα της Πίνδου στα δυτικά. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα πάνω στα οποία βρίσκονται Μεσοζωικά ιζήματα με την μορφή καλύμματος. Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο διαμορφώνουν γνευσιομένοι γρανίτες και ημιμεταμορφωμένα Περμοτριάδικα πετρώματα. Η ζώνη συγκροτείται επίσης από δυο ανθρακικά καλύμματα του Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και Άνωκρητιδικά επικλυσιγενή ιζήματα.

Αττικοκυκλαδική Ζώνη (Ac)

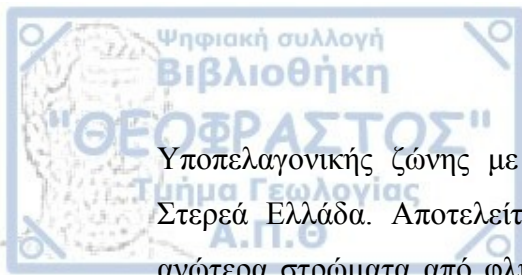
Η Αττικοκυκλαδική ζώνη περιλαμβάνει τα νησιά των Κυκλάδων, την Ικαρία και την Σάμο καθώς και το μεγαλύτερο τμήμα της Αττικής και Νότιας Εύβοιας. Αποτελείται από Άνω Τριαδικά μάρμαρα που υπερκαλύπτονται από μετα-φλύσχη του Τριτογενούς, από τη γλαυκοφανιτική σειρά με γλαυκοφανιτικούς σχιστόλιθους, μεταβασίτες και μεταηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα που βρίσκονται με την μορφή καλύμματος πάνω στην αυτόχθονη σειρά μαρμάρων και από ένα δεύτερο τεκτονικό κάλυμμα που αποτελείται από ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα, ανθρακικά του Άνω Τριαδικού, υπολείμματα οφειολιθικών πετρωμάτων και γνευσιακά, αμφιβολιτικά πετρώματα του υποβάθρου.

Υποπελαγονική Ζώνη (Sp)

Η Υποπελαγονική ζώνη (ή ζώνη Ανατολικής Ελλάδας) βρίσκεται δυτικά της Πελαγονικής και εκτείνεται κατά μήκος του μέσου κορμού της Ελλάδας προς την δυτική Θεσσαλία και ανατολική Στερεά Ελλάδα και από εκεί στα νησιά Σαλαμίνα, Ύδρα και την ανατολική Πελοπόννησο. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα αυτές σχιστοκερατολιθική διάπλαση όπου βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένες πάνω σε ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής. Πάνω από τα προηγούμενα τοποθετείται ο φλύσξης του Τριτογενούς, ενώ προς την πλευρά της ζώνης Πίνδου αναπτύσσεται μια μεγάλη αύλακα μολασσικών ιζημάτων μεγάλου πάχους.

Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας (Pk)

Η ονομασία της ζώνης αυτής οφείλεται στα αντίστοιχα βουνά της Στερεάς Ελλάδας που συγκροτούν την ζώνη και δεν εκτείνεται σε όλο το μήκος της επαφής της



Υποπελαγονικής ζώνης με την ζώνη Πίνδου, αλλά περιορίζεται στην Κεντρική Στερεά Ελλάδα. Αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους και δολομίτες και στα ανώτερα στρώματα από φλύσχη του Παλαιογενούς ενώ κύριο χαρακτηριστικό της είναι οι τρεις στρωματογραφικοί ορίζοντες βωξίτη που βρίσκονται μέσα στους ασβεστόλιθους

Ζώνη Ωλονού-Πίνδου (P)

Το όνομα της προέκυψε από τα βουνά Ωλονός στην Πελοπόννησο και την οροσειρά της Πίνδου όπου γίνεται η κύρια ανάπτυξη της ζώνης. Περιλαμβάνει τον κύριο κορμό της ηπειρωτικής Ελλάδας, την Στερεά Ελλάδα και Πελοπόννησο και έχει μερικές εμφανίσεις στα νησιά Κρήτη και Ρόδο. Η ζώνη αυτή αποτελεί ένα τεκτονικό κάλυμμα που έχει επωθηθεί προς τα δυτικά και ονομάζεται «Τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου» και χαρακτηρίζεται από πολλές λεπιώσεις. Αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (κερατόλιθους, ψαμμίτες, άργιλους) από ασβεστόλιθους, μάργες καθώς και οφειόλιθους, τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση, φλύσχη και τη μολασσική αύλακα μεγάλου πάχους.

Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης (G)

Η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως βρίσκεται δυτικά της ζώνης Πίνδου και προεκτείνεται από την Ήπειρο προς την Πελοπόννησο όπου παρεμβάλλεται τεκτονικά από την ζώνη Πίνδου. Τα πετρώματα της ζώνης αυτής είναι κυρίως ανθρακικά (δολομίτες, ασβεστόλιθοι) χωρίς παρεμβολές άλλων στρωμάτων και φλύσχης ενώ στην Κρήτη και Πελοπόννησο παρατηρούνται εμφανίσεις μεταμορφωμένων πετρωμάτων (φυλλίτες, χαλαζίτες) που θεωρήθηκαν προαλπικοί σχηματισμοί της ζώνης αυτής.

Αδριατικοϊόνιος Ζώνη (I)

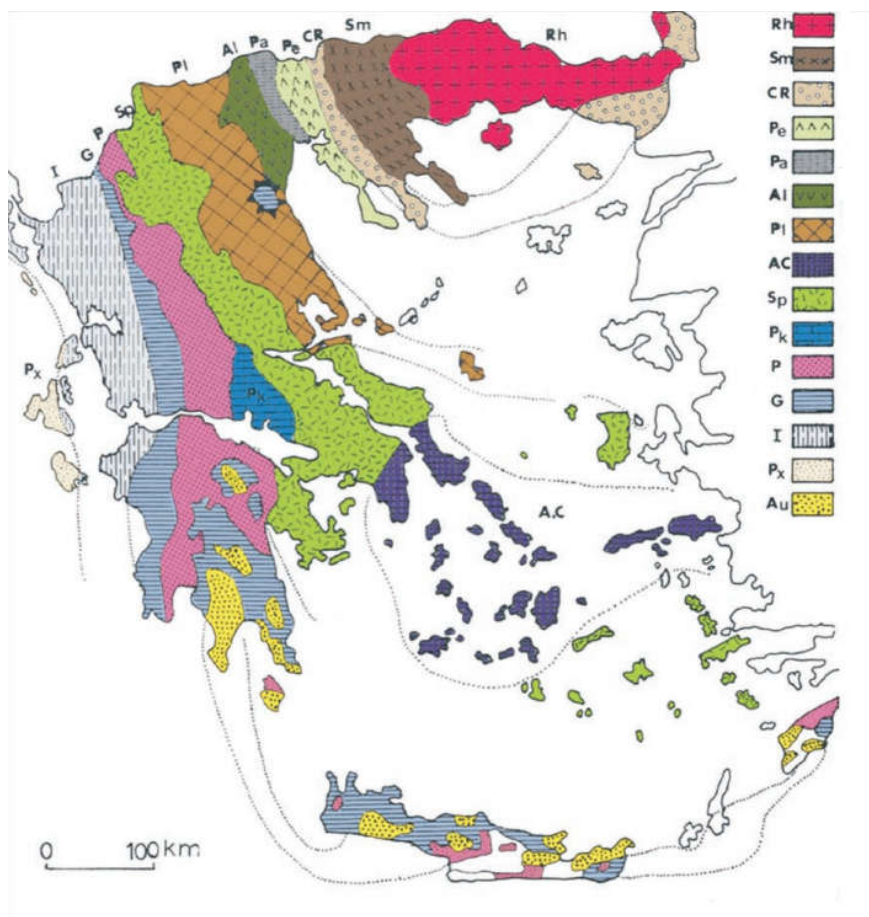
Η ζώνη αυτή αναφέρεται συχνά με το όνομα «Ιόνιος Ζώνη» και εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής ηπειρωτικής Ελλάδας και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία, τμήματα των Ιόνιων νησιών και τη δυτική Πελοπόννησο. Συγκροτείται αποκλειστικά από αλπικά ιζηματογενή πετρώματα τα οποία περιλαμβάνουν ένα στρώμα εβαποριτών μεγάλου πάχους, ασβεστόλιθους και δολομίτες καθώς και ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και φλύσχη.

Ζώνη Παξών (Px)

Η ζώνη αυτή εμφανίζεται μόνο στα Ιόνια νησιά Παξοί και Αντίπαξοι, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθος καθώς το μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται βυθισμένο κάτω από την θάλασσα. Χαρακτηρίζεται από συνεχή νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση και απουσία φλύσχη με εβαπορίτες, δολομίτες και ασβεστόλιθους.

Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι-Ταλέα όρη» (Au)

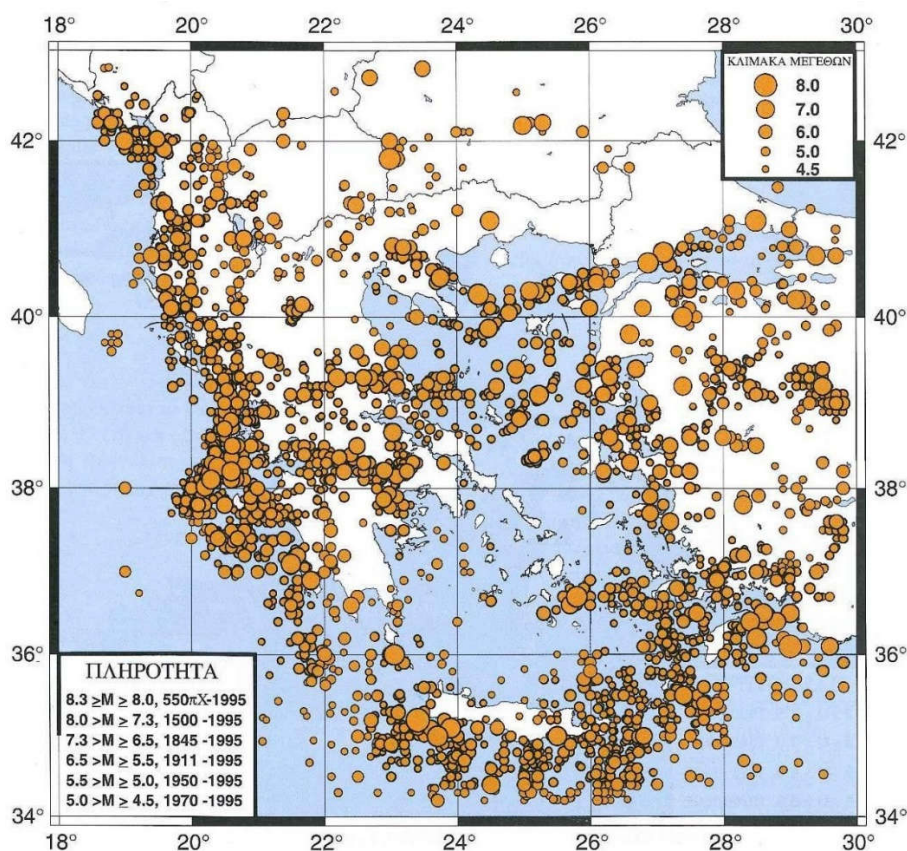
Η ενότητα αυτή αναφέρεται και ως «ενότητα Plattenkalk». Αποτελείται από ασβεστόλιθους συνήθως λεπτοπλακώδεις αλλά μερικές φορές παχυστρωματώδεις με κόνδυλους. Οι ασβεστόλιθοι της σειράς αυτής παρουσιάζουν σημαντική ανακρυστάλλωση υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας (HP/LT) και θεωρούνταν ως η μόνη αυτόχθονη ζώνη των Ελληνίδων πάνω στην οποία επωθήθηκαν όλες οι άλλες ζώνες.



Εικόνα 3.3.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. (Μουντράκης 2010)

3.4 Σεισμικότητα και Σεισμική Επικινδυνότητα

Η σεισμικότητα στην Ελλάδα κατανέμεται σε δυο κύριες σεισμικές ζώνες όπως φαίνεται και παρακάτω (Εικόνα 3.4.1). Η πρώτη ζώνη φαίνεται να ακολουθεί την δυτική και νότια παράκτια περιοχή της Ελλάδας ξεκινώντας από την Αλβανία και τα Ιόνια νησιά, καταλήγοντας στην Ρόδο ενώ η δεύτερη ζώνη φαίνεται να έχει βορειοανατολική-νοτιοδυτική διεύθυνση ξεκινώντας από την Τουρκία, στη συνέχεια στο Βόρειο Αιγαίο και καταλήγει στα Ιόνια νησιά. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό εξηγείται η υψηλή σεισμική δράση στα νησιά του Ιονίου. Στο νότιο τμήμα του Αιγαίου παρατηρούνται σεισμοί ενδιάμεσου βάθους κατά μήκος του Ελληνικού νησιωτικού τόξου και ιδιαίτερα στο εσωτερικό μέρος του. Η κατανομή των epicέντρων των σεισμών αυτών κατά μήκος του τόξου οφείλεται στην σύγκρουση και υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας, κάτω από την Ευρασιατική και πιο συγκεκριμένα την μικροπλάκα του Αιγαίου.

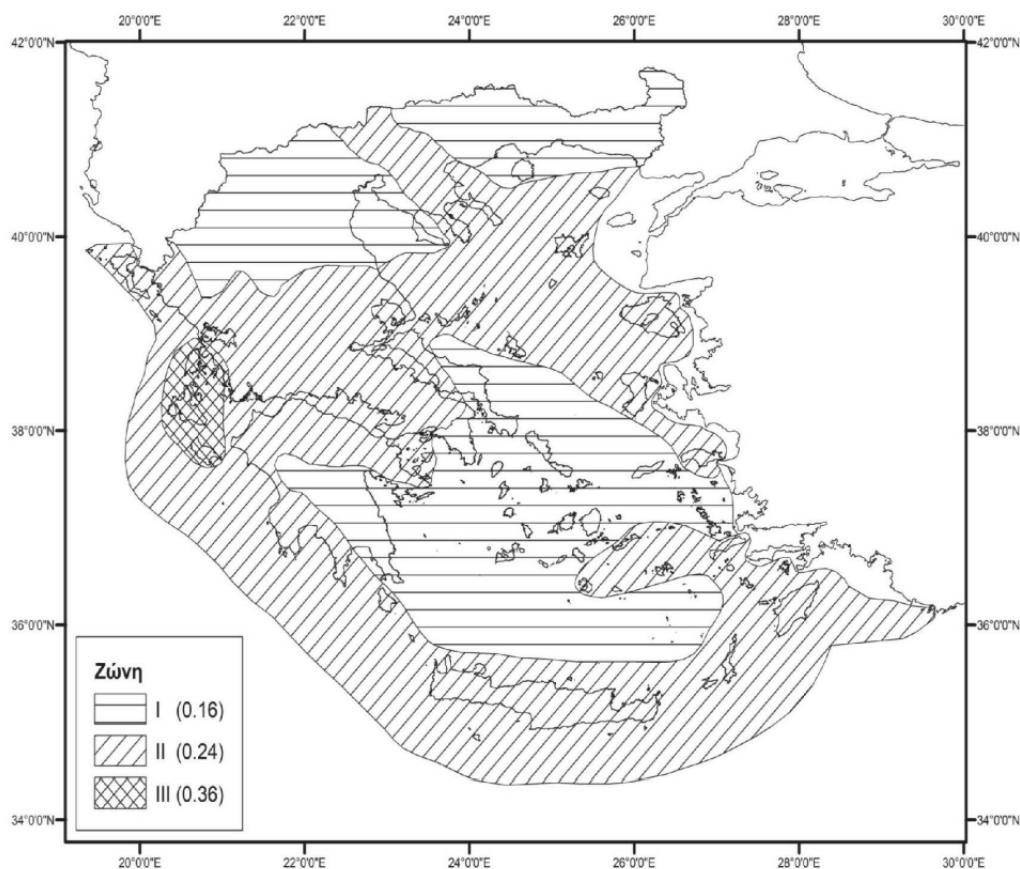


Εικόνα 3.4.1. Χάρτης epicέντρων επιφανειακών σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές (Παπαζάχος Κ. 1999)

Σύμφωνα με τον Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό κανονισμό, η Ελλάδα διαιρείται σε ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας όπως φαίνεται στο Νέο Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Εικόνα 3.4.2). Υπάρχουν τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες αντιστοιχεί μια τιμή εδαφικής επιτάχυνσης A , ανηγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας g (Πίνακας 3.4.1). Ως σεισμική επικινδυνότητα ενός τόπου ορίζεται η αναμενόμενη, στον τόπο αυτό, τιμή της σεισμικής έντασης σε καθορισμένο χρονικό διάστημα, με ορισμένη πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής.

Πίνακας 3.4.1. Σεισμική Επιτάχυνση εδάφους: $A=a \cdot g$ (g : επιτάχυνση βαρύτητας)

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
A	0.16	0.24	0.36



Εικόνα 3.4.2. Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας (<http://www.elinyae.gr>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΕΡΓΑΛΕΙΑ

4.1 Συλλογή πληροφοριών

Το πρώτο βήμα για την εκπόνηση της εργασίας είναι η συλλογή πληροφοριών περί των κατολισθήσεων στην Ελλάδα. Κύρια πηγή των πληροφοριών αποτέλεσε το διαδίκτυο καθώς και ερευνητικές εργασίες και οποιουδήποτε είδους διαδικτυακά δημοσιεύματα. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, πηγή πληροφοριών αποτέλεσε και η βάση δεδομένων κατολισθήσεων της Μπλιώνα (2008) με 397 καταγραφές κατολισθήσεων για την χρονική περίοδο 1998-2003.

Τελικώς, δημιουργήθηκε ένας πίνακας με 545 καταγραφές κατολισθήσεων για το χρονικό διάστημα 1998-2018 που περιλαμβάνει συγκεκριμένη κωδικοποίηση για κάθε καταγραφή, την περιοχή στην οποία έγινε η κατολίσθηση, την ημερομηνία καθώς και δευτερεύοντα στοιχεία όπως ο όγκος της κατολίσθησης, τραυματισμοί, θύματα κ.τ.λ.

4.2 Συλλογή δεδομένων και εργαλεία επεξεργασίας

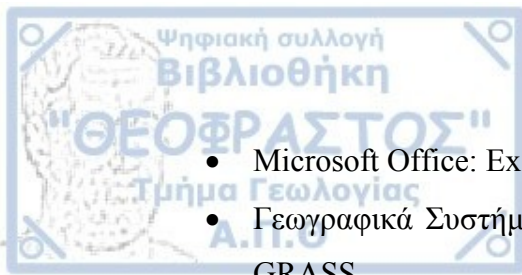
Το γεωδαιτικό Datum που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το Νέο Ελληνικό Datum, το οποίο βασίζεται στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 1987) και χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές αναφοράς GRS 80 όπως επίσης και την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή, TM87 (Transverse Mercator projection)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Γεωχωρικά δεδομένα με την μορφή shapefile (*.shp) των νομών της Ελλάδας (<http://geodata.gov.gr>)
- Γεωχωρικά δεδομένα με την μορφή shapefile (*.shp) των περιφερειών της Ελλάδας (<http://geodata.gov.gr>)
- Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακα 1:500.000 (Μπορνόβας κ.α. 1983)

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων είναι τα εξής:

- Google Earth Pro



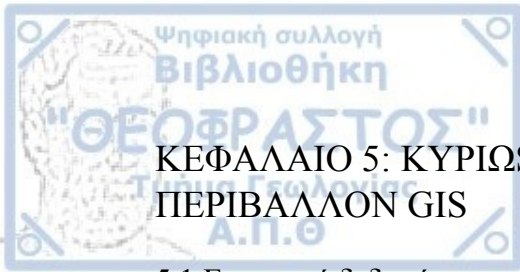
- Microsoft Office: Excel
- Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.): QGIS, έκδοση 2.18.17 with GRASS

4.3 Προεπεξεργασία δεδομένων

Αρχικά αποτυπώθηκαν οι κατολισθήσεις, σε επίπεδο οικισμού, όπου αυτό ήταν δυνατό, στο λογισμικό Google Earth με σκοπό την εξαγωγή των συντεταγμένων τους (φ: γεωγραφικό πλάτος/ latitude και λ: γεωγραφικό μήκος/ longitude) που κρίνονται απαραίτητες για την εισαγωγή τους μετέπειτα στα ΣΓΠ.

Έπειτα έγινε η εξαγωγή των καταγραφών από το λογισμικό Google Earth σε αρχείο της μορφής *.kmz και η εισαγωγή αυτού σε ένα πίνακα Microsoft Excel.

Η μορφή του πίνακα πρέπει να είναι συγκεκριμένη έτσι ώστε να μπορεί να αναγνωσθεί από το εκάστοτε ΣΓΠ. Η μορφή αυτή (*.csv) περιλαμβάνει διακριτά κενά μεταξύ των δεδομένων σε οριοθετημένες στήλες και γραμμές όπου κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει και μία κατολίσθηση ενώ οι στήλες αντιπροσωπεύουν τα επιμέρους χαρακτηριστικά της.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΥΡΙΩΣ ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ GIS

5.1 Εισαγωγή δεδομένων σε περιβάλλον GIS

Έπειτα το στάδιο της προεπεξεργασίας, που αναφέρθηκε παραπάνω, ο πίνακας που δημιουργήθηκε είναι έτοιμος για εισαγωγή σε περιβάλλον GIS. Έτσι, γίνεται η εισαγωγή του πίνακα με συμπλήρωση κάποιων απαραίτητων πεδίων ώστε να μπορεί να αναγνωσθεί από το λογισμικό.

Ένα από τα πεδία αυτά είναι ο καθορισμός της γεωμετρίας των στοιχείων του πίνακα. Η συγκεκριμένη περίπτωση αναφέρεται σε γεωμετρία σημειακών δεδομένων με συντεταγμένες (point coordinates) καθώς και ο καθορισμός αυτών, δηλαδή ποια στήλη του πίνακα αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό μήκος και ποια το γεωγραφικό πλάτος. Σημαντική, ωστόσο, είναι και αλλαγή της κωδικοποίησης των χαρακτήρων (encoding) από την προεπιλεγμένη του λογισμικού σε *windows-1253*, ώστε να γίνει δυνατή η ανάγνωση των ελληνικών χαρακτήρων. Το αρχείο που θα προκύψει αποθηκεύεται με την μορφή *shapefile*.

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την αλλαγή του προβολικού συστήματος αναφοράς των σημείων (reprojection) στο σύστημα αναφοράς που μας ενδιαφέρει (ΕΓΣΑ87), με αποτέλεσμα όλα τα δεδομένα να έχουν κοινό σύστημα αναφοράς, ώστε να είναι συγκρίσιμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του αλγόριθμου '*reproject layer*', του λογισμικού QGIS.

5.2 Διαμόρφωση και κατηγοριοποίηση δεδομένων

Επόμενο βήμα της παρούσας εργασίας, είναι η απεικόνιση της κατανομής των κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο. Η κατηγοριοποίηση αυτή μπορεί να γίνει σε επίπεδο:

- Νομού
- Περιφέρειας

Όπως επίσης και σε επίπεδο:

- Γεωτεκτονικής ζώνης



• Γεωλογία

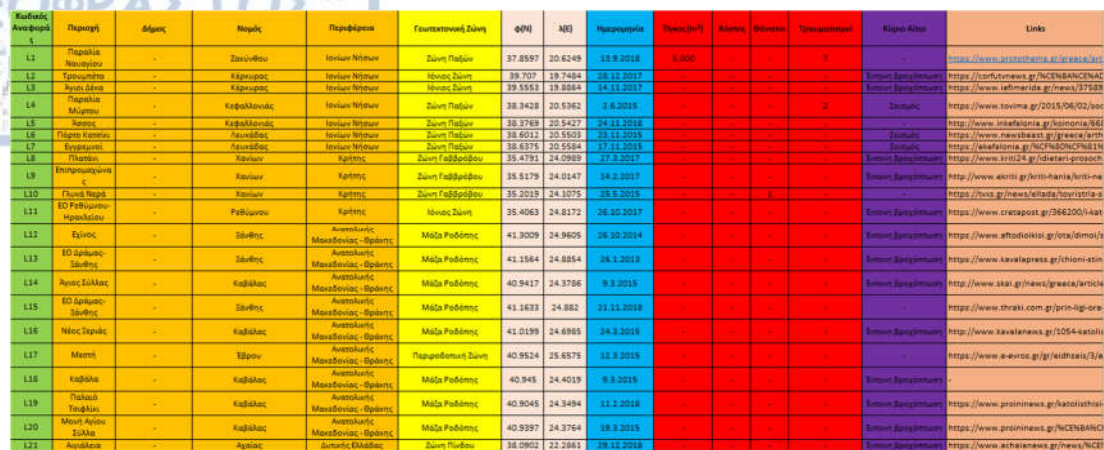
Για να γίνει όμως αυτό πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη πληροφορία. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία τριών στηλών πληροφοριών, που αφορούν τον νομό, την περιφέρεια καθώς και την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει η περιοχή που σημειώθηκε η κατολίσθηση.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν γεωχωρικά δεδομένα που αφορούν τους νομούς και τις περιφέρειες καθώς και δεδομένα που αφορούν τις γεωτεκτονικές ζώνες και τη γεωλογία τα οποία ψηφιοποιήθηκαν εκ νέου.

Η συμπλήρωση αυτών των πεδίων για κάθε μια κατολίσθηση ξεχωριστά, αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία. Ο αλγόριθμος *'join attributes by location'*, του QGIS, προσφέρει την δυνατότητα δημιουργίας νέων στηλών πληροφορίας, στον πίνακα που μας ενδιαφέρει, με βάση τη θέση των στοιχείων του στο χώρο. Έτσι με βάση τη θέση των σημείων των κατολισθήσεων, δημιουργήθηκαν τρεις νέες στήλες που περιλαμβάνουν τον νομό, την περιφέρεια και την γεωτεκτονική ζώνη στην οποία ανήκει η περιοχή όπου σημειώθηκε το γεγονός (Εικόνα 5.2.1). Το τελικό αρχείο αποθηκεύεται σε μορφή *shapefile* όπως επίσης και σε μορφή **.csv* για αποθηκευτεί αργότερα σε πίνακα του Microsoft Excel (Εικόνα 5.2.2).

Κωδικός Αν.	Περιοχή	Δήμος	Νομός	Περιφέρεια	Γεωτεκτονική	φ(°)	λ(°)	Ημερομηνία	Όγκος (m³)	Κάστος	Θάνατοι	Τραυματισμοί	Κύριο Αιτί	Links
1 L1	Παράλια Νεαγίου	-	Ζακύνθου	Ιόνιαν Ήρσαν	Ζώνη Παζών	37.8396799999999	20.6248499999999	13/09/18	5,000	-	-	7	-	https://www.protothema.gr/greece
2 L2	Τραυμλίτσα	-	Κέρκυρας	Ιόνιαν Ήρσαν	Ιόνιος Ζώνη	39.7069699999999	19.7484399999999	28/12/17	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://corfuherald.gr/%CE%94A
3 L3	Αγιο Δάμα	-	Κέρκυρας	Ιόνιαν Ήρσαν	Ιόνιος Ζώνη	39.5553299999999	19.8863600000000	14/11/17	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.iefimerida.gr/%CE%94A
4 L4	Παράλια Μάριου	-	Κεφαλονιάς	Ιόνιαν Ήρσαν	Ζώνη Παζών	38.3427799999999	20.5362000000000	02/06/15	-	-	-	2	Ισοκύς	https://www.tovima.gr/2015/06/02
5 L5	Ισσος	-	Κεφαλονιάς	Ιόνιαν Ήρσαν	Ζώνη Παζών	38.3769300000000	20.5427199999999	24/11/18	-	-	-	-	-	https://www.ekefalonia.gr/%CE%94A
6 L6	Πόρτο Καστί	-	Λευκάδας	Ιόνιαν Ήρσαν	Ζώνη Παζών	38.6011700000000	20.5503399999999	23/11/15	-	-	-	-	Ισοκύς	https://www.newsbear.gr/greece
7 L7	Εγγραινοί	-	Λευκάδας	Ιόνιαν Ήρσαν	Ζώνη Παζών	38.6374900000000	20.5583899999999	17/11/15	-	-	-	-	Ισοκύς	https://ekefalonia.gr/%CE%94A
8 L8	Πλατόν	-	Κανίων	Κρήτης	Ζώνη Γαββρόβου	35.4751400000000	24.0980700000000	27/03/17	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.kto24.gr/%CE%94A
9 L9	Επταμυρία	-	Κανίων	Κρήτης	Ζώνη Γαββρόβου	35.5178900000000	24.0147100000000	14/02/17	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	http://www.ekrti.gr/%CE%94A
10 L10	Γλυκό Νερό	-	Κανίων	Κρήτης	Ζώνη Γαββρόβου	35.2018600000000	24.1075300000000	25/05/15	-	-	-	1	-	https://hva.gr/%CE%94A
11 L11	ΕΟ Ρεθύμνου-Ηρ...	-	Ρεθύμνου	Κρήτης	Ιόνιος Ζώνη	35.4062600000000	24.8172299999999	26/10/17	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.cretapost.gr/366200/
12 L12	Εχίνος	-	Ενθης	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	41.3008999999999	24.9604600000000	26/10/14	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.aftodokias.gr/%CE%94A
13 L13	ΕΟ Δράμας-Ενθης	-	Ενθης	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	41.1564199999999	24.8854399999999	26/10/13	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.kavolapress.gr/%CE%94A
14 L14	Αγρος Σύλλας	-	Καβάλας	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	40.9416999999999	24.3786099999999	09/02/15	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	http://www.ekta.gr/%CE%94A
15 L15	Αγρος Σάρας	-	Ενθης	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	41.1633399999999	24.8819699999999	21/11/18	-	-	-	-	-	https://www.thraliki.com/%CE%94A
16 L16	Νέος Σάρας	-	Καβάλας	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	41.0199120000000	24.6984600000000	24/03/15	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	http://www.kavalanews.gr/1054-k
17 L17	Ματί	-	Εβρου	Ανατολικής Μακε...	Παροδοτική Ζώνη	40.9524100000000	25.6574600000000	12/03/15	-	-	-	-	-	https://www.e-evros.gr/%CE%94A
18 L18	Καβάλα	-	Καβάλας	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	40.9449899999999	24.4018900000000	09/02/15	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	-
19 L19	Πολιά Τσαλίκι	-	Καβάλας	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	40.9044600000000	24.3493900000000	11/02/18	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.pronews.gr/%CE%94A
20 L20	Μονή Αγίου Σιλίου	-	Καβάλας	Ανατολικής Μακε...	Μάζα Ροδόλης	40.9396800000000	24.3764000000000	19/03/15	-	-	-	-	Εντονη βροχόμ...	https://www.pronews.gr/%CE%94A

Εικόνα 5.2.1. Απόσπασμα από την βάση δεδομένων, που διαμορφώθηκε σε περιβάλλον GIS.



Στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο τα shapefiles των νομών, των περιφερειών, των γεωτεκτονικών ζωνών και της γεωλογίας κατέστη δυνατή η κατηγοριοποίηση των κατολισθήσεων. Με τον αλγόριθμο ‘*count points in polygon*’, του QGIS, μπορούν να μετρηθούν πόσα σημειακά δεδομένα περιέχονται σε ένα πολύγωνο και στο τέλος της διαδικασίας δημιουργείται ένα νέο shapefile με τον αριθμό των σημείων που περιέχονται σε κάθε πολύγωνο. Η διαδικασία αυτή έγινε τέσσερις φορές για την κατηγοριοποίηση με βάση τους νομούς, τις περιφέρειες, τις γεωτεκτονικές ζώνες και την γεωλογία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΧΑΡΤΕΣ

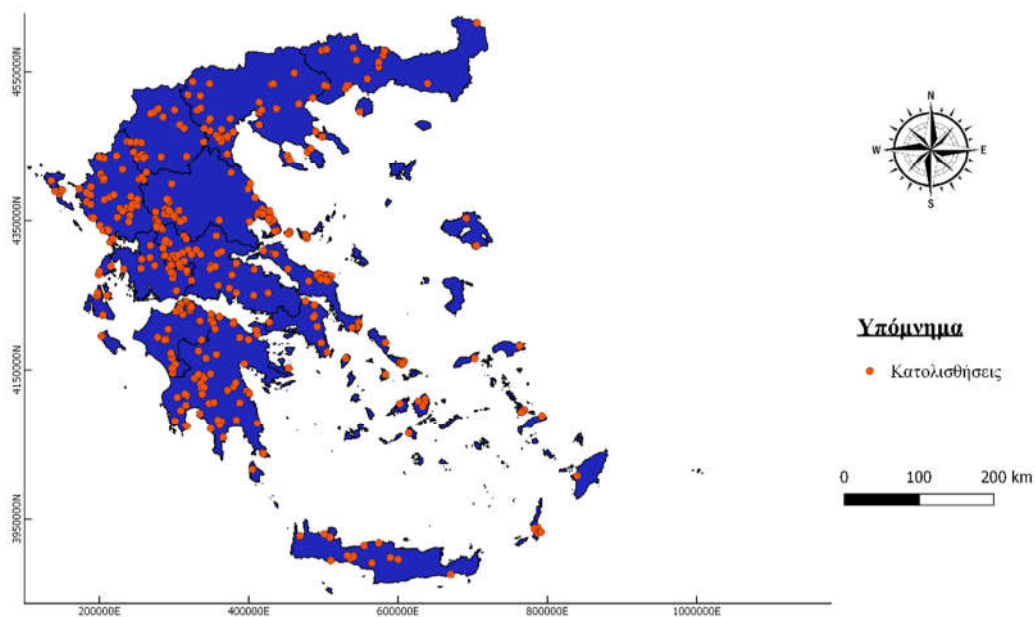
Με βάση την διαδικασία που αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, κατασκευάστηκαν οι εξής χάρτες:

1. Χάρτης εμφανίσεων των κατολισθήσεων (Εικόνα 6.1.)
2. Χάρτης κατολισθήσεων ανά νομό (Εικόνα 6.2.)
3. Χάρτης κατολισθήσεων ανά περιφέρεια (Εικόνα 6.3.)
4. Κανονικοποιημένος χάρτης με τον πληθυσμό του κάθε νομού (Εικόνα 6.4.)
5. Εποχιακός χάρτης (Εικόνα 6.5.)

Καθώς επίσης και τα εξής διαγράμματα:

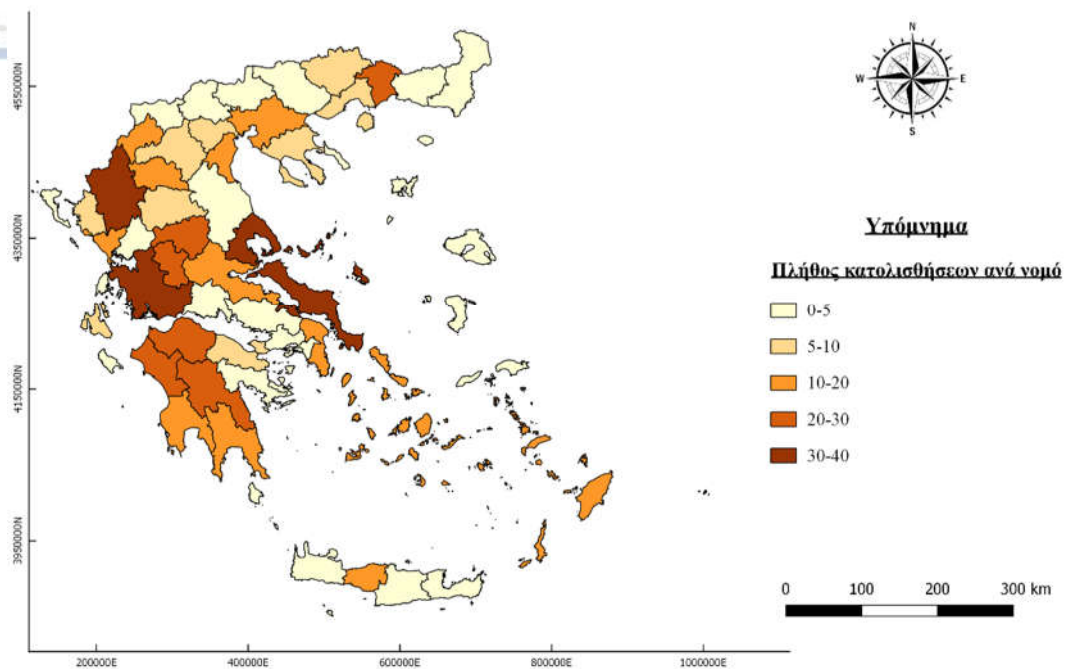
1. Πλήθος κατολισθήσεων ανά γεωλογικό σχηματισμό (Εικόνα 6.6.)
2. Πλήθος κατολισθήσεων ανά γεωτεκτονική ζώνη (Εικόνα 6.7.)

ΧΑΡΤΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (1998-2018)



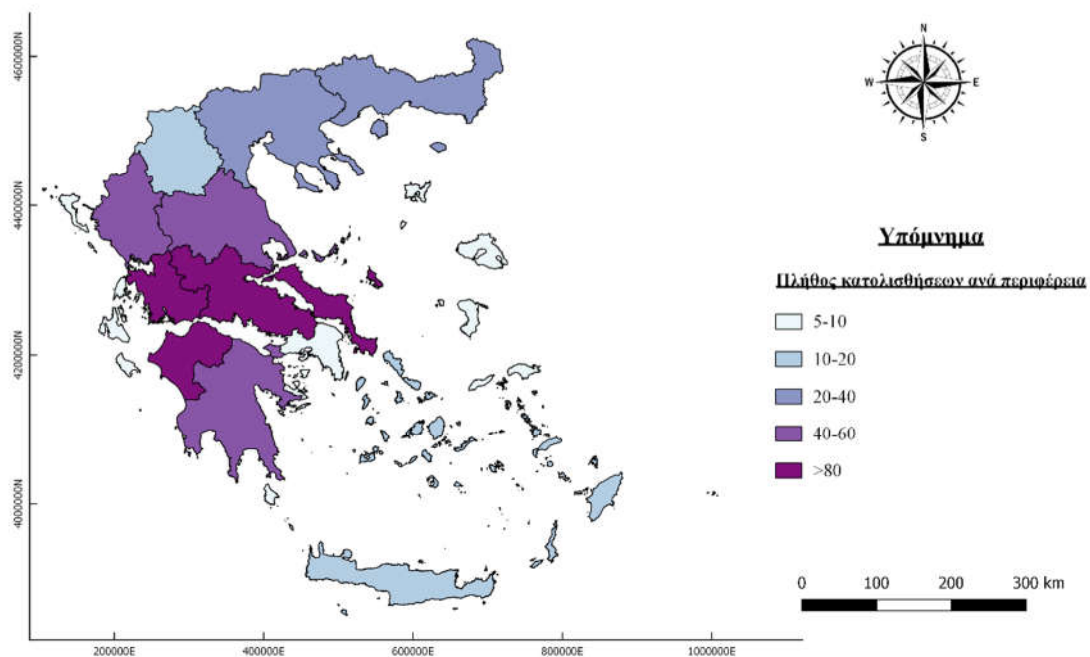
Εικόνα 6.1. Χάρτης εμφανίσεων κατολισθήσεων του Ελληνικού χώρου κατά την περίοδο 1998-2018.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ ΑΝΑ ΝΟΜΟ (1998-2018)



Εικόνα 6.2. Χάρτης κατολισθήσεων του Ελληνικού χώρου ανά νομό κατά την περίοδο 1998-2018

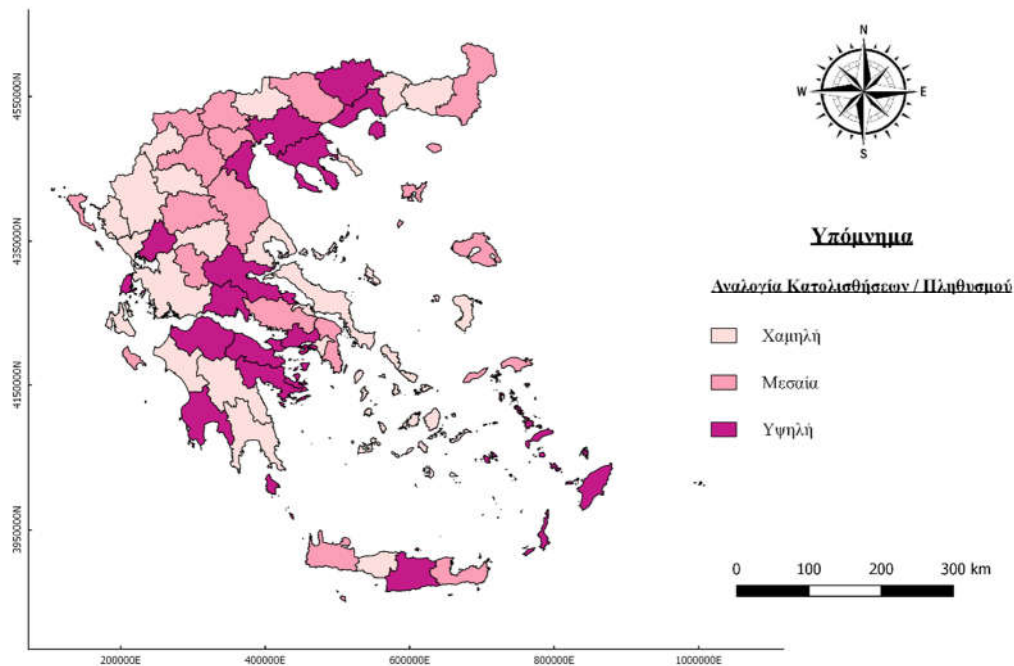
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ (1998-2018)



Εικόνα 6.3. Χάρτης κατολισθήσεων του Ελληνικού χώρου ανά περιφέρεια κατά την περίοδο 1998-2018.

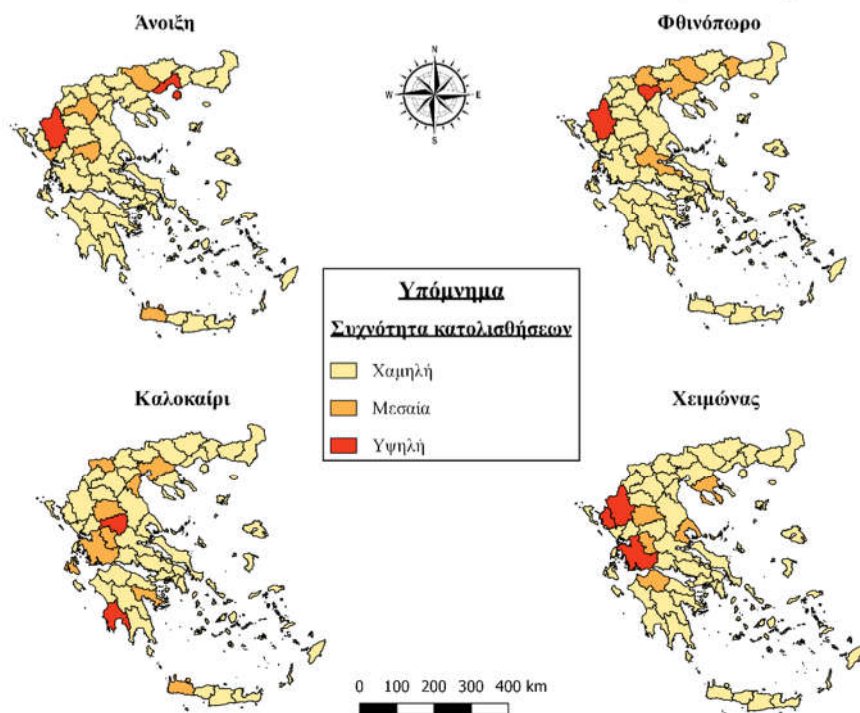
ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (1998-2018)

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΠΛΗΘΥΣΜΟ ΚΑΘΕ ΝΟΜΟΥ

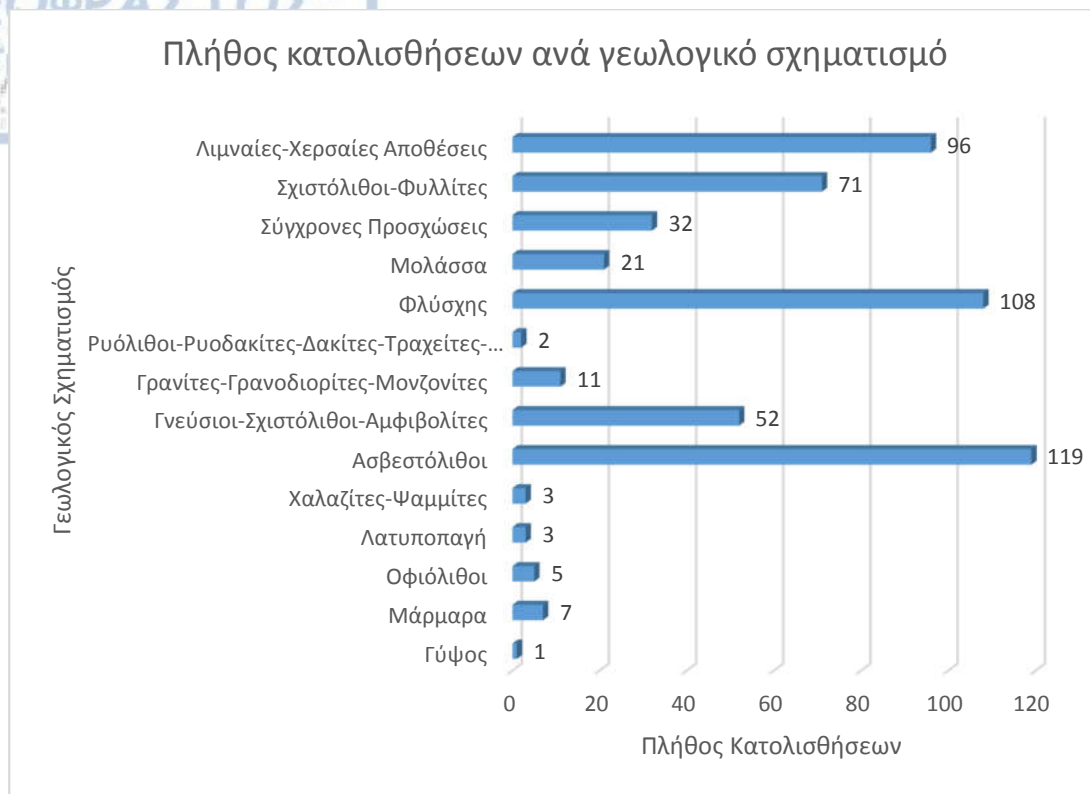


Εικόνα 6.4. Χάρτης κατολισθήσεων του Ελληνικού χώρου κατά την περίοδο 1998-2018, κανονικοποιημένος με τον πληθυσμό κάθε νομού.

ΕΠΟΧΙΑΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (1998-2018)



Εικόνα 6.5. Εποχιακός χάρτης κατολισθήσεων του Ελληνικού χώρου κατά την περίοδο 1998-2018.



Εικόνα 6.6. Διάγραμμα κατανομής των κατολισθήσεων ανά γεωλογικό σχηματισμό.



Εικόνα 6.7. Διάγραμμα κατανομής των κατολισθήσεων ανά γεωτεκτονική ζώνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: CASE STUDY

Από την βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε επιλέχθηκε μια περιοχή για περαιτέρω μελέτη με την χρήση οπτικών δορυφορικών εικόνων. Η περιοχή αυτή είναι η παραλία των Εγκρεμνών, στο νησί της Λευκάδας, όπου μετά από έναν ισχυρό σεισμό στις 17/11/2015, έγινε μια μεγάλη κατολίσθηση κατά μήκος της ακτής και υπήρχε διαθεσιμότητα οπτικών δορυφορικών εικόνων πριν και μετά το γεγονός. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δυο δορυφορικές εικόνες της σειράς Landsat-7/ETM+, με μέγιστη χωρική ανάλυση 15m, μια πριν (04/11/2015) και μία μετά την κατολίσθηση (6/12/2015), πηγή: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

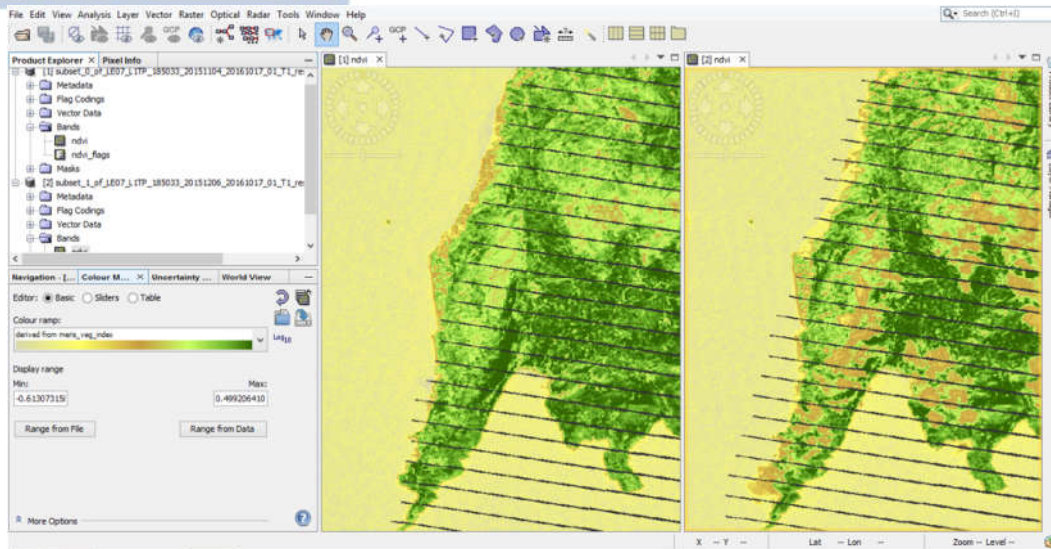
Οι φασματικές ζώνες των εικόνων της σειράς Landsat-7/ETM+, είναι σε αριθμό οκτώ και η κάθε μια αντιπροσωπεύει διαφορετικά μήκη κύματος στο H/M φάσμα (Εικόνα 7.1.).

Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
	Band 2 - Green	0.52-0.60	30
	Band 3 - Red	0.63-0.69	30
	Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.77-0.90	30
	Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
	Band 6 - Thermal	10.40-12.50	60 * (30)
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.09-2.35	30
	Band 8 - Panchromatic	.52-.90	15

Εικόνα 7.1. Φασματικές ζώνες των εικόνων Landsat-7/ETM, πηγή: <https://www.satimagingcorp.com>

Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων έγινε με την χρήση του λογισμικού SNAP και για τις εικόνες έχει προηγηθεί περικοπή στην περιοχή ενδιαφέροντος (subset). Έπειτα ακολούθησε ο υπολογισμός του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index/ NDVI) και στις δυο εικόνες, για να γίνει δυνατή η σύγκριση αυτών. Ο υπολογισμός του δείκτη NDVI γίνεται με την βοήθεια των φασματικών ζωνών του κόκκινου (Red/R) και του κοντινού υπέρυθρου (Near Infrared/NIR) και δίνεται από τη σχέση $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$. Η χρήση του δείκτη αυτού μεγιστοποιεί την διαφορά ανακλαστικότητας της βλάστησης μεταξύ της φασματικής ζώνης του κόκκινου και του κοντινού υπέρυθρου που έχουν χαμηλή και υψηλή ανακλαστικότητα αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, οι εικόνες τοποθετήθηκαν σε παράθεση (Window → Tile Evenly) για να γίνει δυνατή η σύγκριση και η ερμηνεία τους.



Εικόνα 7.2. Απόσπασμα από την εφαρμογή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) στο λογισμικό SNAP. Αριστερά βρίσκεται η εικόνα πριν από την κατολίσθηση και δεξιά η εικόνα μετά την κατολίσθηση.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.2., δυτικά κατά μήκος της ακτογραμμής παρατηρούνται ορισμένες διαφοροποιήσεις των χρωμάτων, οι οποίες αντιστοιχούν σε έλλειψη βλάστησης, σύμφωνα με το υπόμνημα. Τα σημεία όπου παρατηρούνται οι διαφοροποιήσεις πιθανώς αποτελούν τμήματα του όγκου που ολίσθησε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι κατολισθήσεις, ως φυσικός κίνδυνος, είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες. Η συνεχής συλλογή και ποσοτικοποίηση στοιχείων καθώς και η χαρτογραφική αποτύπωση τέτοιων φαινομένων δίνουν την δυνατότητα ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης με στόχο την διερεύνηση και την αντιμετώπιση των συνεπειών ή ακόμη και την πρόληψη τέτοιων φαινομένων.

Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και τα προϊόντα που παράχθηκαν (χάρτες, διαγράμματα) κατά την εκπόνηση της εργασίας, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

1. Οι περισσότερες κατολισθήσεις συγκεντρώνονται στην κεντρικό τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας ενώ στα νησιά και την ανατολική Ελλάδα φαίνεται να έχουμε λιγότερες εμφανίσεις.
2. Η συχνότητα των κατολισθήσεων κατά τους χειμερινούς μήνες φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στην δυτική Ελλάδα και Ήπειρο ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζονται φαινόμενα στην ανατολική και νότια Ελλάδα.
3. Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων συγκεντρώνεται μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών της Πελαγονικής με 120 καταγραφές, της Πίνδου με 111 καταγραφές και της ζώνης Γαββρόβου-Τρίπολης με 101 καταγραφές.
4. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως οι ασβεστόλιθοι, ο φλύσχης, πρόσφατες αποθέσεις καθώς και οι σχιστόλιθοι «φιλοξενούν» το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων.

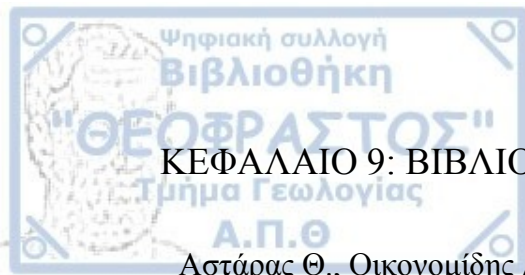
Η χρήση ενός GIS για την μελέτη και απεικόνιση τέτοιων φαινομένων αποτελεί σημαντικό εργαλείο, διότι με την άρτια χρήση του, δίνει την δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου αριθμού δεδομένων σε γρήγορο χρονικό διάστημα και επιτυγχάνει τον συνδυασμό διάφορων γεωχωρικών δεδομένων με σκοπό την αποκόμιση πληρέστερων αποτελεσμάτων.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντική πηγή δεδομένων για τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, καθώς η μορφή των δεδομένων της είναι συμβατή με αυτά και χρησιμοποιεί παρόμοια εργαλεία επεξεργασίας και απεικόνισης των



αποτελεσμάτων. Η τηλεπισκόπηση, επίσης, δίνει την δυνατότητα απόκτησης δεδομένων πρόσφατων και με χαμηλό έως καθόλου κόστος. Έτσι ο συνδυασμός τους, παρέχει μια πιο λεπτομερή και εποπτική εικόνα των αποτελεσμάτων.

Βάσει των παραπάνω, θα ήταν θεμιτό σε ένα επόμενο στάδιο, η περαιτέρω μελέτη και συλλογή πληροφοριών καθώς και η κατασκευή χαρτών επικινδυνότητας και επιδεκτικότητας σε περιοχές με αυξημένες εμφανίσεις. Επίσης η ανάπτυξη στατιστικών μοντέλων για την εκτίμηση των παραγόντων που συμβάλουν στην δημιουργία κατολισθήσεων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αστάρας Θ., Οικονομίδης Δ., Μουρατίδης Α., 2011. Ψηφιακή χαρτογραφία και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, Θεσσαλονίκη

Αστάρας Θ., 2011. Τηλεπισκόπηση-Φωτοερμηνεία στις γεωεπιστήμες, Θεσσαλονίκη, σελ. 25-27

Βουβαλίδης Κ., 2011. Φυσική Γεωγραφία, Θεσσαλονίκη, σελ 29

Κούκης, Γ.Χ., Σαμπατακάκης Ν. Σ., 2007. Γεωλογία Τεχνικών έργων, Αθήνα

Μουντράκης Δ. Μ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη

Μπλιώνα Μ., 2008. Ανάπτυξη βάσης δεδομένων κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο, Πάτρα

Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη-Τσιαμπάου Θ., Παπαβασιλείου Κ., 1983. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000, Αθήνα.

Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., 2003. Οι σεισμοί της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σελ 52-53

VARNES, D.J. (1978) Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides: Analysis and Control, National Research Council, Washington DC, Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy Press, Washington DC

Διαδικτυακές πηγές:

<http://www.hnms.gr/emy/el/>

<http://geodata.gov.gr/el/>

http://gsp.humboldt.edu/OLM_2017/OLM_Homepage/index.html

<https://maps-for-free.com/>

<http://www.oasp.gr/node/8>

<https://www.usgs.gov/>

<http://www.statistics.gr/>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://www.satimagingcorp.com>