



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΤΣΙΜΠΙΡΗ ΣΤΕΛΛΑ-ΧΡΥΣΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

***Γεωλογική και γεωμορφολογική
μελέτη της Σαντορίνης με τη χρήση
Τηλεπισκόπησης και GIS***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2017



ΤΣΙΜΠΙΡΗ ΣΤΕΛΛΑ-ΧΡΥΣΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

Γεωλογική και γεωμορφολογική μελέτη της Σαντορίνης με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και GIS

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον με ειδίκευση
Γεωγραφία και Περιβάλλον.

Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης :Παρασκευή 30/6/2017

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Οικονομίδης Δ.

Επιβλέπων

Παυλίδης Σ.

Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Βουβαλίδης Κ.

Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Παυλίδης Σ.

Καθηγητής, ως μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Βουβαλίδης Κ.

Αναπληρωτής Καθηγητής, ως μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Μουρατίδης Α.

Λέκτορας, ως μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°

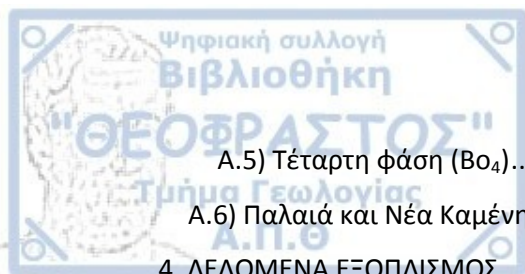
© Στέλλα-Χρυσή Τσιμπίρη, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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.



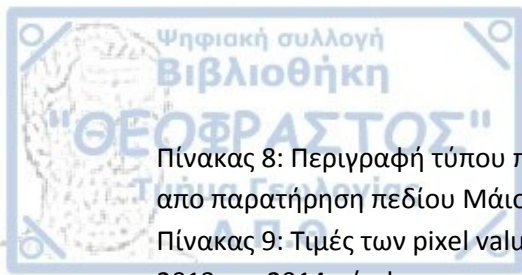
Κατάλογος Πινάκων	5
Κατάλογος Εικόνων	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	10
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	11
2.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	12
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2.2 ΚΛΙΜΑ	14
2.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ-ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ	15
2.4 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	16
2.4.1. Ηφαιστειακό τόξο	16
2.4.2 Τεκτονική της Σαντορίνης	18
3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ	19
3.1 Μή ηφαιστειακό υπόβαθρο	19
3.2 Ηφαιστειακοί σχηματισμοί.....	20
3.2.1 Πετρώματα του Ακρωτηρίου.....	20
3.2.2 Ηφαίστειο της Περιστερίας και του ηφαιστείου της Θήρας.....	20
3.2.3 Ηφαιστειακή δραστηριότητα του Ακρωτηρίου Θερμιά	22
3.2.4 Κατώτερο Στρώμα Κίσσηρης (Bu)	22
3.2.5 Ηφαίστειο Σημαντήρι.....	22
3.2.6 Μεσαίο Στρώμα Κίσσηρης(Bm).....	22
3.2.7 Ομάδα ηφαιστειών ηλικίας 40.000 χρόνων.....	23
3.2.8 Ηφαίστειο του Σκάρου και Μεγάλου Βουνού.....	24
3.2.9 Ιγκνιμβρίτης του Ρίβα	24
3.2.10 ΜΙΝΩΙΚΗ ΕΚΡΗΞΗ	25
Α) Ανώτερο στρώμα Κίσσηρης (Bo)	25
Α.1) Πρόδρομο στρώμα (Bo ₀).....	25
Α.2) Πρώτη φάση (Bo ₁)	26
Α.3) Δεύτερη φάση (Bo ₂)	26
Α.4) Τρίτη φάση (Bo ₃)	27



A.5) Τέταρτη φάση (Bo ₄).....	27
A.6) Παλαιά και Νέα Καμένη.....	28
4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	31
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	32
6. ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	34
6.1 Κλίση του αναγλύφου.....	35
6.2 Επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών στην διάβρωση	37
6.2.1 ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	39
6.2.2 ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ	41
6.2.3 ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	43
6.3 Υδρογραφική ένταση-υφή.....	46
7. ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΙΣ – ΡΟΔΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ(ROSE PLOTS)	54
8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (NDVI)	60
9. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ (CHANGE DETECTION)	72
10. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	75
10.1. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	76
10.2 Εκτίμηση επιβλεπόμενης ταξινόμησης	79
11. Συμπεράσματα.....	82
12.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	85
13.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87
13.1.1 Ξενόγλωσση:	87
13.1.2 Ελληνική.....	88
13.2 Ιστότοποι:.....	90

Κατάλογος Πινάκων

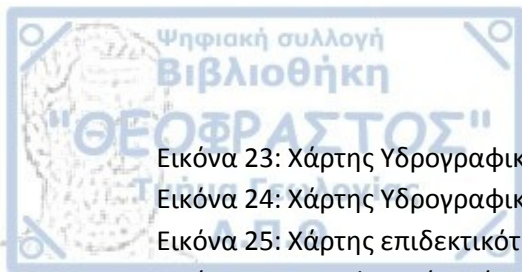
Πίνακας 1: Εκτάσεις του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης	13
Πίνακας 2: Ταξινόμηση του αναγλύφου με βάση την υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας κατά Dikau, (1989).	16
Πίνακας 3: Ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου σε έξι κλάσεις σύμφωνα με τον Demek (1972).	35
Πίνακας 4: Περιγραφή και συμβολισμός των πετρωμάτων την Σαντορίνης.(Εικόνα 16)	38
Πίνακας 5: Πίνακας περατότητας λιθολογικών σχηματισμών.(Wohletz et al, 1992, URL 21)	39
Πίνακας 6: Τιμές συνεκτικότητας των πετρωμάτων σε Mg/m ³ .(URL 22, URL 23).....	43
Πίνακας 7: Ταξινόμηση δείκτη βλάστησης(NDVI). (URL 18)	61



Πίνακας 8: Περιγραφή τύπου πυκνότητας βλάστησης και εκτίμηση επιφανειακής κάλυψης από παρατήρηση πεδίου Μάιος του 2014.	65
Πίνακας 9: Τιμές των pixel values (pn) και stretched values (sv) του NDVI για τα έτη 2010, 2013 και 2014 σύμφωνα με τον πίνακα identify από το πρόγραμμα ArcMap.	68
Πίνακας 10: Οι φασματικές ζώνες του Landsat 8.(URL 5).....	76
Πίνακας 11: Έκθεση ορθότητας/ακρίβειας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.(Εξαιτίας του περιορισμένου χώρου οι τάξεις (κλάσεις) δεν συμπληρώνονται στην πρώτη γραμμή.)	81
Πίνακας 12: Πετρώματα από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, 1980.	86

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Αριστερά: Θέση της Σαντορίνης στον χάρτη της Ελλάδας. Δεξιά: Τα νησιά των Κυκλάδων.(URL 4)	12
Εικόνα 2:Χάρτης της Σαντορίνης (URL 3)	13
Εικόνα 3: Μηνιαίες τιμές μέσης μέγιστης-ελάχιστης θερμοκρασίας και μέσες βροχοπτώσεις της Σαντορίνης με βάση στοιχεία της τελευταίας δεκαετίας. (URL 8)	14
Εικόνα 4: Κλαδί και κορμός ελιάς που σύμφωνα με τα οποία η Μινωική έκρηξη τοποθετήθηκε το 1613 π.χ.(Friedrich, 2013)	15
Εικόνα 5: Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου με τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα και την Ελληνική Τάφρο νότια της Κρήτης. (Papazachos and Panagiotopoulos, 1993, URL 10).....	17
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα.(URL 11)	17
Εικόνα 7: Τεκτονική κατάσταση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης. (Heiken and McCoy ,1984, URL 10).....	18
Εικόνα 8: Γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης.(Βουγιουκαλάκης, 1997)	21
Εικόνα 9: Φωτογραφίες από το Μεγάλο βουνό/μαύρες σκωρίες(πάνω σειρά) και φωτογραφία από το Κόκκινο Βουνό/κόκκινες σκωρίες (κάτω σειρά).....	23
Εικόνα 10: Φωτογραφία του Ιγκνιμβρίτη του Ρίβα.	24
Εικόνα 11: Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε σπασμένα σκαλιά από τους σεισμούς, ενώ στην δεξιά εικόνα έχουμε εκμαγεία κρεβατιών το ένα αναποδογυρισμένο πάνω στο άλλο σε προαύλιο χώρο.	25
Εικόνα 12: Φωτογραφία της τομής Schmidt στο βορειοδυτικό άκρο της Παλαιάς Καμένης.	29
Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση της δημιουργίας της Παλαιάς και Νέας Καμένης από το 197π.Χ. έως το 1950μ.Χ. (Βουγιουκαλάκης, 2005, Ι.Μ.Π.Η.Σ.)	30
Εικόνα 14: Χάρτης κλίσεων της Σαντορίνης.	36
Εικόνα 15: Γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης. (Από Druitt & Davies, 1994-1995)	37
Εικόνα 16: Χάρτης Περαιτότητας.....	40
Εικόνα 17: Χάρτης διηθητικότητας των εδαφικών καλυμμάτων.	42
Εικόνα 18: Χάρτης Συνεκτικότητας Πετρωμάτων.	44
Εικόνα 19: Χάρτης της επιδεκτικότητας διάβρωσης των λιθολογικών σχηματισμών.....	45
Εικόνα 20: Υδρογραφικό δίκτυο του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης.	47
Εικόνα 21:Χάρτης Υδρογραφικού δικτύου-Ρήγματα.(Από Mountrakis et al, 1996).....	48
Εικόνα 22: Χάρτης Υδρογραφικής Πυκνότητας.	49



Εικόνα 23: Χάρτης Υδρογραφικής Συχνότητας.	50
Εικόνα 24: Χάρτης Υδρογραφικής Υφής.	51
Εικόνα 25: Χάρτης επιδεκτικότητας διάβρωσης της Σαντορίνης.	53
Εικόνα 26: Δορυφορική εικόνα Landsat 8 του 2014 με συνδυασμό RGB 742.	55
Εικόνα 27: Ακτογραμμή της Σαντορίνης με α) τις φωτογραμμώσεις πάνω αριστερά, β) τα ρήγματα του Mountrakis et al, 1996 πάνω δεξιά, γ) τα ρήγματα του ΙΓΜΕ, 1980 κάτω αριστερά και δ) τα ρήγματα του Druitt (Druitt & Davies, 1994-1995) κάτω δεξιά.	56
Εικόνα 28: Ροδοδιάγραμμα των φωτογραμμώσεων.	57
Εικόνα 29: Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων από τον χάρτη των Mountrakis et al, 1996.	58
Εικόνα 30: Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων από τον χάρτη του ΙΓΜΕ, 1980.	58
Εικόνα 31: Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων από τον χάρτη των Druitt & Davies, 1994-1995.	59
Εικόνα 32: Παράδειγμα της μεταβολής του δείκτη NDVI ανάλογα με το ποσοστό παρουσίας της χλωροφύλλης σε ένα φυτό.(URL: 17).....	60
Εικόνα 33: Δείκτης NDVI για το έτος 2010.	62
Εικόνα 34: Δείκτης NDVI για το έτος 2013.	63
Εικόνα 35: Δείκτης NDVI για το έτος 2014.	64
Εικόνα 36: Χάρτης των 53 σημείων δειγματοληψίας φυτοκάλυψης από επίσκεψη υπαίθρου του Μαΐου 2014.	67
Εικόνα 39: Φωτογραφίες των σημείων παρατήρησης τύπων πυκνότητας βλάστησης της Σαντορίνης.	71
Εικόνα 38: Χάρτης ανίχνευσης αλλαγών μεταξύ των δορυφορικών εικόνων για τα έτη 2013 με 2010.	73
Εικόνα 39: Χάρτης ανίχνευσης αλλαγών(change detection) μεταξύ των δορυφορικών εικόνων για τα έτη 2014 με το 2013.	74
Εικόνα 40: Πολυφασματική εικόνα από επεξεργασία δορυφορικής εικόνας Landsat 8 που ελήφθη στις 21-5-2014.....	77
Εικόνα 41: Χάρτης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον Μάιο του 2014.	78
Εικόνα 42: Παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών της ταξινόμησης. (URL 2)	80
Εικόνα 43: Γεωλογικός χάρτης (Απο ΙΓΜΕ, 1980).	85



Για την ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού μου και της παρούσας διατριβής ειδίκευσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δημήτριο Οικονομίδη για την επιλογή του θέματος και την συνεχή βοήθεια κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης. Τους καθηγητές και το προσωπικό του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας για την συμβολή τους στην εργασία, καθώς και την εξεταστική επιτροπή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα, η παρακολούθηση της γεωλογικής και γεωμορφολογικής εξέλιξης μιας περιοχής μελέτης με τη χρήση μεθόδων της Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) πραγματοποιείται με περιορισμένο κόστος και με άμεσο αποτέλεσμα χάρη στην εκμετάλλευση αντίστοιχων λογισμικών. Με τη χρήση των λογισμικών αυτών γίνεται επεξεργασία και αξιολόγηση δορυφορικών κυρίως δεδομένων, όπως δορυφορικές πολυφασματικές εικόνες. Τα παραγόμενα αποτελέσματα μπορούν να ποικίλλουν, αναλόγως με τους στόχους της μελέτης και τις διαδικασίες επεξεργασίας που ακολουθούνται.

Στην συγκεκριμένη εργασία έχει εφαρμοστεί μια εμπειρική μέθοδος εκτίμησης της επιδεκτικότητας διάβρωσης της χερσαίας περιοχής του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μοντέλου επιδεκτικότητας διάβρωσης είναι λιθολογικοί, υδρογραφικοί αλλά και μορφολογικοί.

Επίσης με την χρήση ενός εργαλείου, συμπληρωματικό του προγράμματος Γ.Σ.Π. (ArcGIS), γίνεται εντοπισμός πιθανών ρηγμάτων μέσω εντοπισμού των φωτογραμμώσεων από δορυφορικές πολυφασματικές εικόνες, καθώς και δημιουργία ροδοδιαγραμμάτων των φωτογραμμώσεων ώστε να συγκριθούν οι τελευταίες με τα χαρτογραφημένα ρήγματα.

Επιπλέον μεγάλη βαρύτητα δίνεται στην πυκνότητα της βλάστησης είτε από υπαίθρια παρακολούθηση είτε με την χρήση των λογισμικών προγραμμάτων που προαναφέρθηκαν. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον χαρακτηρισμό της φυτοκάλυψης και των αλλαγών που παρουσίασε κατά τα έτη που μελετήθηκαν είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI), καθώς και δείκτες ανίχνευσης αλλαγών (change detection).

Τέλος στην περιοχή μελέτης πραγματοποιείται ταξινόμηση, σε κλάσεις, τόσο των χρήσεων γης όσο και της ίδιας της λιθολογίας, λόγω της πολύ περιορισμένης βλάστησης που παρατηρείται στην μεγαλύτερη έκταση της εν λόγω περιοχής .

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), επιδεκτικότητα διάβρωσης, ροδοδιαγράμματα, φωτογραμμώσεις, δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI), ανίχνευση αλλαγών.

ABSTRACT

Nowdays, the monitoring of geological and geomorphologic evolution of an area using Remote Sensing and Geographical Information Systems (GIS) can provide a plethora of results with limited cost and immediate effect by exploiting respective software. This can be achieved by processing and analyzing mainly satellite data, such as multispectral images.

During the current research, an empirical method has been applied for estimating the erosion susceptibility of the island complex of Santorini, Greece. The factors used to calculate the erosion susceptibility model are lithologic, hydrographic and morphologic.

Moreover, with the use of a GIS (ArcGIS) add-on, the possible faults have been identified by detecting photolineaments on the multispectral images whereas photolineaments rose plots have been used for the purposes of comparing these lineaments against known faults from geological maps.

Furthermore, emphasis is placed on the characterization of vegetation density, either from in-situ monitoring or by using the aforementioned software. The indicators used in the characterization of vegetation cover and the changes introduced during the years studied is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), as well as change detection indexes.

Finally, owing to the sparse vegetation cover over the study area, a classification of land use and lithology is performed.

Keywords: Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS), erosion susceptibility, rose plots, lineaments, normalized difference vegetation index (NDVI), change detection.



Στην σημερινή εποχή η συνεχόμενη ραγδαία αύξηση της τεχνολογίας με την βελτίωση και εξέλιξη των ψηφιακών μέσων Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π) επιτρέπουν στον χρήστη να συγκεντρώνει ψηφιακά γεωλογικά, τοπογραφικά, μετεωρολογικά και διαφόρων άλλων ειδών δεδομένα μέσω του παγκόσμιου ιστού σε πολύ περιορισμένη χρονική διάρκεια και στην συνέχεια να τα επεξεργάζεται με τα αντίστοιχα λογισμικά που επιλέγει.

Αποτέλεσμα αυτής της προόδου της εποχής μας είναι ότι οι επιστήμονες/ερευνητές να περιορίζουν τον χρόνο που χρειάζεται για την εξαγωγή μιας ερευνητικής εργασίας αυξάνοντας την παραγωγικότητα τους. Επίσης οι μειώσεις των πολλαπλών μετακινήσεων συμβάλουν στην μείωση των γενικών εξόδων που χρειάζονται για την ολοκλήρωση μιας εργασίας.

Στην συγκεκριμένη διατριβή ειδίκευσης επιχειρείται η χρήση τέτοιων μεθόδων για την διεξαγωγή και συγκέντρωση αξιόπιστων συμπερασμάτων σε διάφορους τομείς που θεωρήθηκαν αρκετά σημαντικοί για να μας δώσουν μια γενική εικόνα της γεωλογικής και γεωμορφολογικής κατάστασης του χερσαίου χώρου της Σαντορίνης.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης έχει ως σκοπό την μελέτη της γεωλογίας και της γεωμορφολογίας του χερσαίου περιβάλλοντος του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης με την χρήση μεθόδων Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Κύριοι άξονες της εργασίας αποτελούν η παραγωγή ενός μοντέλου εκτίμησης του βαθμού επιδεκτικότητας στην διάβρωση που η περιοχή μελέτης τείνει να παρουσιάσει με βάση τους παράγοντες που επιλέχθηκαν, η παραγωγή ροδοδιαγραμμάτων των φωτογραμμώσεων και των χαρτογραφημένων ρηγμάτων, η αξιολόγηση της πυκνότητας φυτοκάλυψης και των τύπων της, η ανίχνευση αλλαγών, κυρίως της πυκνότητας της βλάστησης και τέλος ο διαχωρισμός/ταξινόμηση της επιφάνειας σε κλάσεις με βάση τις χρήσεις γης μαζί με την γεωλογία της περιοχής μελέτης.

2.ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Σαντορίνη ανήκει στα νησιά των Κυκλάδων και βρίσκεται νότια της Ίου και δυτικά από την Ανάφη, 63 ναυτικά μίλια βόρεια της Κρήτης. Αναλυτικότερα η γεωγραφική της θέση περικλείεται μεταξύ των παραλλήλων από 36 19' 56'' έως 36 28' 40'' βόρειου γεωγραφικού πλάτους και μεταξύ των μεσημβρινών από 25 19' 22'' έως 25 29' 13'' ανατολικού γεωγραφικού μήκους. Αποτελείται από ένα νησιωτικό σύμπλεγμα που περιλαμβάνει τα νησιά Θήρα, Θηρασία, Ασπρονήσι, Παλαιά Καμένη και Νέα Καμένη.

Η Σαντορίνη ανήκει στο Νομό των Κυκλάδων και αποτελείται από τον δήμο Θήρας, με πρωτεύουσα τα Φηρά και πληθυσμό 15.550 μονίμων κατοίκων, σύμφωνα με την απογραφή της Ελληνικής στατιστικής αρχής του 2011. Η συνολική έκταση της Σαντορίνης είναι 89,07 km², με την Θήρα να καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση και το Ασπρονήσι την μικρότερη. Τα νησιά Ασπρονήσι, Παλαιά Καμένη και Νέα Καμένη είναι ακατοίκητα (URL 1).



Εικόνα 1: Τα νησιά των Κυκλάδων με την Σαντορίνη στο νότιο τμήμα του χάρτη (URL 4).

Πίνακας 1: Εκτάσεις του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης

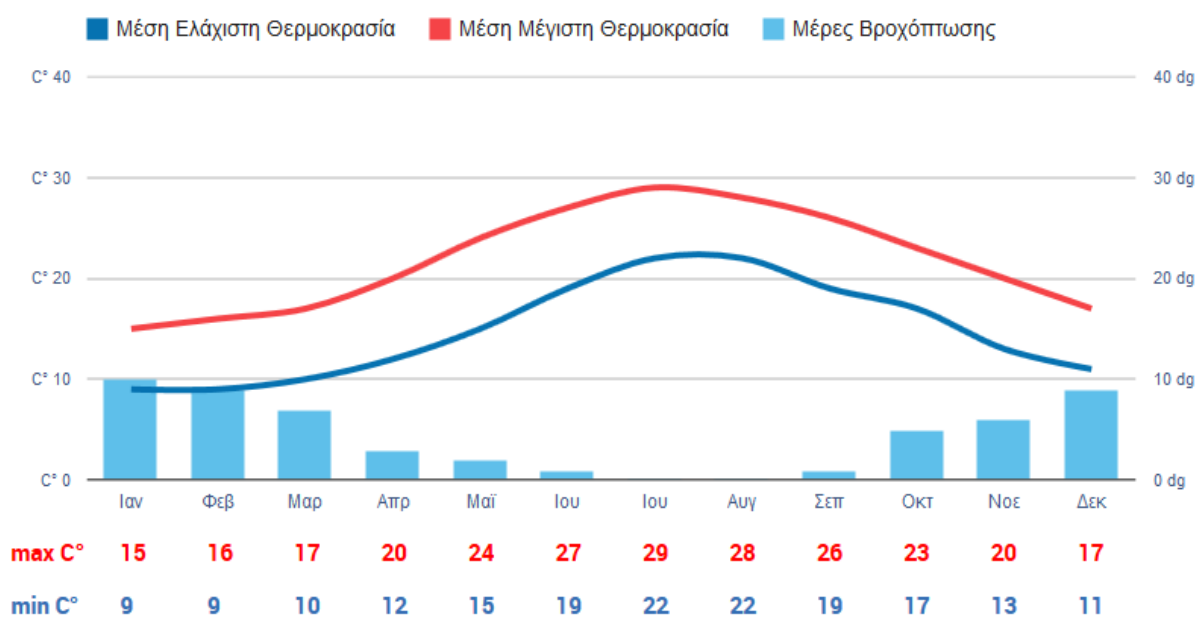
Περιοχή	Έκταση(km ²)
ΑΣΠΡΟΝΗΣΙ	0,12
ΠΑΛΑΙΑ ΚΑΜΜΕΝΗ	0,51
ΝΕΑ ΚΑΜΜΕΝΗ	3,33
ΘΗΡΑΣΙΑ	9,19
ΘΗΡΑ	75,92
Σύνολο	89,07



Εικόνα 2:Χάρτης της Σαντορίνης (URL 3).

Το κλίμα της Σαντορίνης σύμφωνα με την αναθεωρημένη κλιματική κατάταξη Korpen-Geiger είναι εύκρατο ερημικό (BWh). Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του κλίματος της Σαντορίνης είναι οι έντονοι βορειοανατολικοί άνεμοι που προσφέρουν δροσιά και οι ήπιοι χειμώνες με μέση θερμοκρασία περίπου 10°C. Επίσης παρατηρούνται συχνές βροχοπτώσεις τον χειμώνα, ενώ οι τιμές του υετού το καλοκαίρι είναι σχεδόν μηδενικές (Pell et al, 2007, URL6).

Αναλυτικότερα τους μήνες Μάρτιο έως Μάιο ο καιρός παρουσιάζει συνήθως ζεστές μέρες και απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές. Το Ιούνιο και τον Σεπτέμβριο κατά την διάρκεια της μέρας επικρατεί ηλιοφάνεια και μέσες έως υψηλές θερμοκρασίες. Οι θερμότεροι μήνες του νησιού είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με χαρακτηριστικό ξηρό κλίμα και τον ψυχρό βραδινό αέρα. Ο ψυχρός αέρας που παρατηρείται αυτούς τους μήνες οφείλεται στην δράση των μελτεμιών που πνέουν ιδιαίτερα έντονα στην περιοχή για αρκετές μέρες (URL 7).



Εικόνα 3: Μηνιαίες τιμές μέσης μέγιστης-ελάχιστης θερμοκρασίας και μέση βροχόπτωση της Σαντορίνης με βάση στοιχεία της τελευταίας δεκαετίας (URL 8).

2.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ-ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Η γεωμορφολογία της Σαντορίνης είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακή καθώς οι νησίδες Θήρα και Θηρασία σχηματίζουν ένα σύνθετο στρωματοηφαίστειο με μια επιβλητική πολυσύνθετη καлдέρα η οποία σχηματίστηκε σταδιακά ύστερα από πολυάριθμες βίαιες εκρήξεις. Τα τοιχώματα της καлдέρας αποτελούνται από απότομα πρανή, ενώ οι νεότερες αποθέσεις λάβας δημιούργησαν την Παλαιά και την Νέα Καμένη που βρίσκονται στο κέντρο της καлдέρας. Οι βίαιες εκρήξεις που δημιούργησαν τα τοιχώματα της καлдέρας θεωρείται ότι ξεκίνησαν τουλάχιστον πριν 2 Ma και ολοκληρώθηκαν κατά την Μινωική έκρηξη, που σήμερα με βάση τα πιο πρόσφατα παλαιοντολογικά ευρήματα τοποθετείται το 1613 π.Χ. (Friedrich, 2013).



Εικόνα 4: Κλαδί και κορμός ελιάς που σύμφωνα με τα οποία η Μινωική έκρηξη τοποθετήθηκε το 1613 π.Χ.(Friedrich, 2013).

Σχετικά με το ανάγλυφο του νησιού σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Dikau (1989), το νησί είναι στο μεγαλύτερο μέρος του πεδινό (<150m). Εξάιρεση αποτελούν το Μεγάλο Βουνό στο βόρειο τμήμα της Θήρας και η περιοχή ανατολικά του ακρωτηρίου του Σκάρου με ύψος περίπου 300m, καθώς και το βουνό Προφήτης Ηλίας όπου βρίσκεται η υψηλότερη κορυφή της Σαντορίνης με ύψος που φτάνει τα

565m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας . Οι περιοχές αυτές θεωρούνται λοφώδεις περιοχές διότι έχουν υψόμετρο μεταξύ 150-600m και αντιστοιχούν περίπου στο 33% της συνολικής έκτασης της Σαντορίνης.

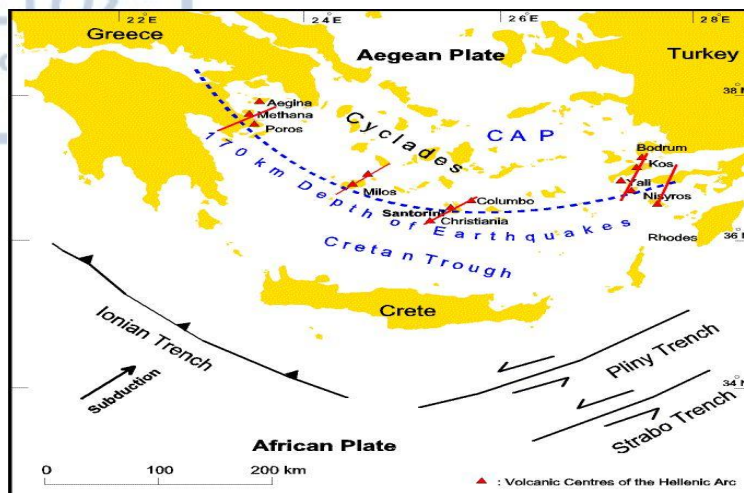
Πίνακας 2: Ταξινόμηση του αναγλύφου με βάση την υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας κατά Dikau, (1989).

Υψόμετρο (m)	Χαρακτηρισμός
< 150	Πεδινές περιοχές
150-600	Λοφώδεις περιοχές
600-900	Ημιορεινές περιοχές
>900	Ορεινές περιοχές

2.4 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.4.1. Ηφαιστειακό τόξο

Στον χώρο του Αιγαίου και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου συναντάμε το λεγόμενο ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης, καθώς παρατηρούμε την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα να βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική με ταχύτητα 5cm/year, γωνία 30-40° και βορειοανατολική διεύθυνση στον χώρο του Αιγαίου. Στο εσωτερικό τμήμα αυτού του νησιωτικού τόξου αποτελείται από το Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου, ενώ το εξωτερικό τμήμα, που αποτελεί το όριο μεταξύ των δύο λιθοσφαιρικών πλακών, τοποθετείται στην Ελληνική Τάφρο νότια της Κρήτης. Το Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου θεωρείται ότι έχει μήκος 500km και πλάτος 20-40km. Το τόξο εκτείνεται από την ηπειρωτική Ελλάδα μέχρι και την Τουρκία μέσω των νησιών Αίγινα, Μέθανα, Πόρος, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος, Γιάλι και Κως. (Σολδάτος , 2011, Friedrich, 2007).



Εικόνα 5: Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου με τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα και την Ελληνική Τάφρο νότια της Κρήτης (Papazachos and Panagiotopoulos, 1993, URL 10).

Το μειωμένο πάχος του ηπειρωτικού φλοιού του Αιγαίου ~20-32km συγκριτικά με το μέσο πάχος στην ηπειρωτική Ελλάδα και την Τουρκία ~40-50km υποδηλώνει την δράση κυρίως εφελκυστικών δυνάμεων στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου. Στο Ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου εντοπίζονται πέντε ηφαιστειακά κέντρα που βρίσκονται σε πέντε γραμμικές σεισμικές ζώνες κατεύθυνσης 60°Α-ΒΑ μέσω των οποίων παρουσιάζεται άνοδος μάγματος (Σολδάτος, 2011).



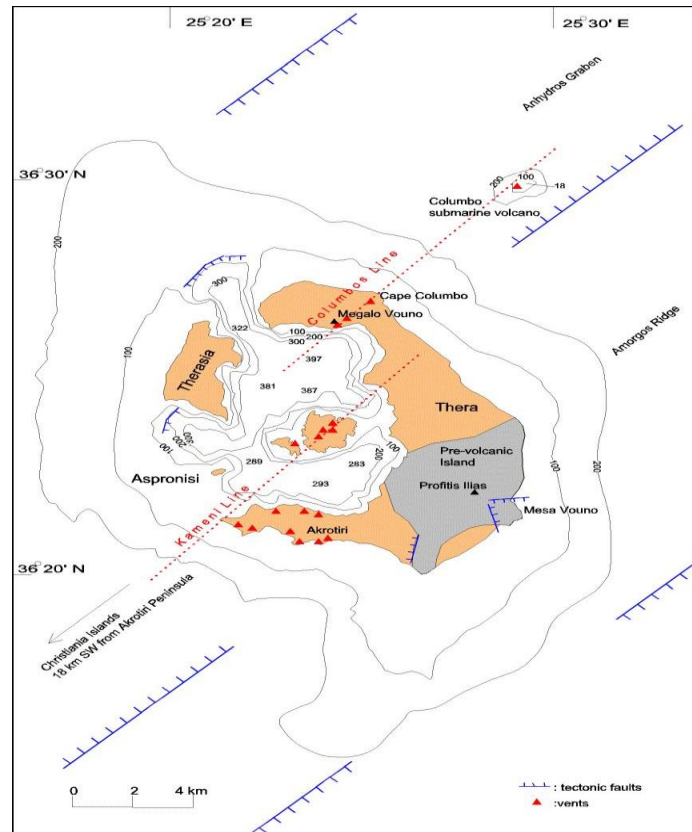
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα (URL 11).

Η έναρξη της ηφαιστειότητας του ηφαιστειακού τόξου τοποθετείται από τους ερευνητές μεταξύ 3-4Ma κατά το Πλειόκαινο, ενώ η κύρια ηφαιστειακή δραστηριότητα του τόξου θεωρείται Πλειστόκαινο. Εξαιρέσεις αποτελούν η Κως όπου εντοπίστηκαν Ιγκνιμβρίτες μειοκαινικής ηλικίας (10-11Ma), καθώς και η Σαντορίνη όπου ενώ η ηφαιστειότητα ξεκινάει κατά το Πλειόκαινο παρουσιάζει μεγαλύτερη ηφαιστειακή δραστηριότητα τα τελευταία 200ka (Friedrich, 2007).

2.4.2 Τεκτονική της Σαντορίνης

Στην περιοχή της Σαντορίνης η θέση των ηφαιστειακών κέντρων δημιουργεί μια ζώνη ρηγμάτων με κατεύθυνση ΝΔ-ΒΑ (40°), η οποία αποτελείται από δύο παράλληλες γραμμές ρηγμάτωσης, την γραμμή Καμένης και την γραμμή Κολούμπο. Η ζώνη αυτή ενώνει το ευρύτερο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ενώνοντας τα νησάκια Χριστιανά (20km νοτιοδυτικά από την Σαντορίνη) το νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Κολούμπο, που το αποτελούν, φτάνοντας ως την Αμοργό (Σολδάτος, 2011).

Η γραμμή Καμένης περνάει από την Παλαιά και Νέα Καμμένη, όπου βρίσκονται οι νεότερες ηφαιστειακές αποθέσεις της Σαντορίνης, έχει πάχος 600m και μήκος 4,5km. Η γραμμή Κολούμπο διέρχεται από το Μεγάλο Βουνό (βόρεια του λαιμού της Θήρας), τον δακτύλιο των τόφφων του ακρωτηρίου Κολούμπο και το αντίστοιχο υποθαλάσσιο ηφαίστειο (Σολδάτος, 2011).



Εικόνα 7: Τεκτονική κατάσταση του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Heiken and McCoy, 1984, URL 10).

Επιπλέον εκτός από την κύρια διεύθυνση των ρηγμάτων στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης που με διεύθυνση κλίσης ΝΔ-ΒΑ (40°) παρατηρούνται και δύο ακόμα διευθύνσεις ρηγμάτωσης με περιορισμένο αριθμό εμφανίσεων που έχουν διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ(10°) και ΒΔ-ΝΑ(150°)(Mountrakis et al., 1996).

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

3.1 Μή ηφαιστειακό υπόβαθρο

Οι μή ηφαιστειακές αποθέσεις στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική γεωτεκτονική ζώνη, είναι περιορισμένες και επιφανειακά εμφανίζονται στο βουνό Προφήτης Ηλίας, στις τοποθεσίες Μέσα Βουνό, Γαβρήλος (Πλατύναμος), Μονόλιθος, Πύργος, στην περιοχή Αθήνιος και στα ακρωτήρια Πλάκα και Θερμιά. Στις περιοχές αυτές τα πετρώματα που συναντάμε είναι μεταμορφωμένα και ιζηματογενή θαλάσσιας ιζηματογένεσης τα οποία πτυχώθηκαν κατά την Αλπική περίοδο (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).

Σήμερα πιστεύεται ότι τα ιζηματογενή αυτά πετρώματα, ηλικίας περίπου μεταξύ Τριαδικού και Τριτογενούς, μεταμορφώθηκαν κατά την γλαυκοφανιτική φάση (πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση) που έδρασε στην Αττικοκυκλαδική ζώνη, η οποία έλαβε χώρα από το Ολιγόκαινο μέχρι και το Μειόκαινο. Η μεταμορφωτική αυτή φάση έδρασε στα ιζηματογενή πετρώματα της περιοχής κατατάσσοντας τα στην Κυκλαδίτικη Κυανή Σχιστολιθική ζώνη, ενώ η επίδραση της φάσης αυτής έχει αναγνωριστεί στις ενότητες των Βόρειων και Νότιων Κυκλάδων (Μουντράκης, 1985, Friedrich, 2007).

Επίσης στην περιοχή του Μεγαλοχωρίου εντοπίστηκε ένας τέτοιος γρανίτης ηλικίας Άνω Μειοκαίνου (9,5 Ma). Η διείσδυση αυτή προκάλεσε την μεταμόρφωση των πετρωμάτων της περιοχής και την δημιουργία δενδριτικών και φλεβικών κοιτασμάτων πυροφυλλίτης, μαγνητίτη, χαλκοπυρίτη και τάλκη. Επίσης στην περιοχή του Αθηνίου εξαιτίας των θερμών διαλυμάτων που δημιούργησε ο γρανιτικός όγκος σχηματίστηκαν κοιτάσματα μολύβδου και ψευδαργύρου τα οποία περιείχαν άργυρο. Πιθανολογείται ότι μερικά από αυτά τα ορυκτά χρησιμοποιήθηκαν στις τοιχογραφίες της περιοχής (Friedrich, 2007).

3.2 Ηφαιστειακοί σχηματισμοί

Οι ηφαιστειακοί γεωλογικοί σχηματισμοί του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης αποτελούν τις αποθέσεις δώδεκα μεγάλων εκρήξεων καθώς και πολλαπλών μικρότερων που προηγήθηκαν της Μινωικής έκρηξης και τα ηφαιστειακά υλικά της Μινωικής έκρηξης που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της συνολικής έκτασης της Σαντορίνης. Κατά την διάρκεια του γεωλογικού χρόνου λόγω της ηφαιστειότητας της περιοχής η μορφολογία της συνεχώς άλλαζε με αποτέλεσμα τον επαναλαμβανόμενο κύκλο του σχηματισμού της καλδέρας και την πλήρωση της από ηφαιστειακά υλικά τουλάχιστον τέσσερις φορές. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις σημαντικότερες ηφαιστειακές δραστηριότητες της περιοχής (Friedrich, 2007).

3.2.1 Πετρώματα του Ακρωτηρίου

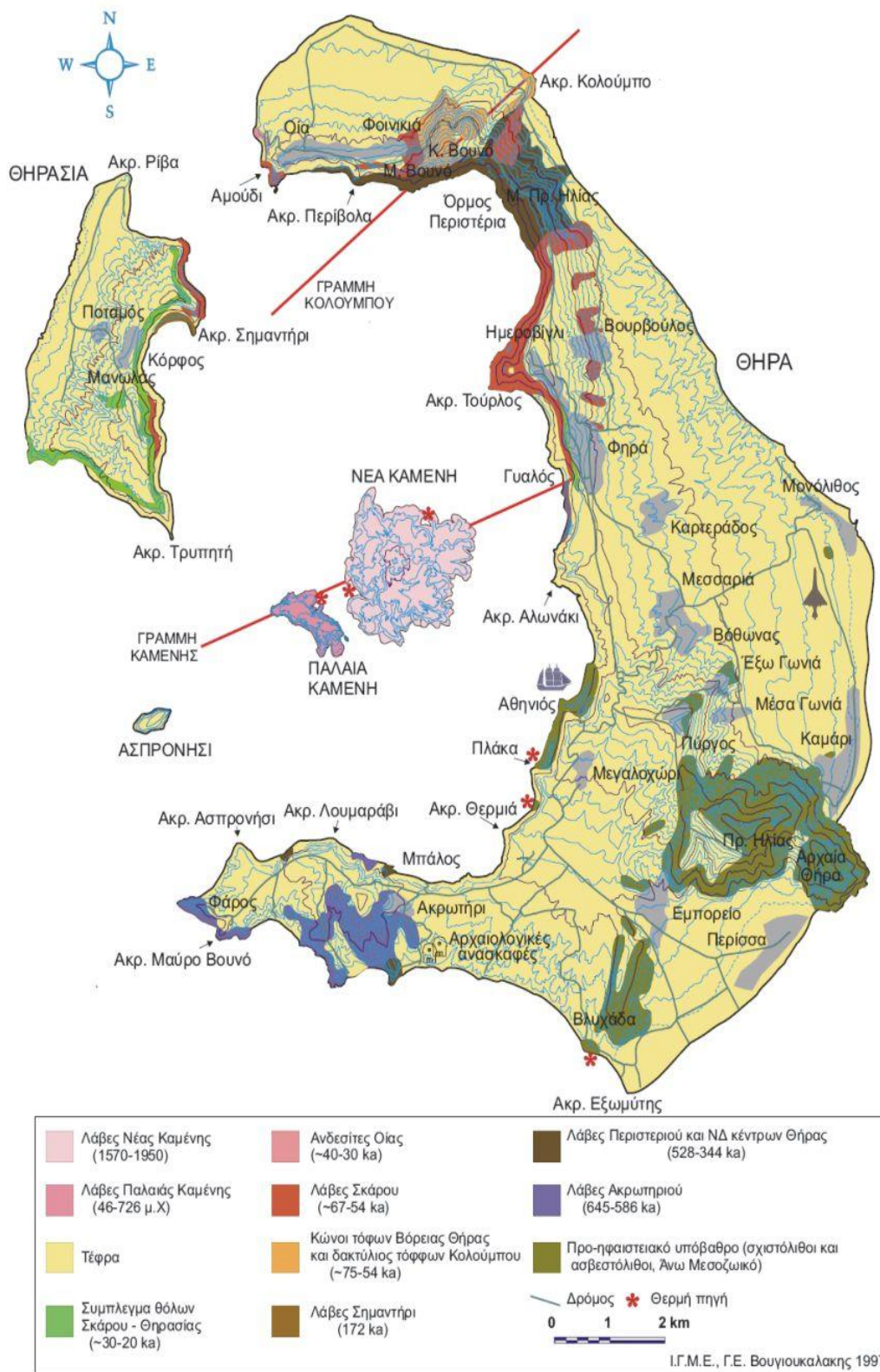
Τα αρχαιότερα ηφαιστειακά πετρώματα της Σαντορίνης, γνωστά και ως πετρώματα του Ακρωτηρίου, βρίσκονται στην περιοχή του Ακρωτηρίου και στον Φάρο είναι ηλικίας από 2 Ma έως 500 Ka, ενώ αποτελούνται κυρίως από ανδεσιτικά, δακιτικά πετρώματα και πυροκλαστικές αποθέσεις. Σύμφωνα με απολιθώματα που βρέθηκαν τα πετρώματα του Ακρωτηρίου στο αρχικό στάδιο προέκυψαν από υποθαλάσσια ηφαιστειότητα. Επίσης στην συνέχεια πιστεύεται ότι στη περιοχή του Ακρωτηρίου κατά το Άνω Πλειόκαινο αναδύθηκε ένα μικρό ηφαιστειογενές νησί που δεν επικοινωνούσε με το ανατολικότερο νησί που αποτελούνταν από το προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο. (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007)

3.2.2 Ηφαίστειο της Περιστερίας και του ηφαιστείου της Θήρας

Στον όρμο της Περιστερίας (περιοχή Μικρού Προφήτη) υπήρξε κατά την χρονική περίοδο από 530 Ka έως 430 Ka ένα εκτεταμένο στρωματοηφαίστειο που απόθεσε ανδεσιτικά, δακιτικά και βασαλτικά πετρώματα, ενώ τα πετρώματα αυτά τέμνονται από έναν μεγάλο αριθμό φλεβών (Σολδάτος, 2011).

Επίσης στις περιοχές των ακρωτηρίων Μπάλος, Μαυροραχίδι (η γνωστή Κόκκινη Παραλία) και Κοκκινόπετρας δημιουργούνται κώνοι σκωριών (ηλικίας 450 Ka έως 340 Ka). Στη συνέχεια από το 350 έως το 250 σχηματίζεται στην σημερινή περιοχή του κέντρου της καλδέρας (περιοχή Καμένων) το ασπιδόμορφο ηφαίστειο της Θήρας. Το ηφαίστειο αυτό απόθεσε ανδεσιτικά και ρυοδακιτικά πετρώματα πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο, τα πετρώματα παρατηρούνται από το ακρωτήριο του Σκάρου μέχρι και το Σκάρο (Σολδάτος, 2011).

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ



Εικόνα 8: Γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης(Βουγιουκαλάκης, 1997).

3.2.3 Ηφαιστειακή δραστηριότητα του Ακρωτηρίου Θερμιά

Στο ακρωτήριο Θερμιά πιστεύεται ότι έλαβαν χώρα τρεις μεγάλες εκρήξεις. Τα υλικά που αποτέθηκαν μπορούν να διακριθούν αντίστοιχα με τις τρεις εκρήξεις ότι αποτελούνται από σκωρίες και κίσηρη, ρυοδακτιτικής σύστασης κίσηρη και κοκκινόμαυρο ιγκνιμβρίτη ο οποίος εσωκλείει διοριτικής και γαββροδιοριτικής σύστασης ξενοκρυστάλλους. Τα αποτελέσματα των δράσεων αυτών των εκρήξεων είναι κυρίως εμφανή στο νότιο τμήμα της καλδέρας της Θήρας (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2000).

3.2.4 Κατώτερο Στρώμα Κίσηρης (Bu)

Αποτέλεσμα δύο μεγάλων εκρήξεων είναι τα στρώματα λευκόχρωμου τόφφου περίπου 30m πάχους που διακρίνονται στα τοιχώματα της καλδέρας από το ακρωτήριο Αλωνάκι έως και το ακρωτήριο Τούρλος(Σκάρος) και κάτω από την Οία(όπου έχει μικρότερο πάχος). Οι αποθέσεις αυτές ονομάστηκαν από τον Neumann van Bimsstein ως Κατώτερο Στρώμα Κίσηρης(Bu). Το στρώμα αυτό χωρίζεται σε δύο επιμέρους στρώματα το Bu1 και το Bu2, η σύσταση των οποίων ήταν κίσηρης με αποθέσεις ιγκνιμβρίτη ή τέφρας. Συγκρίνοντας το πάχος του στρώματος Bu με τις μινωικές αποθέσεις πιστεύεται ότι οι εκρήξεις που το δημιούργησαν ήταν ισχυρότερες της Μινωικής (Friedrich, 2007).

3.2.5 Ηφαίστειο Σημαντήρι

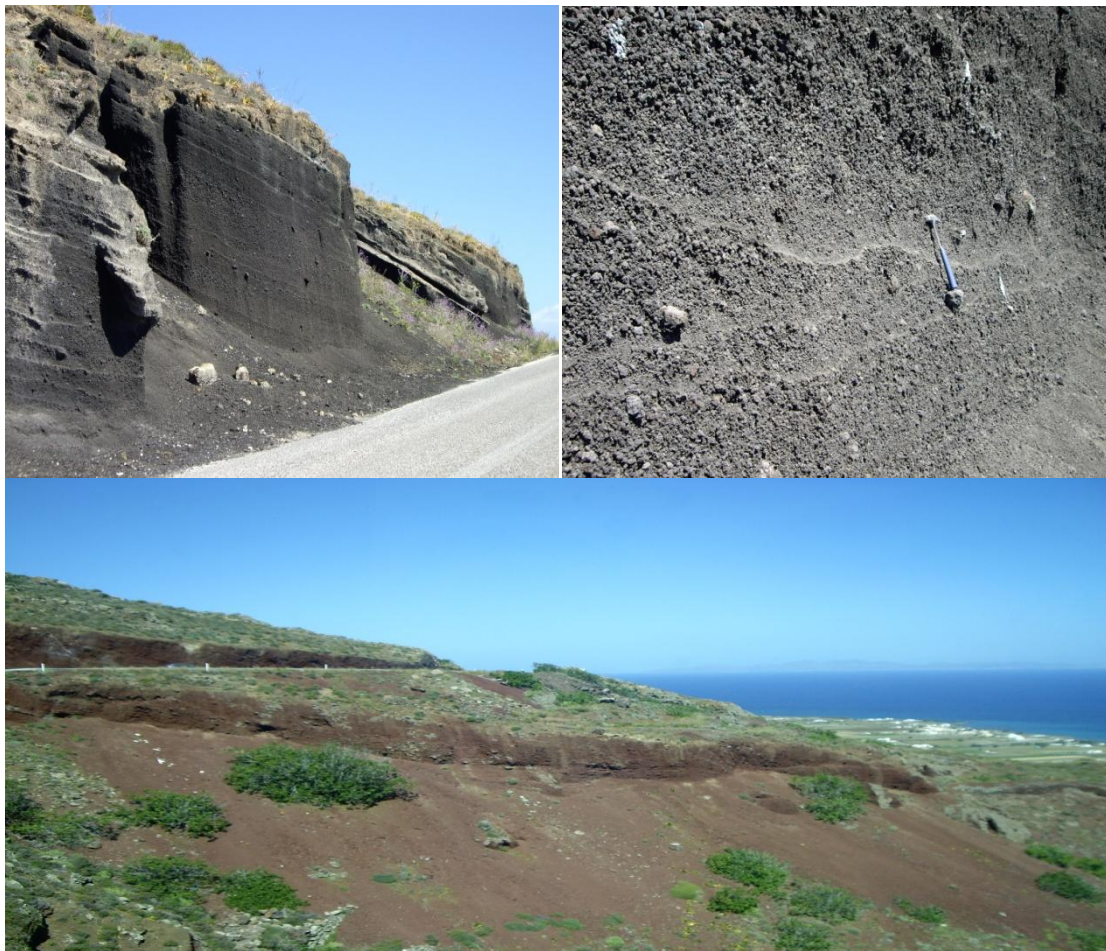
Το ασπιδόμορφο ηφαίστειο Σημαντήρι σχηματίζεται από ανδεσιτικές- βασαλτικές λάβες και σκωρίες ηλικίας περίπου 170 Ka. Το κέντρο του ηφαιστείου ήταν το κέντρο της καλδέρας του Κατώτερου Στρώματος Κίσηρης . (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007)

3.2.6 Μεσαίο Στρώμα Κίσηρης(Bm)

Το Μεσαίο Στρώμα Κίσηρης (Bm) δημιουργήθηκε από μια μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας. Το στρώμα είναι εμφανή στο λιμάνι των Φηρών ως ένας μαύρος, δακτιτικής σύστασης σχηματισμός. Αναλυτικότερα το στρώμα Bm αποτελείται από τόφφους με χρώμα από κόκκινο (κάτω από το Ημεροβίγλι) έως κατάρμαυρους στα Φηρά, επιπλέον η συγκολλημένη κίσηρης του σχηματισμού αλλάζει επίσης χρώμα από καφέ έως λευκό. Το κέντρο της έκρηξης του στρώματος Bu θεωρείται ότι βρίσκονταν κάτω από το Ημεροβίγλι (Friedrich , 2007).

3.2.7 Ομάδα ηφαιστειών ηλικίας 40.000 χρόνων

Έπειτα από το Μεσαίο Στρώμα Κίσσηρης έχουμε την απόθεση δακτυλίων τόφφων στο Ασπρονήσι και Κώνων σκωριών στο Κόκκινο Βουνό και στο Μεγάλο Βουνό (μαύρες σκωρίες)(εικόνα 9). Αργότερα έχουμε την έκρηξη του Βουρβούλου ανδεσιτικής σύστασης λάβες. Επίσης παράλληλα είχαμε την απόθεση δακτυλίων τόφφων στο ακρωτήριο του Κολούμπου. Οι πιο αξιόπιστες ηλικίες αυτών των στρωμάτων των ανώτερων Σκωριών υπολογίστηκαν γύρω στα 40 Ka (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).



Εικόνα 9: Φωτογραφίες από το Μεγάλο βουνό/μαύρες σκωρίες(πάνω σειρά) και φωτογραφία από το Κόκκινο Βουνό/κόκκινες σκωρίες (κάτω σειρά).

3.2.8 Ηφαίστειο του Σκάρου και Μεγάλου Βουνού

Το ασπιδόμορφο ηφαίστειο του Σκάρου σχηματίζεται από βασαλτικής έως δακτιτικής σύστασης λάβες που προς τα ανώτερα τμήματα γίνεται πιο λεπτόκοκκες. Πάνω στις αποθέσεις του ηφαιστείου του Σκάρου βρίσκονται υαλώδεις ανδεσιτικές λάβες (Μεγάλου Βουνού), σκωρίες και λάβες του Μεγάλου και του Κόκκινου Βουνού (Friedrich, 2000).

3.2.9 Ιγκνιμβρίτης του Ρίβα

Στο Ακρωτήριο του Ρήγα έχουμε τελευταία μεγάλη έκρηξη πριν την Μινωική έκρηξη κατά την οποία αποτέθηκε ο Ιγκνιμβρίτης του Ρίβα ηλικίας 21 Ka (εικόνα 10). Η καλδέρα η οποία σχηματίστηκε αποκαλείται και Στρογγυλή καλδέρα και κέντρο της έκρηξης ήταν το ακρωτήριο του Ρήγα. Τα υλικά αυτής της έκρηξης εντοπίζονται τόσο στη Θήρα όσο και στην Θηρασία (Friedrich, 2007).



Εικόνα 10: Φωτογραφία του Ιγκνιμβρίτη του Ρίβα.

Τα στάδια της Μινωικής έκρηξης έχουν χωριστεί σε τέσσερις φάσεις με βάση την χρονική τους εξέλιξη, τα χαρακτηριστικά των προϊόντων που απόθεσαν άλλα και τις αλλαγές που συνέβαιναν κατά την διάρκεια των εκρήξεων στο κέντρο του ηφαιστείου και στην καλδέρα. Τα προϊόντα της Μινωικής έκρηξης αποτελούνται από μια πορώδους, ελάχιστου βάρους υαλώδους κίσσηρη. Επίσης σύμφωνα με τον δείκτη **VEI** (Volcanic Explosivity Index), οποίος χαρακτηρίζει την ένταση μιας ηφαιστειακής έκρηξης με βάση το ύψος που έφτασαν τα προϊόντα μιας έκρηξης και τον όγκο τους, η Μινωική έκρηξη πιστεύεται ότι είχε βαθμό 6, ωστόσο τα τελευταία χρόνια αυτή η εκτίμηση έχει αρχίσει να αμφισβητείται και οι νέες απόψεις τείνουν να βαθμολογούν την έκρηξη με 7 (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).

A.1) Πρόδρομο στρώμα (Bo₀)

Το κέντρο της Μινωικής έκρηξης θεωρείται ότι ήταν η περιοχή των σημερινών νησιών Παλαιάς και Νέας Καμένης. Το πρώτο στρώμα που αποτέθηκε από αυτό το κέντρο θεωρείται ως πρόδρομο των Μινωικών αποθέσεων κατά μερικούς μήνες. Το πάχος του στρώματος ανέρχεται σε μερικά εκατοστά (περίπου 3 έως 8 cm) και αποτελεί ένα λεπτό στρώμα τέφρας από μικροσκοπική κίσσηρη και προήρθε από μια υδροηφαιστειακή έκρηξη. Το στρώμα αυτό συμβολίζεται ως Bo₀ και μαζί με έντονη σεισμική δραστηριότητα πιστεύεται ότι οδήγησε τους κατοίκους του οικισμού του Ακρωτηρίου να εγκαταλείψουν το νησί. Η άποψη αυτή υποστηρίζεται και από την εύρεση λιγοστών πολύτιμων αντικειμένων στον ιδιαίτερα αναπτυγμένο και πλούσιο πολιτισμικά οικισμό του Ακρωτηρίου της εποχής σύμφωνα με τις τοιχογραφίες (Σολδάτος Τ., 2011) (Friedrich W., 2007).



Εικόνα 11: Στην αριστερή εικόνα βλέπουμε σπασμένα σκαλιά από τους σεισμούς, ενώ στην δεξιά εικόνα έχουμε εκμαγεία κρεβατιών το ένα αναποδογυρισμένο πάνω στο άλλο σε προαύλιο χώρο.

Το πάχος του στρώματος κίσσηρης της πρώτης φάσης κυμαίνεται από επτά περίπου μέτρα στα Φηρά έως μερικά εκατοστά σε άλλες περιοχές του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης και πιστεύεται ότι είχε διάρκεια μερικών μόνο ωρών. Με βάση το πάχος των αποθέσεων αυτής της φάσης θεωρείται ότι στην περιοχή έπνεαν ανατολικής διεύθυνσης άνεμοι. Επίσης πιστεύεται ότι η στήλη της έκρηξης στην φάση αυτή έφτασε έως και την Στρατόσφαιρα, καθώς είχε ύψος 36 με 38 km. Τα αιωρούμενα σωματίδια της έκρηξης που αποτελούνταν από τέφρα (μικροσκοπική κίσσηρη) με την επίδραση των αέριων ρευμάτων απλώθηκαν στο βόρειο ημισφαίριο φθάνοντας ως και την Γροιλανδία. Επιπλέον από την δράση των θαλάσσιων ρευμάτων τα προϊόντα της έκρηξης που ήταν η λεγόμενη «ροδόχρωμη κίσσηρη» λόγω της φύσης του υλικού της (πολύ μικρό βάρος) εύκολα επέπλεε πάνω στα κύματα με αποτέλεσμα να απλωθεί στις ακτές της Μεσογείου. Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την φάση αυτή δεν βρέθηκαν χαρακτηριστικά που να υποστηρίζουν υδροθερμική ηφαιστειότητα. Επομένως σήμερα οι ερευνητές θεωρούν ότι υπήρχε ένα νησί στην περιοχή των σημερινών Καμένων νήσων πάνω στο οποίο έλαβε χώρα η έκρηξη, οπότε δεν κατάφερε να εισχωρήσει νερό στον κρατήρα (Friedrich, 2007).

A.3) Δεύτερη φάση (B₀₂)

Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό γνώρισμα της φάσης αυτής είναι η κυματοειδής μορφής αποθέσεις λεπτόκοκκης κίσσηρης. Αντίθετα με την προηγούμενη φάση στην δεύτερη φάση είχαμε την εισχώρηση θαλάσσιου νερού στον κρατήρα πιθανότερα μέσω ρωγμών. Αποτέλεσμα της επαφής του νερού με το μάγμα ήταν ιδιαίτερα βίαιες αντιδράσεις με πολλαπλές εκρήξεις που σχημάτισαν νέφη από τέφρα και υδρατμούς έφτασαν σε μεγάλα ύψη. Μέρος του υλικού που εκτινάχτηκε γέμισε την καλδέρα. Το ύψος της εκρηκτικής στήλης ήταν πολύ χαμηλότερο της πρώτης φάσης με τις αποθέσεις του να μην ξεπερνάνε το ύψος των 350m πάνω στην Θήρα. Επίσης το πάχος των στρωμάτων είναι πιο περιορισμένο από εκείνο της προηγούμενης φάσης (Friedrich, 2007).

Στις δύο πρώτες αυτές φάσης εκτοξεύθηκαν ογκώδεις βολίδες από θραύσματα λάβας των πλευρικών τμημάτων του κεντρικού αγωγού τροφοδοσίας. Το μέγεθος αυτών των βολίδων όπως έχει παρατηρηθεί κοντά στα Φηρά έφτανε έως και το μέγεθος ενός δωματίου, ενώ στην περιοχή του οικισμού πολλές από αυτές έφταναν το ένα μέτρο γκρεμίζοντας κατά την σύγκρουση τους πέτρινους τοίχους των σπιτιών (Friedrich, 2007).

Κατά την Τρίτη φάση είχαμε την απόθεση ιδιαίτερα σφαιρικών σκουρόχρωμων θραυσμάτων μαζί με την κίσηρη που αποτέθηκε. Τα θραύσματα αυτά αποσπάσθηκαν από τα τοιχώματα του κύριου αγωγού τροφοδοσίας καθώς και από τα πετρώματα του προϋπάρχον νησιού, διευρύνοντας έτσι συνεχώς των αγωγό τροφοδοσίας και καταστρέφοντας το νησί. Το σφαιρικό σχήμα των θραυσμάτων εξηγείται από τον στροβιλισμό μέσα σε ρεύματα τέφρας(από αέρια και στερεά υλικά) και την μεταξύ τους τριβή πριν αποτεθούν. Τα υλικά αυτής της φάσης γέμισαν την καλδέρα ενώ όπως και στην δεύτερη φάση το ύψος της στήλης ήταν πολύ χαμηλότερο από εκείνο της πρώτης φάσης. Επίσης ως ξενόλιθοι στα στρώματα της φάσης αυτής βρέθηκαν λευκόχρωμοι ασβεστόλιθοι. Η ταχεία εκκένωση του μαγματικού θόλου και η έντονη διείσδυση θαλασσινού νερού στα χαμηλότερα τμήματα του κρατήρα κατάστρεψε ένα μεγάλο τμήμα του οικοδομήματος σχηματίζοντας την βόρειας λεκάνης της σημερινής καλδέρας, ενώ βάθυνε και τα νότια τμήματα της λεκάνης της καλδέρας (Friedrich W., 2007).

Οι ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι που βρέθηκαν ως ξενόλιθοι στα στρώματα της φάσης αυτής πιστεύεται ότι σχηματίστηκαν σε ένα περιβάλλον ρηχής θάλασσας(λιμνοθάλασσας) γύρο από το νησί που υπήρχε στο χώρο του κέντρο της μινωικής έκρηξης. Η ηλικία τους σύμφωνα με τα απολιθώματα (φύκη κ.α.) που περιείχαν τοποθετείτε στο Ανώτερο Τεταρτογενές, ενώ σύμφωνα με διπλωματική εργασία που έγινε με βάση αυτούς τους ογκόλιθους έχουν εντοπιστεί 1406, ενώ πιστεύεται ότι οι ογκόλιθοι που εκτοξεύθηκαν ήταν πολλαπλάσιοι (Friedrich, 2007).

A.5) Τέταρτη φάση (Bo_4)

Η ύπαρξη ή όχι μιας τέταρτης φάσης στην Μινωική έκρηξη έχει διχάσει τους επιστήμονες διότι ορισμένοι πιστεύουν ότι πρόκειται για μεταφερμένα υλικά από την έκπλυση που προκάλεσε η είσοδος μεγάλων όγκων θαλάσσιου νερού κατά την κατακρήμνιση της βόρειας λεκάνης, ενώ άλλοι θεωρούν ότι προήρθαν από την ολοκλήρωση της καταστροφής της ηφαιστειακής στήλης. Τα υλικά της φάσης αυτής περιέχουν πολυάριθμα θραύσματα ενώ τα στρώματα της είναι ιδιαίτερα σκουρόχρωμα σε σχέση με εκείνα των προηγούμενων φάσεων. Σύμφωνα και με ιστορικές πηγές κατά τις οποίες η περιοχή επλήγη από τσουνάμι το 1650 π.χ. σήμερα η πρώτη άποψη της έκπλυσης θεωρείται επικρατέστερη (Friedrich, 2000).

Γενικότερα σύμφωνα με τις παλαιότερες παρατηρήσεις των ερευνητών στην περιοχή του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης το πάχος των στρωμάτων της τέφρας έφτανε τα 60m ενώ με το πέρασμα των χρόνων παρατηρήθηκε μείωση του πάχους του ύψους αρκετών μέτρων λόγω διάβρωσης και αποσάθρωσης των

στρωμάτων. Το πεταλοειδές σχήμα της καλδέρας(Στρογγύλης) κατά το τέλος της προμινωικής ηφαιστειακής δραστηριότητας μεταμορφώθηκε κατά την Μινωική έκρηξη στην σημερινή καλδέρα με εξαίρεση την απουσία των νησιών Παλαιάς και Νέας Καμένης που σχηματίστηκαν πολύ αργότερα (Friedrich, 2007).

A.6) Παλαιά και Νέα Καμένη

Κατά τα ιστορικά χρόνια στο κέντρο της καλδέρας που σχηματίστηκε από την Μινωική έκρηξη στο χώρο του προϋπάρχοντος νησιού που κατέστρεψε ολοσχερώς η Μινωική έκρηξη, αποτίθεται και πάλι μάγμα δημιουργώντας σταδιακά την Παλαιά και Νέα Καμένη.

Το 197 π.Χ. πραγματοποιείται σύμφωνα με πολυάριθμες αναφορές σε κείμενα, από ιστορικούς και λόγιους της εποχής, η πρώτη έκρηξη και απόθεση λάβας. Το μάγμα που αποτέθηκε δημιουργεί ένα μικρό νησάκι, την Ιερά που τοποθετείται στο βορειοανατολικό τμήμα της Νέας Καμένης. Η Ιερά αποτελούνταν από κίσηρη και θραύσματα λάβας, ενώ με το πέρασμα του χρόνου διαβρώθηκε από την κυματική δράση τόσο ώστε να απομείνει ένας μόνο μικρός ύφαλος στην θέση του νησιού, ο Μπάγκος (Σολδάτος , 2011, Friedrich, 2007).

Το έτος 46μ.Χ η ηφαιστειότητα της περιοχής αναδύει ένα νέο νησί, την Θεία που ύστερα από την τεκτονική δράση ρηγμάτων πάνω του αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της σημερινής Παλαιάς Καμένης (Σολδάτος , 2011, Friedrich, 2007).

Η επόμενη ηφαιστειακή έκρηξη έλαβε χώρα το 726 μ.Χ ενώ μεγάλες ποσότητες στάχτης και κίσηρης βρέθηκαν σε αρκετές ακτές του Αιγαίου Πελάγους. Η σκωριώδης λάβα που αποτέθηκε ενώθηκε στο βορειοδυτικό τμήμα με το νησάκι Θεία και μαζί αποτελούν την νήσο Παλαιά Καμένη . Οι τομές που παρατηρούνται ειδικότερα η λεγόμενη γλώσσα λάβας(εικόνα 13) ενισχύει την επικρατέστερη άποψη ότι ένα μεγάλο τμήμα της λάβας που αποτέθηκε καταποντίσθηκε από τεκτονικά αίτια κατά την χρονική περίοδο της έκρηξης που την απόθεσε (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).



Εικόνα 12: Φωτογραφία της τομής Schmidt στο βορειοδυτικό άκρο της Παλαιάς Καμένης.

Κατά το χρονικό διάστημα 1570 έως 1573 μ.Χ. σύμφωνα με γραπτές αναφορές σε κείμενα της εποχής κοντά στον ύφαλο Μπάγκο σχηματίζεται από αναβλύζουσα παχύρρευστη λάβα ένα μικρό νησάκι η λεγόμενη Μικρά Καμένη ή Μικρά. Παράλληλα με τον σχηματισμό της Μικράς, από τον κρατήρα που το δημιούργησε, εκτοξεύονταν τέφρα και πέτρες (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).

Μερικές μέρες μετά από το σεισμό της 21ής Μαΐου 1707 αναδύθηκε από την θάλασσα δυτικά της Μικράς ένα άσπρο νησί αποτελούμενο από κίσηρη και μεγάλα τεμάχια λάβας. Στην συνέχεια στις 5 Ιουνίου βόρεια από το άσπρο νησί εμφανίζεται ένα μαύρο νησί αποτελούμενο από μαύρη λάβα. Από το μαύρο αυτό νησί ανέβλυζε λάβα που σταδιακά το μεγάλωνε με αποτέλεσμα να ενωθεί με το άσπρο νησί. Ο κρατήρας αυτός παρουσίασε πολλές εκρήξεις με εκτοξεύσεις τέφρας, ενώ μια μεγάλη έκρηξη (Σεπτέμβριος 1711) ολοκλήρωσε αυτή την εκρηξιγενή δραστηριότητα. Η ισχυρή αυτή έκρηξη προκάλεσε καταβύθιση των ακτών της Μικράς (κατά 1m περίπου) και των ακτών της Θήρας. Το νέο αυτό νησί ονομάστηκε Νέα Καμένη. Οι δύο φυσικοί του όρμοι στα νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά ονομάζονταν αντίστοιχα όρμοι Γεωργίου και Βουλκάνο. Στον όρμο Βουλκάνο ανέβλυζα θειούχοι ατμοί που χρησιμοποιούνταν από τους ναυτικούς για να καθαρίζουν φυσικά τους υφάλους τον πλοίων. Στο νησί χτίστηκαν και προσωρινές κατοικίες για τους θερινούς μήνες από τους ντόπιους κατοίκους που αξιοποιούσαν τις θειούχες πηγές και ως ιαματικά λουτρά (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).

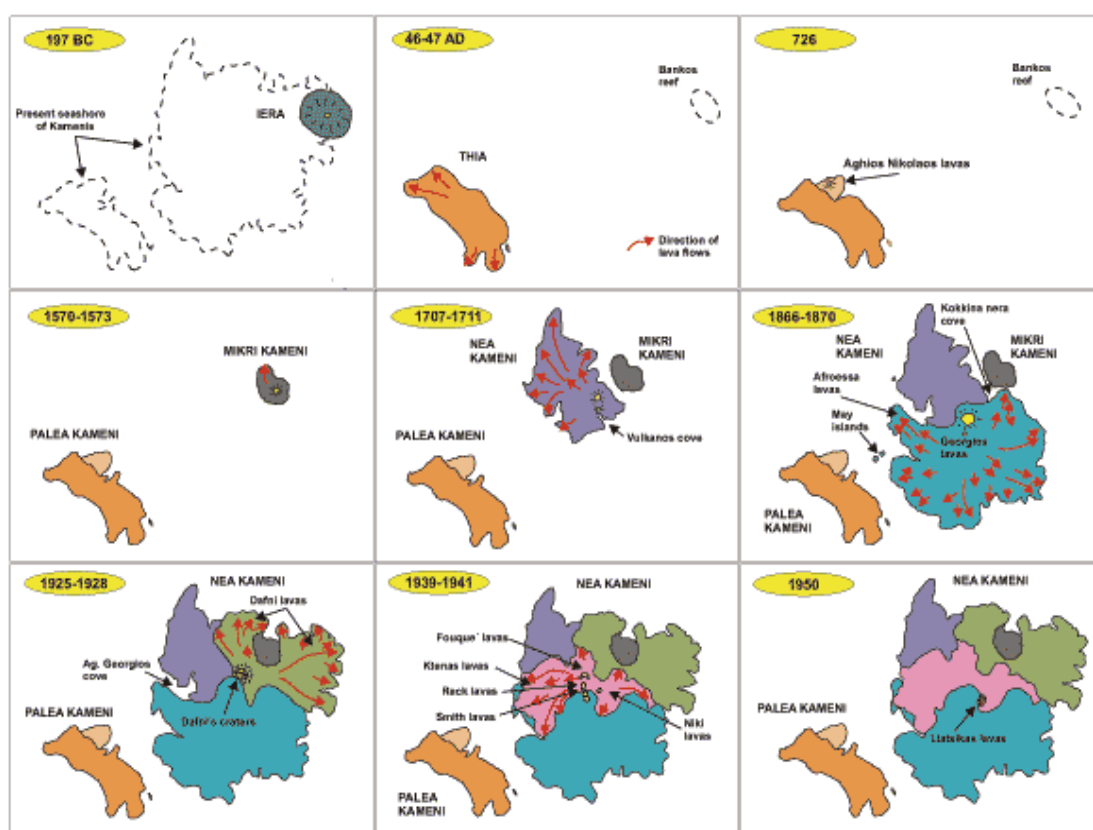
Οι επόμενες εκρήξεις σημειώθηκαν το 1866 στην περιοχή του όρμου Βουλκάνου. Στην περιοχή της έκρηξης που αργότερα ονομάστηκε Γεώργιος αποτέθηκαν μεγάλα τεμάχια λάβας μετά από εκτίναξη. Ύστερα από την συνεχή απόθεση ογκολίθων οι λάβες αυτές έφτασαν μέχρι την Νέα Καμένη καταστρέφοντας τις εκεί κατοικίες. Αργότερα εμφανίστηκε ένα νέο κέντρο εκρήξεων δυτικότερα από την περιοχή Γεώργιος που αποκολλήθηκε Αφρόεσσα. Επίσης ένα ακόμη κέντρο που δημιούργησε μικρά μαύρα νησάκια, τα Μαγιονήσια που αργότερα βυθίστηκαν. Οι εκρήξεις ολοκληρώθηκαν το 1870 με απελευθερώσεις

αερίων και ηφαιστειακών ατμίδων στην Νέα Καμένη (Σολδάτος, 2011, Friedrich, 2007).

Ο νέος κύκλος ηφαιστειακών δραστηριοτήτων στην Νέα Καμένη διαρκεί από το 1925 έως και το 1928. Τον Αύγουστο του 1925 στην ανατολική περιοχή της Νέας καμένης εκτοξεύθηκαν ατμοί από θερμοπίδακες και εκχύθηκε λάβα. Στην συνέχεια μετά από μετατόπιση της δραστηριότητας σχηματίστηκε ο κώνος της Δάφνης. Σημειώθηκαν εναλλασσόμενες εκρήξεις και εκχύσεις λάβας καθώς και σύντομες περίοδοι ηρεμίας. Τέλος αυτής της δραστηριότητα έφερε ο σχηματισμός του κώνου Ναυτίλου (Friedrich, 2007).

Το διάστημα 1939 έως 1941 είχαμε νέες εκχύσεις λάβας και εκρήξεις από έξη διαφορετικά σημεία εξόδου, οι θόλοι αυτοί και οι λάβες που αποτέθηκαν δόθηκαν διάφορα ονόματα μερικών από τους γεωλόγους που τις μελέτησαν. Friedrich, 2007)

Η έκρηξη που έγινε το 1950 ολοκλήρωσε την σημερινή εμφάνιση της Παλαιάς και της Νέας Καμένης, από την έκρηξη (φρεατικής μορφής) αποτέθηκε παχύρρευστη λάβα, ενώ ο θόλος Reck έδωσε την θέση του σε ένα χωνοειδές βύθισμα (Friedrich, 2007).



THE CREATION OF PALEA AND NEA KAMENI

Institute for the Study and Monitoring of the Santorini Volcano

Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση της δημιουργίας της Παλαιάς και Νέας Καμένης από το 197π.Χ. έως το 1950μ.Χ. (Βουγιουκαλάκης, 2005, Ι.Μ.Π.Η.Σ.).

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Κατά την εκπόνηση αυτής της διατριβής ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα:

- ❖ Ο γεωλογικός χάρτης των νησιών της Σαντορίνης του Αιγαίου πελάγους, της Ελλάδας των Druitt. & Davies, 1994-1995 (με κλίμακα 1:20.000).
- ❖ Ο γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε.(Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) της Σαντορίνης του 1980 (με κλίμακα 1:50.000).
- ❖ Ο νεοτεκτονικός χάρτης του νησιού της Σαντορίνης των Mountrakis et al, 1996)(με κλίμακα 1:50.000).

Σχετικά με την μορφολογία του αναγλύφου της περιοχής μελέτης έγινε χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (Digital Elevation Model/DEM) της περιοχής μας που ο δορυφόρος Terra κατέγραψε με το ραδιόμετρο ASTER διακριτικής ικανότητας 1 arcsecond ($\approx 30\text{m} \times 30\text{m}$ μέγεθος ψηφίδας/pixel size).

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές πολυφασματικές εικόνες των δορυφόρων Landsat 5 και Landsat 8 με ημερομηνίες λήψης 10-5-2010(Landsat 5), 18-5-2013 και 21-5-2014. Οι εικόνες αυτές αποκτήθηκαν δωρεάν από το site Earth Explorer της Γεωλογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (URL: 13).

Οι φωτογραφίες που παρουσιάζονται ελήφθησαν κατά την άσκηση υπαίθρου του 4^{ου} έτους των προπτυχιακών φοιτητών του Γεωλογικού Τμήματος του ΑΠΘ το 2014 με μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με ανάλυση 7 megapixels.

Τα λογισμικά προγράμματα με τα οποία επεξεργάστηκαν τα δεδομένα μας είναι ένα πρόγραμμα τηλεπισκόπησης, το ENVI4.8 και ένα πρόγραμμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), το ArcGIS 10.1 με τα επί μέρους προγράμματα ArcMap10.1 και ArcCatalog. Τα δύο αυτά προγράμματα δημιουργήθηκαν από την εταιρία Esri.

Στο πρόγραμμα ArcMap 10.1 επιπλέον προστέθηκε ένα ακόμα εργαλείο το Polar Plot Tool v1.0.253 που παρέχεται δωρεάν από την εταιρία Jenness Enterprises και κατασκευάζει ροδοδιαγράμματα για γραμμικά στοιχεία.

Επίσης με το πρόγραμμα Google Earth ψηφιοποιήσαμε την ακτογραμμή και προσθέσαμε ορισμένα σημεία σε γνωστές περιοχές στην Σαντορίνη.

Τέλος χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό GPS ακρίβειας 2 μέτρων για την καταγραφή των συντεταγμένων ορισμένων σημείων στα οποία γίνεται προσωπική εκτίμηση της πυκνότητας της βλάστησης.

Αρχικά ψηφιοποιήθηκε η ακτογραμμή της Σαντορίνης με την χρήση του προγράμματος Google Earth.

Κατά την επεξεργασία των χαρτών που προαναφέρθηκαν στα δεδομένα αρχικά έγινε γεωαναφορά κάθε χάρτη με βάση το πολυγωνικό αρχείο της ακτογραμμής στο γραφικό περιβάλλον προγράμματος ArcMap. Στην συνέχεια έγινε ψηφιοποίηση της λιθολογίας των αντίστοιχων χαρτών, καθώς και ψηφιοποίηση των τεκτονικών γραμμικών στοιχείων (ρήγματα) και των τριών χαρτών. Επίσης από το ψηφιακό αρχείο της ακτογραμμής αλλά και των παραγόμενων λιθολογικών πολυγώνων υπολογίστηκαν οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν τα πολύγωνα σε τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) της επιφάνειας της Σαντορίνης το οποίο αποτελεί ένα είδος απεικόνισης του αναγλύφου, χρησιμοποιήθηκε στο ArcMap κατά την εύρεση της μορφολογικής κλίσης της περιοχής μελέτης, του υδρογραφικού δικτύου, της υδρογραφικής συχνότητας και πυκνότητας καθώς της παραγόμενης υδρογραφικής υψής.

Τις δορυφορικές εικόνες αρχικά επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα ENVI ώστε να πάρουν την επιθυμητή μορφή είτε με συσσώρευση των φασματικών ζωνών μαζί, είτε με απομάκρυνση του χώρου των φωτογραφιών που βρίσκεται έξω από τις συντεταγμένες που καθορίστηκαν. Οι συντεταγμένες αυτές είναι οι εξής:

- Πάνω αριστερά συντεταγμένες: 344265.0000E, 4043925.0000N
- Κάτω δεξιά συντεταγμένες: 368745.0000E, 4017555.0000N

Στο ENVI επίσης πραγματοποιήθηκαν πράξεις μεταξύ των φασματικών ζωνών υπολογίζοντας τον δείκτη βλάστησης NDVI, δημιουργήθηκαν νέοι συνδυασμοί φασματικών ζωνών για διευκόλυνση της ταξινόμησης στο πρόγραμμα ArcMap. Επιπλέον στο ENVI υπολογίστηκε ο δείκτη ανίχνευσης αλλαγών της βλάστησης, ενώ οι χάρτες τόσο του δείκτη NDVI και της ανίχνευσης αλλαγών παράχθηκαν στο ArcMap.

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά την διάρκεια της άσκησης αξιοποιούνται στην διεξαγωγή προσωπικών συμπερασμάτων για την πυκνότητα της φυτοκάλυψης.



Με το εργαλείο Polar Plot Tool v1.0.253 που επιπρόσθετα εγκαταστήθηκε στο ArcMap, κατασκευάστηκαν ροδοδιαγράμματα τόσο των χαρτογραφημένων ρηγμάτων όσο και των φωτογραμμώσεων που πιθανολογήθηκε ότι είναι ρήγματα.

Τα σημεία με γνωστές συντεταγμένες που πήραμε στο ύπαιθρο με το GPS και με στο Google Earth μεταφέρονται στο ArcMap και βαθμολογούνται σε ποσοστό επί της % για την πυκνότητα βλάστησης που παρουσιάζουν, ενώ δόθηκε και μια υποκειμενική περιγραφή με βάση την βλάστηση.

6. ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Επιδεκτικότητα διάβρωσης μιας περιοχής αποκαλείται η τάση που έχουν τα εδάφη-πετρώματα της περιοχής να είναι επιρρεπή στις διεργασίες της διάβρωσης. Η επιδεκτικότητα διάβρωσης των πετρωμάτων μπορεί να εκτιμηθεί με βάση διάφορους παράγοντες ανάλογα με την κρίση του μελετητή, όπως είναι η λιθολογία, η κλίση του αναγλύφου, η πυκνότητα της φυτοκάλυψης, το ύψος των κατακρημνισμάτων, η κυματική δράση(για παράκτιες περιοχές) και η υδρογραφική ένταση(υφή). Αναλόγως με τα ακριβή στοιχεία που υπάρχουν για μια περιοχή χρησιμοποιούμε όσο το δυνατόν περισσότερους παράγοντες, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι παράγοντες που θα επιλεγούν πρέπει να φέρουν την μεγαλύτερη βαρύτητα στις διεργασίες έναρξης και εξέλιξης του φαινομένου της διάβρωσης στην περιοχή που μας ενδιαφέρει, ενώ ο συμψηφισμός μικρότερης βαρύτητας παραγόντων μειώνει τα περιθώρια λανθασμένου αποτελέσματος. Επίσης παράγοντες οι οποίοι θεωρούνται αμελητέοι συνήθως δεν συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό της επιδεκτικότητας διάβρωσης.

Στην περιοχή μελέτης μας που αποτελείται από τον χερσαίο χώρο του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης χρησιμοποιήθηκαν τρεις παράγοντες για την εκτίμηση της επιδεκτικότητας διάβρωσης. Οι παράγοντες αυτοί δεν επηρεάζουν ισοβαρώς το φαινόμενο της διάβρωσης επομένως ο κάθε παράγοντας έχει και διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας. Αναλυτικότερα οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν είναι η κλίση της μορφολογίας του αναγλύφου της περιοχής, η υδρογραφική υφή/ένταση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής και τέλος η επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών στην διάβρωση.(Μαρίνος και Πλέσσας, 1998)

Η επιδεκτικότητα διάβρωσης των λιθολογικών σχηματισμών παρουσιάζει τον μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας, ενώ η υδρογραφική ένταση παρουσιάζει τον μικρότερο. Όλοι οι παράγοντες υπολογίστηκαν με την χρήση του προγράμματος ArcMap10.1, ενώ τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της κλίσης του αναγλύφου και της υδρογραφικής υφής είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου(DEM) με μέγεθος ψηφίδας περίπου 30m x 30m του δορυφόρου Terra/Aster.

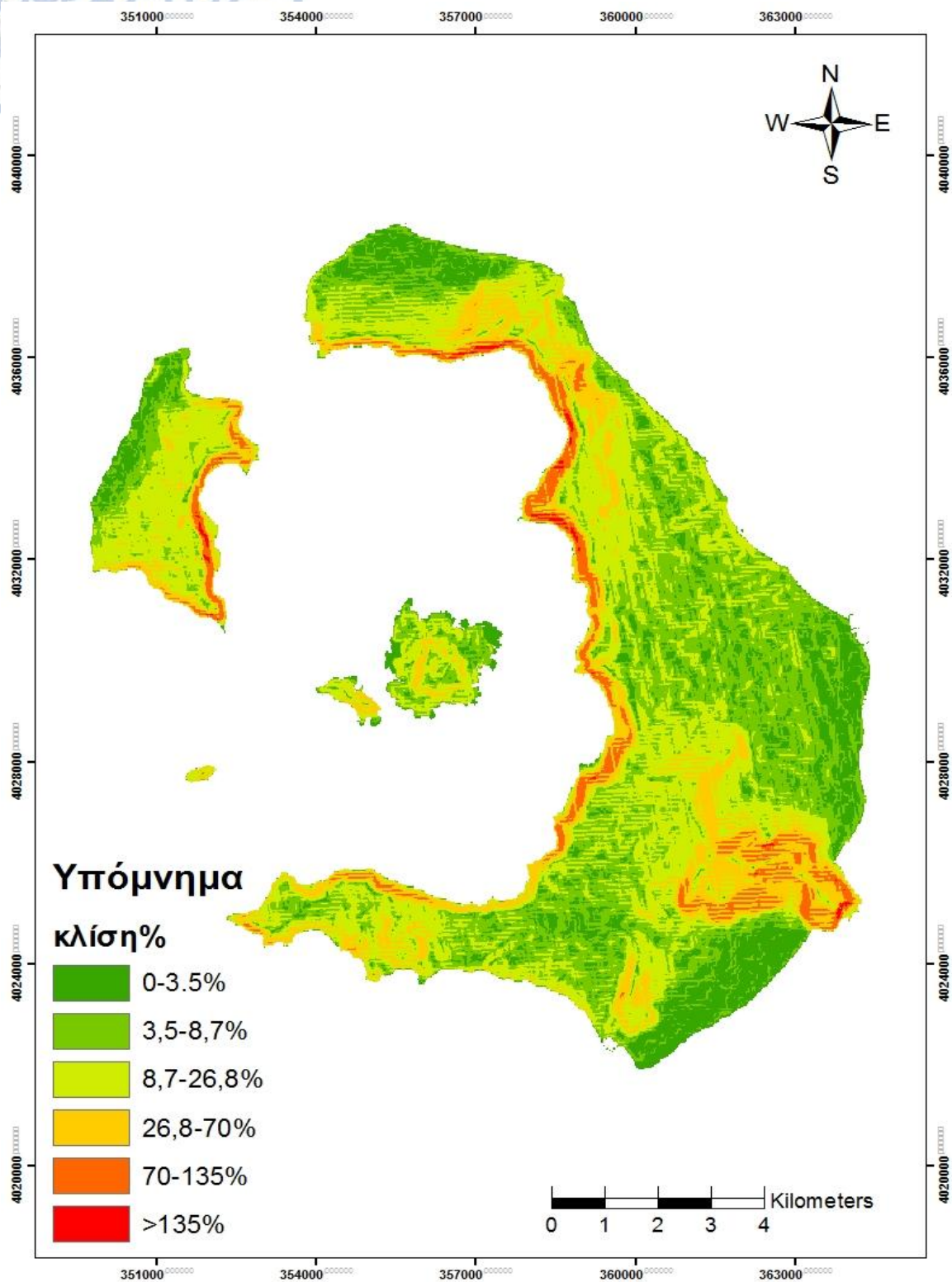
6.1 Κλίση του αναγλύφου

Η ταξινόμηση της κλίσης στην παρούσα εργασία γίνεται σύμφωνα με την προτεινόμενη ταξινόμηση από τον Demek,(1972). Σύμφωνα με αυτήν, η κλίση του αναγλύφου χωρίζεται σε έξι ομάδες κλίσεων, οι οποίες αναλύονται στον παρακάτω πίνακα, ενώ αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι την ίδια ταξινόμηση ακολουθεί και η Διεθνής Γεωγραφική Ένωση.

Κλίση σε μοίρες (°)	Κλίση σε ποσοστό (%)	Περιγραφή αναγλύφου
0-2°	0-3,5%	Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο επίπεδο (έναρξη της διάβρωσης τύπου καλύμματος)
2-5°	3,5-8,7%	Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (έναρξη αυλακωτής διάβρωσης και διάβρωση καλύμματος)
5-15°	8,7-26,8%	Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (έντονη αυλακωτή διάβρωση και τύπου καλύμματος, κινήσεις μαζών, ερπυσμός και ενδεχόμενη ολίσθηση του εδάφους)
15-35°	26,8-70%	Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο (πολύ ισχυρή γραμμική και αυλακωτή διάβρωση ασχέτως φυτοκάλυψης, ερπυσμός, λασπορροές, και ιδιαίτερα έντονες διαδικασίες αποσάθρωσης)
35-55°	70-135%	Απόκρημνο ανάγλυφο (ισχυρή απομάκρυνση του μητρικού πετρώματος, ιδιαίτερα λεπτό-ασυνεχές εδαφικό κάλυμμα, έντονη διάβρωση και ισχυρή επίδραση της βαρύτητας)
>55°	>135%	Κάθετο ανάγλυφο (απουσία εδαφικού καλύμματος, κατολισθήσεις βράχων και διάβρωση εκτεθειμένων πετρωμάτων)

Πίνακας 3: Ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου σε έξι κλάσεις σύμφωνα με τον Demek (1972).

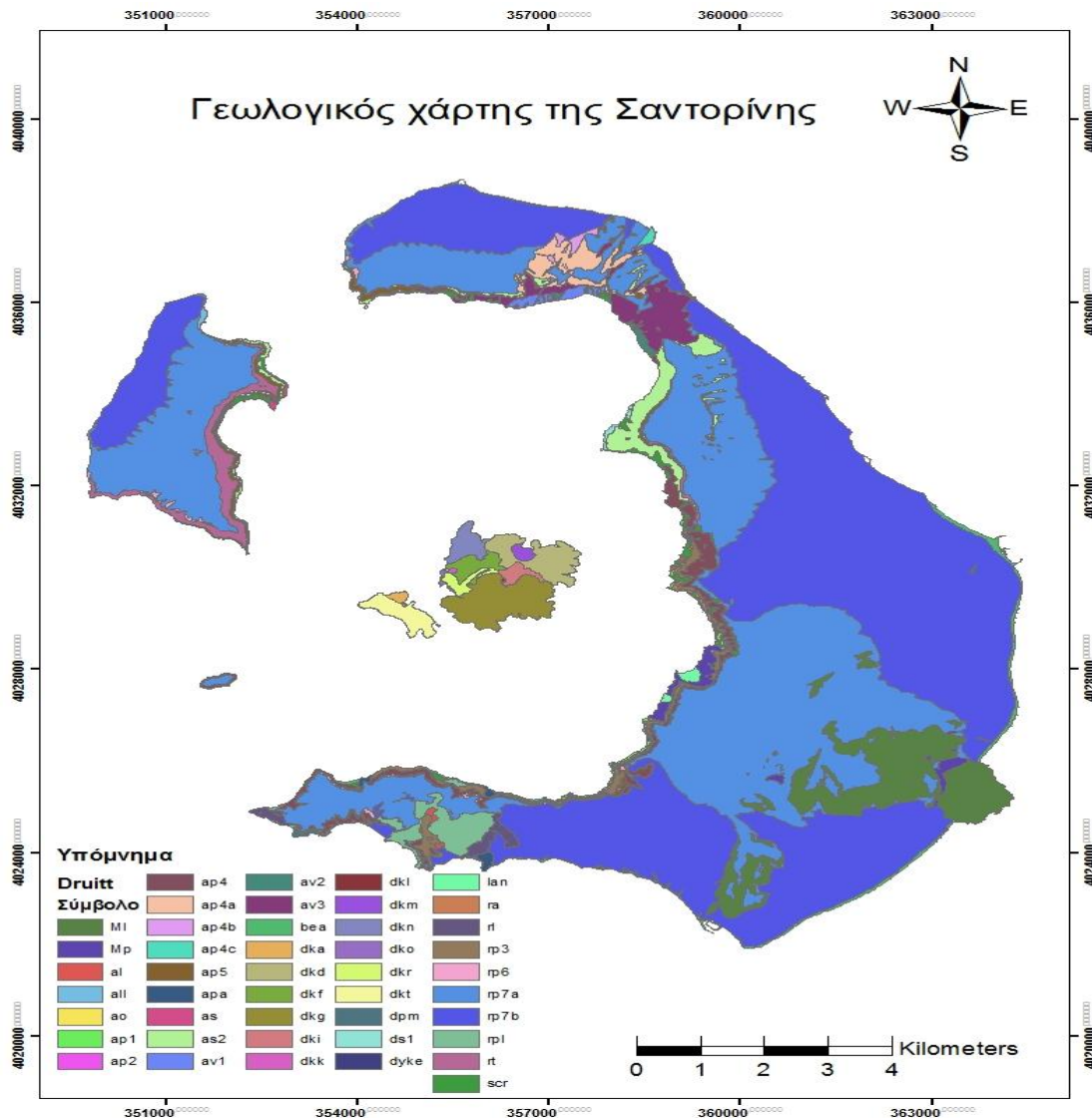
Για τον υπολογισμό της κλίσης χρησιμοποιήθηκε το DEM(χωρικής ανάλυσης $\approx 30\text{m} \times 30\text{m}$, Terra/ASTER) της Σαντορίνης στο πρόγραμμα ArcMap 10.1, ενώ με την χρήση της ακτογραμμής απομονώθηκε το χερσαίο τμήμα της περιοχής. Στη συνέχεια από την εργαλειοθήκη ArcToolbox από την κατηγορία surface επιλέχθηκε η εντολή slope σε ποσοστό %. Στο αποτέλεσμα που αναταξινομείται (reclassify) χωρίζοντας τις κλίσεις σε έξι κατηγορίες σύμφωνα με την ταξινόμηση της κλίσης του αναγλύφου του Demek (1972) (πίνακας 3). Στον χάρτη που ακολουθεί έχουμε κάνει την ταξινόμηση σε ποσοστό %. Οι υψηλότερες τιμές κλίσεων, βρίσκονται στην καλδέρα καθώς και στο βουνό προφήτης Ηλίας, ενώ οι χαμηλότερες εντοπίζονται κυρίως στο εξωτερικό μέρος των μινωικών αποθέσεων τόσο στην Θήρα όσο και στη Θηρασία.



Εικόνα 14: Χάρτης κλίσεων της Σαντορίνης.

6.2 Επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών στην διάβρωση

Ο υπολογισμός της επιδεκτικότητας των λιθολογικών σχηματισμών στην διάβρωση στην παρούσα εργασία έγινε με την χρήση τριών παραγόντων οι οποίοι θεωρούνται ισοβαρεις. Οι παράγοντες αυτοί είναι η περατότητα των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης, η διηθητικότητα των εδαφικών καλυμμάτων της περιοχής μας και η επιφανειακή συνεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών. Στον υπολογισμό της επιδεκτικότητας των λιθολογικών σχηματισμών στην διάβρωση χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης των Druitt & Davies, 1994-1995.



Εικόνα 15: Γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης (Από Druitt & Davies, 1994-1995).

Παρακάτω δίνονται οι λιθολογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στον γεωλογικό χάρτη της Σαντορίνης μαζί με τον συμβολισμό τους και την έκταση που καταλαμβάνουν στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (Druitt & Davies, 1994-1995).

Πίνακας 4: Περιγραφή και συμβολισμός των πετρωμάτων την Σαντορίνης(Εικόνα 16).

Λιθολογική περιγραφή	Σύμβολο	Έκταση(km ²)
Συγκολλημένο βασαλτικό υλικό και κλαστικογενείς ροές λάβας	ap4b	0,14
Αλλουβιακές αποθέσεις	all	0,04
Ανδεσίτες	al	0,07
Ανδεσίτες και βασάλτες	apa	0,13
Ανδεσίτες και βασάλτες του αρκωτηρίου Σημαντίρι	as	0,05
Ανδεσίτες της Οια	ao	0,03
Ανδεσίτες, βασάλτες, δακίτες και τόφφοι	av3	1,47
Ανδεσιτικές και βασαλτικές λάβες	as2	1,51
Ανδεσιτικές ροές λάβας και δόμοι	av2	0,10
Ανδεσιτικές λάβες, τόφφοι και λατυποπαγή	av1	0,23
Ανδασιτικές πυροκλαστικές και λιθικά πλούσιες με σκωρία ροές αποθέσεων	ap2	0,08
Ανδεσιτικές πυροκλαστικές αποθέσεις με σκωρία, πολλά λιθικά και τόφφοι	ap1	0,19
Ανδεσιτικές πυροκλαστικές αποθέσεις	ap5	0,77
Ανδεσιτικές προς δασιτικές πυροκλαστικές αποθέσεις	ap4	1,71
Ψηφιδοπαγής αιγιαλός	bea	0,71
Μαύρη και κόκκινη σκωρία	ap4a	0,89
Δασιτικοί φρεατομαγματικοί τόφφοι και δόμοι	dpm	0,05
Φλέβα πετρώματος	dyke	0,05
Αποθέσεις κατολίσθησης	lan	0,10
Δόμοι και ροές λάβας	ds1	0,07
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις1	dki	0,01
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις10	dkm	0,09
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις11	dka	0,06
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις12	dkt	0,46
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις2	dki	0,16
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις3	dkr	0,17
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις4	dkf	0,30
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις5	dkk	0,01
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις6	dkd	0,83
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις7	dkg	1,39
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις8	dko	0,03
Δόμοι λάβας, ροές και πυροκλαστικές αποθέσεις9	dkn	0,33
Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα	MI	4,84
Μεταπηλίτης , μεταψαμμίτες, μεταηφαιστειακά και μάρμαρα	Mp	0,54
Φρεατομαγματικοί τόφφοι	ap4c	0,06
Δόμοι ρυοδακτιτικών λαβών και ροές λάβας	rl	0,28
Ρυοδακτιτική κίσηρης και τέφρα με πολλαπλές αποθετικές φάσεις	rp7a	29,02
Ρυοδακτιτικοί κισσηρώδης τόφφοι και και υαλώδης τόφφοι	rpl	1,07
Ρυοδακίτες	rt	1,25
Ρυοδακτιτικές λάβες	ra	0,09
Ρυοδακτιτικοί ιγνιμβρίτες και λατυποπαγή	rp7b	37,95
Ρυοδακτιτική κίσηρης, ιγνιμβρίτες και λατυποπαγή	rp6	0,34
Ρυοδακτιτικές πυροκλαστικές αποθέσεις	rp3	0,89
Κλαστικά κορήματα	scr	0,51
Σύνολο		89,07

6.2.1 ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Περατότητα ονομάζουμε την ικανότητα που έχει ένα ρευστό να περάσει μέσω ενός πορώδους πετρώματος. Όσο μικρότερη αντίσταση εμφανίζει το πέτρωμα τόσο υψηλότερη περατότητα παρουσιάζει. Επίσης τα πετρώματα μπορούν για τεκτονικούς λόγους (ρωγμές, ρήγματα) να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές περατότητας. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί στην συγκεκριμένη εργασία ταξινομούνται σύμφωνα με την ταξινόμηση των Μαρίνου κ.α. (1998) σε τρεις κατηγορίες, σε σχηματισμούς υψηλής περατότητας, σε σχηματισμούς μέσης περατότητας και τέλος σε αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Rock Type	Permeability Range (Darcy)						
	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4
Unconsolidated							
Gravel							
Clean sand							
Silty sand							
Silt							
Clay							
Shale							
Consolidated							
Igneous and metamorphic rocks ^a							
Nonwelded tuff							
Welded tuff							
Sandstone							
Limestone							
Igneous and metamorphic rocks ^c							
Basalt ^d							
Karst limestone							

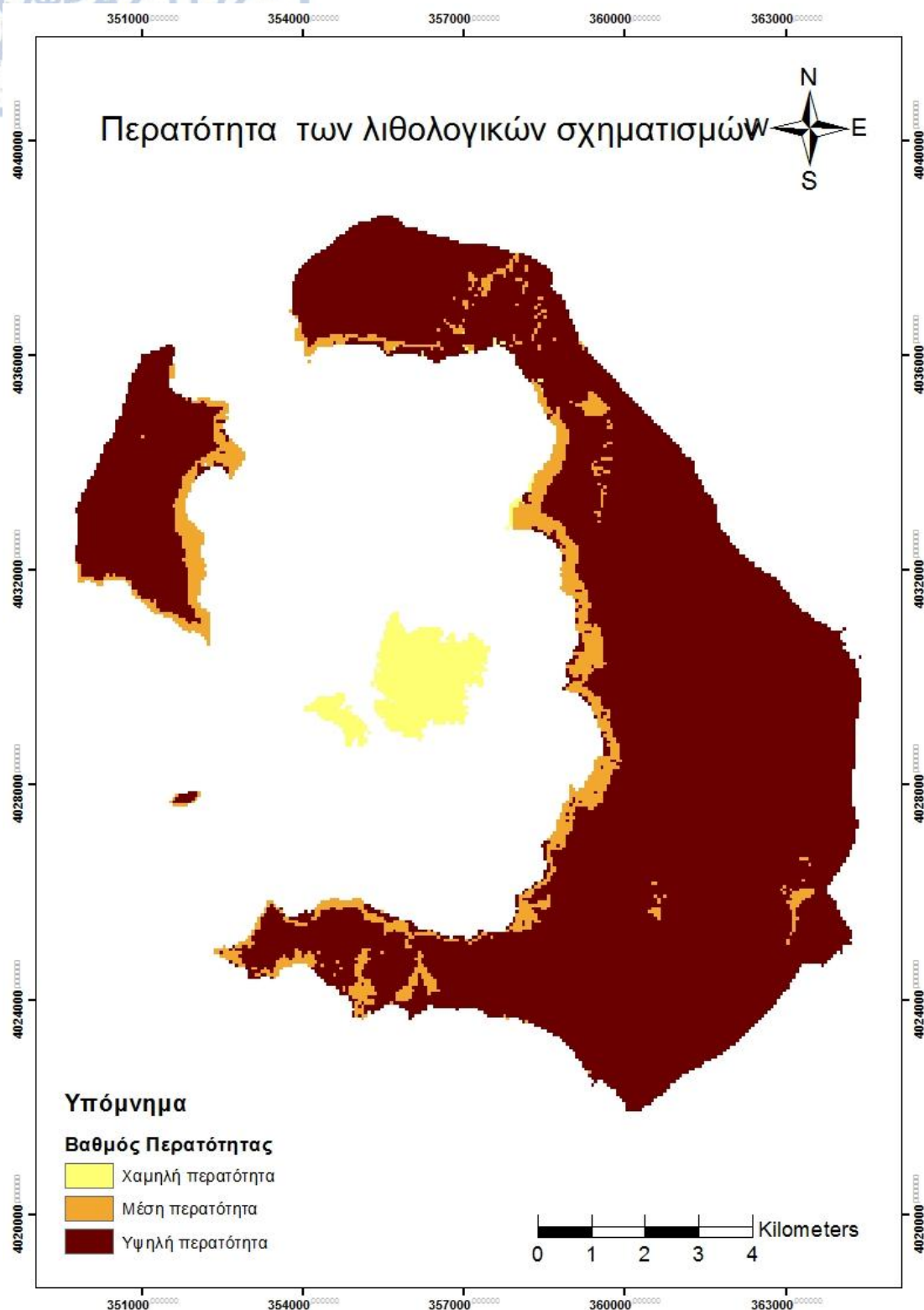
^aFrom Brace (1980) and Wang and Narasimhan (1986).
^bUnfractured.
^cFractured.
^dPermeable.

Πίνακας 5: Πίνακας περατότητας λιθολογικών σχηματισμών (Wohletz et al, 1992, URL 21).

Στην πρώτη κατηγορία των σχηματισμών υψηλής περατότητας ανήκουν τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής μας, όπως ασβεστόλιθοι και μάρμαρα. Επίσης θεωρούμε ότι οι σκωρίες, οι τόφφοι και η κίσηρης των Μινωικών αποθέσεων έχουν υψηλό πορώδες (Σούλιος, 2010).

Στην κατηγορία μέσης περατότητας τοποθετούνται οι αλλουβιακές αποθέσεις, κώνοι κορημάτων, ανδειστικοί σχηματισμοί που περιέχουν βασάλτες και οι ρυοδακτιτικοί σχηματισμοί.

Τέλος ως αδιαπέρατους λιθολογικούς σχηματισμούς θεωρούνται οι δόμοι λάβας των νήσων Παλαιά και Νέα Καμένη.



Εικόνα 16: Χάρτης Περατότητας.

6.2.2 ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ

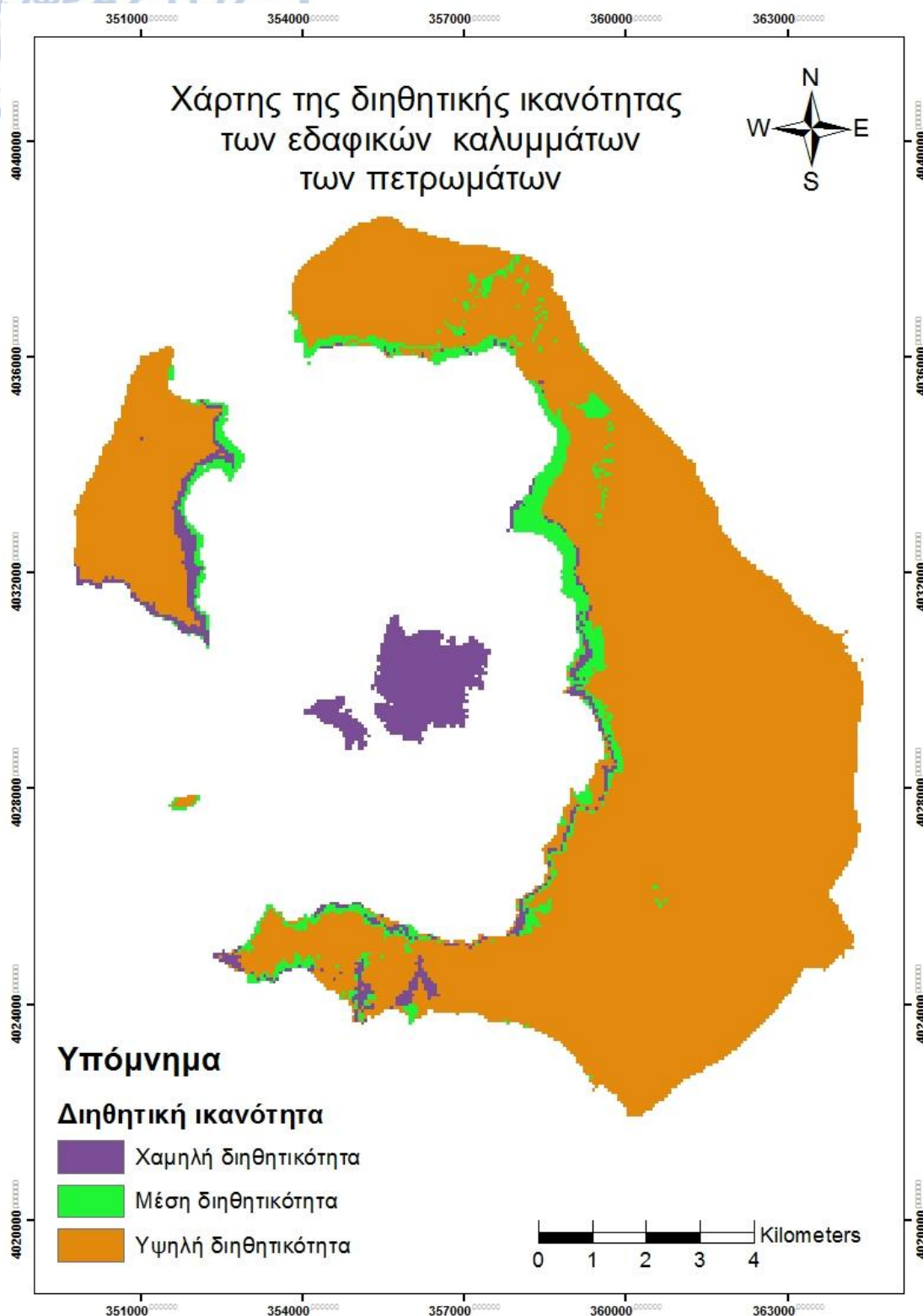
Η διηθητικότητα των σχηματισμών αποτελεί έναν εξίσου σημαντικό λιθολογικό παράγοντα που επηρεάζει θετικά τις διεργασίες της διάβρωσης. Επιπλέον, εξαιτίας της διηθητικότητας το έδαφος συγκρατεί ένα μέρος του νερού των κατακρημνισμάτων με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιφανειακή ροή και η διάβρωση που αυτή προκαλεί. Αναλυτικότερα η διηθητικότητα αποτελεί χαρακτηριστικό των εδαφικών καλυμμάτων που παράγονται από τους υποκείμενους λιθολογικούς σχηματισμούς ύστερα από τις διεργασίες της αποσάθρωσης και της διάβρωσής τους. Επομένως αφορά μόνο τα επιφανειακά στρώματα των λίγων εκατοστών στα οποία εκτείνονται οι εδαφικοί ορίζοντες. Επομένως μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τα εδάφη που προκύπτουν με βάση τους υποκείμενους λιθολογικούς σχηματισμούς (Μαρίνος κ.α., 1998).

Στην παρούσα εργασία οι σχηματισμοί χωρίστηκαν σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, τους σχηματισμούς με υψηλή, μέση και χαμηλή διηθητικότητα.

Οι σχηματισμοί με υψηλή διηθητικότητα είναι οι ανθρακικοί, όπως μάρμαρα και ασβεστόλιθοι. Επιπλέον σχηματισμού όπως οι τόφφοι, οι σκωρίες και η κίσηρης θεωρήθηκαν ότι παράγουν εδάφη υψηλής διηθητικότητας.

Χαμηλής διηθητικότητας σχηματισμοί θεωρούνται οι βασικοί ηφαιστειακοί σχηματισμοί όπως οι βασάλτες. Επίσης χαμηλές τιμές δόθηκαν στους δόμους λάβας των πετρωμάτων στις Καμένες.

Στην μέση κλάση με μέσες τιμές διηθητικότητας τοποθετούνται εδαφικά καλύμματα που προήρθαν από ρυοδακίτες, ανδεσίτες με βασάλτες ή λιθολογικοί σχηματισμοί που περιέχουν πετρώματα που ανήκουν στις δύο ακραίες κατηγορίες.



Εικόνα 17: Χάρτης διηθητικότητας των εδαφικών καλυμμάτων.

6.2.3 ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

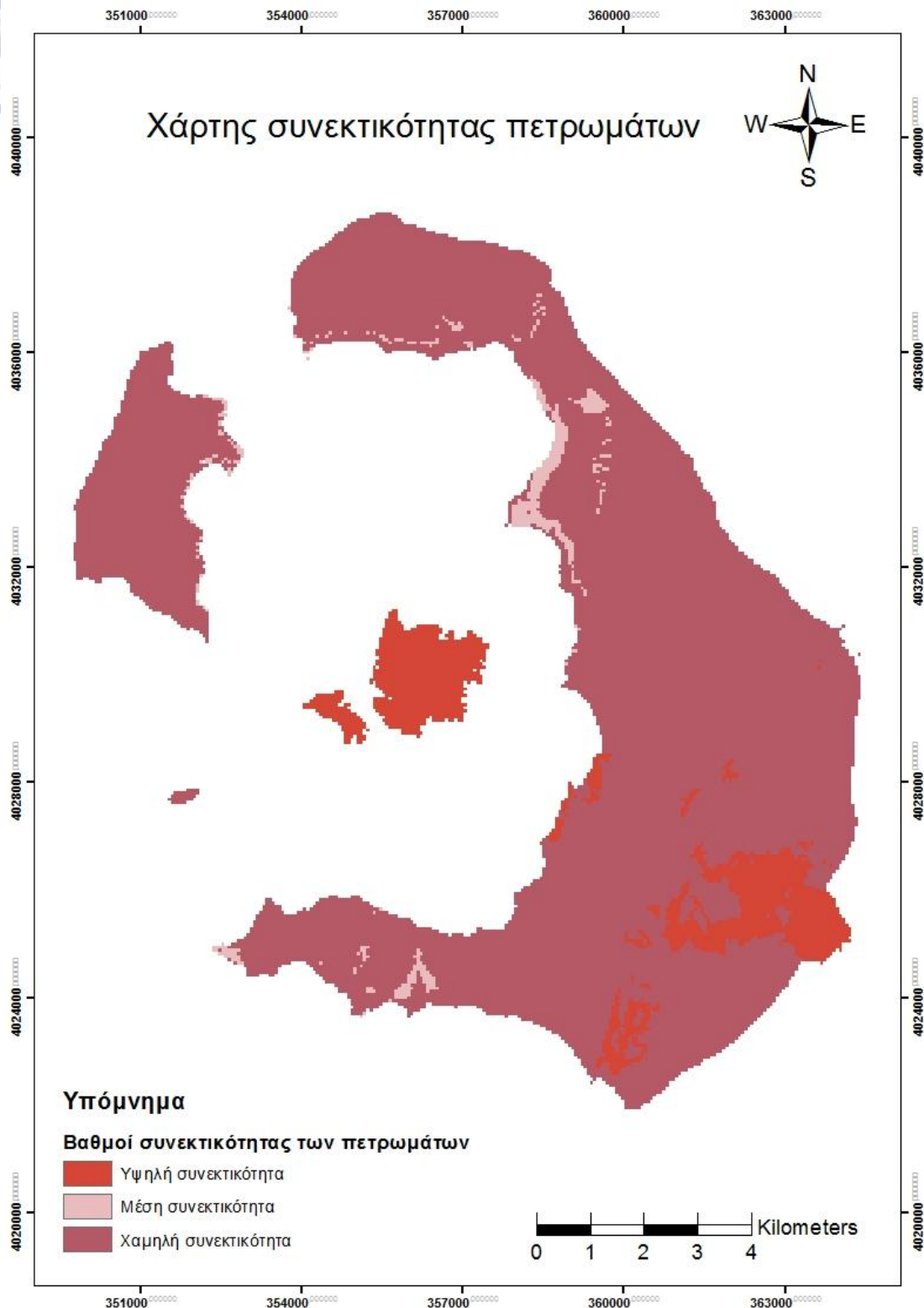
Η συνεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών αποτελεί μια παράμετρο πλήρως αντίθετη της εξέλιξης των διεργασιών της διάβρωσης. Αναλυτικότερα όσο πιο συμπαγής είναι ένας λιθολογικός σχηματισμός τόσο πιο δύσκολα εξελίσσονται οι διεργασίες της διάβρωσης. Οι τιμές της συνεκτικότητας των ηφαιστειακών πετρωμάτων παρουσιάζουν μια εμβέλεια που κυμαίνεται από $<1,0 \text{ Mg/m}^3$, που αντιστοιχεί στην κίσηρη, έως περίπου $2,9 \text{ Mg/m}^3$ που αντιστοιχεί σε βασαλτικά πετρώματα. Οι τιμές αυτές όμως μπορεί να παρουσιάζουν κάποιες αποκλίσεις στην πραγματικότητα σύμφωνα με την υπαίθρια παρατήρηση. (Wohletz et al, 1992, URL 22)

Πίνακας 6: Τιμές συνεκτικότητας των πετρωμάτων σε Mg/m^3 (URL 22, URL 23, URL 24).

Πετρώματα	Συνεκτικότητα (Mg/m^3)
Ανδεσίτης	2.5-2.8
Ασβεστόλιθος	2.3-2.7
Βασάλτης	2.8-3.0
Μάρμαρο	2.4-2.7
Κίσηρη	<1.0
Ρυόλιθος	2.4-2.6
Ψαμμίτης	2.2-2.8

Στο εμπειρικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε χαρακτηρίστηκαν τα πετρώματα με τις τιμές 1,2, και 3 που αντιστοιχούν στις κατηγορίες υψηλής συνεκτικότητας σχηματισμοί, μέσης και χαμηλής συνεκτικότητας. Συγκριτικά με την βαθμολόγηση των δύο προηγούμενων συντελεστών, της περατότητας και της διήθησης, οι υψηλότερες τιμές της συνεκτικότητας αντικαθιστούνται με την τιμή 1 αντί για την τιμή 3 όπως συμβαίνει στους προηγούμενους συντελεστές. Η αναστροφή αυτή των τιμών που εισάχθηκε στο μοντέλο οφείλεται στην επιβράδυνση των διεργασιών της διάβρωσης σε συμπαγή πετρώματα αντίθετα με τα πετρώματα με υψηλό πορώδες και τα εδάφη με μεγάλη διηθητική ικανότητα που διευκολύνουν την διάβρωση.

Παρατηρώντας τον γεωλογικό μας χάρτη εύκολα διακρίνεται ότι η μειοψηφία των λιθολογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης ανήκουν στην κατηγορία της υψηλής συνεκτικότητας, όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, βασαλτικά πετρώματα. Αντίθετα οι μινωικές αποθέσεις που αποτελούνται κυρίως από κίσηρη και τέφρα καταλαμβάνοντας την μεγαλύτερη έκταση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης ανήκουν στην χαμηλής συνεκτικότητας κατηγορία. Τέλος μέσες τιμές συνεκτικότητας φέρουν σχηματισμοί που συνδυάζουν τα πετρώματα των άλλων κλάσεων.

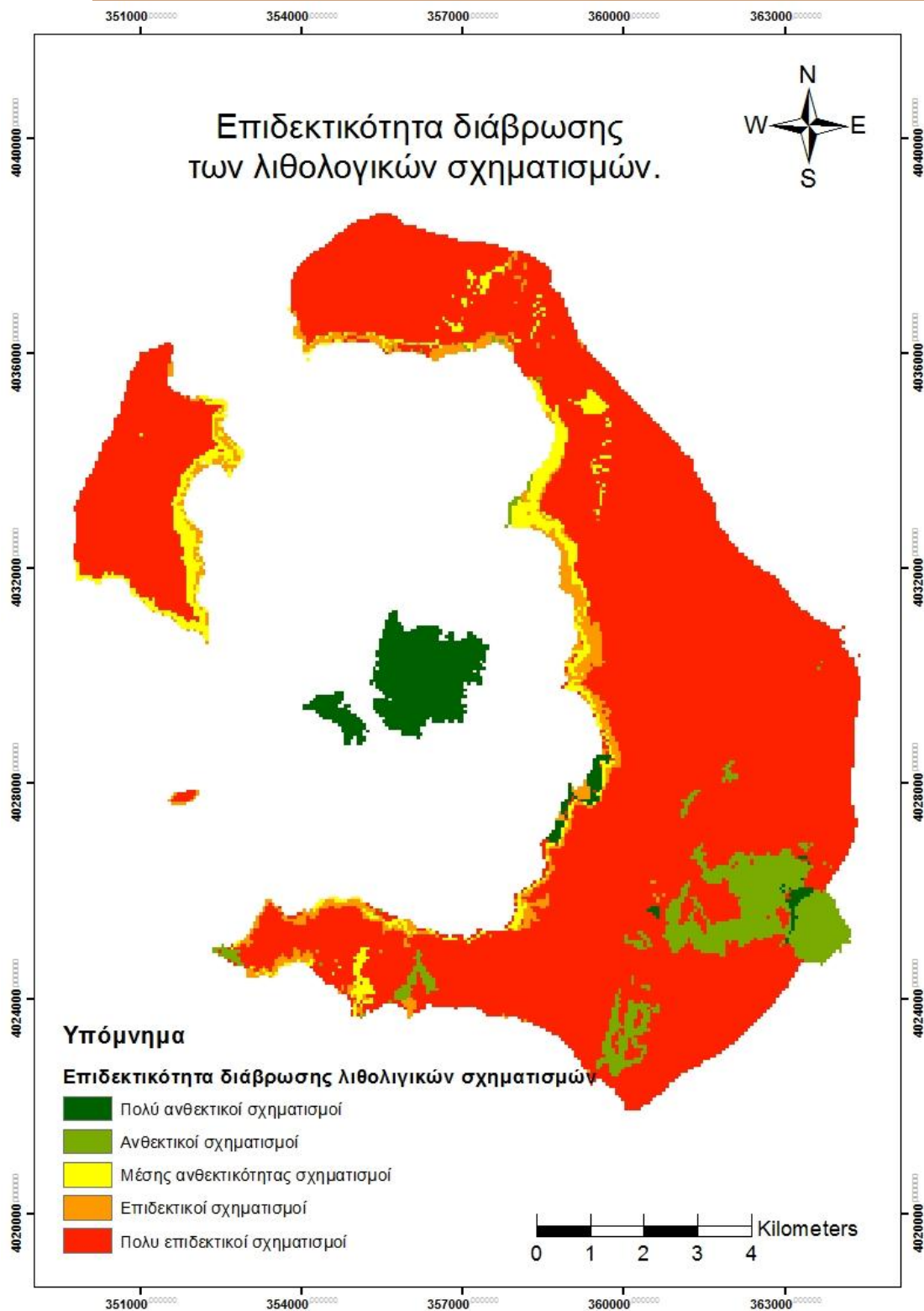


Εικόνα 18: Χάρτης Συνεκτικότητας Πετρωμάτων.

Θεωρώντας ισοβαρείς όλους τους λιθολογικούς παράγοντες, με το εργαλείο raster calculator εισάγουμε τις τρεις παραμέτρους της λιθολογίας και δημιουργείται ο ακόλουθος χάρτης που δίνει την επιδεκτικότητα διάβρωσης με βάση μόνο τον

λιθολογικό παράγοντα. Ο τύπος αυτός σύμφωνα με τους Μαρίνο και Πλέσσα (1998) είναι ο εξής:

Περατότητα πετρωμάτων* Διήθηση εδαφικών καλυμμάτων* Συνεκτικότητα



Εικόνα 19: Χάρτης της επιδεκτικότητας διάβρωσης των λιθολογικών σχηματισμών.

6.3 Υδρογραφική ένταση-υφή

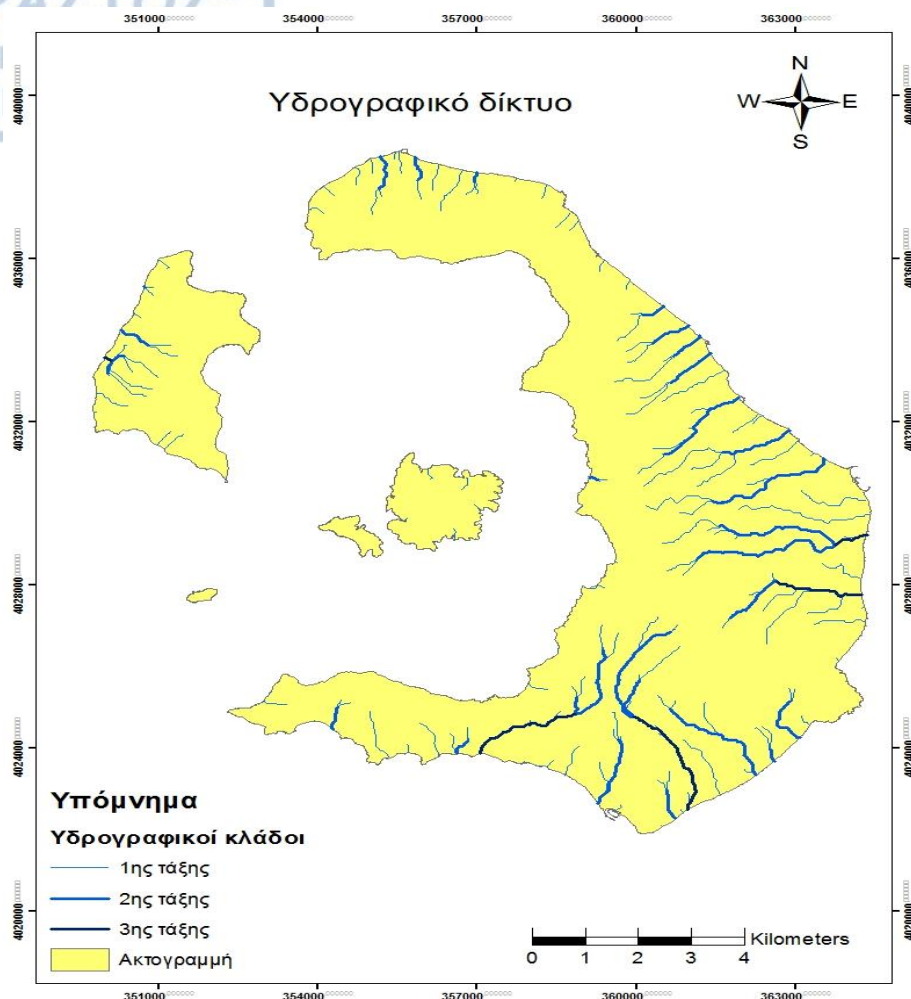
Κατά τον Horton (1945), ο όρος υδρογραφική υφή εσωκλείει την υδρογραφική πυκνότητα και την υδρογραφική συχνότητα, ενώ ως υδρογραφική πυκνότητα ορίζεται το συνολικό μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου προς την συνολική έκταση της λεκάνης που αναπτύσσονται. Επίσης ορίζει ως υδρογραφική συχνότητα το πλήθος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου προς την συνολική έκταση της λεκάνης.

Η μορφή που παίρνει η υφή μπορεί να είναι είτε λεπτή (με πυκνό υδρογραφικό δίκτυο υψηλής συχνότητας) είτε τραχεία (με αραιό υδρογραφικό δίκτυο χαμηλής συχνότητας). Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην υδρογραφική υφή ακολουθούν επιγραμματικά. (Μοντεσάντου, 1999)

- Το κλίμα κυρίως με το ύψος των κατακρημνισμάτων που δέχεται μια περιοχή. Στην Σαντορίνη η ποσότητα των κατακρημνισμάτων είναι αρκετά περιορισμένη αυτός είναι και ο λόγος που ο συντελεστής βαρύτητας που θέσαμε για την υδρογραφική υφή είναι τόσο χαμηλός.
- Η ικανότητα διήθησης που υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
- Το αρχικό ανάγλυφο καθώς η επιφανειακή απορροή διευκολύνεται σε επιφάνειες με κλίση.
- Η δομή των επιφανειακών πετρωμάτων.(συνεκτικότητα, ρήγματα κ.α.)

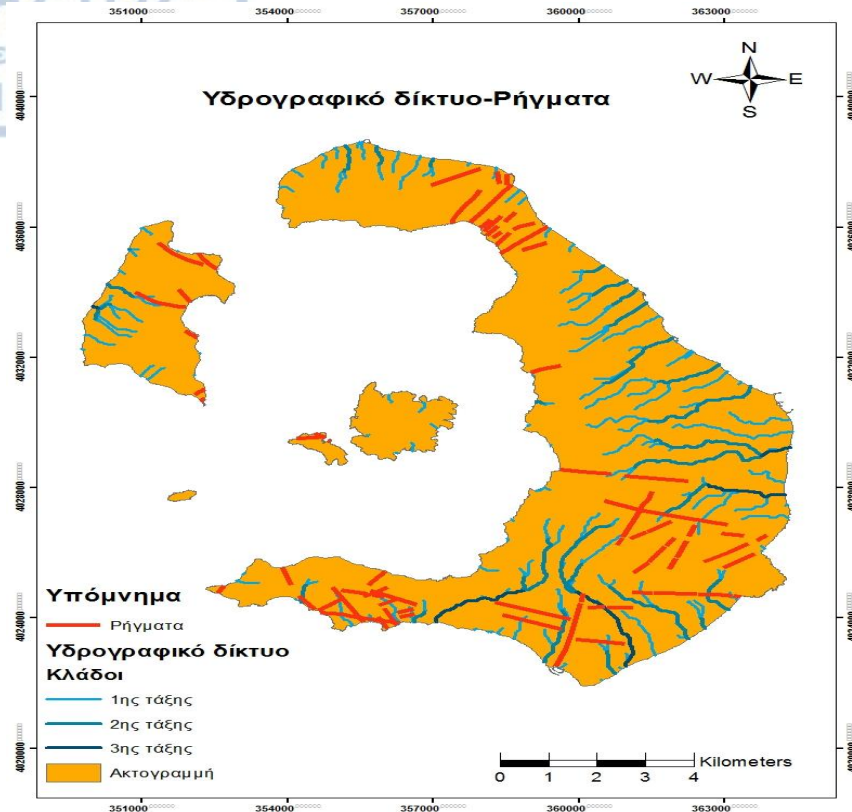
Επίσης οι δύο παράγοντες της υδρογραφικής πυκνότητας (D) και της υδρογραφικής συχνότητας (F) επηρεάζονται τόσο από τα μορφολογικά και λιθολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής όσο και από την έκταση της φυτοκάλυψης.

Απαραίτητο πρώτο βήμα για την εύρεση των υδρολογικών παραγόντων είναι η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 20: Υδρογραφικό δίκτυο του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης.

Η εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου μας περιοχής γίνεται με βάση το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM) και ακολουθώντας συγκεκριμένες εντολές εξήχθη από το πρόγραμμα ArcMap. Στους χάρτες μας φαίνεται ότι το υδρογραφικό μας δίκτυο έχει 1^{ης} τάξης, 2^{ης} τάξης και 3^{ης} τάξης κλάδους. Οι κλάδοι στο μεγαλύτερο τμήμα της Σαντορίνης παρουσιάζουν παράλληλη μορφή, ενώ στο νότιο κεντρικό τμήμα της Θήρας βλέπουμε την μορφή των κλάδων να μεταπίπτει σε ακτινωτή. Στον τεκτονικό-υδρογραφικό χάρτη που παρατίθεται φαίνονται τα ρήγματα να έχουν κάθετη διεύθυνση στους κλάδους του υδρογραφικού στην περιοχή που σημειώνεται αυτή η αλλαγή της μορφής του, για αυτόν τον λόγο θεωρούμε ότι τα ρήγματα αυτά αλλάζουν την μορφή των κλάδων.



Εικόνα 21:Χάρτης Υδρογραφικού δικτύου-Ρήγματα.(Από Mountrakis et al, 1996)

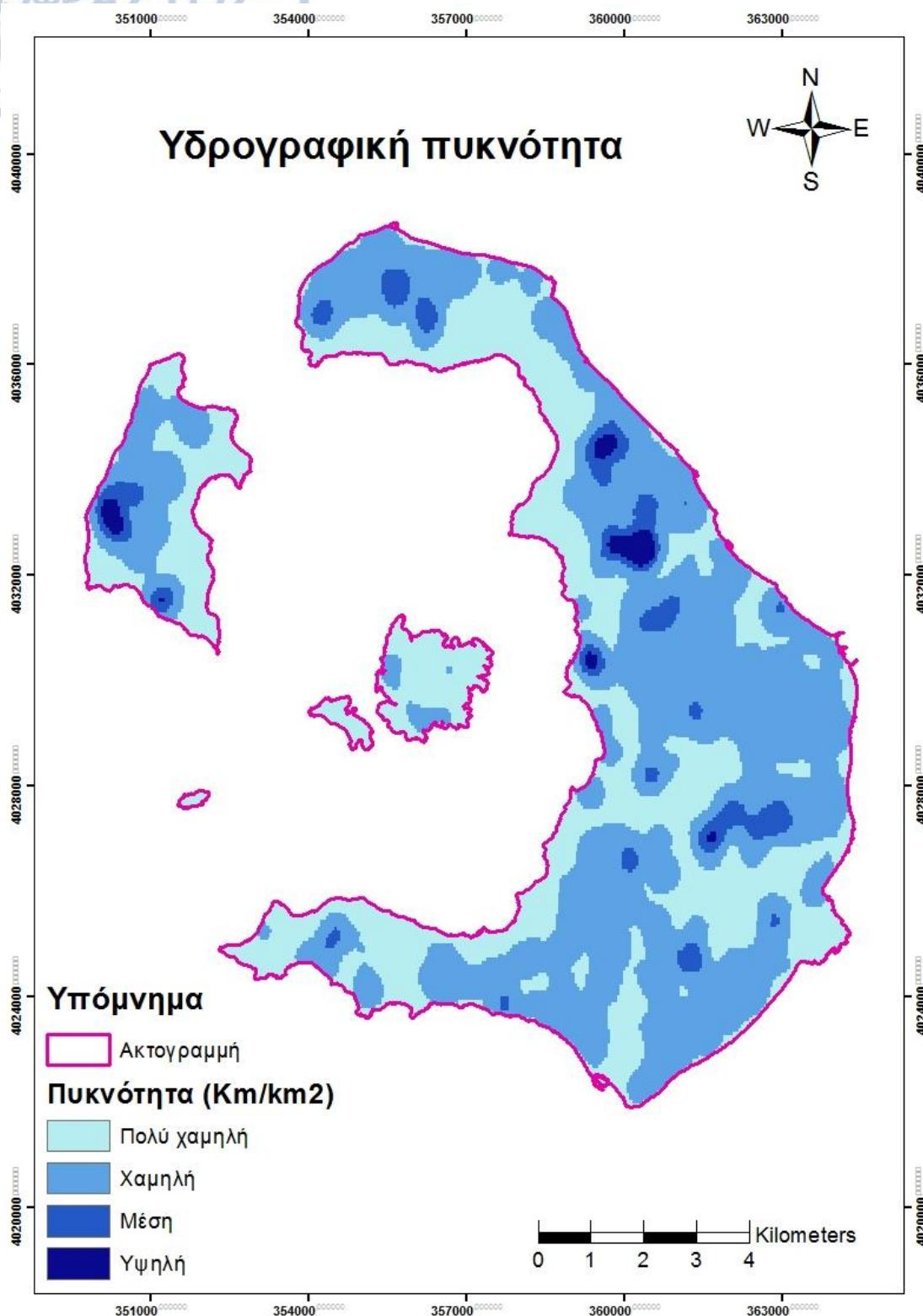
Στην συνέχεια υπολογίστηκαν η υδρογραφική πυκνότητα και συχνότητα στο ArcMap χρησιμοποιώντας την συνολική έκταση της περιοχής μελέτης. Το πρόγραμμα υποδιαιρεί την περιοχή μας σε τετραγωνάκια (κανάβους) με πλευρά 20m και βρίσκει το πλήθος και το μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου σε απόσταση 2000m γύρο από κάθε κανάβο.(Μαρίνος και Πλέσσας, 1998)

Έπειτα ταξινομήθηκαν τα αποτελέσματα της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας σε τρεις κατηγορίες:

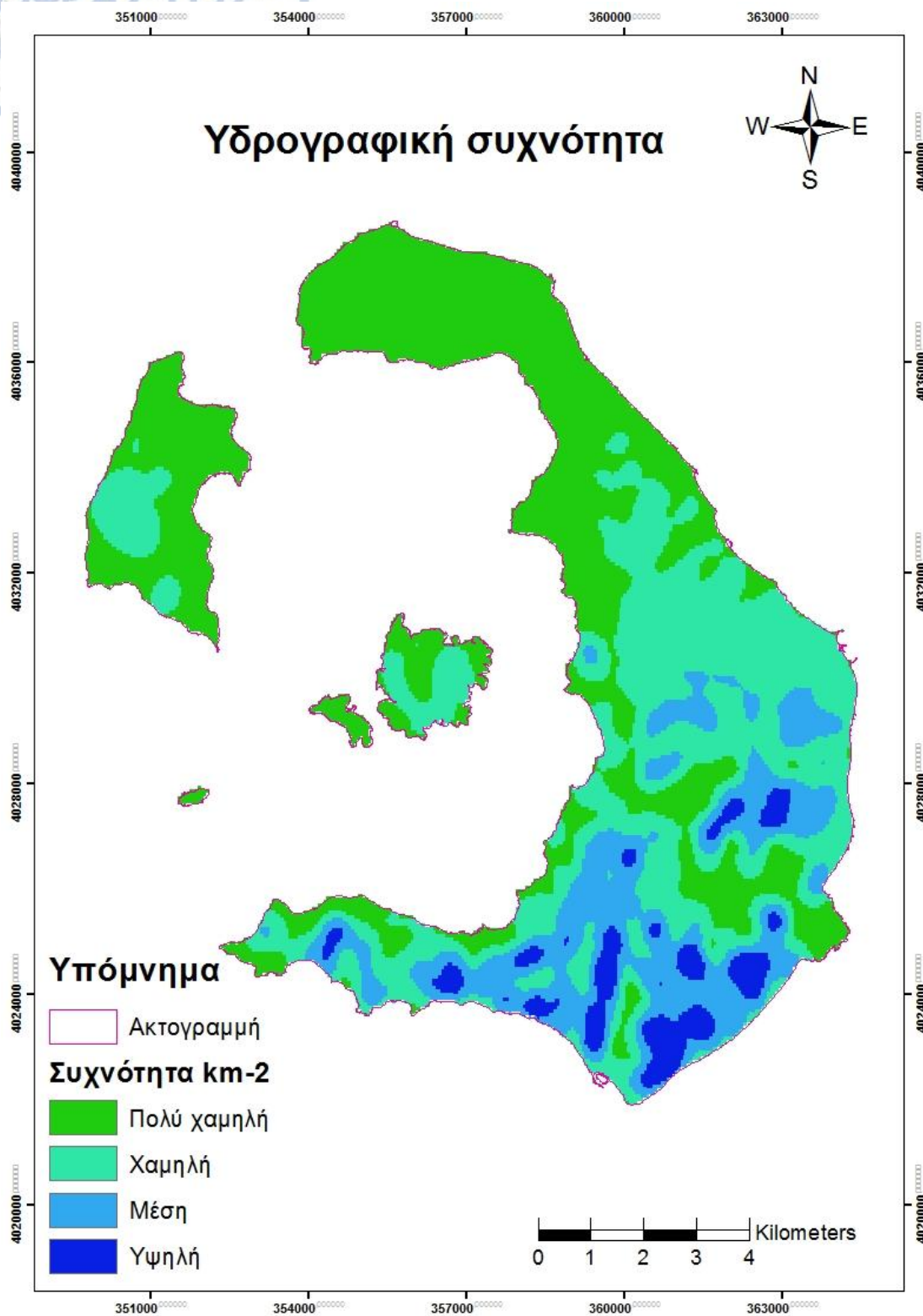
- Υψηλή
- Μέση
- Χαμηλή

Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι ακόλουθοι χάρτες των δύο παραγόντων της υδρογραφικής υφή/έντασης ,ενώ για να υπολογίσουμε την υφή χρησιμοποιούμε τον εξής τύπο(Μαρίνος και Πλέσσας, 1998).

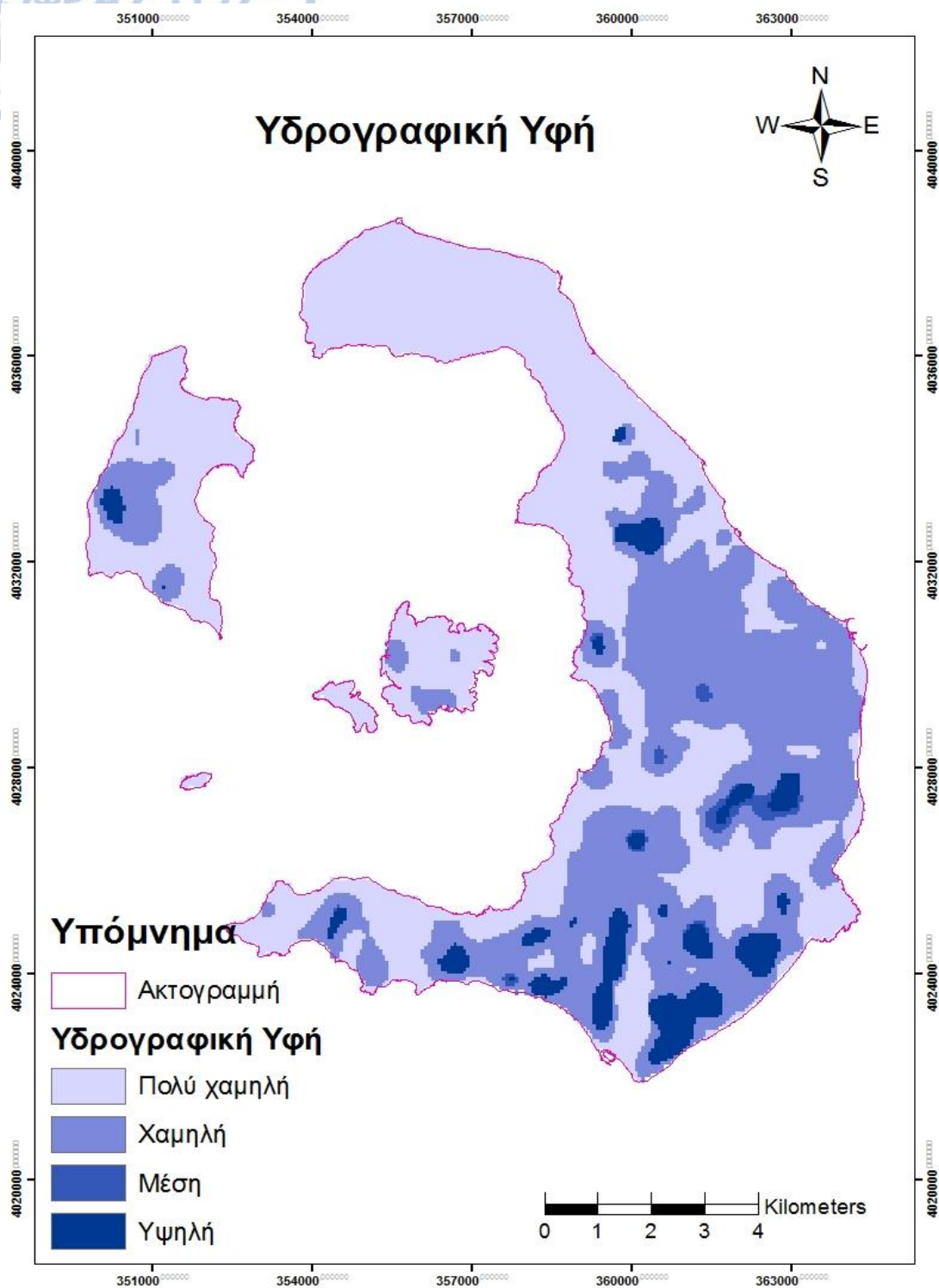
$$\text{Υδρογραφική Υφή} = \text{Υδρογραφική Πυκνότητα} * \text{Υδρογραφική Συχνότητα}$$



Εικόνα 22: Χάρτης Υδρογραφικής Πυκνότητας.



Εικόνα 23: Χάρτης Υδρογραφικής Συχνότητας.



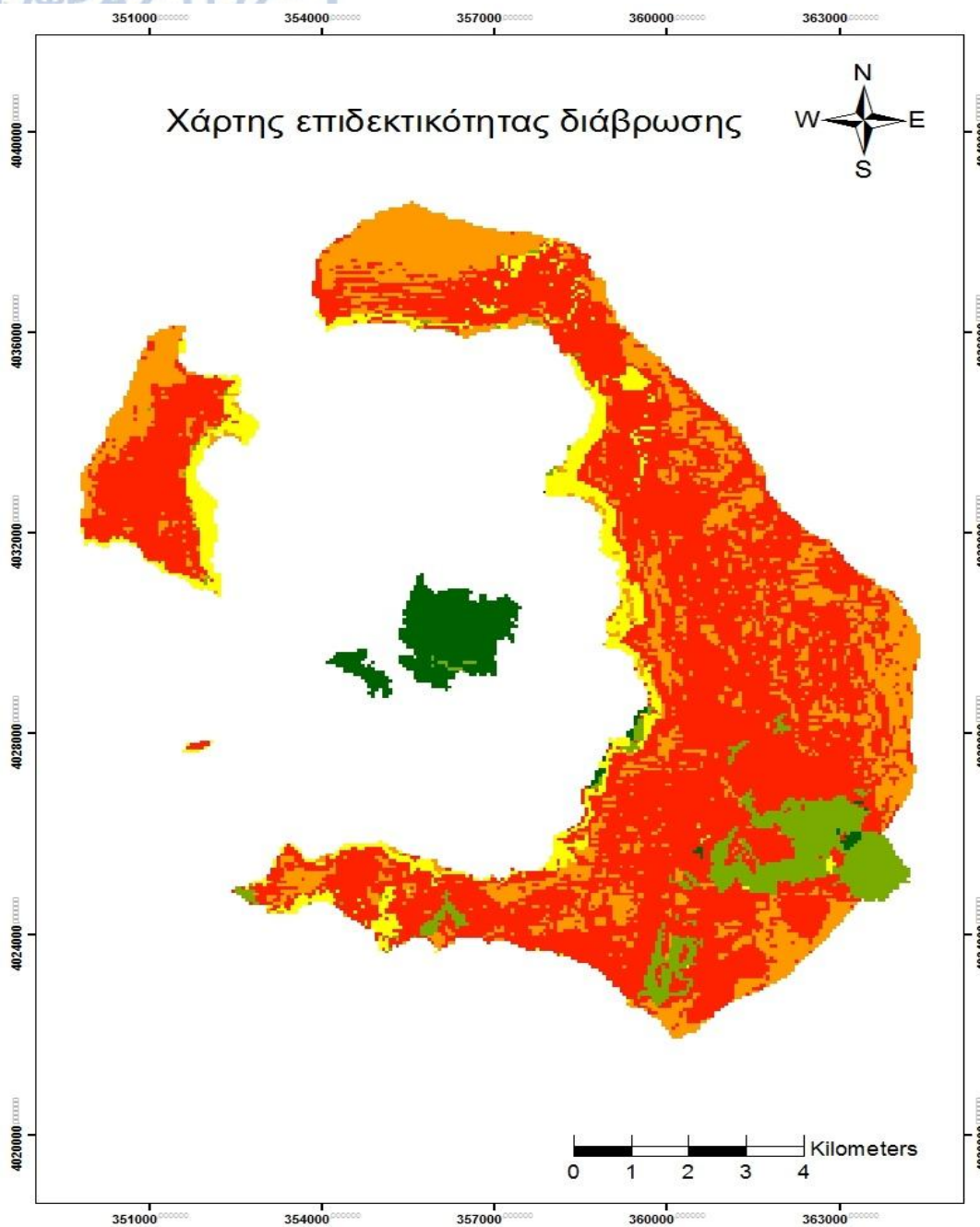
Εικόνα 24: Χάρτης Υδρογραφικής Υφής.

Έχοντας υπολογίσει και τους τρεις βασικούς παράγοντες μέσω του τύπου που χρησιμοποιήθηκε υπολογίστηκε η επιδεκτικότητα διάβρωσης γράφοντας στην εφαρμογή calculator την ακόλουθη εντολή ως εξής:

$$\text{Επιδεκτικότητα διάβρωσης} = (\text{Επιδεκτικότητα διάβρωσης των λιθολογικών σχηματισμών} * 0,7) + (\text{μορφολογική κλίση αναγλύφου} * 0,2) + (\text{υδρογραφική υφή} * 0,1)$$

Ο τύπος αυτός προέκυψε ύστερα από επεξεργασία των συντελεστών βαρύτητας ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στην πραγματική επίδραση των τριών παραγόντων στην εξέλιξη των διεργασιών της διάβρωσης στην περιοχή μελέτης (Μαρίνος και Πλέσσας, 1998) (Φουρνιάδης, 2002).

Στον παραγόμενο χάρτη βλέπουμε ότι τις χαμηλότερες τιμές επιδεκτικότητας στην διάβρωση παρουσιάζουν οι Καμένες και το βουνό προφήτης Ηλίας, ενώ τις υψηλότερες παρουσιάζει η Καλδέρα και οι Μινωικές κυρίως αποθέσεις.



Υπόμνημα

Επιδεκτικότητα διάβρωσης

- Πολύ χαμηλή επιδεκτικότητα
- Χαμηλή επιδεκτικότητα
- Μέση επιδεκτικότητα
- Υψηλή επιδεκτικότητα
- Πολύ υψηλή επιδεκτικότητα

Εικόνα 25: Χάρτης επιδεκτικότητας διάβρωσης της Σαντορίνης.

7. ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΙΣ – ΡΟΔΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ(ROSE PLOTS)

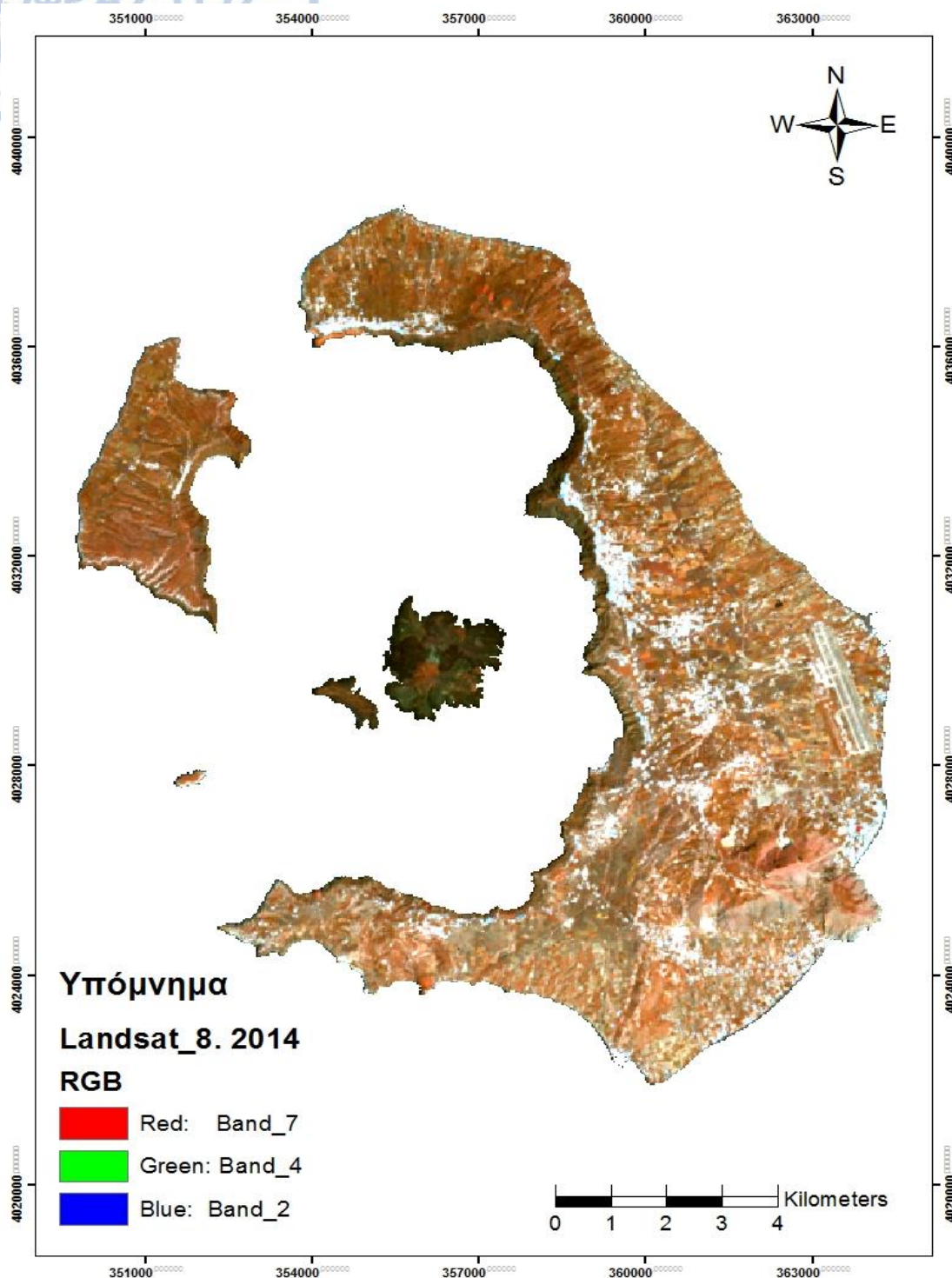
Με τον όρο ροδοδιαγράμματα (rose plots) καλούμε ένα είδος κυκλικών διαγραμμάτων που παράγονται ύστερα από την επεξεργασία γραμμικών στοιχείων, ή αλλιώς φωτογραμμώσεων (photolineaments), τα οποία ψηφιοποιήσαμε παρατηρώντας τις γραμμικές σκιές που παρουσιάζονται σε μια ψευδοχρωματική ή ασπρόμαυρη δορυφορική εικόνα. Γενικότερα ως φωτογραμμώσεις καλούμε τα γραμμικά στοιχεία που μπορούν να εντοπιστούν με την χρήση διάφορων μέσων τηλεπισκόπησης.(O'Leary et al, 1976).

Οι φωτογραμμώσεις θεωρούμε ότι αντιστοιχούν στα ρήγματα που υπάρχουν στην περιοχή που απεικονίζεται αφού τα συγκρίνουμε με τα ρήγματα που εμφανίζονται στους τεκτονικούς χάρτες της περιοχής αποκλείοντας έτσι ορισμένες σκιές που υποθέτουμε ότι οφείλονται σε άλλους λόγους, όπως ανθρωπογενή αίτια, τη θέση του ήλιου την ώρα λήψης της φωτογραφίας κ.α. Τα κυκλικά διαγράμματα που παράγονται μας βοηθούν να κατανοήσουμε καλύτερα τις κατευθύνσεις των φωτογραμμώσεων και την διανομή των διευθύνσεων που αυτές παρουσιάζουν, ενώ αποτελούν μια παραλλαγή ενός τυπικού ιστογράμματος.

Ιστορικά, τα ροδοδιαγράμματα (rose plots ή rose diagrams) ονομάστηκαν έτσι λόγω της ομοιότητας τους με τα πέταλα ενός τριαντάφυλλου. Τα ροδοδιαγράμματα χρησιμοποιούνται για να παρουσιάσουν εποχιακές μεταβολές καθώς και τις μεταβολές γραμμικών στοιχείων (Jenness , 2014, URL 14).

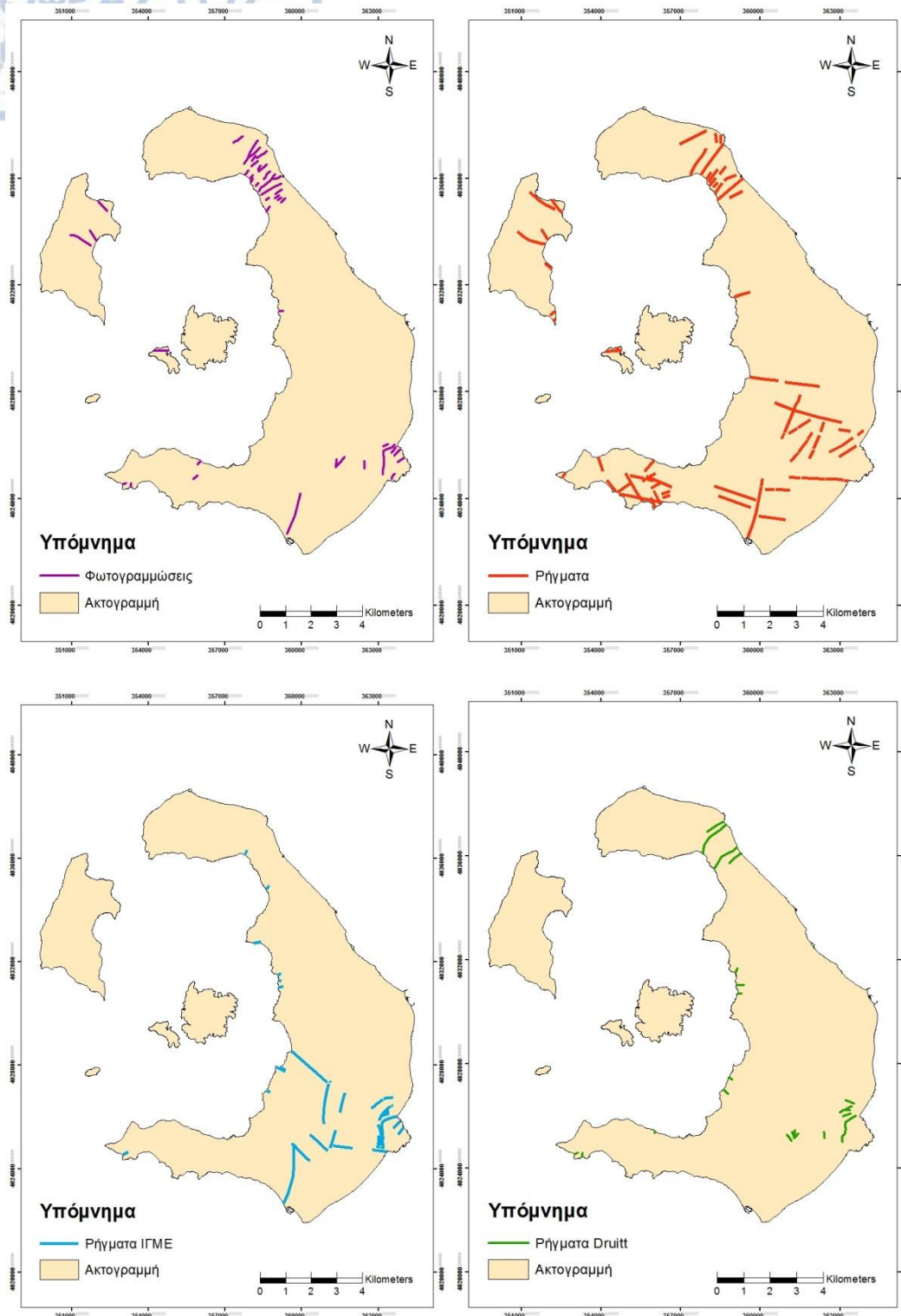
Στην εργασία μας δημιουργήθηκαν τέσσερα ροδοδιαγράμματα με την χρήση των προγραμμάτων ENVI 4.8, ArcMap 10.1 και ενός επιπλέον εργαλείου, του Polar Plot Tool v1.0.253 που παρέχεται δωρεάν από την εταιρία Jenness Enterprises που έχει δημιουργήσει ορισμένα εργαλεία για το ArcMap. (URL 14).

Αναλυτικότερα παίρνοντας μια εικόνα Landsat 8 (με ημερομηνία λήψης 21-05-2014) με την χρήση του προγράμματος ENVI 4.8 αφού την ανοίξουμε, την κόβουμε με την ακτογραμμή ώστε να μείνει μόνο το χερσαίο τμήμα της που μας ενδιαφέρει. Στην συνέχεια εξάγουμε την παραγόμενη εικόνα με τις εντολές : File >Save image as> Image file>Geotiff και την ανοίγουμε με το πρόγραμμα ArcMap. Στο ArcMap επιλέγουμε από το Layer Properties >Symbology τον κατάλληλο συνδυασμό για την κόκκινη, πράσινη και την μπλε φασματική ζώνη (RGB), που θεωρούμε ότι είναι ο 7,4,2, καθώς με αυτόν τον συνδυασμό είναι πιο ευδιάκριτες οι γραμμώσεις που εμφανίζονται στις δορυφορικές εικόνες.

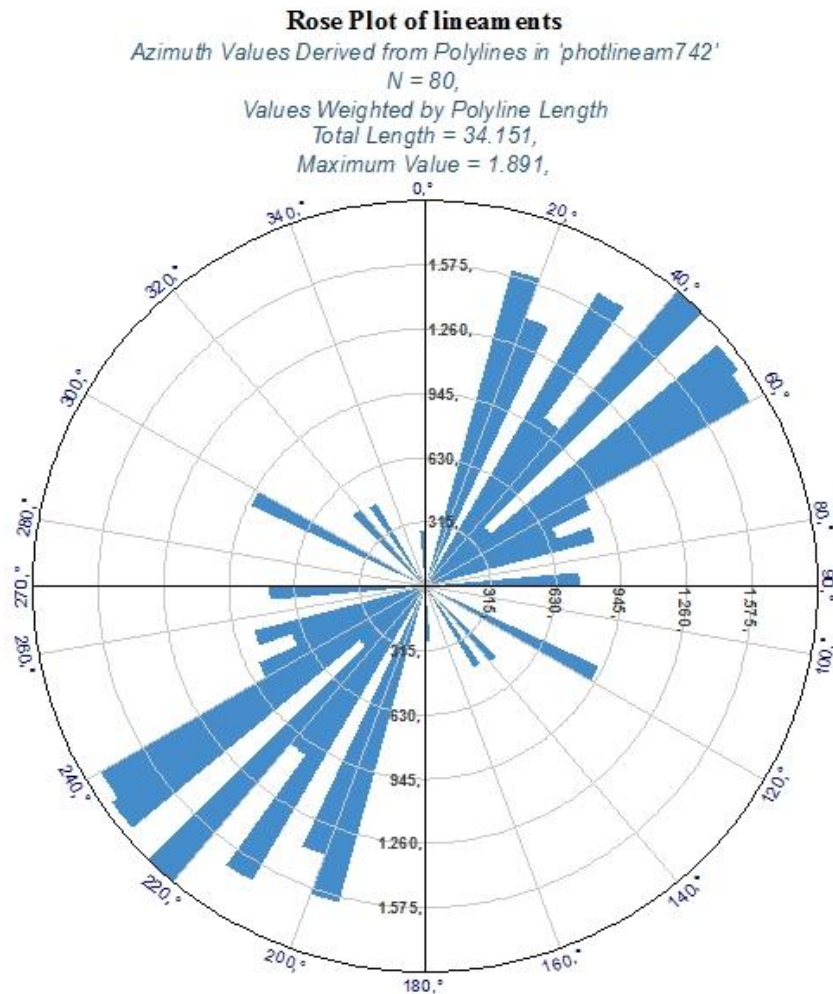


Εικόνα 26: Δορυφορική εικόνα Landsat 8 του 2014 με συνδυασμό RGB 742.

Συνεχίζοντας, αφού ψηφιοποιήθηκαν οι φωτογραμμώσεις δημιουργώντας ένα νέο αρχείο shapefile, φορτώθηκαν η ακτογραμμή και τα shapefiles που δημιουργήθηκαν ψηφιοποιώντας τα ρήγματα που έχουν καταγραφεί στους χάρτες των Mountrakis et al 1996, του ΙΓΜΕ, 1980 και τον χάρτη των (Druitt & Davies, 1994-1995, ενώ με την χρήση του εργαλείου Polar Plot v1.0.253 παράχθηκαν τέσσερα ροδοδιαγράμματα με βάση τα γραμμικά αυτά αρχεία.

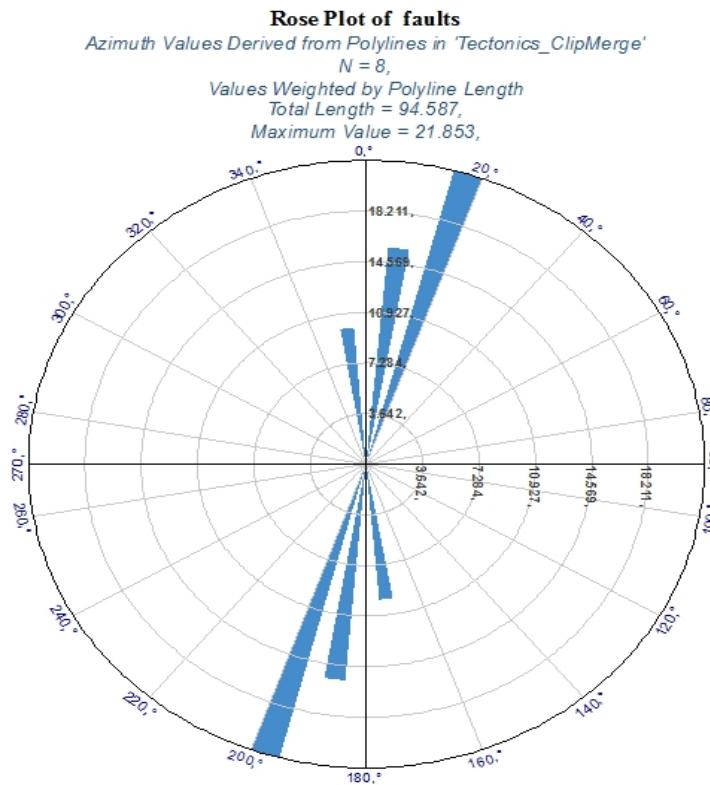


Εικόνα 27: Ακτογραμμή της Σαντορίνης με α) τις φωτογραμμώσεις πάνω αριστερά, β) τα ρήγματα του Mountrakis et al, 1996 πάνω δεξιά, γ) τα ρήγματα του ΙΓΜΕ, 1980 κάτω αριστερά και δ) τα ρήγματα του Druitt (Druitt & Davies, 1994-1995) κάτω δεξιά.

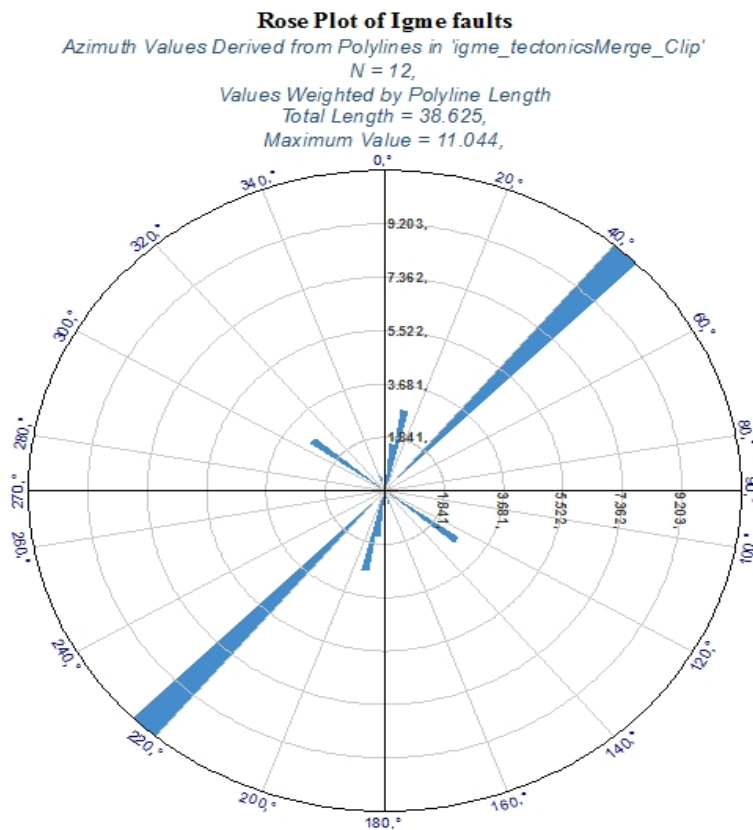


Εικόνα 28: Ροδοδιάγραμμα των φωτογραμμώσεων.

Στο παραπάνω ροδοδιάγραμμα των φωτογραμμώσεων εμφανίζονται πάνω από το διάγραμμα διαδοχικά τα εξής : τον τίτλο του διαγράμματος, το αρχείο με βάση το οποίο δημιουργήθηκαν τα αζιμούθια, τον αριθμό των γραμμικών στοιχείων που περιέχει το αρχείο πολλαπλασιασμένο με το δύο, διότι στο διάγραμμα συμπεριλάβαμε και τις ανάστροφες τιμές των αζιμούθιων, τον παράγοντα βαρύτητας για την δημιουργία του διαγράμματος, που είναι το μήκος των γραμμικών στοιχείων, το συνολικό τους μήκος των φωτογραμμώσεων σε χιλιόμετρα και τέλος το μήκος σε χιλιόμετρα της μεγαλύτερης ράβδου του διαγράμματος που προκύπτει από το άθροισμα των φωτογραμμώσεων με αυτήν την κατεύθυνση. Το διάγραμμα επίσης διαθέτει δύο κάθετους άξονες όπου αναγράφονται τα μήκη σε χιλιόμετρα, ενώ οι υπόλοιποι άξονες χωρίζουν τους κύκλους ανά 20° μοίρες.

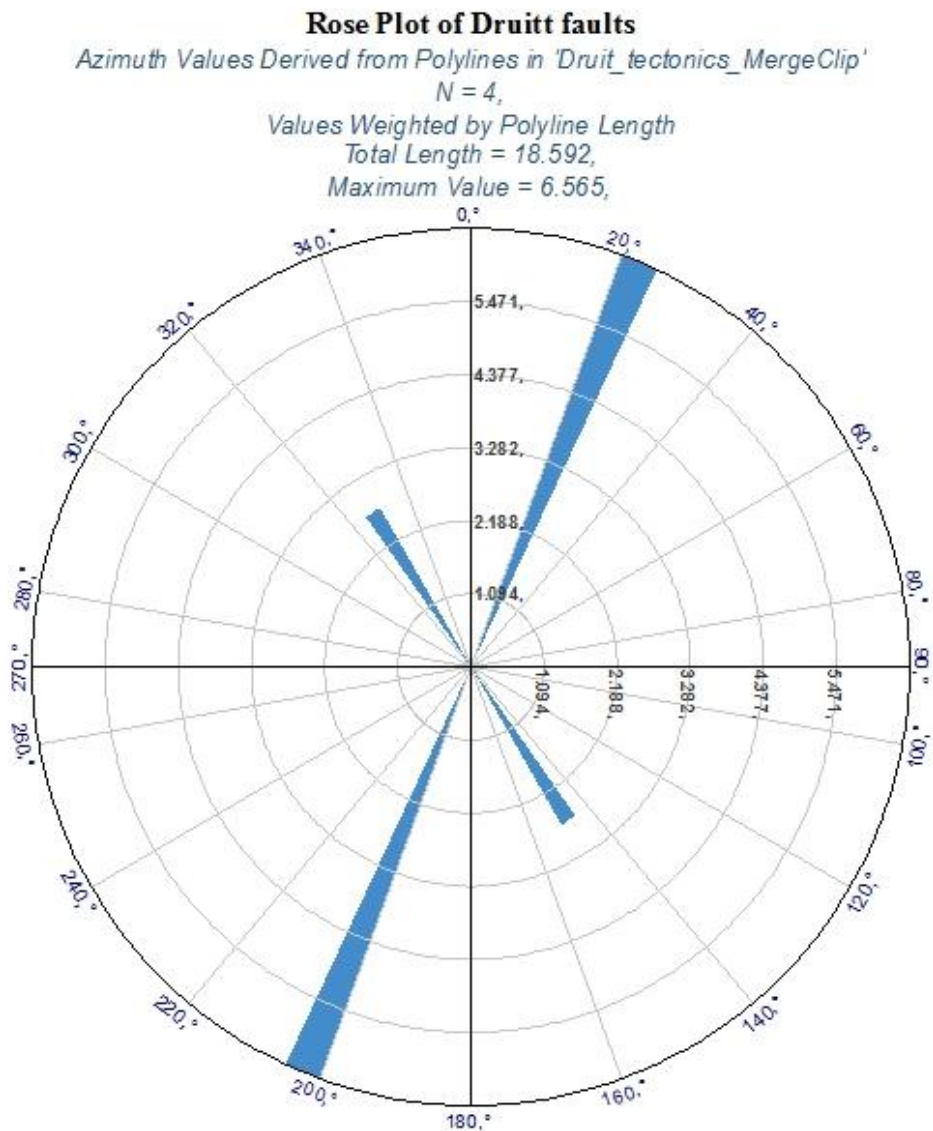


Εικόνα 29: Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων από τον χάρτη των Mountrakis et al, 1996.



Εικόνα

30:Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων από τον χάρτη του ΙΓΜΕ, 1980.



Εικόνα 31: Ροδοδιάγραμμα των ρηγμάτων από τον χάρτη των Druitt & Davies, 1994-1995.

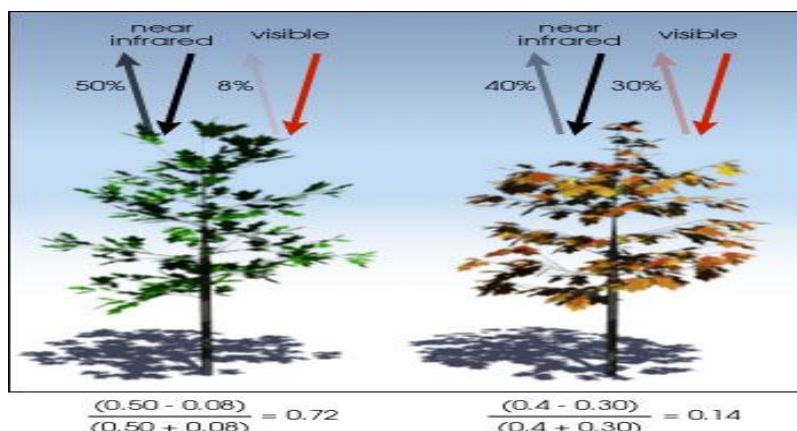
8. ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ (NDVI)

Ο δείκτης NDVI είναι ένας δείκτης βλάστησης που υπολογίζεται με την χρήση του επιπέδου ανάκλασης της ερυθρής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στις δορυφορικές εικόνες του Landsat 8 η κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία αντιστοιχεί στην φασματική ζώνη 5 και η κόκκινη ακτινοβολία στην φασματική ζώνη 4. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη NDVI δίνεται παρακάτω (Kriegler et al, 1969, URL: 15).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Εξίσωση 1: Τύπος υπολογισμού του δείκτη βλάστησης NDVI, όπου NIR είναι η κοντινή υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και Red είναι η ερυθρή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία(URL: 16).

Τα φυτά κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης απορροφούν ένα μεγάλο μέρος της ορατής ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και ένα μικρό ποσοστό της κοντινής υπέρυθρης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ το υπόλοιπο μέρος τους το ανακλούν πίσω στην ατμόσφαιρα. Αποτέλεσμα αυτής της συμπεριφοράς των φυτών σε περιοχές με έντονη βλάστηση είναι οι τιμές του δείκτη NDVI να είναι υψηλές όσο πιο πυκνή είναι η βλάστηση και χαμηλές σε περιοχές όπου η βλάστηση απουσιάζει ή είναι αρκετά μειωμένη. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα με το ίδιο φυτό αριστερά όταν είναι υγιές και δεξιά όταν έχει ξεραθεί. Η αύξηση της ανακλώμενης ορατής ακτινοβολίας στο ξεραμένο φυτό παρουσιάζεται λόγω της έντονης μείωσης της χλωροφύλλης που την δεσμεύει, αντίθετα η ανάκλαση της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας αυξάνεται ελαφρά (URL: 17).



Εικόνα 32: Παράδειγμα της μεταβολής του δείκτη NDVI ανάλογα με το ποσοστό παρουσίας της χλωροφύλλης σε ένα φυτό(URL: 17).

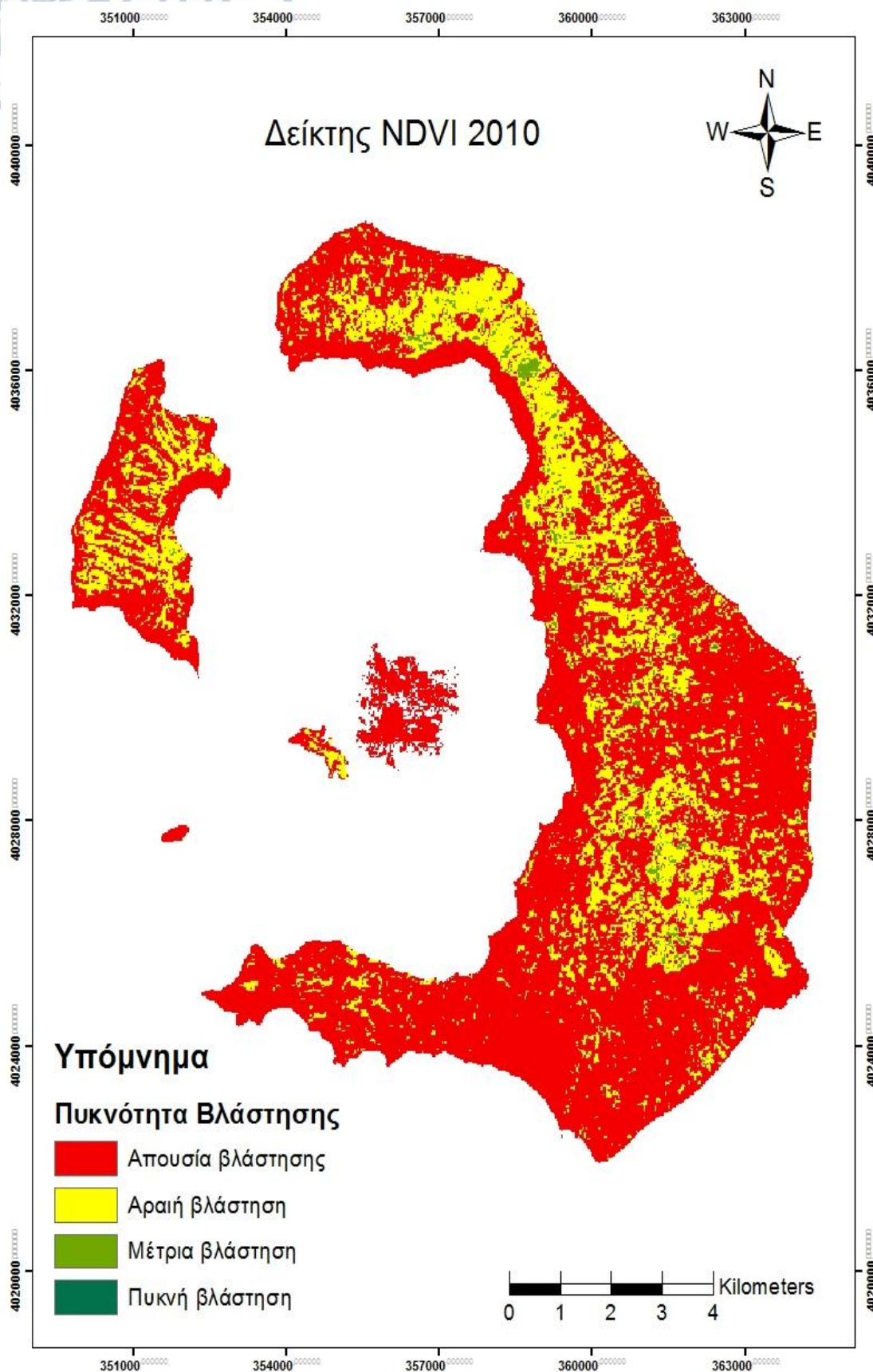
Οι δορυφορικές εικόνες Landsat που χρησιμοποιήθηκαν, ελήφθησαν τον μήνα Μάιο κατά τα έτη 2010, 2013 και 2014 από τη σειρά των δορυφόρων Landsat. Σύμφωνα με τις φασματικές ζώνες του συγκεκριμένου δορυφόρου ο τύπος του NDVI διαμορφώνεται ως εξής: $NDVI = (4-3)/(4+3)$ (για το 2010) και $NDVI = (5-4)/(5+4)$ (για τις εικόνες του 2013 και 2014). Ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης έγινε με το πρόγραμμα ENVI 4.8, ενώ εξάχθηκε το αποτέλεσμα στο πρόγραμμα ArcMap 10.1.

Στο πρόγραμμα ArcMap 10.1 έγινε αναταξινόμηση και το αποτέλεσμα για κάθε δορυφορική εικόνα παρουσιάστηκε ως χάρτη. Ο διαχωρισμός με βάση τον οποίο χωρίστηκαν τις τάξεις δίνεται στον ακόλουθο πίνακα, ενώ οι χάρτες που δημιουργήθηκαν ακολουθούν παρακάτω (URL 18).

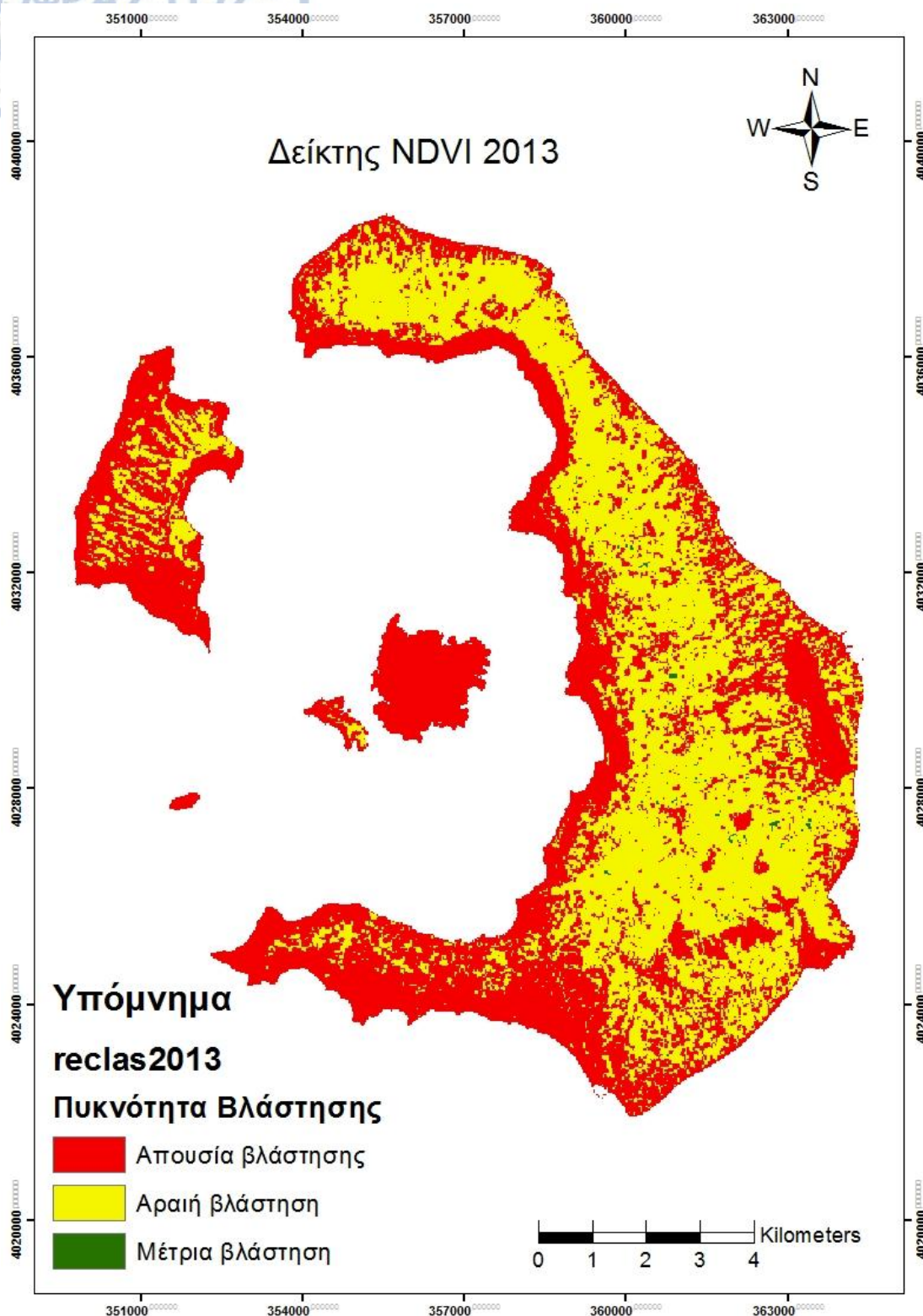
Πίνακας 7: Ταξινόμηση δείκτη βλάστησης (NDVI) (URL 18).

Τύποι βλάστησης- πυκνότητα βλάστησης	Τιμές του δείκτη NDVI
Πολύ πυκνή βλάστηση	0,72 έως 0,92
Πυκνή βλάστηση	0,42 έως 0,72
Μέτρια βλάστηση	0,22 έως 0,42
Αραιή βλάστηση	0,12 έως 0,22
Πολύ αραιή βλάστηση	-0,10 έως 0,12

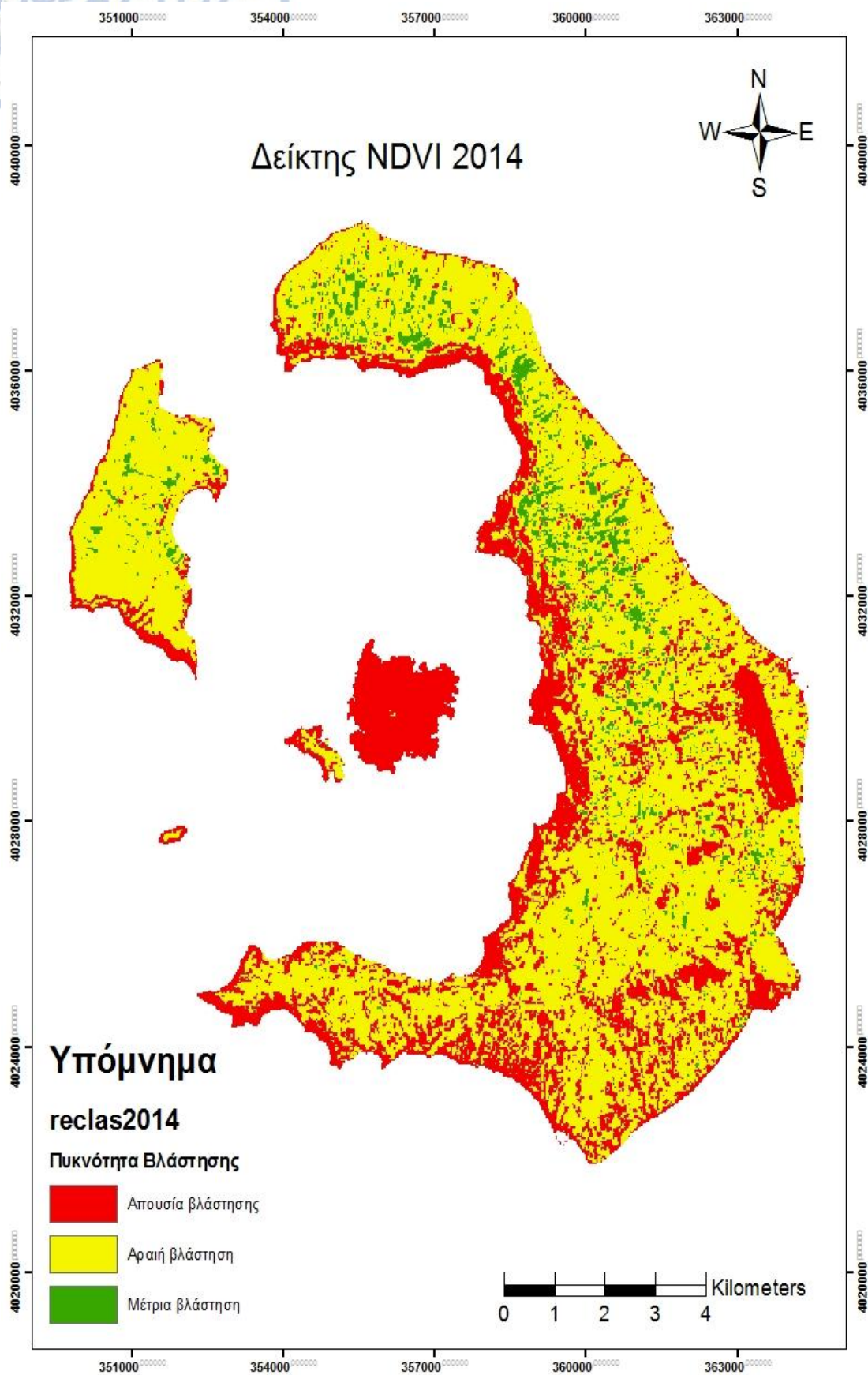
Στους παρακάτω χάρτες παρατηρείτε ότι παρόλο που η ημερολογιακή διαφορά με βάση μόνο τις ημέρες του μήνα Μάιου που λήφθηκαν οι εικόνες είναι μόνο έως 11 ημέρες για τα αντίστοιχα έτη 2010, 2013 και 2014 παρατηρείται εμφανής διαφορά στην βλάστηση με την μέγιστη βλάστηση το 2014 και την ελάχιστη το 2010. Επίσης από τους χάρτες εύκολα εξάγονται συμπεράσματα για την περιορισμένη γενικότερα βλάστηση του νησιωτικού συμπλέγματος ολόκληρο το έτος.



Εικόνα 33: Δείκτης NDVI για το έτος 2010.



Εικόνα 34: Δείκτης NDVI για το έτος 2013.



Εικόνα 35: Δείκτης NDVI για το έτος 2014.

Περαιτέρω εκτίμηση για τους τύπους της βλάστησης και την πυκνότητα της παρουσιάζεται στους πίνακες που ακολουθούν οι οποίοι αναλύουν τα χαρακτηριστικά των τύπων της επιφανειακής κάλυψης 53 σημείων(εικόνα 38) που επιλέχθηκαν. Στον πρώτο πίνακα δίνονται μια περιγραφή του τύπου βλάστησης με βάση με τις τιμές των εικονοστοιχείων (pixel values) του 2014 (πίνακας 8) και την περιγραφή τους από τον πίνακα 6, καθώς και προσωπική μας περιγραφή από την επιτόπια παρατήρηση. Επίσης δόθηκε κατά προσωπική εκτίμηση ένα ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας επί της% στα σημεία αυτά σύμφωνα με την εικόνα που σχηματίστηκε ύστερα από επίσκεψη υπαίθρου της περιοχής τον Μάιο του 2014. Τα τελευταία 18 σημεία προστέθηκαν αργότερα με την χρήση του προγράμματος Google earth σε περιοχές που επισκεφτήκαμε.

Στον δεύτερο πίνακα βλέπουμε τιμές του πίνακα identify του ArcMap από το NDVI για τα έτη 2010, 2013 και 2014 που υπολογίστηκε με βάση τις δορυφορικές εικόνες, αναλυτικότητα στον πίνακα αυτό δίνονται οι τιμές pixel values (pn) και stretched values (sv) για τα αντίστοιχα σημεία με τον προηγούμενο πίνακα. Οι τιμές stretched vales κυμαίνονται από 0 έως 255 και χρησιμοποιούνται για να δώσουν ένα αναλυτικότερο οπτικό αποτέλεσμα από εκείνο των εικονοστοιχείων (pixel values).(URL: 20)

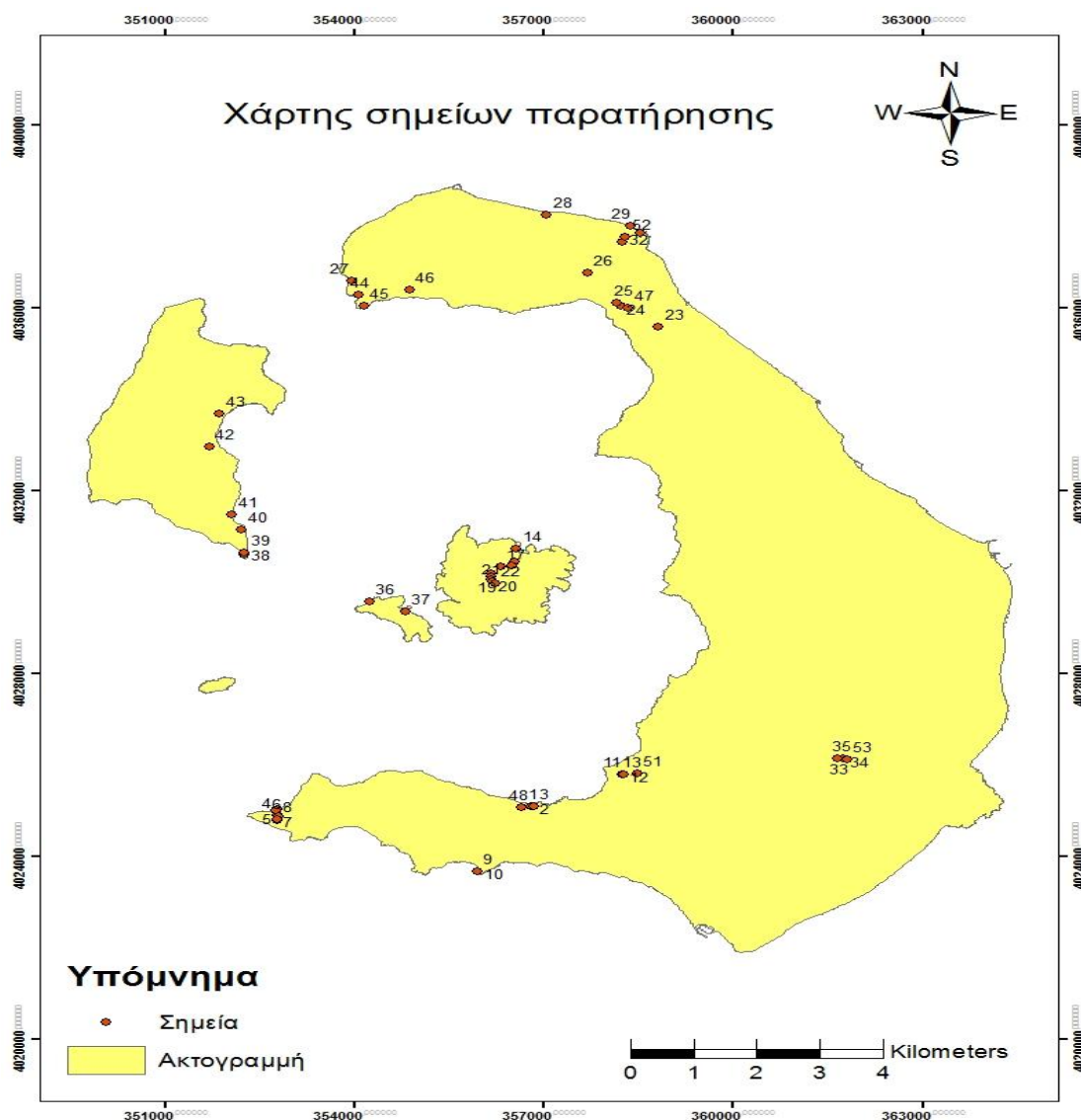
Πίνακας 8: Περιγραφή τύπου πυκνότητας βλάστησης και εκτίμηση επιφανειακής κάλυψης απο παρατήρηση πεδίου Μάιος του 2014.

A/A	Περιγραφή	Κάλυψη%
1	Πολύ αραιή βλάστηση/Φυσική χαμηλή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	50
2	Αραιή βλάστηση/Φυσική χαμηλή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	50
3	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	50
4	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
5	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
6	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
7	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
8	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
9	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση αποτελούμενη κυρίως από χαμηλούς θάμνους και αγριόχορτα	40
10	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση αποτελούμενη κυρίως από χαμηλούς θάμνους και αγριόχορτα	40
11	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση με ψηλά αγριόχορτα περίπου 60cm αγριολούλουδα και λίγους θάμνους	90
12	Αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση με ψηλά αγριόχορτα περίπου 60cm αγριολούλουδα και λίγους θάμνους	90
13	Πολύ αραιή βλάστηση / Φυσική βλάστηση με ψηλά αγριόχορτα περίπου 60cm αγριολούλουδα και λίγους θάμνους	90
14	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα και λίγα φυτεμένα δεντράκια	10
15	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα	10

A/A	Περιγραφή	Κάλυψη%
16	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα	10
17	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα και αγριολούλουδα	10
18	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα και αγριολούλουδα	10
19	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα	10
20	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα	10
21	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα	10
22	Πολύ αραιή βλάστηση /Χαμηλά χόρτα	10
23	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με θάμνους κυρίως ,αγριολούλουδα και λίγα χαμηλά δεντράκια	50
24	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με θάμνους κυρίως ,αγριολούλουδα και λίγα χαμηλά δεντράκια	50
25	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με θάμνους κυρίως ,αγριολούλουδα και λίγα χαμηλά δεντράκια	50
26	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με θάμνους κυρίως ,αγριολούλουδα και λίγα χαμηλά δεντράκια	50
27	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με θάμνους κυρίως ,αγριολούλουδα και λίγα χαμηλά δεντράκια	50
28	Αραιή βλάστηση /Διάφορες καλλιέργειες	65
29	Αραιή βλάστηση / Χαμηλή βλάστηση	0
30	Αραιή βλάστηση/ Χαμηλή βλάστηση	0
31	Αραιή βλάστηση /Χαμηλή βλάστηση	0
32	Αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση με ψηλά αγριόχορτα περίπου 60cm αγριολούλουδα και λίγους θάμνους	90
33	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με αγριόχορτα και θάμνους	65
34	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με αγριόχορτα και θάμνους	65
35	Αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση με αγριόχορτα και θάμνους	70
36	Πολύ αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	10
37	Πολύ αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	10
38	Πολύ αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	55
39	Πολύ αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	55
40	Αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	65
41	Αραιή βλάστηση/ Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	65
42	Αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	65
43	Αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	65
44	Πολύ αραιή βλάστηση /Κυρίως αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	55
45	Πολύ αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	55
46	Αραιή βλάστηση /Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	65
47	Μέτρια βλάστηση/Αγριόχορτα και χαμηλοί θάμνοι	75
48	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	50
49	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
50	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική χαμηλή και αραιή βλάστηση από αγριολούλουδα, κοντούς θάμνους και αγριόχορτα	45
51	Πολύ αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση με ψηλά αγριόχορτα περίπου 60cm αγριολούλουδα και διάφορες καλλιέργειες	90

A/A	Περιγραφή	Κάλυψη%
52	Αραιή βλάστηση /Φυσική βλάστηση με ψηλά αγριόχορτα περίπου 60cm αγριολούλουδα, θάμνους και δέντρα	90
53	Αραιή βλάστηση /Χαμηλοί θάμνοι, αγριολούλουδα και χόρτα	65

Στον προηγούμενο πίνακα παρατηρείται ότι οι περιγραφές του τύπου φυτοκάλυψης που εξάγονται με βάση τις τιμές των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν στους δύο τελευταίους τύπους της αραιής και πολύ αραιής βλάστησης. Επίσης στα σημεία 29-31, τα οποία βρίσκονται στην παραλία του Κολούμπου, όπου το ποσοστό της φυτοκάλυψης που εκτιμήθηκε ότι είναι 0% σύμφωνα με τις τιμές των εικονοστοιχείων του πίνακα που ακολουθεί και τους τύπους βλάστησης του πίνακα 6 ανήκουν στην κατηγορία της αραιής βλάστησης. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνει ένα εικονοστοιχείο (30m*30m) καθώς και της ανεπτυγμένης βλάστησης στην περιοχή ακριβώς δίπλα στην παραλία.



Εικόνα 36:Χάρτης των 53 σημείων δειγματοληψίας φυτοκάλυψης από την εργασία υπαίθρου του Μαΐου 2014.

Πίνακας 9: Τιμές των pixel values (pv) και stretched values (sv) του NDVI για τα έτη 2010, 2013 και 2014 σύμφωνα με τον πίνακα identify από το πρόγραμμα ArcMap.

A/A	ndvi2010pv	ndvi2010sv	ndvi2013pv	ndvi2013sv	ndvi2014pv	ndvi2014sv
1	0,06	138	0,09	126	0,11	119
2	0,10	161	0,11	142	0,17	171
3	0,04	127	0,10	136	0,14	143
4	0,10	166	0,09	129	0,15	150
5	0,04	129	0,07	99	0,12	124
6	0,08	152	0,10	137	0,15	151
7	-0,03	82	0,05	79	0,08	92
8	-0,03	82	0,05	79	0,08	92
9	-0,08	49	-0,01	10	-0,01	20
10	-0,08	49	-0,01	10	-0,01	20
11	0,03	121	0,10	136	0,10	114
12	0,01	108	0,12	163	0,14	145
13	0,01	108	0,10	130	0,11	115
14	-0,08	49	0,02	45	0,04	60
15	-0,09	45	0,00	23	0,01	37
16	-0,09	42	-0,01	15	0,00	27
17	-0,10	38	0,00	22	0,00	25
18	-0,08	51	0,00	26	0,01	35
19	-0,09	42	0,00	29	0,01	36
20	-0,08	52	0,01	40	0,03	48
21	-0,08	49	0,01	32	0,02	45
22	-0,04	75	0,02	50	0,06	79
23	0,12	176	0,12	155	0,16	160
24	0,09	155	0,10	132	0,13	138
25	0,09	158	0,10	131	0,13	135
26	0,05	135	0,09	121	0,11	115
27	0,01	107	0,05	80	0,09	101
28	0,02	114	0,10	130	0,13	136
29	0,08	149	0,09	123	0,13	134
30	0,10	166	0,09	125	0,15	155
31	0,10	166	0,09	125	0,15	155
32	0,15	199	0,15	191	0,19	185
33	0,04	127	0,11	143	0,11	118
34	0,04	127	0,11	143	0,11	118
35	0,15	197	0,15	195	0,15	155
36	-0,13	18	-0,03	0	-0,04	0
37	0,01	108	0,05	80	0,09	102
38	-0,06	62	-0,01	13	0,00	30
39	-0,03	77	0,01	36	0,04	58
40	0,08	151	0,08	118	0,13	134
41	0,06	136	0,08	118	0,12	129
42	0,21	231	0,15	190	0,23	224
43	0,09	156	0,10	130	0,15	151
44	-0,01	91	0,06	87	0,07	87
45	-0,01	94	0,05	83	0,09	104
46	0,04	125	0,09	126	0,15	149
47	0,24	255	0,17	209	0,24	232

A/A	ndvi2010pn	ndvi2010sv	ndvi2013pn	ndvi2013sv	ndvi2014pn	ndvi2014sv
48	-0,04	75	0,06	95	0,10	110
49	-0,03	80	-0,01	13	-0,01	14
50	-0,03	80	-0,01	13	-0,01	14
51	0,01	105	0,09	124	0,11	117
52	0,16	200	0,14	176	0,17	168
53	0,03	119	0,12	153	0,12	128

Κατά την σύγκριση των δύο προηγούμενων πινάκων στον δεύτερο πίνακα μας ενδιαφέρουν κυρίως οι τιμές έτους 2014 καθώς τότε έγινε και η επίσκεψη υπαίθρου βάση της οποίας δημιουργήθηκε ο πρώτος πίνακας. Επίσης οφείλει να αναφερθεί ότι η περιγραφή και το ποσοστό% της κάλυψης των τύπων βλάστησης είναι υποκειμενικές με βάση προσωπική εκτίμηση κατά την επίσκεψη υπαίθρου.

Στην συνέχεια ακολουθούν φωτογραφίες ορισμένων από τα 53 σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των τύπων βλάστησης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης. Τα σημεία στα οποία αντιστοιχεί η κάθε φωτογραφία δίνονται πριν την φωτογραφία. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν τον Μάιο του 2014.



7.



9.



11.



13.



14.



17.



21.



23.



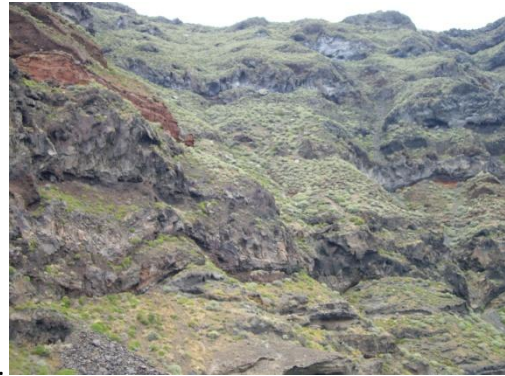
29.



32.



41.



52.



Εικόνα 37: Φωτογραφίες των σημείων παρατήρησης τύπων πυκνότητας βλάστησης της Σαντορίνης.

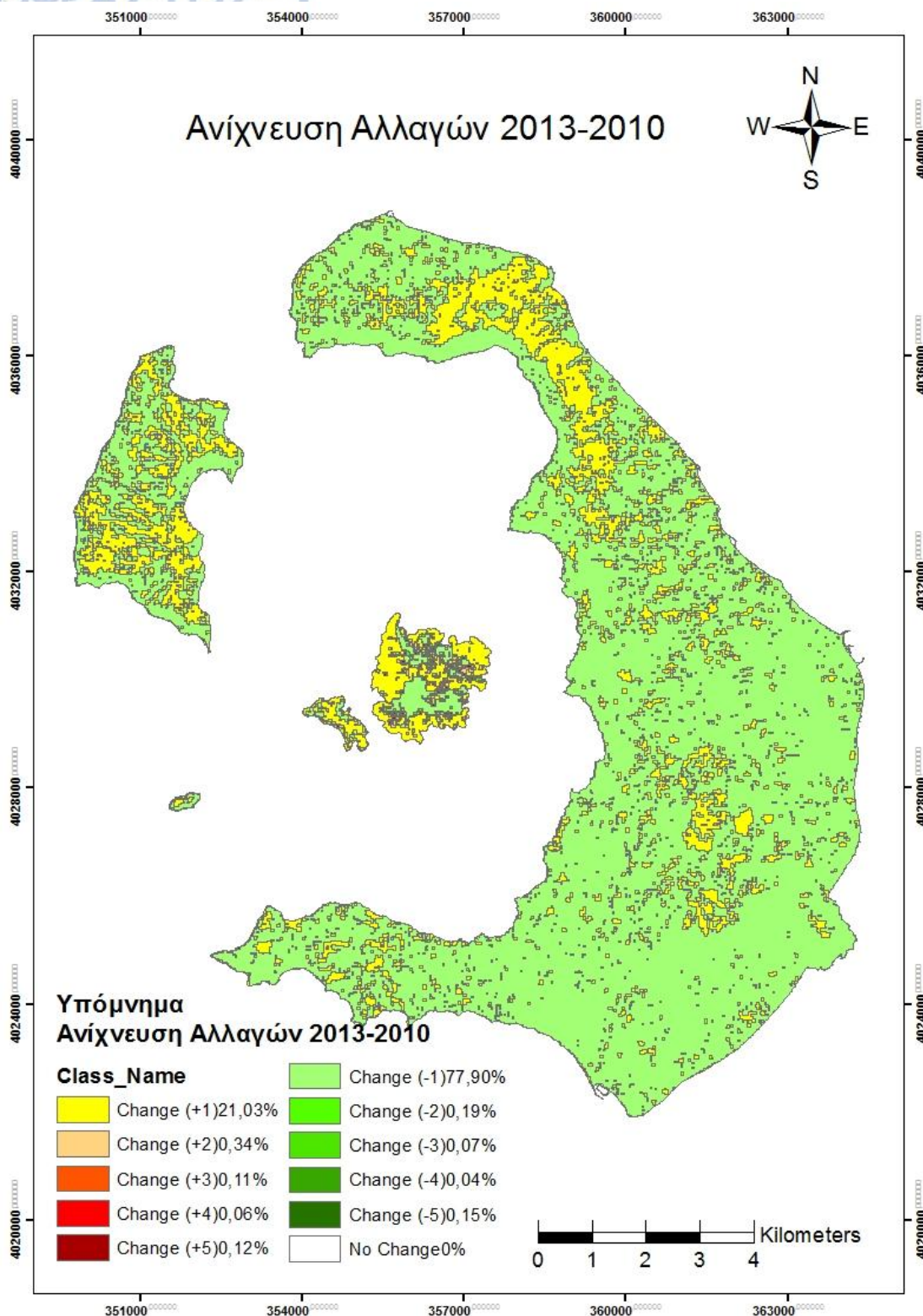
9. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ (CHANGE DETECTION)

Η ανίχνευση αλλαγών(Change detection) πραγματοποιείται συγκρίνοντας δύο δορυφορικές εικόνες της ίδιας περιοχής που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές ή κάτω από διαφορετικές συνθήκες, κατά την σύγκριση αυτή επιλέγουμε πρώτα την νεότερη εικόνα και έπειτα την παλαιότερη. Στην εργασία μας οι εικόνες έχουν διαφορά ενός με δύο χρόνια και λίγων ημερών. Επίσης από τις δορυφορικές εικόνες συγκρίνονται οι δύο εικόνες που χρονολογικά είναι πιο κοντά η μία στην άλλη(URL 19).

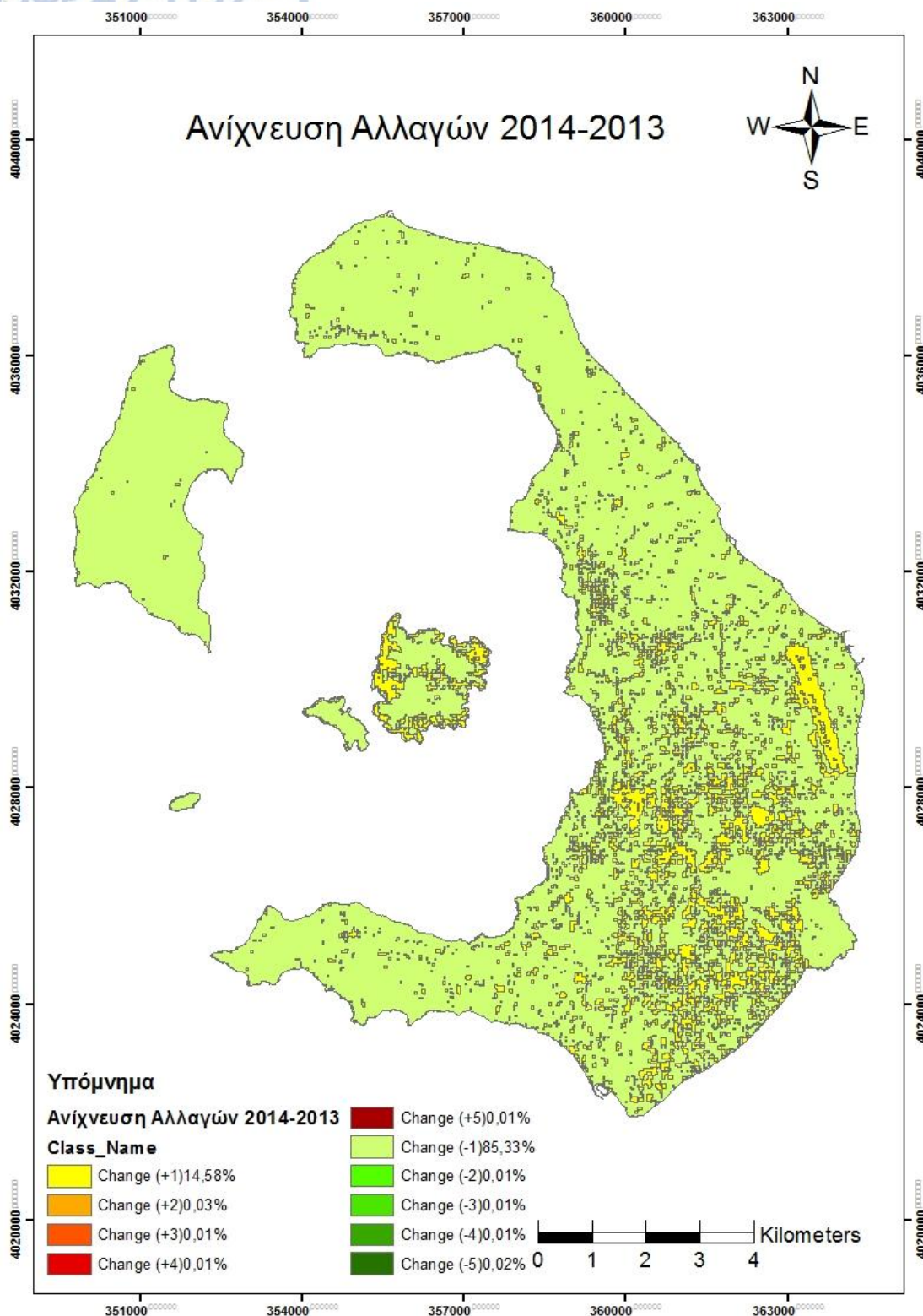
Ο υπολογισμός της ανίχνευσής αλλαγών γίνεται με την χρήση των προγραμμάτων ENVI 4.8 και ArcMap 10.1. Στο πρόγραμμα ENVI 4.8 φορτώνουμε τα αρχεία NDVI που υπολογίστηκαν για τις τρεις δορυφορικές εικόνες της περιοχής μελέτης που αντιστοιχούν στον μήνα Μάιο για τα έτη 2010, 2013 και 2014. Στη συνέχεια μετατρέπουμε το αποτέλεσμα της αλλαγής ανίχνευσης σε αρχείο μορφής *envf* και έπειτα το εξάγουμε με μορφή *shapefile*.

Τα αρχεία *shapefiles* ανοίγονται με το πρόγραμμα ArcMap 10.1 και αφού συγχωνεύθουν οι κλάσεις με βάση τις τιμές τους που μπορούν να κυμανθούν από -5 έως +5 υπολογίστηκε η έκτασή που καταλαμβάνει η κάθε κλάση σε τετραγωνικά χιλιόμετρα(km²). Οι θετικές τιμές της ανίχνευσης αλλαγών αντιπροσωπεύουν εικονοστοιχεία (pixels) τα οποία γίνονται φωτεινότερα, δηλαδή χαμηλές τιμές βλάστησης (η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων στην νεότερη φωτογραφία είναι πιο έντονη από εκείνη στην παλαιότερη), αντίστοιχα οι αρνητικές τιμές της ανίχνευσης αντιπροσωπεύουν εικονοστοιχεία που γίνονται πιο σκούρα, δηλαδή παρουσιάζουν υψηλές τιμές βλάστησης (η φωτεινότητα της νεότερης εικόνας είναι μικρότερη από εκείνη της παλαιότερης εικόνας). Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι όταν συγκρίνουμε δορυφορικές εικόνες, διαφορές στην ανίχνευση μπορούν να παρουσιάζονται και λόγω της διαφορετικής ώρας λήψης(μεταβολές στην ανύψωση και στον ηλιακό αζιμούθιο).(URL 19)

Τις εκτάσεις που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση της ανίχνευσης αλλαγών μπορούμε στη συνέχεια να τις μετατρέψουμε σε ποσοστό επί της % και να σχηματίσουμε τους χάρτες που ακολουθούν. Στους χάρτες αυτούς βλέπουμε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά επί της % καταλαμβάνουν οι κλάσεις με αλλαγής +1 και -1 με τις τιμές -1 να είναι οι επικρατέστερες με διαφορά με ποσοστά 77,89% και 85,33% αντίστοιχα, ενώ οι περιοχές όπου δεν παρατηρήθηκαν καθόλου αλλαγές είναι ουσιαστικά ανύπαρκτες. Οι αρνητικές τιμές όπως αναφέρθηκε παραπάνω αντιπροσωπεύουν υψηλότερες τιμές βλάστησης για την νεότερη εικόνα που στους χάρτες που ακολουθούν είναι οι τιμές NDVI του 2013 και του 2014 αντίστοιχα (URL 19).



Εικόνα 38: Χάρτης ανίχνευσης αλλαγών μεταξύ των δορυφορικών εικόνων για τα έτη 2013 με 2010.



Εικόνα 39: Χάρτης ανίχνευσης αλλαγών(change detection) μεταξύ των δορυφορικών εικόνων για τα έτη 2014 με το 2013.

Η ταξινόμηση ψηφιακών πολυφασματικών εικόνων αποτελεί μια διαδικασία εξαγωγής διάφορων επιπέδων πληροφοριών κατά την οποία χωρίστηκαν τα εικονοστοιχεία σε κλάσεις με κοινά χαρακτηριστικά υφής και φασματικής απόκρισης. Οι κλάσεις αυτές μπορούν να περιγράψουν τα είδη φυτοκάλυψης, την κάλυψη γης, τη λιθολογία της περιοχής κ.α., ενώ οι ομαδοποιημένες αυτές πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θεματικών χαρτών. (URL 12)

Με τον όρο κάλυψη γης αναφερόμαστε στις φυσικές και τεχνικές οντότητες οι οποίες ερμηνεύονται/ταυτοποιούνται σε μια τηλεπιστοπική εικόνα/φωτογραφία να καλύπτουν μια μονάδα εδάφους. Οι φυσικές οντότητες είναι η φυσική βλάστηση, οι υδάτινες επιφάνειες κ.α., ενώ ως τεχνικές οντότητες χαρακτηρίζονται οι καλλιέργειες, τα κτίρια, το οδικό δίκτυο κ.α. (Μηλιαρέσης, 2003)

Η ψηφιακή ταξινόμηση εικόνων πιθανόν είναι να χρειάζεται περισσότερες πληροφορίες για τα αντικείμενα (επίπεδα πληροφοριών) που χωρίσαμε σε κλάσεις, όπως η μορφολογική κλίση, ο προσανατολισμός και το υψόμετρο. Τα επιπλέον αυτά χαρακτηριστικά εξάγονται από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (Αστάρας, 2010).

Η ψηφιακή ταξινόμηση είναι μία ημιαυτόματη επεξεργασία η οποία με την χρήση εικόνων ταξινομεί τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας σε κλάσεις και παρουσιάζει δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις, την μη επιβλεπόμενη (unsupervised classification) και την επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification) (Αστάρας, 2010).

Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση οι κλάσεις καθορίζονται αυτόματα με βάση την στατιστική ομαδοποίηση των στοιχείων. Η ταξινόμηση αυτή δεν χρειάζεται προηγούμενη γνώση της περιοχής μελέτης, ενώ η εικόνα υποδιαιρείται με βάση τις εσωτερικές ιδιότητες των εικονοστοιχείων (Αστάρας, 2010).

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση απαιτεί προηγούμενη γνώση της περιοχής που θα ταξινομήθει και επιτρέπει στον αναλυτή να ορίσει πόσες κλάσεις θέλει να χωρίσει. Κατά την διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης ο χρήστης ορίζει σε ποια κλάση θα τοποθετηθεί μια συγκεκριμένη ομάδα εικονοστοιχείων, τα οποία αντιστοιχούν σε έναν τύπο επιφανειακής κάλυψης. Στην συνέχεια ο υπολογιστής με βάση τέτοια δείγματα (training areas-sites) ταξινομεί τα εικονοστοιχεία που έχουν όμοια φασματικά χαρακτηριστικά στις ίδιες κλάσεις με τα δείγματα. Τα δείγματα αυτά οφείλουν να είναι ομοιογενή όσο περισσότερο γίνεται και να έχουν αρκετό πλήθος ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά. Συνήθως αναπόφευκτα παρατηρείται αλληλοεπικάλυψη ορισμένων κλάσεων η οποία όσο μικρότερη είναι τόσο πιο ακριβές είναι το αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Επίσης για επιβεβαίωση ότι τα δείγματα που ελήφθησαν αντιστοιχήθηκαν στην σωστή κλάση, συνήθως ακολουθεί υπαίθρια επιβεβαίωση (ground truth) (Αστάρας, 2010, Συλλαίος, 2000).

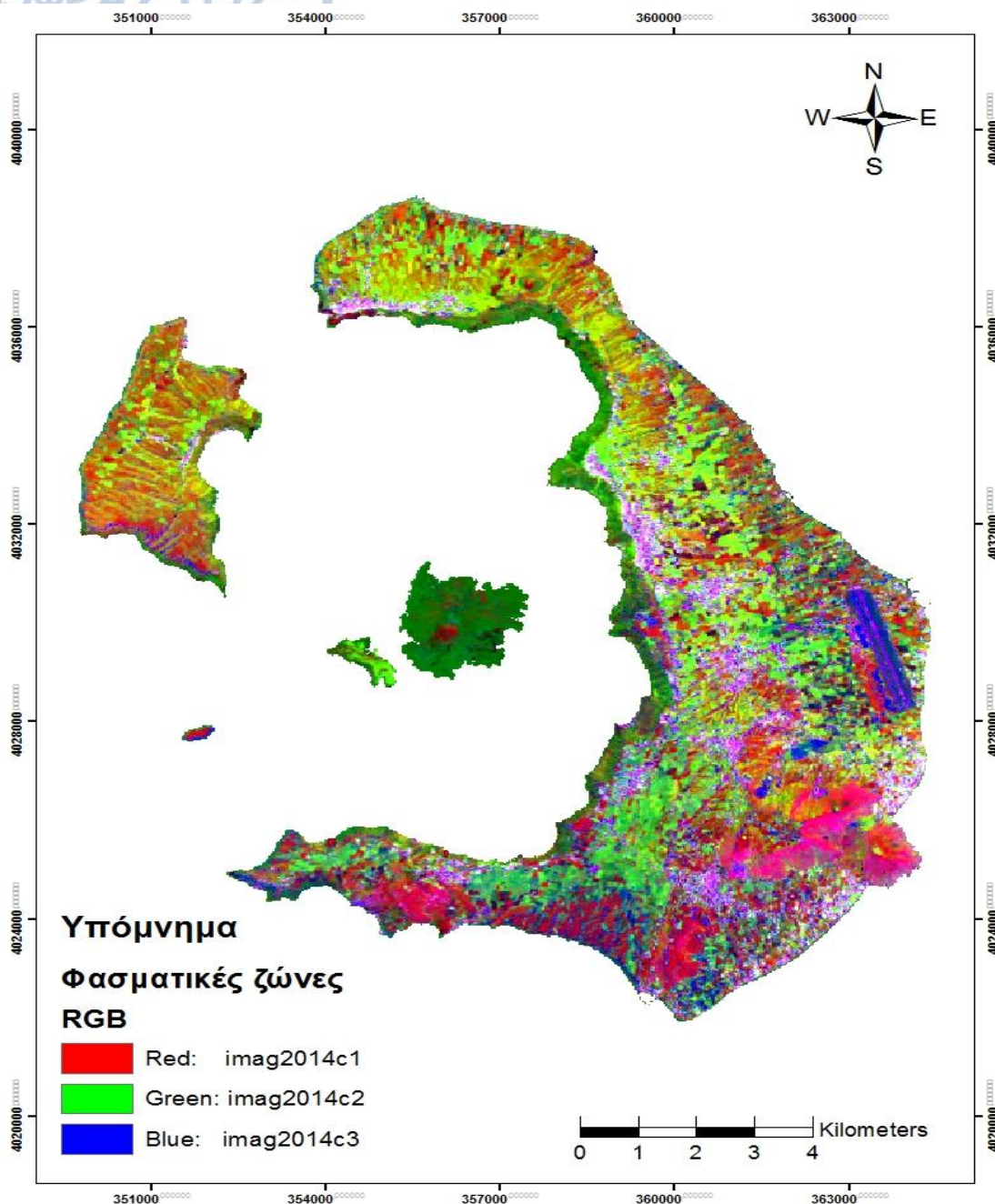
Η ψηφιακή ταξινόμηση χρησιμοποιείται συνήθως για διαχωρισμούς κάλυψης γης, ενώ αποφεύγεται για γεωλογική χαρτογράφηση διότι δίνει χαμηλές τιμές ακρίβειας. Εξαιρέσεις εμφανίζονται σε περιοχές με χαμηλή βλάστηση ή με πλήρη απουσία βλάστησης όπου οι τιμές ακρίβειας της γεωλογικής ταξινόμησης θεωρούνται ικανοποιητικές (Αστάρας, 2010).

10.1. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Στη παρούσα εργασία επιλέχθηκε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ενώ η δορυφορική πολυφασματική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε ελήφθη τον Μάιο του 2014 (Landsat 8). Την δορυφορική αυτή εικόνα την εισάχθηκε στο πρόγραμμα ENVI 4.8. Αρχικά απομακρύνθηκε η θαλάσσια περιοχή με την βοήθεια της ακτογραμμής και αφού πειραματιστήκαμε με διάφορους φασματικούς συνδυασμούς για καλύτερη επιλογή του δείγματος της ταξινόμησης, επιλέχθηκε ο φασματικός συνδιασμός όπως παρουσιάζεται στην εικόνα που δίνεται παρακάτω. Ειδικότερα η εικόνα αυτή έχει ζώνες από τις οποίες οι δύο πρώτες προέκυψαν από την επιλογή του κυρίου μενού Transform>Principal Components>Forward PC Rotation>Compute New Statistics, για τις πρώτες 7 μόνο ζώνες, ενώ επιλέχθηκε το αποτέλεσμα να έχει τέσσερις ζώνες. Συγκεκριμένα αντιστοιχήθηκε η ερυθρή χρωματική έξοδο (R) με τη ζώνη PC Band 4 (Principal Component Band 4), η πράσινη χρωματική έξοδο (G) με τη ζώνη PC Band 3 (Principal Component Band 3) και τέλος η μπλε χρωματική έξοδο (B) με τη ζώνη B1 της αρχικής δορυφορικής εικόνας(εικόνα 40).

Πίνακας 10: Οι φασματικές ζώνες του Landsat 8 (URL 5).

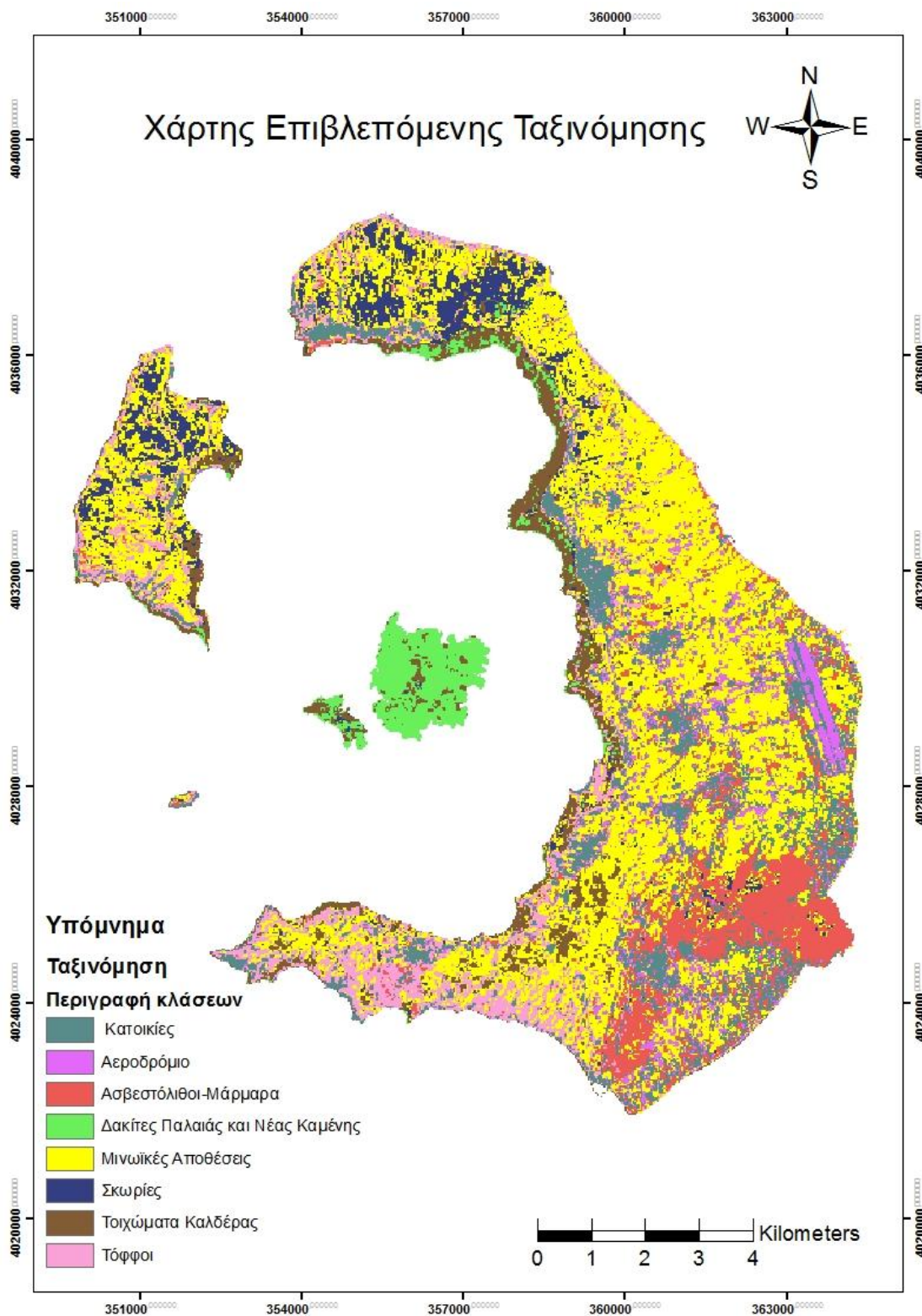
Φασματική ζώνη	Εύρος ζώνης(μm)	Ανάλυση(m)
Ζώνη 1(Παράκτια)	0,43-0,45	30
Ζώνη 2(Μπλε)	0,45-0,51	30
Ζώνη 3(Πράσινη)	0,53-0,59	30
Ζώνη 4(Ερυθρή)	0,64-0,67	30
Ζώνη 5(Υπέρυθρη)	0,85-0,88	30
Ζώνη 6(Κοντινή Υπέρυθρη 1)	1,57-1,65	30
Ζώνη 7(Κοντινή Υπέρυθρη 2)	2,11-2,29	30
Ζώνη 8(Παγχρωματική)	0.50-0,68	15



Εικόνα 40: Πολυφασματική εικόνα από επεξεργασία δορυφορικής εικόνας Landsat 8 που ελήφθη στις 21-5-2014.

Την τροποποιημένη αυτή πολυφασματική δορυφορική εικόνα ανοίχτηκε στο πρόγραμμα ArcMap ώστε να προβούμε στην διαδικασία της ταξινόμησης. Τα στάδια του υπολογισμού της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για το πρόγραμμα ArcMap10.1 είναι αρχικά από τις εργαλειοθήκες(Toolbars) να προστεθεί η επιλογή Image Classification, έπειτα να δημιουργήθηκε ένα δείγμα από πολύγωνα τα οποία συγχωνεύονται όταν αντιστοιχούν στην ίδια τάξη. Στο δείγμα αυτό της ταξινόμησης στον χάρτη χωρίζονται 8 τάξεις(κλάσεις). Στην συνέχεια επιλέχθηκε ο τύπος της ταξινόμησης, στην συγκεκριμένη εργασία ο τύπος που επιλέχθηκε είναι η επιβλεπόμενη ταξινόμηση μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum likelihood

classification) το αποτέλεσμα της οποίας δίνεται στον χάρτη που ακολουθεί (εικόνα 41). Ο αλγόριθμος αυτός έχει την δυνατότητα να συνυπολογίζει την ποσοτική μεταβλητότητα και συμμεταβλητότητα των φασματικών αποκρίσεων των δειγμάτων (training areas) όταν ταξινομεί ένα άγνωστο εικονοστοιχείο (Αλεξάκης, 2009).



Εικόνα 41: Χάρτης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον Μάιο του 2014.

10.2 Εκτίμηση επιβλεπόμενης ταξινόμησης

Το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης οφείλει να χαρακτηριστεί ανάλογα με την αξιοπιστία που παρουσιάζει με βάση την έκθεση ακρίβειας/ορθότητας (accuracy report). Η έκθεση αυτή αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ταξινόμησης. Κατά την έκθεση αυτή απαραίτητο είναι να πραγματοποιηθεί λήψη επαρκών σημείων που σύμφωνα με την ταξινόμηση αντιστοιχούν σε όλες τις τάξεις που δόθηκαν. Στην συγκεκριμένη εργασία η επιβλεπόμενη ταξινόμηση χώρισε την πολυφασματική δορυφορική εικόνα σε 8 κλάσεις, οπότε για να υπολογιστεί η έκθεση ακρίβειας χρησιμοποιήθηκαν πολυάριθμα σημεία από κάθε μία από αυτές τις κλάσεις.

Τα σημεία αυτά μπορούν να ληφθούν είτε από επισκέψεις υπαίθρου στην περιοχή μελέτης, είτε από λήψη σημείων πάνω στον λιθολογικό χάρτη της περιοχής ή/και την δορυφορική εικόνα, είτε από να ζητηθεί από το πρόγραμμα ArcMap να πάρει κάποια σημεία στον χάρτη και με την χρήση του προγράμματος Google earth να ταυτοποιηθεί σε ποια κλάση ανήκουν. Η ιδανικότερη διαδικασία είναι η υπαίθρια επίσκεψη ωστόσο και οι άλλοι τρόποι θεωρούνται αρκετά αξιόπιστοι ενώ συνήθως προτιμούνται διότι είναι λιγότερο χρονοβόροι και πιο οικονομικοί. Στην εργασία μας τα σημεία αυτά ελήφθησαν με την χρήση τόσο του λιθολογικού χάρτη όσο και της δορυφορικής μας εικόνας.

Το δείγμα αυτό των σημείων που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί ένα σημειακό αρχείο στο πρόγραμμα ArcMap. Το αρχείο αυτό έχει μια στήλη δεδομένων στην οποία περιέχονται οι τιμές της κλάσης στην οποία ανήκουν. Στην συνέχεια παράγεται άλλη μια στήλη από το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με τις εντολές από την εργαλειοθήκη(ArcToolbox) Spatial Analyst Tools>Extraction>Extract values to points. Στην νέα στήλη εμφανίζονται οι τιμές(Raster value) που έδωσε η ταξινόμηση για το κάθε σημείο.

Στην συνέχεια ζητήθηκε από το πρόγραμμα να συγκρίνει τις δύο στήλες ώστε να υπολογίσει την συχνότητα με την οποία κάθε σημείο παρουσιάζει ότι ανήκει στην ίδια τάξη και στις δύο στήλες. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής: από ArcToolbox, Analysis Tools>Statistics>Frequency.

Έπειτα από τον υπολογισμό της συχνότητας δημιουργήθηκε ένας νέος συγκεντρωτικός πίνακας (pivot table). Οι εντολές που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες από ArcToolbox, Data management Tools> Table>Pivot Table. Κατά την συμπλήρωση των δεδομένων τέθηκαν στις γραμμές του πίνακα οι τιμές που έχουν δώσει στα σημεία με βάση τον χάρτη της λιθολογίας μας και την δορυφορική εικόνα, στις στήλες τέθηκαν οι τιμές που δόθηκαν από την ταξινόμηση για το κάθε σημείο, ενώ ως αξία με την οποία θα κατασκευαστεί ο πίνακας τέθηκε η συχνότητα που υπολογίστηκε προηγουμένως. Ο πίνακας που προκύπτει αποτελείται από εννιά στήλες και εννιά γραμμές.

Η ακρίβεια της ταξινόμησης αξιολογείται με βάση τρεις δείκτες, την ακρίβεια του παραγωγού (producer's accuracy), την ακρίβεια του χρήστη (user's accuracy) και την συνολική ακρίβεια (overall accuracy). Η ακρίβεια του παραγωγού αναφέρεται ως η πιθανότητα μιας χρήσης γης/λιθολογία να έχει ταξινομηθεί σωστά. Η ακρίβεια του χρήστη αποτελεί την πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο (pixel) να έχει ταξινομηθεί σε μια κλάση να ανήκει πραγματικά σε αυτή. Η συνολική ακρίβεια μας δίνει μια γενικευμένη εικόνα για την συνολική ακρίβεια/ορθότητα όλων των κλάσεων/τάξεων. (URL 27)

	Residential	Commercial	Wetland	Forest	Water	Row total
Residential	70	5	0	13	0	88
Commercial	3	55	0	0	0	58
Wetland	0	0	99	0	0	99
Forest	0	0	4	37	0	41
Water	0	0	0	0	121	121
Column total	73	60	103	50	121	407

Overall Accuracy = $382/407 = 93.86\%$

Producer's Accuracy (omission error)

Residential = $70/73 = 96\%$ 4% omission error
Commercial = $55/60 = 92\%$ 8% omission error
Wetland = $99/103 = 96\%$ 4% omission error
Forest = $37/50 = 74\%$ 26% omission error
Water = $20/22 = 100\%$ 0% omission error

User's Accuracy (commission error)

Residential = $70/88 = 80\%$ 20% commission error
Commercial = $55/58 = 95\%$ 5% commission error
Wetland = $99/99 = 100\%$ 0% commission error
Forest = $37/41 = 90\%$ 10% commission error
Water = $121/121 = 100\%$ 0% commission error

Εικόνα 42: Παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών της ταξινόμησης. (URL 2)

Πίνακας 11: Έκθεση ορθότητας/ακρίβειας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Τάξεις	1	2	3	4	5	6	7	8	άθροισμα γραμμής
Κατοικίες									
1.Κατοικίες	212	0	3	0	0	0	5	3	223
2.Αεροδρόμιο	0	216	0	0	0	0	0	0	216
3.Ασβεστόλιθοι-Μάρμαρα	0	0	390	0	0	0	24	3	417
4.Δακίτες Παλαιάς και Νέας Καμένης	0	0	0	202	3	3	6	0	214
5.Μινωϊκές Αποθέσεις	0	0	14	4	778	0	2	2	800
6.Σκωρίες	0	0	1	5	12	22	67	2	109
7.Τοιχώματα Καλδέρας	0	0		4	1	0	201	0	206
8.Τόφφοι	0	0	1	0	0	0	63	40	104
άθροισμα στήλης	212	216	409	215	794	25	368	50	

Ως παράδειγμα αναφέρεται η κλάση των κατοικιών όπου ενώ η ακρίβεια του χρήστη είναι 95% έχει ακρίβεια παραγωγού 100% άρα θα μπορούσε να ταξινομηθεί καλύτερα.

Συνολική ορθότητα/ακρίβεια (Overall accuracy)= (Σωστές προβλέψεις / Ολικές προβλέψεις)*100=
 $(212+216+390+202+778+22+201+40/2289)*100=90\%$

Το αποτέλεσμα της συνολικής ακρίβειας(Overall accuracy) είναι το ιδανικότερο που μπορεί να υπολογιστεί διότι η βλάστηση παρόλο που είναι χαμηλή έως αμελητέα σε ορισμένα τμήματα της Σαντορίνης επηρεάζει αρνητικά την ακρίβεια της ταξινόμησης.

11. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης ακολουθούν τους ακόλουθους άξονες:

- ❖ τον υπολογισμό της επιδεκτικότητας διάβρωσης της Σαντορίνης
- ❖ την σύγκριση των ροδοδιαγραμμάτων των φωτογραμμώσεων με αυτά των χαρτογραφημένων ρηγμάτων
- ❖ την εύρεση των τιμών του δείκτη βλάστησης NDVI για τον μήνα Μάιο των ετών 2010, 2013 και 2014, την εξαγωγή προσωπικής εκτίμησης για την πυκνότητα βλάστησης και την ταξινόμηση της πυκνότητας φυτοκάλυψης με βάση τις τιμές αυτές για το Μάιο του 2014
- ❖ την ανίχνευση αλλαγών μεταξύ δύο πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων, που στην περιοχή μελέτης μας αφορούν κυρίως αλλαγές στην βλάστηση της Σαντορίνης
- ❖ τον διαχωρισμό της επιφάνειας της περιοχής μελέτης σε κλάσεις/τάξεις με βάση τις χρήσεις γης μαζί με λιθολογικούς παράγοντες

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω.

- a) Σύμφωνα με τον χάρτη της μορφολογικής κλίσης παρατηρείται ότι οι περιοχές με μέγιστες τιμές κλίσης εμφανίζονται στη καлдέρα και το βουνό προφήτης Ηλίας. Επίσης σύμφωνα με τον χάρτη της υδρογραφικής υψής υψηλές τιμές παρουσιάζονται στο κεντρικό και νότιο-κεντρικό κυρίως τμήμα της Θήρας, ενώ οι λιθολογικοί παράγοντες μας δίνουν υψηλές τιμές επιδεκτικότητας διάβρωσης στις μινωικές κυρίως αποθέσεις και σε τμήματα της καλδέρας, ενώ χαμηλή επιδεκτικότητα διάβρωσης βρίσκονται κυρίως στις Καμένες. Τέλος στον γενικό συνοπτικό χάρτη όλων των παραγόντων οι Καμένες εμφανίζουν την χαμηλότερη επιδεκτικότητα διάβρωσης. Αντίθετα κυρίως οι μινωικές αποθέσεις και τμήματα της καλδέρας παίρνουν τις υψηλότερες τιμές που παρατηρούνται, όπως είναι εμφανές αυτό συμβαίνει διότι ο λιθολογικός παράγοντας έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας για την περιοχή μελέτης μας.
- b) Το γραμμικό ψηφιακό αρχείο των φωτογραμμώσεων φέρει πολλές ομοιότητες με τα αντίστοιχα αρχεία των ρηγμάτων από τους τρεις χάρτες των χαρτογραφημένων ρηγμάτων. Επίσης από το ροδοδιάγραμμα των

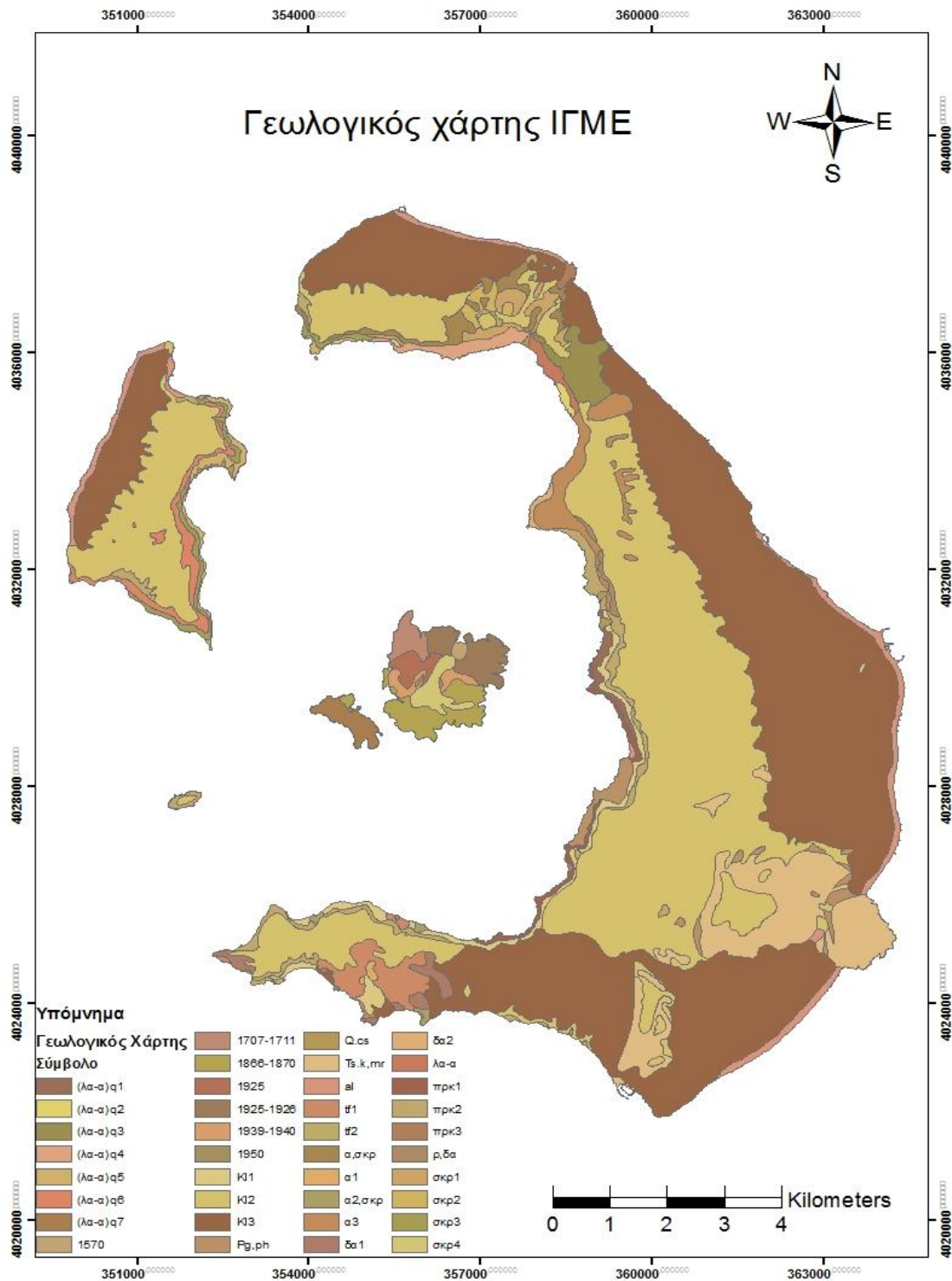
φωτογραμμώσεων γίνεται εμφανές ότι οι τιμές σε μοίρες των περισσότερων γραμμικών στοιχείων κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 10° έως 60° και μεταξύ 300° έως 320° . Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με τα ροδοδιαγράμματα των ρηγμάτων παρατηρείται ότι οι διευθύνσεις του ροδοδιαγράμματος των φωτογραμμώσεων σε γενικές γραμμές συμπίπτουν με αυτές των ρηγμάτων. Επίσης πρέπει να ξανααναφερθεί ότι η κύρια ζώνη ρηγμάτων έχει κατεύθυνση ΝΔ-ΒΑ (40°) στην Σαντορίνη βρίσκεται μέσα στο εύρος των τιμών που βρέθηκαν από το ροδοδιάγραμμα. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το ροδοδιάγραμμα των φωτογραμμώσεων μας δίνει μια καλή απεικόνιση των πιθανών ρηγμάτων της περιοχής μελέτης. Επιπλέον ο γρήγορος και οικονομικά συμφέρων τρόπος κατασκευής τέτοιων ροδοδιαγραμμάτων καθιστούν την χρήση τους μια εύχρηστη διαδικασία για τους επιστήμονες που ασχολούνται με τις τεκτονικές χαρτογραφήσεις και έρευνες, διότι δίνει τις πιθανές θέσεις των ρηγμάτων πριν από την επίσκεψη στο ύπαιθρο.

- c) Παρατηρώντας τους χάρτες του δείκτη βλάστησης NDVI για τον μήνα Μάιο των ετών 2010, 2013 και 2014 παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές βλάστησης διακρίνονται στον χάρτη του 2014, ενώ πιο περιορισμένη έκταση και πυκνότητα βλάστησης εμφανίζεται στον χάρτη του 2010. Επίσης για τον Μάιο του 2014 από την σύγκριση των τύπων της πυκνότητας φυτοκάλυψης που μας δίνει ο δείκτης βλάστησης NDVI με τις τιμές των εικονοστοιχείων με την προσωπική μας εκτίμηση από την επίσκεψη υπαίθρου, παρατηρείται ότι οι τιμές που μας δίνει ο δείκτης ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όταν δεν χρειάζονται πολλές λεπτομέρειες για την σημειακή πυκνότητα βλάστησης μιας περιοχής μελέτης, ο δείκτης βλάστησης NDVI μπορεί να δώσει βασικές πληροφορίες δίχως να απαιτηθεί επί τόπου επίσκεψη. Επομένως αν οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη έχουν χαμηλό κόστος τότε η δουλειά του ερευνητή γίνεται με μειωμένο κόστος.
- d) Σχετικά με την ανίχνευση αλλαγών (change detection) που πραγματοποιείται με την χρήση δύο χρονικά διαφορετικών δορυφορικών εικόνων παράχθηκαν δύο χάρτες για τα έτη 2013-2010 και 2014-2013. Η πλειοψηφία των αλλαγών ανίχνευσης που καταγράφονται στην περιοχή μελέτης αφορούν τις διαφορές στην πυκνότητα της βλάστησης. Τα αυξημένα ποσοστά των αρνητικών τιμών (με τιμή την -1) χαρακτηρίζουν αύξηση της πυκνότητας φυτοκάλυψης των νεότερων φωτογραφιών από το κάθε ζεύγος. Εμφανής λοιπόν γίνεται η δυνατότητα του δείκτη αυτού να εντοπίζει αλλαγές στον τομέα της βλάστησης καθώς και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως επεκτάσεις δρόμων, κατασκευή κατοικιών και επέκταση των αστικών δραστηριοτήτων κ.α.
- e) Τέλος εκμεταλλευόμενοι την χαμηλή πυκνότητα βλάστησης, η οποία σύμφωνα με τα αντιπροσωπευτικά σημεία που πάρθηκαν στο κεφάλαιο του

δείκτη NDVI τοποθετήθηκαν στις δύο τελευταίες κατηγορίες πυκνότητας(πολύ αραιή βλάστηση και αραιή βλάστηση), ταξινομήθηκε η επιφάνεια της περιοχής μελέτης με την ταυτόχρονη αξιοποίηση των χρήσεων γης αλλά και της λιθολογίας. Παρόλο που οι προσπάθειες γεωλογικών χαρτογραφήσεων με την ταξινόμηση συνήθως είναι ανεπιτυχείς, λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών βλάστησης στην Σαντορίνη μπορούν να πραγματοποιηθούν. Το ποσοστό της Συνολικής ακρίβειας (Overall accuracy) υπολογίστηκε περίπου 90%, ενώ καλύτερη ταξινόμηση δεν τίθεται δυνατό να πραγματοποιηθεί εξαιτίας της έστω και περιορισμένης βλάστησης. Επιπλέον από το ποσοστό αυτό φαίνεται ότι τα δείγματα που τέθηκαν ως δείγματα αναφοράς (training areas) είχαν σωστές τιμές κλάσεων. Επίσης παρατηρείται ότι η κλάση του αεροδρομίου ταξινομείται καλύτερα από όλες τις άλλες λόγω του περιορισμένου εύρους των τιμών των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτή.

12.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ, 1980.



Εικόνα 43:Γεωλογικός χάρτης (Απο ΙΓΜΕ, 1980).

Πίνακας 12: Πετρώματα από τον γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, 1980.

Λιθολογική περιγραφή	Σύμβολο	Έκταση (km ²)
Αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις	al	1,85
Ανδειτικές λάβες	α3	1,38
Ανδειτικές λάβες και σκωρίες	α2,σκρ	0,10
Ανδειτικά πυροκλαστικά προϊόντα	πρκ3	0,08
Τέφρες από τις εκρήξεις των ετών 1939-1940 και 1950	σκρ4	0,43
Μαύρες σκωρίες	σκρ1	0,62
Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι	Ts.k,mr	5,20
Εκχύσεις δακτιτικών λαβών	δα1	0,48
Τόφφοι δακτιτικής κίσηρης	tf1	1,21
Σκοτεινόχρωμη λάβα και πολύ καλά συγκολλημένα στρώματα σκωριών	α,σκρ	0,84
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές λάβες Fouque και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1925	0,33
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές Κτενά λάβες, Reck λάβες, λάβες δομού Smith και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1939-1940	0,28
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές λάβες Δάφνης και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1925-1926	0,85
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές λάβες Γεωργίου και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1866-1870	1,03
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές λάβες Μικράς Καημένης και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1570	0,07
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές λάβες Νέας Καημένης και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1707-1711	0,36
Εκχύσεις δακτιτικών εως λατιανδειτικές λάβες, δομός Λιάτσικα και αντίστοιχα πυροκλαστικά	1950	0,02
Έκχυτα δακτιτικά ηφαιστειακά πετρώματα	δα2	0,09
Εκχύσεις χαλαζιακών λατιανδειτικών λαβών	(λα-α)q7	0,47
Κατώτερες χαλαζιακές λατιανδειτικές λάβες	(λα-α)q5	0,46
Κατώτερες χαλαζιακές λατιανδειτικές λάβες με κατακλάσεις πλακοειδούς μορφής	(λα-α)q2	0,08
Κατώτερη χαλαζιακή λατιανδειτική ηφαιστειακή σειρά	(λα-α)q4	0,48
Μεσαίες λατιανδειτικές λάβες	λα-α	0,25
Χαλαζιακές ανδειτικές λάβες	α1	0,06
Χαλαζιακές λατιανδειτικές λάβες	(λα-α)q1	0,26
Χαλαζιακές λατιανδειτικές σκωρίες	σκρ3	0,57
Χαλαζιακοί-λατιανδειτικοί τόφφοι	tf2	0,04
Χαλαζιακά λατιτικά πυροκλαστικά υλικά	πρκ1	0,42
Κοκκινωπές σκωρίες	σκρ2	0,29
Μεταφερμένη ανώτερη σειρά κίσηρης	KI3	34,46
Εκχύσεις ρυοδακτιτικών λαβών	ρ,δα	0,14
Ρυοδακτιτική κατώτερη σειρά κίσηρης	KI1	1,21
Ρυοδακτιτική ανώτερη σειρά κίσηρης	KI2	30,43
Ημιμεταμορφωμένος σχηματισμός πετρωμάτων	Pg,ph	0,81
Κώνοι κορημάτων	Q.cs	0,12
Ανώτερες χαλαζιακές λατιανδειτικές λάβες	(λα-α)q6	0,84
Ανώτερες χαλαζιακές λατιανδειτικές ροές λαβών	(λα-α)q3	0,86
Διάφορα ηφαιστειακά πυροκλαστικά υλικά	πρκ2	1,60
Σύνολο		89,08



13.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

13.1.1 Ξενόγλωσση:

Demek, J. (1972): Manual of detailed geomor-phological mapping. Academia, Prague, p 344.

Dikau R., (1989): The Application of a Digital Relief Model to Landform Analysis. In: Raper, J.F. (Ed.), Three dimensional applications in Geographical Information Systems, Taylor and Francis, London, p 51-77.

Druitt T. H. and Davies M. A.,(1994-1995): Geological map of the Santorini islands, Aegean Sea, Greece, Scale 1:20.000.

Friedrich W. ,(2013): The Minoan Eruption of Santorini around 1613 B. C . and its consequences, p 41.

Heiken G. and McCoy J.(1984): Caldera development during the Minoan eruption, Thira, Cyclades, Greece.

Jenness J. (2014), Polar Plots and Circular Statistics, Manual June 23,:p17-44.(URL: 14)

Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. (1969). 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition.' Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, p. 97-131.

Mountrakis D., Pavlides S., Chatzipetros A., Meletlidis S.,Tranos M., Vougioukalakis G. and Kilias A. Proceedings of the second workshop Santorini, Greece 2to4 May 1996,'Active deformation of Santorini', p13-22.

O'Leary D. W., Friedman J.D, and Pohn H.A. (1976): Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms Geological Society of America Bulletin,: p. 1463-1469.

Papazachos B.C, Panagiotopoulos D.G.(1993): normal faults associated with volcanic activity and deep rupture zones in the southern Aegean volcanic arc. Tectonophysics 220(1/4) p 301-308.

Peel M. C, Finlayson B. L., and McMahon T. A, (2007):. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification, 4: p439-473.

Pyle D M, Elliott J R. (2006): Quantitative morphology, recent evolution and future activity of the Kameni islands volcano, Santorini, Greece. Geosphere, 2:5:p253–268.

Wohletz, Kenneth, and Grant Heiken. Volcanology and Geothermal Energy. Berkeley: University of California Press, 199. (URL 9).

13.1.2 Ελληνική

Αλεξάκης Δ. ,(2009) : Η συμβολή της γεωμορφολογίας με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη χαρτογράφηση αρχαιολογικών θέσεων, διατριβή ειδίκευσης, Τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ., Θεσσαλονίκη, σελ 272.

Αποστολάκη Μ.(2007) : Σαντορίνη (Θηρα) σελ17-18, URL 7.

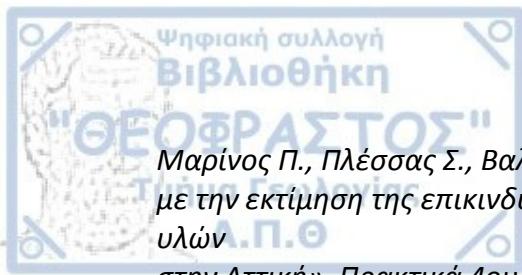
Ασάρας Θ. ,(2010) : Τηλεπισκόπηση-Φωτοερμηνεία στις γεωεπιστήμες, Εκδόσεις Αϊβαζή, Θεσσαλονίκη, σελ 408-413.

Βουγουκαλάκης 1997: Η Μινωική έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης και ο κόσμος του Αιγαίου.

Βουγιουκαλάκης Γ. 2005: Στα γαλάζια ηφαίστεια, Σαντορίνη. Δημοτική επιχείρηση πολιτιστικής και τουριστικής ανάπτυξης Δήμου Θήρας. Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης Ηφαιστείου της Σαντορίνης σελ 31-53.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1980: Γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης. (1:50.000)

Ι.Μ.Π.Η.Σ: Σαντορίνη, οδηγός για το ηφαίστεια, έκδοση του Ινστιτούτου Μελέτης και παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης.



Μαρίνος Π., Πλέσσας Σ., Βαλαδάκη-Πλέσσα Κ. 1998: «Θεματικοί χάρτες σχετικά με την εκτίμηση της επικινδυνότητας έναντι διαβρώσεων και παραγωγής φερτών υλών στην Αττική», Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, σελ. 584-616, Αθήνα, 1998.

Σολδάτος Τ.,(2011): Σαντορίνη, Ηφαιστειολογικός οδηγός, Άσκηση Υπαίθρου Δ' Έτους, σελ 7-44.

Σούλιος Γ. Χ. , (2010) Γενική Υδρογεωλογία Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ 216-217.

Συλλαίος Ν. (2000): Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ 205.

Μαρίνος Π. ,Πλέσσας Σ. και Βαλαδάκη-Πλέσσα Κ.,(1998): Θεματικοί χάρτες σχετικά με την εκτίμηση της επικινδυνότητας έναντι διαβρώσεων και παραγωγής φερτών υλικών στην Αττική, Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου ,Αθήνα 1998, σελ 584-616.

Μηλιαρέσης Γ.,(2003): Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, σελ 243

Μοντεσάντου Β., (1999): Σημειώσεις λιμνολογίας, Ποτάμια υδροσυστήματα Πανεπιστήμιο Αθηνών, τμήμα Βιολογίας , τομέας οικολογίας και ταξινόμησης, σελ 10-12.

Μουντράκης Δ.Μ., (1985): Γεωλογία της Ελλάδας, University studio press, 121-127.

Friedrich W. , (2007) : Φωτιά στη Θάλασσα. Ηφαιστειότητα και Φυσική Ιστορία της Σαντορίνης Ο μύθος της Ατλαντίδας, εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, σελ 24-49, σελ 78-89, σελ 138-140 και σελ 188-207.

Φουρνιάδης Ι, (2002): Διατριβή Ειδίκευσης, Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική εξέλιξη της κοιλάδας του Ανθεμούντα, με τη χρήση μεθόδων GIS και τηλεπισκόπησης, Θεσσαλονίκη, σελ 52-81.(URL 25)

- URL 1:
http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1602/PressReleases/A1602_SAM01_DT_DC_00_2011_02_F_GR.pdf (01/2015)
- URL 2 :
http://web.pdx.edu/~jduh/courses/Archive/geog481w07/Students/Mckay_AccuracyAssessment.pdf (04/2016)
- URL 3: <http://www.lonelyplanet.com/maps/europe/greece/cyclades-islands/santorini/> (07/2017)
- URL 4: http://apodraste.blogspot.gr/p/blog-page_2442.html (07/2016)
- URL 5 : <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8/> (08/2014)
- URL 6 :
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7> (02/2015)
- URL 7 : <http://www.dafni.net.gr/gr/members/files/thira/santorini-report.pdf> (02/2015)
- URL 8: <http://www.deltiokairou.gr/gr/weather/kyklades/santorini/santorini/> (02/2015)
- URL 9: <http://ark.cdlib.org/ark:/13030/ft6v19p151> (02/2015)
- URL 10:
http://www.decadevolcano.net/santorini/santorini_geology_geography.htm (02/2015)
- URL 11 : <http://www.oasp.gr/node/207> (03/2015)



- URL 12: <http://eclass.uoa.gr/.../ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ%20ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ%20ΕΙΚΟΝ...>(πλατφόρμα μαθημάτων)(05/2016)
- URL 13: : <http://earthexplorer.usgs.gov/> (05/2016)
- URL 14: http://Jennessent.com/arcgis/polar_plots.htm (02/2016)
- URL 15: https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index#cite_note-3 (02/2016)
- URL 16 : <http://www.maxmax.com/endvi.htm> (02/2016)
- URL 17 : http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php (02/2016)
- URL 18: <http://endeleo.vgt.vito.be/dataproducts.html#ndvi>(03/2016)
- URL 19 : <https://www.harrisgeospatial.com/docs/ChangeDetectionAnalysis.html#Compu>
[tin](https://www.harrisgeospatial.com/docs/ChangeDetectionAnalysis.html#Compu) (04/2016)
- URL 20 : <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/stretch-function.htm> (04/2016)
- URL 21 : <http://publishing.cdlib.org/ucpressebooks/view?docId=ft6v19p151&chunk.id=d0e18336&toc.depth=1&toc.id=d0e16837&brand=ucpress> (02/2016)
- URL 22: <http://publishing.cdlib.org/ucpressebooks/view?docId=ft6v19p151&chunk.id=d0e17745&toc.depth=1&toc.id=d0e16837&brand=ucpress>(04/2016)
- URL 23: <http://www.edumine.com/xtoolkit/tables/satables.htm>(06/2016)



➤ URL 24:
http://geology.about.com/cs/rock_types/a/aarockspecgrav.htm (06/2016)

➤ URL 25:
[https://www.researchgate.net/publication/292988720_ENTOPISMOS_PERIOCHON_EPIDEKTIKON_SE_DIABROSE_ME_TE_BOETHEIA_TON_GEOGRAPHIKON_SYSTEMATON_PLEROPHORION_GIS_KAI_TES_TELEPISKOPESES_ENA_PARA_DEIGMA_APO_TEN_YDROGRAPHIKE_LEKANE_TOU_ANTHEMOUNTA_Detectin](https://www.researchgate.net/publication/292988720_ENTOPISMOS_PERIOCHON_EPIDEKTIKON_SE_DIABROSE_ME_TE_BOETHEIA_TON_GEOGRAPHIKON_SYSTEMATON_PLEROPHORION_GIS_KAI_TES_TELEPISKOPESES_ENA_PARA_DEIGMA_APO_TEN_YDROGRAPHIKE_LEKANE_TOU_ANTHEMOUNTA_Detecting_area)
[g_area](#) (02/2017)