



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης  
Master Thesis

## Αξιολόγηση της Εδαφικής Διάβρωσης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Soil Erosion assessment in the island complex of Santorini using Geographic Information Systems (GIS)

Αικατερίνη Μποζίκια / Aikaterini Bozika

A.M. / R.N. : 18147

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

**No. 2020177**

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2020  
Athens, September 2020



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ  
POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης  
Master Thesis

## Αξιολόγηση της Εδαφικής Διάβρωσης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Soil Erosion assessment in the island complex of Santorini using Geographic Information Systems (GIS)

Αικατερίνη Μποζίκα / Aikaterini Bozika

A.M. / R.N. : 18147

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

**Δρ. Β. Αντωνίου,**  
Δρ. Γεωλόγος, Ε.Δ.Ι.Π. ΕΚΠΑ

**Δρ. Γ. Καβύρης,**  
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

**Δρ. Μ. Σταυροπούλου,**  
Αναπλ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Ειδικές Εκδόσεις / Special  
Publications:

**No. 2020177**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος  
2020**  
Athens, September 2020

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	i
Περίληψη .....	iii
Abstract .....	iv
Ευχαριστίες.....	v
Κατάλογος Πινάκων .....	vi
Κατάλογος Εικόνων .....	vii

### **Κεφάλαιο 1. Διάβρωση Εδαφών..... 9**

1.1. Εισαγωγή – Το έδαφος .....	9
1.1.1. Διεργασίες σχηματισμού του εδάφους.....	9
1.1.2. Παράγοντες σχηματισμού του εδάφους.....	10
1.1.3. Τομή του εδάφους.....	11
1.2. Εδαφική διάβρωση.....	12
1.3. Είδη διάβρωσης εδάφους.....	15
1.3.1. Υδατική διάβρωση.....	15
1.3.2. Αιολική διάβρωση.....	17
1.3.3. Παγετώδης διάβρωση .....	17
1.4. Επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών στη διάβρωση .....	18
1.5. Μοντέλα υπολογισμού εδαφικής διάβρωσης .....	19
1.6. Μοντέλο RUSLE.....	20
1.6.1. Παράγον διαβρωτικότητας της βροχής (R) .....	21
1.6.2. Παράγον διαβρωσιμότητας του εδάφους (K) .....	25
1.6.3. Παράγον αναγλύφου ή τοπογραφικός παράγων (LS).....	28
1.6.4. Παράγον φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C).....	30
1.6.5. Παράγον συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P).....	35

### **Κεφάλαιο 2. Περιοχή μελέτης: Σαντορίνη..... 37**

2.1. Εισαγωγή – Γεωγραφική θέση της Σαντορίνης .....	37
2.2. Γεωτεκτονικό καθεστώς.....	38
2.2.1. Ηφαιστειακό τόξο .....	38
2.2.2. Τεκτονική της Σαντορίνης.....	40
2.3. Γεωμορφολογία της Σαντορίνης .....	42
2.4. Γεωλογία της Σαντορίνης .....	43
2.4.1. Μη ηφαιστειακό υπόβαθρο.....	43
2.4.2. Ηφαιστειακοί σχηματισμοί .....	44
2.5. Κλίμα και βλάστηση της Σαντορίνης.....	48
2.6. Χρήσεις γης.....	49
2.6.1. Τεχνητές επιφάνειες .....	53
2.6.2. Γεωργικές περιοχές.....	53
2.6.3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές .....	54

### **Κεφάλαιο 3. Υπολογισμός των παραγόντων του μοντέλου RUSLE στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης..... 55**

3.1. Υπολογισμός του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (R).....	56
3.2. Υπολογισμός του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (K).....	60
3.3. Υπολογισμός του τοπογραφικού παράγοντα (LS) .....	64
3.4. Υπολογισμός του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) .....	70
3.5. Υπολογισμός του παράγοντα συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P).....	74

Κεφάλαιο 4. Μέση ετήσια εδαφική απώλεια (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης.....	75
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα .....	78
Βιβλιογραφία .....	80

## Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη και εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Κύριος άξονας της εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), η οποία αποτελεί την Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση της Εδαφικής Απώλειας και λαμβάνει υπόψη της σύνολο μεταβλητών παραμέτρων, όπως τη βροχόπτωση, τη λιθολογία, το ανάγλυφο, τις χρήσεις γης και τα έργα αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Στηρίζεται στον υπολογισμό πέντε παραγόντων, οι οποίοι είναι ο παράγων διαβρωτικότητας της βροχής (R), ο παράγων διαβρωσιμότητας του εδάφους (K), ο παράγων αναγλύφου (LS), ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) και ο παράγων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P). Ο υπολογισμός των επιμέρους παραγόντων στην παρούσα εργασία στηρίζεται κυρίως σε βιβλιογραφικά δεδομένα. Κάθε παράγοντας ποσοτικοποιείται και βαθμονομείται, ανάλογα με το πόσο επηρεάζει τις διεργασίες της διάβρωσης.

Τέλος, με την εφαρμογή της μεθόδου RUSLE, δημιουργείται χάρτης ο οποίος παρουσιάζει την κατανομή της μέσης εδαφικής απώλειας στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης και αξιολογείται ο βαθμός επικινδυνότητάς της, με στόχο την πρόληψη και διαχείριση του φαινομένου στο νησί. Παραλλήλως, παρατίθενται προτάσεις οι οποίες αποσκοπούν στην αποκατάσταση των πληγισμών από τη διάβρωση περιοχών.

**Λέξεις κλειδιά:** Εδαφική Διάβρωση, Μέθοδος RUSLE, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Νησιωτικό Σύμπλεγμα Σαντορίνης

## **Abstract**

The aim of the present master's thesis is to study and estimate the soil erosion assessment in the island complex of Santorini using Geographic Information Systems (GIS).

The main focus of this thesis is the application of the RUSLE method, which is the Revised Global Soil Loss Equation and takes into account variable parameters, such as rainfall, lithology, anaglyph, land uses and anti-corrosion measures.

It is based on the calculation of five factors, which are the Rainfall Erosivity Factor (R), the Soil Erodibility Factor (K), the Slope Length and Steepness Factor (LS), the Cover and Management Factor (C) and the Support and Conservation Practices Factor (P). The calculation of the individual factors in the present thesis is based mainly on bibliographic data. Each factor is quantified and rated, depending on how much it affects the erosion processes.

Finally, with the application of the RUSLE method, a map is created which presents the spatial distribution of the mean soil loss in the island complex of Santorini. Moreover, the degree of erosion risk is evaluated, in order to prevent and manage the phenomenon on the island. At the same time, proposals are presented which aim at repairing the areas affected by erosion.

**Keywords:** Soil Erosion, RUSLE Method, Geographic Information Systems, Island Complex of Santorini

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη εκτίμησή μου σε όλους όσοι συνέδραμαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων» του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.

Ειδικότερα στην επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Βαρβάρα Αντωνίου, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, για τις εύστοχες και ουσιώδεις υποδείξεις και τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για την ηθική τους υποστήριξη.

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1.	Τιμές του συντελεστή α στον ελληνικό χώρο (Φλαμπούρης, 2008). .....	23
Πίνακας 2.1.	Εκτάσεις του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (σε km <sup>2</sup> ) (Τσιμπίρη, 2017).....	38
Πίνακας 2.2.	Ταξινόμηση του αναγλύφου με βάση την υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας κατά Dikau (1989).....	43
Πίνακας 2.3.	Μηνιαία κλιματικά δεδομένα για τη Σαντορίνη για το διάστημα 1955-2018 (Hikers Bay, 2018). .....	49
Πίνακας 2.4.	Χρήσεις γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, συνολική τους έκταση (σε km <sup>2</sup> ) και ποσοστό επί της συνολικής έκτασης, όπως προέκυψαν έπειτα από στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Pro. ....	50
Πίνακας 3.1.	Βαθμονόμηση του ύψους βροχόπτωσης με το υψόμετρο στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (Antonίου et al., 2017). .....	57
Πίνακας 3.2.	Γεωλογικοί σχηματισμοί στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τις αντίστοιχες τιμές του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους K (Βαρβαρήγος, 2011, Βαχαβιώλος, 2014, Grauso et al., 2015, Μπαθρέλλος και συν., 2010, Ξανθάκης και συν., 2010, Rozos et al., 2013, Σπύρου, 2017). .....	61
Πίνακας 3.3.	Χρήσεις γης και αντίστοιχες τιμές του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C βάσει διάφορων βιβλιογραφικών πηγών (Ασλάνης, 2018, Κούβαρη, 2013, Kouli et al., 2008, Lastoria et al., 2008, Radislav et al., 2011, Rozos et al., 2013, Σπύρου, 2017).....	70
Πίνακας 3.4.	Χρήσεις γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τις αντίστοιχες τιμές του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C. ....	71



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1.	Το εδαφικό προφίλ, στο οποίο διακρίνονται οι τέσσερις εδαφικοί ορίζοντες (O, A, B, C) (USDA, n.d.) .....	12
Εικόνα 1.2.	Χάρτης επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης στην Ευρωπαϊκή Μεσόγειο (EEA, 1994) .....	14
Εικόνα 1.3.	Επιφανειακή ή φυλλοειδής ή κατά στρώσεις διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017) .....	16
Εικόνα 1.4.	Αυλακωτή ή αυλακοειδής διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017) .....	16
Εικόνα 1.5.	Χαραδρωτική διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017) .....	16
Εικόνα 1.6.	Αιολική διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017) .....	17
Εικόνα 1.7.	Παγετώδης διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017).....	17
Εικόνα 1.8.	Χάρτης με τις τιμές του συντελεστή α στον ελληνικό χώρο (Φλαμπούρης, 2008) .....	25
Εικόνα 1.9.	Νομογράφημα της διαβρωσιμότητας του εδάφους K (Wischmeier & Smith, 1978) .....	28
Εικόνα 1.10.	Διάγραμμα υπολογισμού του τοπογραφικού παράγοντα LS (Wischmeier & Smith, 1978) .....	30
Εικόνα 1.11.	Σχέση μεταξύ του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI και του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C με τη χρήση εκθετικής συνάρτησης (Van der Knijff et al., 1999).....	35
Εικόνα 2.1.	Γεωγραφική θέση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Decade Volcano, 2004) .....	37
Εικόνα 2.2.	Τομή του ενεργού ελληνικού ορογενετικού τόξου (Λόζιος και συν., 2018) .....	39
Εικόνα 2.3.	Τα κυριότερα ηφαιστειακά κέντρα του Ηφαιστειακού Τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Σολδάτος, n.d.) .....	39
Εικόνα 2.4.	Τεκτονικός χάρτης του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης (γραμμή Καμένης και Κολούμπο) (Heiken & McCoy, 1984) .....	41
Εικόνα 2.5.	Χάρτης των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής του ηφαιστειακού πεδίου Σαντορίνης – Κολούμπο (Sakellariou et al, 2010) .....	42
Εικόνα 2.6.	Βαθυμετρία (αρνητικές τιμές) και τοπογραφία (θετικές τιμές) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (Nomikou et al., 2013).....	43
Εικόνα 2.7.	Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Druitt et al., 1999) .....	46
Εικόνα 2.8.	Απλουστευμένος γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Druitt et al., 1999) .....	47
Εικόνα 2.9.	Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης για το διάστημα 1955-2018 (Hikers Bay, 2018) .....	48
Εικόνα 2.10.	Ποσοστά κάλυψης ανά χρήση γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, όπως προέκυψε έπειτα από στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Pro. ....	51

Εικόνα 2.11.	Χρήσεις γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (CORINE, 2018) .....	52
Εικόνα 3.1.	Διάγραμμα ροής της εφαρμογής του μοντέλου RUSLE με το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS Pro. ....	56
Εικόνα 3.2.	Χάρτης της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης P στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro..	58
Εικόνα 3.3.	Χάρτης της κατανομής του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (R) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro.....	59
Εικόνα 3.4.	Γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Druitt et al., 1999).....	62
Εικόνα 3.5.	Χάρτης της κατανομής του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (K) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro.....	63
Εικόνα 3.6.	Χάρτης του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM) του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης.....	65
Εικόνα 3.7.	Χάρτης απεικόνισης του Flow Direction στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro.....	66
Εικόνα 3.8.	Χάρτης απεικόνισης του Flow Accumulation στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro..	67
Εικόνα 3.9.	Χάρτης των μορφολογικών κλίσεων του εδάφους του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης, υπολογισμένη σε μοίρες από τη χρήση του DEM, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro .....	68
Εικόνα 3.10.	Χάρτης της κατανομής του τοπογραφικού παράγοντα (LS) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro .....	69
Εικόνα 3.11.	Χάρτης των χρήσεων γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (CORINE, 2018) .....	72
Εικόνα 3.12.	Χάρτης της κατανομής του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro .....	73
Εικόνα 4.1.	Χάρτης της μέσης ετήσιας εδαφικής απώλειας (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro .....	76
Εικόνα 4.2.	Χάρτης του βαθμού της εδαφικής απώλειας (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro .....	77

# Κεφάλαιο 1.

## Διάβρωση Εδαφών

### 1.1. Εισαγωγή – Το έδαφος

Το **έδαφος ή πεδόσφαιρα** αποτελεί το επιφανειακό (ανώτατο) στρώμα του φλοιού της γης, με βάθος 35-50 cm. Ο σχηματισμός του (εδαφογένεση) προκύπτει από την αποσάθρωση των επιφανειακών πετρωμάτων της γης, εξαιτίας της επίδρασης ορισμένων παραγόντων (βροχή, άνεμος, θερμοκρασιακές μεταβολές, χημικές αντιδράσεις, φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί). Άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει το σχηματισμό του εδάφους είναι η τοπογραφία της περιοχής (μορφολογία, κλίση εδάφους).

Πρόκειται για ένα φυσικό πόρο, ο οποίος χρειάζεται πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να δημιουργηθεί. Συγκεκριμένα, για να σχηματιστεί 1 cm εδάφους μέσω των φυσικών διαδικασιών της αποσάθρωσης των μητρικών πετρωμάτων απαιτούνται 100-1000 έτη, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οποιαδήποτε απώλεια εδάφους μεγαλύτερη από 1 ton/ha/year θεωρείται ως μη αναστρέψιμη μέσα σε χρονική διάρκεια 50-100 ετών.

Τα εδάφη, ανάλογα με το ποσοστό των στερεών τεμαχιδίων από τα οποία αποτελούνται, διακρίνονται στις εξής τρεις κύριες κατηγορίες: α) αμμώδη εδάφη, με ποσοστό άμμου (μέγεθος 0,02-2 mm) πάνω από 70%, β) ιλυώδη εδάφη, στα οποία υπερέχει η ιλύς (μέγεθος 0,002-0,02 mm) έναντι της άμμου και της αργίλου και γ) αργιλώδη εδάφη, με ποσοστό αργίλου (μέγεθος < 0,002 mm) πάνω από 35%. Τα ιλυώδη και τα αργιλώδη εδάφη είναι λεπτόκοκκα και χαρακτηρίζονται ως συνεκτικά, εξαιτίας της ισχυρής συγκόλλησης μεταξύ των κόκκων τους. Αντίθετα, τα αμμώδη εδάφη και εκείνα που αποτελούνται κυρίως από χαλίκια (μέγεθος > 2 mm) είναι χονδρόκοκκα και χαρακτηρίζονται ως μη συνεκτικά (Πετσίνης, 2016).

#### 1.1.1. Διεργασίες σχηματισμού του εδάφους

Ο σχηματισμός του εδάφους (εδαφογένεση) πραγματοποιείται μέσα από πληθώρα διεργασιών, οι οποίες διακρίνονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές (Σφακιανάκη και συν., 2006).

- **Φυσικές διεργασίες:** Η εδαφογένεση πραγματοποιείται μέσα από τη δράση του νερού, του αέρα, της βαρύτητας και της θερμότητας.
- **Χημικές διεργασίες:** Η εδαφογένεση πραγματοποιείται μέσα από την ανταλλαγή χημικών στοιχείων στα συστατικά του εδάφους.
- **Βιολογικές διεργασίες:** Η εδαφογένεση πραγματοποιείται μέσα από την αποικοδόμηση των φυτικών ή οργανικών υπολειμμάτων. Βασική διεργασία είναι η

χουμοποίηση, κατά την οποία, μέσω της αποσύνθεσης των οργανικών υπολειμμάτων ζώων, φυτών και νεκρών μικροοργανισμών, σχηματίζεται ένα υλικό το οποίο ονομάζεται χούμος (humus). Πρόκειται για ένα κύριο συστατικό των εύφορων εδαφών, το οποίο δρα θετικά στην κατακράτηση των θρεπτικών συστατικών και της υγρασίας, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της χλωρίδας.

### 1.1.2. Παράγοντες σχηματισμού του εδάφους

Το είδος των διεργασιών, η ένταση και τα προϊόντα τους εξαρτώνται από πέντε παράγοντες: το μητρικό υλικό, το κλίμα, τους οργανισμούς, το τοπογραφικό ανάγλυφο και το χρόνο. Ο τύπος εδάφους εξαρτάται από τους παραπάνω παράγοντες και μπορεί να προκύψει έπειτα από διάφορους συνδυασμούς μεταξύ τους (Ζαΐμης, n.d., Παυλόπουλος, 2011).

1. **Μητρικό υλικό:** Πρόκειται για το χαλαρό υλικό το οποίο προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και δεν έχει μεταβληθεί αισθητά από τις διεργασίες της εδαφογένεσης. Αποτελεί, συνεπώς, την πρώτη ύλη από την οποία προκύπτει το έδαφος. Η φύση και το είδος του δρουν καθοριστικά στην πορεία σχηματισμού του εδάφους, καθώς επηρεάζουν την ταχύτητα της εδαφογένεσης, τις φυσικοχημικές ιδιότητές της και τη βλάστηση, αφού στο εσωτερικό της βρίσκεται μέρος του ριζικού της συστήματος.
2. **Κλίμα:** Πρόκειται για καθοριστικό παράγοντα της εδαφογένεσης, επιδρώντας στην κατεύθυνση και την ταχύτητα αποσάθρωσης των πετρωμάτων. Η εξέλιξη των εδαφών επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία και την υγρασία, καθορίζοντας την ένταση της έκπλυσης των μητρικών υλικών. Συγκεκριμένα, οι χημικές και βιολογικές διεργασίες των εδαφών επιταχύνονται από τις υψηλές θερμοκρασίες και την αυξημένη υγρασία, σε αντίθεση με τις χαμηλές θερμοκρασίες και την έλλειψη υγρασίας, οι οποίες επιβραδύνουν τις παραπάνω διεργασίες. Τέλος, το κλίμα επιδρά και έμμεσα στην εδαφογένεση, αφού επηρεάζει την ανάπτυξη και τη σύνθεση της βλάστησης.
3. **Οργανισμοί:** Πρωταρχικό ρόλο κατέχει η βλάστηση, αφού συμβάλλει στη συσσώρευση των οργανικών ουσιών, την ανταλλαγή και ανακύκλωση των στοιχείων και τη σταθερότητα της δομής του εδάφους. Οι ζωικοί οργανισμοί επιδρούν επίσης στην εδαφογένεση, καθώς συμβάλλουν στην ανάμιξη των εδαφικών υλικών και στη δημιουργία οπών και δομής στο έδαφος. Όσον αφορά στους μικροοργανισμούς, διαδραματίζουν και εκείνοι σημαντικό ρόλο επιταχύνοντας τη φυσική και χημική αποσάθρωση των σκληρών πετρωμάτων. Τέλος, ο άνθρωπος αποτελεί σημαντικό παράγοντα σχηματισμού ή και καταστροφής του εδάφους (διάβρωση), μέσα από τις καλλιέργειες για την παραγωγή γεωργικών, δασικών ή κτηνοτροφικών προϊόντων.
4. **Τοπογραφικό ανάγλυφο:** Επηρεάζει τις διεργασίες της εδαφογένεσης (διάλυση, υδρόλυση, οξείδωση, αναγωγή, μετακίνηση, πρόσθεση υλικών) και την εξέλιξη του εδάφους. Η κλίση του εδάφους σχετίζεται άμεσα με την επιφανειακή απορροή των νερών της βροχόπτωσης. Μεγάλη κλίση συνεπάγεται και μεγάλη επιφανειακή απορροή, με αποτέλεσμα τη μικρή κατείσδυση του νερού στο έδαφος και κατ' επέκταση τη μικρή ανάπτυξη βλάστησης. Έτσι, το έδαφος στερείται οργανικών ουσιών και αποτελείται από ορίζοντες μικρού πάχους.
5. **Χρόνος:** Ως ηλικία ενός εδάφους ορίζεται ο χρόνος ο οποίος πέρασε από τη στιγμή κατά την οποία το μητρικό υλικό άρχισε να αποσαθρώνεται και να

μετατρέπεται σε έδαφος, με την επίδραση του κλίματος, τη δράση των οργανισμών και της μορφολογίας. Μεγαλύτερη ηλικία εδάφους συνεπάγεται μεγαλύτερη εξέλιξη και, συνεπώς, μεγάλη διαφορά στη μορφολογία και τη σύστασή του σε σχέση με το μητρικό του υλικό. Η μεγάλη ηλικία του εδάφους το καθιστά πτωχό σε διαλυτές και αποσαθρωμένες ουσίες και άγονο.

### 1.1.3. Τομή του εδάφους

Το έδαφος αποτελείται από χαρακτηριστικά στρώματα, τα οποία διαφέρουν ως προς το πάχος, το χρώμα, τη φυσική και χημική τους σύσταση, την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, το περιεχόμενό τους σε οργανικό υλικό, τη δομή τους και την εμφάνιση ή όχι ριζικού συστήματος μέσα σε αυτά. Τα στρώματα αυτά ονομάζονται **εδαφικοί ορίζοντες** και διαμορφώνονται από τις μεταβολές του κλίματος, τους ζωντανούς οργανισμούς και την επιφανειακή μορφολογία.

Η κατακόρυφη τομή των εδαφικών οριζόντων αποτελεί το **εδαφικό προφίλ** ή αλλιώς **εδαφοτομή**, όπου στο εσωτερικό τους κυκλοφορούν τα ρευστά και ο αέρας. Μάλιστα, κατά την κατέισδυση του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μέσα στο έδαφος, συστατικά των ανώτερων οριζόντων μεταφέρονται στους κατώτερους, εμπλουτίζοντάς τους με αργιλικά υλικά. Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται απόπλυση (leaching).

Διακρίνονται τέσσερις τύποι εδαφικών οριζόντων, οι οποίοι από πάνω προς τα κάτω είναι οι εξής (Εικόνα 1.1) (Ζαΐμης, n.d., Παυλόπουλος, 2011):

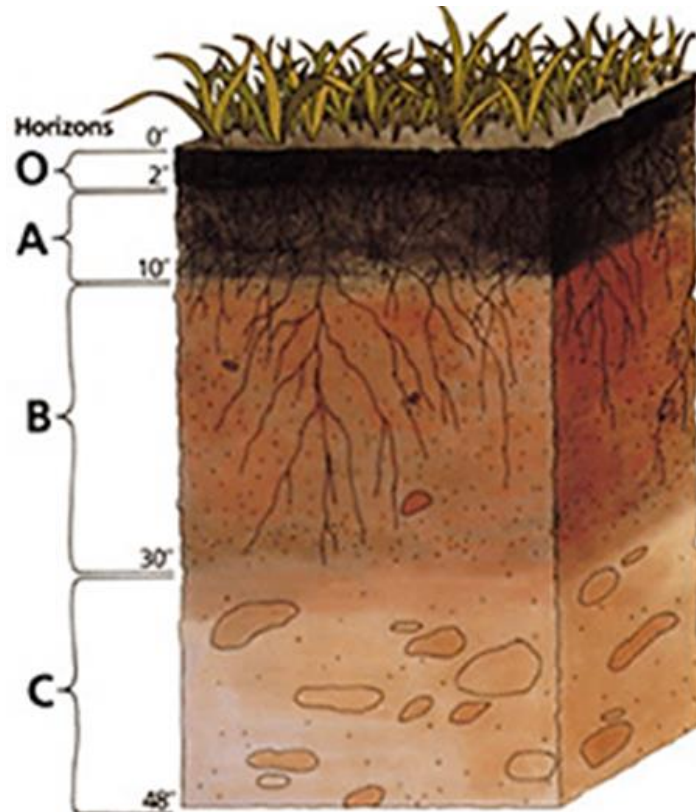
- **Ορίζοντας O:** Πρόκειται για τον οργανικό ορίζοντα, ο οποίος αποτελείται από οργανική ουσία σε ποσοστό 20-30%, χούμο και ίχνη ορυκτών κόκκων. Βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Συναντάται κυρίως σε δασικές εκτάσεις, ενώ απουσιάζει από περιοχές με χαμηλή και αραιή βλάστηση.
- **Ορίζοντας A:** Πρόκειται ουσιαστικά για το επιφανειακό έδαφος, από το οποίο αντλούνται τα θρεπτικά στοιχεία από τα φυτά. Αποτελείται από χούμο, άμμο, ιλύ και άργιλο και από μεγάλη ποσότητα οργανικής ουσίας. Συνήθως έχει πιο σκούρο χρώμα και μικρότερη συνοχή από τους υποκείμενους ορίζοντες.
- **Ορίζοντας B:** Πρόκειται για το υπέδαφος, το οποίο αποτελείται από προϊόντα της αποσάθρωσης του μητρικού πετρώματος, σίδηρο, αργίλιο και από μικρή ποσότητα οργανικής ουσίας. Είναι εμπλουτισμένος από τα συστατικά των υπερκείμενων οριζόντων, τα οποία κατέισδυσαν σε αυτόν μέσω της διαδικασίας της απόπλυσης.
- **Ορίζοντας C:** Πρόκειται για τον ανόργανο ορίζοντα, ο οποίος επηρεάζεται σε μικρό ποσοστό από τις διεργασίες της εδαφογένεσης. Αποτελεί ουσιαστικά ένα ενδιάμεσο στρώμα ανάμεσα στο έδαφος και το μητρικό πέτρωμα. Σε αυτό λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες της αποσάθρωσης. Ονομάζεται και αποσαθρωμένος μανδύας ή ρεγκόλιθος.

Οι ορίζοντες A και B αποτελούν το εδαφικό σώμα και φιλοξενούν το ριζικό σύστημα των φυτών και τη μεγαλύτερη ποσότητα οργανικών ουσιών. Διαιρούνται σε υποορίζοντες.

Κάτω από τους τέσσερις εδαφικούς ορίζοντες συναντάται το μητρικό πέτρωμα, το οποίο αποτελεί τον ορίζοντα R και συνήθως δεν παρουσιάζει ίχνη αποσάθρωσης.

Τα εδαφικά προφίλ σπάνια εμφανίζουν όλους τους ορίζοντες, καθώς συχνά κάποιοι από αυτούς απουσιάζουν. Όταν είναι ολοκληρωμένα αντιστοιχούν συνήθως σε περιοχές υγρού κλίματος, με καλή αποστράγγιση, μικρές τοπογραφικές κλίσεις και σταθερές τεκτονικές συνθήκες.

Τα νεότερα εδάφη δεν προλαβαίνουν να αναπτύξουν ένα πλήρες προφίλ. Ως ανώριμα χαρακτηρίζονται εκείνα στα οποία πάνω από τον ορίζοντα C αναπτύσσεται κατευθείαν ο ορίζοντα A. Εάν διακρίνεται και ο ορίζοντα B, τότε πρόκειται για ώριμο έδαφος.



Εικόνα 1.1. Το εδαφικό προφίλ, στο οποίο διακρίνονται οι τέσσερις εδαφικοί ορίζοντες (O, A, B, C) (USDA, n.d.)

## 1.2. Εδαφική διάβρωση

Η **διάβρωση** αφορά στο σύνολο των διεργασιών εκείνων οι οποίες περιλαμβάνουν την απόσπαση του επιφανειακού εδάφους ή θραυσμάτων πετρωμάτων και την επακόλουθη μεταφορά και απόθεσή τους ως κλαστικά ιζήματα σε νέες θέσεις, με την επίδραση φυσικών παραγόντων (Νικολίνα, 2016, Πετσίνης, 2016).

Οι παράγοντες αυτοί, ανάλογα με τον τρόπο δράσης τους, διακρίνονται σε παράγοντες γένεσης, οι οποίοι προκαλούν την έναρξη του φαινομένου, και σε ρυθμιστικούς, οι οποίοι, συνδυαστικά με τους προηγούμενους, ευνοούν ή εμποδίζουν την εξέλιξη της διάβρωσης. Στους παράγοντες γένεσης συγκαταλέγονται η βροχόπτωση και η επιφανειακή απορροή (υδατική διάβρωση), ο άνεμος (αιολική διάβρωση), οι παγετώνες και η μηχανική κατεργασία του εδάφους (μηχανική διάβρωση). Στους ρυθμιστικούς παράγοντες ανήκουν η βλάστηση, η μορφολογία του

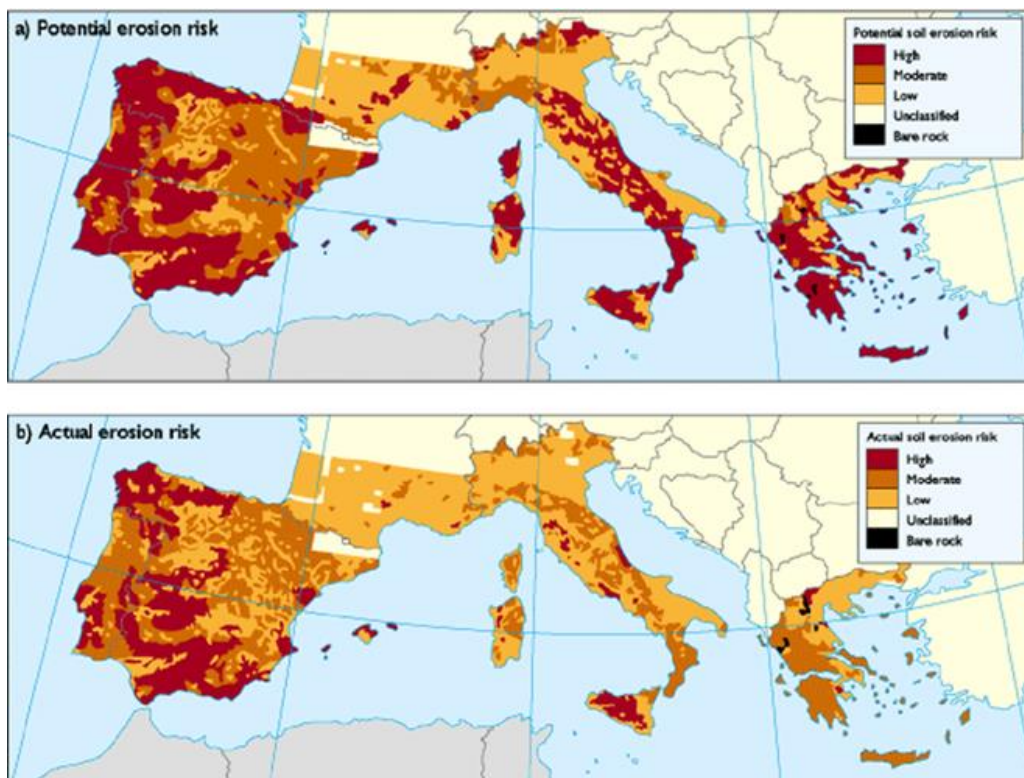
αναγλύφου, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, οι τρόποι καλλιέργειας, οι μέθοδοι άρδευσης, κ.ά. (Κανακοπούλου, 2008).

Η διάβρωση ξεκινάει όταν η προσθήκη του νερού στο έδαφος υπερβαίνει τη διηθητικότητα του εδάφους. Το έδαφος τότε είναι κορεσμένο, οπότε αρχίζει η επιφανειακή απορροή.

Η φύση της εδαφικής διάβρωσης εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της ικανότητας διάβρωσης (διαβρωτικότητας) των βροχοσταγόνων και του ρέοντος ύδατος και της ανθεκτικότητας στη διάβρωση (διαβρωσιμότητας) του εδάφους. Οι δύο αυτοί παράγοντες βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση ο ένας με τον άλλο (Βουβαλίδης, 2011).

Υψηλό κίνδυνο διάβρωσης διατρέχουν οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο με απότομες κλίσεις, δέχονται ραγδαίες βροχοπτώσεις και έχουν μικρά ποσοστά οργανικής ουσίας και αργίλου στην εδαφική τους σύσταση. Η βλάστηση διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο, αφού αυξάνει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους, επιβραδύνοντας την επιφανειακή απορροή, το δε ριζικό σύστημα των φυτών καθιστά το έδαφος πιο συνεκτικό, ώστε να μη χάνεται με ρυθμό ταχύτερο από εκείνον του σχηματισμού του. Επομένως η μικρή φυτοκάλυψη αυξάνει την ευπάθεια των εδαφών (Βουβαλίδης, 2011, Κανακοπούλου, 2008).

Ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου το φαινόμενο της διάβρωσης είναι πολύ έντονο έως μη αναστρέψιμο σε ορισμένες περιοχές, καθώς σημειώνονται μακρές περίοδοι ξηρασίας, οι οποίες ακολουθούνται από βίαιες βροχοπτώσεις, και τα εδάφη είναι ασταθή με απότομες κλίσεις. Η προσεγγιστική εκτίμηση του κινδύνου εδαφικής διάβρωσης πραγματοποιήθηκε το 1992 στα πλαίσια του προγράμματος CORINE (Coordination of Information on the Environment – Συντονισμός Πληροφοριών για το Περιβάλλον), όπου προέκυψε ότι το 50% της Ευρωπαϊκής Μεσογείου απειλείται από τη διάβρωση. Μάλιστα σε αρκετές περιοχές της Ευρώπης παρατηρείται το φαινόμενο της ερημοποίησης (διακοπή της διάβρωσης, καθώς δεν έχει απομείνει άλλο έδαφος) (Φλαμπούρης, 2008). Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΕΑ, 2012), το 16% της συνολικής επιφάνειας της Ευρώπης επηρεάζεται από φαινόμενα υδατογενούς διάβρωσης, με το 2% να βρίσκεται σε κρίσιμη κατάσταση (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2. Χάρτης επικινδυνότητας εδαφικής διάβρωσης στην Ευρωπαϊκή Μεσόγειο (ΕΕΑ, 1994)

Όσον αφορά στην Ελλάδα, η διάβρωση αποτελεί τον κύριο παράγοντα της εδαφικής υποβάθμισης και επηρεάζει το 1/3 της εδαφικής της μάζας, η οποία αντιστοιχεί στο 26,5% της συνολικής της επιφάνειας. Πρόκειται για μία έκταση 35 εκατομμυρίων στρεμμάτων, στην οποία σημειώνονται έντονα φαινόμενα επιφανειακής, αυλακωτής και χαραδρωτικής διάβρωσης.

Το φαινόμενο ευνοείται εξαιτίας των φυσικών, εδαφικών, γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τοπογραφικών και κλιματολογικών της συνθηκών. Συγκεκριμένα, το ανάγλυφο με τις πυκνές και μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, το ξηρό κλίμα σε συνδυασμό με τις αιφνίδιες και καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις, τα ψαθυρά γεωλογικά υλικά και το χαμηλό ποσοστό οργανικής ουσίας στα εδάφη που δε συμβάλλει στη δημιουργία ανθεκτικών εδαφικών συσσωματωμάτων και στη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, την καθιστούν άκρως ευαίσθητη στη διάβρωση.

Ταυτόχρονα, η υποβάθμιση των δασικών εκτάσεων εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης (πυρκαγιές, υπερβόσκηση, γεωργική χρήση, αστική επέκταση, κ.ά.) εντείνει το φαινόμενο στον ελληνικό χώρο (Γρηγοράκης, 1967, Πάνου, 1982, Παρούσης και συν., 1990).

Ο ρυθμός της διάβρωσης επιταχύνεται όταν διαταράσσονται οι φυσικές συνθήκες μίας περιοχής από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις χρήσεις γης που αυτές συνεπάγονται (π.χ. αποψίλωση δασικών εκτάσεων, πυρκαγιές, υπερβόσκηση, υπερεκμετάλλευση εδαφών, καλλιέργεια πρικών κατά μήκος της μέγιστης κλίσης, πάκτωση εδαφών, οδικές κατασκευές). Η επιταχυνόμενη διάβρωση έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή περισσότερου εδαφικού στρώματος από εκείνο που σχηματίζεται σε δεδομένες συνθήκες, επιδεινώνοντας τη δομή του



εδάφους και προκαλώντας εμφανείς ζημιές μεγάλης έκτασης (Βουβαλίδης, 2011, Nikolova, 2016).

Η διάβρωση οδηγεί σε εδαφική υποβάθμιση και επηρεάζει άμεσα τη βιώσιμη ανάπτυξη και γενικότερα το περιβάλλον (Nikolova, 2016). Μειώνεται η παραγωγικότητα, εξαιτίας της απώλειας του γόνιμου επιφανειακού στρώματος εδάφους, καθίσταται δύσκολη έως αδύνατη η εγκατάσταση βλάστησης και αυξάνεται η αστάθεια των πρανών. Επιπλέον προκαλείται ρύπανση (φυσική ή χημική) των επιφανειακών υδάτων και επηρεάζεται η ποιότητα του νερού (μόλυνση από θρεπτικά συστατικά ή αγροχημικά προϊόντα τα οποία προσδένονται στα μεταφερόμενα ιζήματα), επιφέροντας αρνητικές επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα και κατ' επέκταση στην αλιεία. Τέλος, επηρεάζονται και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. υποχώρηση της γεωργικής παραγωγικότητας) (Efthimiou et al., 2014, Πετσίνης, 2016).

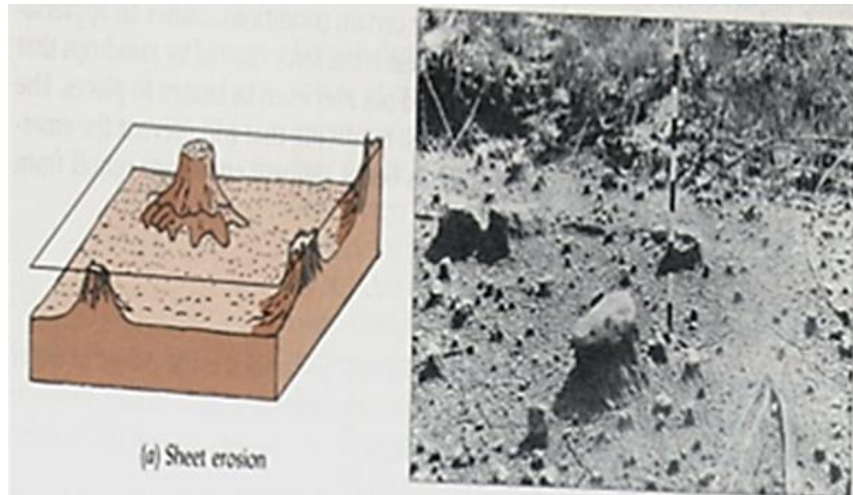
### 1.3. Είδη διάβρωσης εδάφους

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διάβρωση αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές μορφές υποβάθμισης του εδάφους και προκαλείται από διάφορα φυσικά φαινόμενα ή ανθρώπινες δραστηριότητες και παρεμβάσεις. Διακρίνεται σε τρία είδη: την υδατική, την αιολική και την παγετώδη.

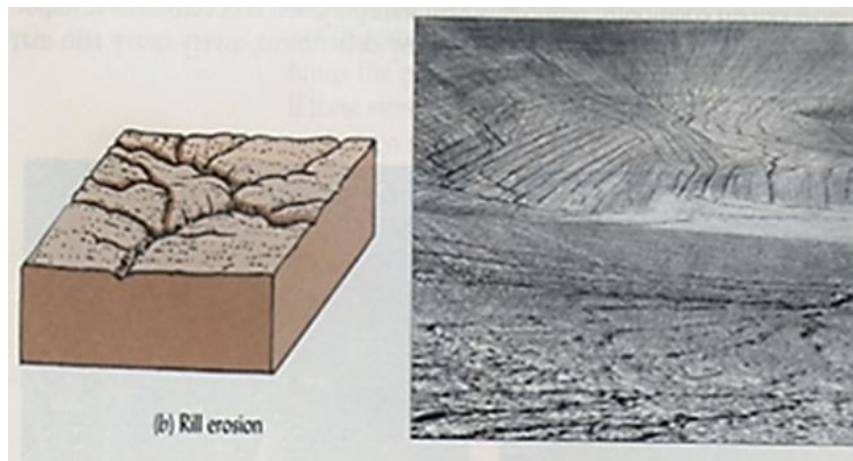
#### 1.3.1. Υδατική διάβρωση

Η υδατική διάβρωση (water erosion) είναι η διάβρωση η οποία προέρχεται από τη δράση του νερού, προκαλώντας το μεγαλύτερο ποσοστό της εδαφικής διάβρωσης. Οφείλεται στις έντονες βροχοπτώσεις, στο ανάγλυφο, στο περιεχόμενο του εδάφους σε οργανική ουσία και στο ποσοστό και τον τύπο φυτοκάλυψης. Αυξάνεται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες σχετίζονται με τις ακατάλληλες πρακτικές καλλιέργειας, την αποψίλωση του εδάφους, τις αλλαγές των υδρολογικών συνθηκών και την περιθωριοποίηση ή εγκατάλειψη της γης. Διακρίνεται στις ακόλουθες τρεις μορφές (Λαμπροπούλου, 2017, Μάρης, n.d.):

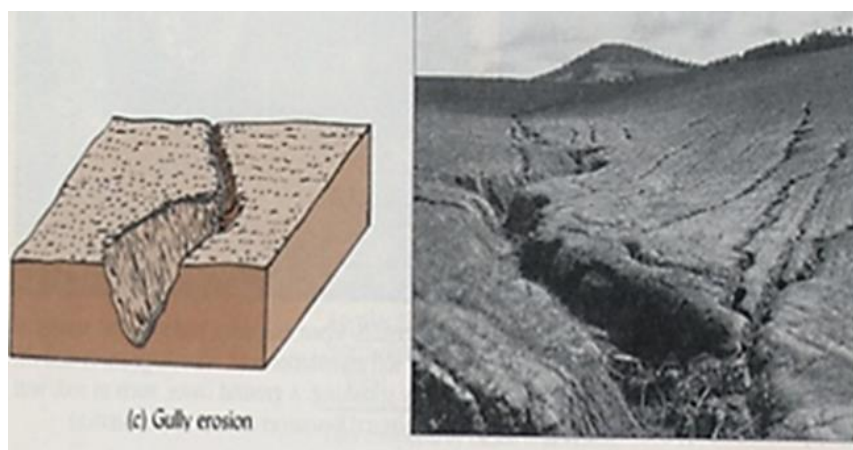
1. **Επιφανειακή ή φυλλοειδής ή κατά στρώσεις διάβρωση (sheet erosion):** Αφορά στη βαθμιαία και ομοιόμορφη αφαίρεση ενός λεπτού επιφανειακού στρώματος εδάφους εξαιτίας της συνδυασμένης δράσης των βροχοπτώσεων και της επιφανειακής απορροής (Εικόνα 1.3).
2. **Αυλακωτή ή αυλακοειδής διάβρωση (rill erosion):** Αφορά στο σχηματισμό μικρών, σχετικά αβαθών καναλιών εξαιτίας των απορρεόντων υδάτων. Τα κανάλια δημιουργούνται κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης με ανομοιόμορφο διασκορπισμό. Αυτό το είδος διάβρωσης συναντάται κυρίως σε γυμνά, μη καλλιεργημένα ή φρεσκοκαλλιεργημένα εδάφη (Εικόνα 1.4).
3. **Χαραδρωτική διάβρωση (gully erosion):** Αφορά στο σχηματισμό μεγάλων, σχετικά βαθιών χαραδρών (βάθους >1 m) κατά τη διεύθυνση ροής των υδάτων (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.3. Επιφανειακή ή φυλλοειδής ή κατά στρώσεις διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017)



Εικόνα 1.4. Αυλακωτή ή αυλακοειδής διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017)

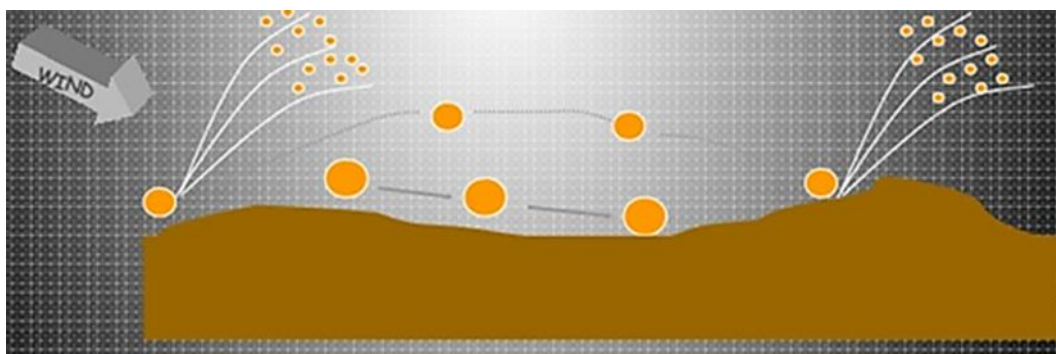


Εικόνα 1.5. Χαραδρωτική διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017)

### 1.3.2. Αιολική διάβρωση

Η αιολική διάβρωση (wind erosion) είναι η διάβρωση η οποία προέρχεται από τη δράση του αέρα, με λιγότερο καταστρεπτικές συνέπειες από εκείνες της υδατικής. Οι παράγοντες οι οποίοι την επηρεάζουν είναι: η εδαφική υγρασία (το έδαφος πρέπει να είναι πολύ ξηρό, ώστε να διαβρωθεί), η ταχύτητα του ανέμου (η μεταφορά των υλικών ξεκινάει όταν ξεπερνάει τα 30-40 km/hour), η τραχύτητα του εδάφους (μειώνει την ταχύτητα του ανέμου πάνω στην εδαφική επιφάνεια) και η βλάστηση (επιδρά στην τραχύτητα και τη συνοχή του εδάφους) (Εικόνα 1.6).

Σημειώνεται, συνεπώς, στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Όσον αφορά στον ελλαδικό χώρο, η αιολική διάβρωση εμφανίζεται μόνο στις ημι-άνυδρες περιοχές της βορειοανατολικής Ελλάδας και κυρίως στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους (Λαμπροπούλου, 2017, Σπύρου, 2017).



Εικόνα 1.6. Αιολική διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017)

### 1.3.3. Παγετώδης διάβρωση

Η παγετώδης διάβρωση (glacial erosion) είναι η διάβρωση η οποία προέρχεται από τη δράση των παγετώνων, με πολύ έντονα αποτελέσματα. Ο παγετώνας στο πέρασμά του αποσπά και παρασύρει υλικά του υποβάθρου, κυρίως όπου υπάρχουν διακλάσεις, αφήνοντας χαρακτηριστικές χαραγές στα πετρώματα. Οι πυθμένες των κοιλάδων πλαταίνουν και βαθαινούν, αποκτώντας ημικυκλικό σχήμα (κοιλάδες σχήματος U) (Εικόνα 1.7) (Λαμπροπούλου, 2017).



Εικόνα 1.7. Παγετώδης διάβρωση (Λαμπροπούλου, 2017)

#### 1.4. Επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών στη διάβρωση

Η επιδεκτικότητα των λιθολογικών σχηματισμών στη διάβρωση, δηλαδή η τάση τους να είναι επιρρεπή στις διεργασίες της διάβρωσης, εξαρτάται από τρεις παράγοντες: α) τη διαπερατότητα, β) τη διηθητικότητα και γ) τη συνεκτικότητα των σχηματισμών (Τσιμπίρη, 2017).

Η **διαπερατότητα** (permeability) είναι η ιδιότητα του πορώδους μέσου να επιτρέπει σε ένα ρευστό να κυκλοφορεί στο εσωτερικό του. Αφορά δηλαδή στην ευκολία ή τη δυσκολία του ρευστού να το διαπερνά. Είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης του σχηματισμού στη διέλευση του ρευστού, δηλαδή μικρότερη αντίσταση συνεπάγεται υψηλότερη διαπερατότητα.

Το ρευστό ρέει είτε μέσω των πόρων ή των ενδιάκων, οι οποίοι υπήρχαν πρωτογενώς στο σχηματισμό, είτε μέσω των ρωγμών, των εγκοίλων ή των ρηγμάτων, οι οποίοι δημιουργήθηκαν δευτερογενώς, εξαιτίας τεκτονικών αιτιών.

Το μεγάλο πορώδες δεν υποδηλώνει απαραίτητα υψηλή διαπερατότητα, αφού αυτή εξαρτάται από το μέγεθος των κενών χώρων και από τη μεταξύ τους επικοινωνία. Οι σχηματισμοί με μικρό πορώδες παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα. Τέλος, οι σχηματισμοί οι οποίοι δεν επιτρέπουν την κυκλοφορία των ρευστών στο εσωτερικό τους χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατοι ή υδατοστεγανοί (Μπεάζη Κατσιώτη, 2015, Σταματάκη, n.d.).

Η **διηθητικότητα** (infiltration) είναι η ταχύτητα με την οποία το νερό διεισδύει στο σχηματισμό μέσα από την επιφάνειά του. Πρόκειται για χαρακτηριστικό των εδαφικών καλυμμάτων, τα οποία παράγουν οι υποκείμενοι λιθολογικοί σχηματισμοί έπειτα από διεργασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης. Αφορά, συνεπώς, σε επιφανειακά στρώματα.

Εξαρτάται από τη δομή, τη μηχανική σύσταση, το βαθμό κορεσμού και τη συμπίεση του εδάφους, τη στεγανοποίηση της επιφάνειάς του, την ομοιογένεια στο βάθος, τη διάβρωση, την εμφάνιση ρωγμών, οι οποίες αυξάνουν τη διηθητικότητα, και τη θερμοκρασία του νερού, καθώς το νερό με τη χαμηλότερη θερμοκρασία διηθείται βραδύτερα από εκείνο με την υψηλότερη.

Όσον αφορά στις διεργασίες της διάβρωσης, η διηθητικότητα διαδραματίζει θετικό ρόλο, αφού το έδαφος συγκρατεί μέρος του νερού των κατακρημνισμάτων, με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης που αυτή προκαλεί. Αντίθετα, όταν η ποσότητα των κατακρημνισμάτων υπερβαίνει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους, τα πλεονάζοντα ύδατα απορρέουν επιφανειακά διαβρώνοντας το έδαφος (Θεοχάρης, 2015, Μουσουλιώτης, n.d.).

Η **συνεκτικότητα** (consistency) είναι η ιδιότητα του λιθολογικού σχηματισμού η οποία σχετίζεται με τη συνοχή, δηλαδή με τις δυνάμεις ανάμεσα σε ομοειδή μόρια, και τη συνάφεια, δηλαδή με τις δυνάμεις ανάμεσα σε ετεροειδή μόρια.

Ο βαθμός συνοχής είναι συνάρτηση του αριθμού των μορίων και της ειδικής επιφάνειας, δηλαδή της επιφάνειας του υλικού ανά μονάδα βάρους, η οποία εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων. Η συνάφεια πραγματοποιείται με την παρουσία συνδετικών υλικών μεταξύ των εδαφικών συστατικών, όπως το νερό ή οι ηλεκτρολύτες.

Οι συνεκτικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής μεταξύ των εδαφικών τους κόκκων, ενώ στους μη συνεκτικούς σχηματισμούς απουσιάζουν οι αντίστοιχες ελκτικές δυνάμεις.

Όσον αφορά στις διεργασίες της διάβρωσης, οι συνεκτικοί σχηματισμοί μετακινούνται δύσκολα, οπότε χαρακτηρίζονται από χαμηλό δείκτη διάβρωσης. Αντίθετα, οι χαλαροί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από υψηλό δείκτη, αφού παρασύρονται εύκολα από το νερό, τον άνεμο ή άλλες διαβρωτικές δυνάμεις (Βουδούρης, 2006).

## 1.5. Μοντέλα υπολογισμού εδαφικής διάβρωσης

Τα αποτελέσματα και η έκταση της διάβρωσης μπορεί να γίνουν εμφανή μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα, και τότε είναι συνήθως αργά για τη λήψη οποιουδήποτε μέτρου (Φλαμπούρης, 2008). Συνεπώς, η αποτροπή της διάβρωσης και της εδαφικής υποβάθμισης αποτελεί βασικό έργο υποδομής. Η ακριβής εκτίμηση του μεγέθους της είναι αναγκαία, ώστε να επιλεγεί και εφαρμοστεί έγκαιρα η κατάλληλη αντιδιαβρωτική θωράκιση (αρδευτικά φράγματα, υδροηλεκτρικά έργα, δομές εξασθένησης πλημμυρών, κ.ά.) (Efthimiou et al., 2014, Στεφανίδης και συν., 2016).

Δεν είναι πρακτικό να μετρηθεί η απώλεια του εδάφους σε ολόκληρα τοπία. Η εκτίμηση της διάβρωσης μέσω εργασιών υπαίθρου αποτελεί μία χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία, η οποία δύσκολα καλύπτει το σύνολο της περιοχής ενδιαφέροντος. Όσον αφορά στις τεχνικές της τηλεπισκόπησης, παρουσιάζονται όρια σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, ενώ αυξάνεται κατά πολύ και το κόστος τους (Nikolova, 2016).

Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι υπολογισμού, οι οποίες χρησιμοποιούν προσεγγίσεις μοντελοποίησης και μέσω μαθηματικών εξισώσεων εκφράζουν τη σχέση μεταξύ των παραγόντων και των διεργασιών της διάβρωσης (τοπογραφία, κλίμα, εδαφικές ιδιότητες, χρήσεις γης). Πρόκειται, λοιπόν, για μοντέλα τα οποία, ανάλογα με τις φυσικές διεργασίες που προσομοιώνουν και τις εξισώσεις που χρησιμοποιούν, διακρίνονται σε προσδιοριστικά (ή φυσικά), στοχαστικά (ή θεμελιώδη) και εμπειρικά. Αυτά τα μοντέλα διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά στα δεδομένα εισόδου και τις διαδικασίες που απαιτούν, τη χωρική και χρονική κλίμακα και τους τύπους πληροφοριών εξόδου που παρέχουν (Nikolova, 2016, Στεφανίδης και συν., 2016).

Τα **προσδιοριστικά ή φυσικά μοντέλα** (physically – based) αποσκοπούν στην προσομοίωση των διαδικασιών της εδαφικής διάβρωσης με τη χρήση εξισώσεων μεταφοράς μάζας, ορμής και ενέργειας. Είναι βασισμένα στους φυσικούς νόμους και διαδικασίες οι οποίες διέπουν τα φαινόμενα της διάβρωσης και της στερεομεταφοράς. Στα αρνητικά τους είναι ότι συνήθως απαιτείται μεγάλος όγκος δεδομένων και μεγάλη υπολογιστική δύναμη, ώστε να μοντελοποιηθεί πλήρως η διαδικασία. Όσον αφορά στην αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων, αυτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα πιθανά σφάλματα κατά τη μέτρηση των παραμέτρων, καθώς και με την έντονη χωρική ανομοιογένειά τους (Στεφανίδης και συν., 2016, Συλλαίος και συν., 2007).

Τα πιο γνωστά προσδιοριστικά μοντέλα είναι τα ANSWERS (Beasley et al., 1980), CREAMS (Knisel, 1995), KINEROS2 (Knisel, 1995), EUROSEM (Morgan et al., 1998), EROSION-3D (von Werner, 2000), EPIC (Sharpley & Williams, 1990), WEPP (Nearing et al., 1989) και PESERA (Kirkby et al., 2000).

Τα **στοχαστικά ή θεμελιώδη μοντέλα** (conceptual) τοποθετούνται κάπου ανάμεσα στα προσδιοριστικά και εμπειρικά μοντέλα. Αποσκοπούν στην προσομοίωση των διαδικασιών της εδαφικής διάβρωσης και την πρόβλεψη της αύξησης των ιζημάτων, με την παράλληλη χρήση εμπειρικών σχέσεων και της αρχής της υδρογραφικής μονάδας. Επιπλέον, γίνεται χρήση της μεθόδου παλινδρόμησης, της έννοιας της πιθανότητας, των χρονοσειρών και της αυτοσυσχέτισης, καθώς και του συντελεστή προσδιορισμού και συσχέτισης (Nearing et al., 1994, Στεφανίδης και συν., 2016).

Τα πιο γνωστά στοχαστικά μοντέλα είναι τα AGNPS (Young et al., 1989), SWAT (Arnold, 1996) και LASCAM (Viney & Sivapalan, 1999).

Τα **εμπειρικά μοντέλα** (empirical) είναι τα απλούστερα. Είναι στατιστικής φύσης, βασίζονται σε αναλύσεις πειραμάτων υπαίθρου και απαιτούν τα λιγότερα δεδομένα. Επειδή, όμως, ο αρχικός τους σχεδιασμός αφορά στην εκτίμηση σημειακής απώλειας εδάφους, εμφανίζονται αντικειμενικές δυσκολίες στην εφαρμογή τους σε μεγαλύτερες περιοχές ως προς τη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων μέσω εργασιών πεδίου. Για το λόγο αυτό αναθέτονται συνήθως βιβλιογραφικές τιμές και τα αποτελέσματα δίνουν τη γενική εικόνα, χωρίς να παρέχουν ακριβείς τιμές διάβρωσης (Nearing et al., 1994).

Τα πιο γνωστά εμπειρικά μοντέλα είναι τα USLE (Wischmeier & Smith, 1978), RUSLE (Renard et al., 1997), RMMF (Morgan, 2001) και Gavrilović (1972), με τα δύο πρώτα να είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα.

Το **μοντέλο USLE** (Universal Soil Loss Equation), το οποίο αναπτύχθηκε από τους Wischmeier & Smith (1978), αποτελεί την **Παγκόσμια Εξίσωση της Εδαφικής Απώλειας** και χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ για την εκτίμηση του ρυθμού της επιφανειακής και της αυλακωτής διάβρωσης σε γεωργικά καλλιεργούμενες εκτάσεις, αποτελώντας σημαντικό εργαλείο για τον προγραμματισμό και τη συντήρηση των καλλιεργειών. Πρόκειται για ένα απλό στην εφαρμογή του μοντέλο, το οποίο όμως παρουσιάζει αρκετούς περιορισμούς και έλλειψη δεδομένων σε χώρες εκτός των ΗΠΑ (Φλαμπούρης, 2008).

Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τροποποιήσεις του, οι οποίες ενσωματώνουν πρόσθετη έρευνα, πειράματα, δεδομένα, διαθέσιμους πόρους και βαθύτερη κατανόηση της διαδικασίας της διάβρωσης. Κυριότερη τροποποίηση είναι το μοντέλο RUSLE, το οποίο διατηρεί τη βασική μορφή της εξίσωσης, αλλά εμφανίζει διαφοροποιήσεις ως προς τον υπολογισμό των επιμέρους παραγόντων (Efthimiou et al., 2014, Στεφανίδης και συν., 2016).

## 1.6. Μοντέλο RUSLE

Το μοντέλο RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), το οποίο αναπτύχθηκε από τους Renard et al. (1997), αποτελεί την Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση της Εδαφικής

Απώλειας και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της διάβρωσης. Υπολογίζει το μέγεθος της αναμενόμενης απώλειας εδάφους και της υποβάθμισης της παραγωγικότητας των εδαφών, η οποία προέρχεται από την επιφανειακή (sheet) και την αυλακωτή (rill) διάβρωση, ενώ δεν προσδιορίζει την ποσότητα των φερτών υλικών, η οποία διέρχεται από ορισμένη διατομή της λεκάνης απορροής (Στεφανίδης και συν., 2016, Φλαμπούρης, 2008).

Πρόκειται για ένα εμπειρικό μοντέλο, εύκολο στην παραμετροποίηση, το οποίο απαιτεί τα λιγότερα δεδομένα και χρόνο έναντι των άλλων μοντέλων. Πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε περιοχές με αξιόπιστα και επαρκή δεδομένα. Υπερέχει του μοντέλου USLE, αφού μπορεί να εφαρμοστεί σε ποικίλα περιβάλλοντα, πέραν των γεωργικών περιοχών (ορεινές λεκάνες απορροής, γεωργικές εγκαταστάσεις, οικόπεδα, ορυχεία, εργοτάξια, κ.λπ.). Αναφορικά με τον παράγοντα της φυτοκάλυψης, εκτιμάται απευθείας από τις χρήσεις της γης, χωρίς να απαιτούνται στοιχεία από πειραματικές επιφάνειες (Nikolona, 2016, Στεφανίδης και συν., 2016).

Η μέση ετήσια εδαφική απώλεια (A) (σε tn/ha/year) βασίζεται σε πέντε παράγοντες (κλιματολογικούς, εδαφολογικούς, τοπογραφικούς, χρήσεων γης και ανθρωπογενείς), οι οποίοι καθορίζουν το ρυθμό διάβρωσης. Υπολογίζεται σύμφωνα με την εμπειρική εξίσωση (Renard et al., 1997):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad [1.1]$$

όπου

R: ο παράγων διαβρωτικότητας της βροχής,

K: ο παράγων διαβρωσιμότητας του εδάφους,

LS: ο παράγων αναγλύφου ή τοπογραφικός παράγων,

C: ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους και

P: ο παράγων συμπληρωματικών έργων ελέγχου διάβρωσης.

#### 1.6.1. Παράγων διαβρωτικότητας της βροχής (R)

Ο παράγων διαβρωτικότητας (διαβρωτικής ικανότητας) της βροχής (R) (Rainfall Erosivity factor) ποσοτικοποιεί την επίδραση της βροχόπτωσης στο γυμνό έδαφος και το επαγόμενο αποτέλεσμα της επιφανειακής απορροής (Efthimiou et al., 2014). Πρόκειται, δηλαδή, για την αριθμητική περιγραφή της διαβρωτικής δύναμης της βροχής, καθώς και της έντασης και της διάρκειας κάθε επεισοδίου. Δε συμπεριλαμβάνει τη διάβρωση η οποία προκαλείται από το χιονόνερο, την κίνηση του χιονιού ή την άρδευση (Nikolona, 2016). Δεν έχει ομοιόμορφη κατανομή κατά τη διάρκεια του έτους, εξαιτίας της εποχιακής κατανομής των βροχοπτώσεων, αλλά έχει μηνιαία τιμή, η οποία μεταβάλλεται από θέση σε θέση.

Ο παράγων R παρουσιάζει τη σημαντικότερη επίδραση στο ενδεχόμενο ανάπτυξης εδαφικής διάβρωσης από τους υπόλοιπους παράγοντες του μοντέλου RUSLE, αφού η βροχόπτωση έχει άμεση επίπτωση στην αποκόλληση των σωματιδίων του εδάφους, στη

διάσπαση των αδρανών υλικών και στη μεταφορά των διαβρωμένων σωματιδίων μέσω της απορροής (Nikolova, 2016).

Είναι συνάρτηση της κινητικής ενέργειας της βροχόπτωσης, της μέγιστης έντασης της βροχής σε χρονικό διάστημα 30 λεπτών και του ολικού ύψους της βροχής (Φλαμπούρης, 2008).

Εκφράζεται σε  $[MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot hour^{-1} \cdot year^{-1}]$  και προκύπτει από την εξίσωση:

$$R = \sum_{j=1}^n 60 \cdot e \cdot P \cdot I_{30} \quad [1.2]$$

όπου

n: ο ετήσιος αριθμός των βροχοπτώσεων,

e: η κινητική ενέργεια της βροχής, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$e = 0,29 \cdot [1 - 0,72 \cdot \exp(-3i)] \quad [1.3]$$

όπου i: η μέση ένταση της βροχής (σε mm/hour),

P: το ολικό ύψος της βροχόπτωσης (σε mm) και

$I_{30}$ : η μέγιστη ένταση της βροχής σε χρονικό διάστημα 30 min (Στεφανίδης και συν., 2016).

Προκειμένου να υπολογιστεί ο παράγων διαβρωτικότητας της βροχής R, απαιτούνται οι μέσες ετήσιες τιμές για κάθε περιοχή ενδιαφέροντος και, παράλληλα, είναι επιθυμητή η ύπαρξη πολυετών βροχομετρικών δεδομένων (με συνιστώμενα τα 20 και άνω έτη), ώστε το αποτέλεσμα να είναι πιο αξιόπιστο.

Οι παραπάνω μετρήσεις δεν είναι συνήθως διαθέσιμες από τους περισσότερους μετεωρολογικούς σταθμούς, καθώς δεν είναι εφοδιασμένοι με βροχογράφους, οι οποίοι υπολογίζουν την ένταση των βροχοπτώσεων. Επιπλέον, συχνά απουσιάζουν συνεχόμενα βροχομετρικά δεδομένα διάρκειας 30 λεπτών, με αποτέλεσμα η ποιότητα της συλλεγόμενης πληροφορίας να κρίνεται ως ανεπαρκής. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί απλοποιημένες εμπειρικές προσεγγίσεις, οι οποίες συσχετίζουν τον παράγοντα R με παραμέτρους εύκολα προσδιορίσιμες στο πεδίο. Σε αυτές τις περιπτώσεις η γνώση των τοπικών συνθηκών και των εποχιακών χαρακτηριστικών είναι αναγκαία, ώστε να επιλέγεται η κατάλληλη εξίσωση (Ασλάνης, 2018, Κούβαρη, 2013, Nikolova, 2016).

Όσον αφορά στις συνθήκες της Βόρειας Ευρώπης, ο παράγων R εκτιμάται με την «εξίσωση της Βαυαρίας», η οποία αναπτύχθηκε από τους Rogler & Schwertmann (1981). Εκφράζεται ως:

$$R = 10 \cdot (1,48 \cdot N_s - 1,48) \quad [1.4]$$

όπου



R: η μέση τιμή του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (σε MJ · mm · ha<sup>-1</sup> · hour<sup>-1</sup> · year<sup>-1</sup>) και

N<sub>s</sub>: η μέση βροχόπτωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Μάιος – Οκτώβριος) (σε mm).

Όσον αφορά στις συνθήκες της Νότιας Ευρώπης, ο παράγων R εκτιμάται με την «εξίσωση της Τοσκάνης», η οποία αναπτύχθηκε από τους Van der Knijff et al. (2000) και αρχικά εφαρμόστηκε στην κεντρική Ιταλία. Εκφράζεται ως:

$$R = \alpha \cdot P \quad [1.5]$$

όπου

R: η μέση τιμή του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (σε MJ · mm · ha<sup>-1</sup> · hour<sup>-1</sup> · year<sup>-1</sup>),

α: ο συντελεστής αναλογίας (σε MJ · ha<sup>-1</sup> · hour<sup>-1</sup> · year<sup>-1</sup>), ο οποίος κυμαίνεται από 1,1 έως 1,5 (με συνήθη – προτεινόμενη τιμή 1,3 από τον Van der Knijff et al. (2000)) και

P: η μέση ετήσια βροχόπτωση (σε mm).

Η λογική της εξίσωσης της Τοσκάνης ανταποκρίνεται εξαιρετικά στις μεσογειακές κλιματολογικές συνθήκες κι εφαρμόζεται με επιτυχία και στις ελληνικές συνθήκες (Efthimiou et al., 2014).

Έπειτα από μελέτες του Φλαμπούρη (2008), η τιμή του συντελεστή α στον ελληνικό χώρο για κάθε περιοχή δίνεται στον Πίνακα 1.1 και απεικονίζεται στο χάρτη της Εικόνας 1.8.

Πίνακας 1.1. Τιμές του συντελεστή α στον ελληνικό χώρο (Φλαμπούρης, 2008).

Μετεωρολογικός σταθμός	P (σε mm)	R (σε MJ · mm · ha <sup>-1</sup> · hour <sup>-1</sup> · year <sup>-1</sup> )	A (σε MJ · ha <sup>-1</sup> · hour <sup>-1</sup> · year <sup>-1</sup> )
Αγχίαλος	492	493	1,0
Αλεξανδρούπολη	551	735	1,3
Ανδραβίδα	750	972	1,3
Αργοστόλι	782	1037	1,3
Άρτα	1108	1474	1,3
Ελληνικό	390	509	1,3
Ηράκλειο	495	557	1,1
Ιεράπετρα	419	461	1,1
Ιωάννινα	995	1012	1,0
Καβάλα	470	310	0,7
Καλαμάτα	819	1147	1,4

Καστοριά	608	404	0,7
Κοζάνη	451	350	0,8
Κέρκυρα	1076	1951	1,8
Λαμία	549	403	0,7
Λάρισα	395	300	0,8
Μίκρα	422	347	0,8
Πάτρα	700	628	0,9
Σέρρες	450	375	0,8
Σητεία	468	557	1,2
Σούδα	586	594	1,0
Τρίπολη	717	485	0,7
Νέα Φιλαδέλφεια	395	403	1,0
Φλώρινα	635	421	0,7

Πιο αναλυτικά, οι τιμές του συντελεστή α:

1. Στην Ηπειρωτική και στη Βόρεια Ελλάδα (Καβάλα, Σέρρες, Μίκρα, Φλώρινα, Καστοριά, Κοζάνη, Ιωάννινα, Λάρισα, Λαμία, Πάτρα, Τρίπολη, Νέα Φιλαδέλφεια) κυμαίνονται από 0,6 έως 1,0.
2. Στην Κρήτη κυμαίνονται από 1,0 έως 1,2.
3. Στις παραθαλάσσιες περιοχές οι οποίες βρίσκονται στην πλευρά του Αιγαίου Πελάγους (Αιγαιοστροφές τμήμα) (Αγχίαλος, Αλεξανδρούπολη, Ελληνικό) κυμαίνονται από 1,0 έως 1,3.
4. Στις παραθαλάσσιες περιοχές οι οποίες βρίσκονται στην πλευρά του Ιονίου Πελάγους (Ιονιοστροφές τμήμα) (Κέρκυρα, Άρτα, Αργοστόλι, Ανδραβίδα, Καλαμάτα) κυμαίνονται από 1,2 έως 1,8 (Φλαμπούρης, 2008).

Η επιλογή της κατάλληλης σχέσης για τον υπολογισμό του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής R εξαρτάται από τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα, τα κλιματικά χαρακτηριστικά και το καθεστώς των βροχοπτώσεων και, τέλος, από την εγγύτητα της περιοχής μελέτης με την περιοχή όπου εξήχθη η εμπειρική σχέση (Βαχαβιώλος, 2014).



κατεργασίας καθαρισμού του εδάφους, ώστε να μην αναπτύσσεται χλωρίδα και να μη δημιουργείται εδαφική κρούστα (Renard et al., 1997).

Προσδιορίζεται βάσει των εξής πέντε ιδιοτήτων του εδάφους: α) την περιεκτικότητα σε ιλύ και λεπτή άμμο, β) την περιεκτικότητα σε μέση και χονδρή άμμο, γ) την περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, δ) τον τύπο της εδαφικής δομής και ε) το βαθμό διαπερατότητας του εδάφους (Στεφανίδης και συν., 2016). Μάλιστα, η ύπαρξη θραυσμάτων πετρωμάτων έχει σημαντικό αντίκτυπο στους ρυθμούς εδαφικής διάβρωσης, αφού μεταβάλλει τις ιδιότητες του εδάφους, όπως την ικανότητα συγκράτησης του νερού, το ριζικό όγκο ή την πυκνότητά του, επηρεάζοντας την υδρολογική του απόκριση και την παραγωγικότητά του.

Ο παράγοντας  $K$  εκφράζεται σε  $[tn \cdot hour \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}]$  και λαμβάνει τιμές από 0 έως 0,6. Εδάφη με καλή διηθητικότητα (αμμώδη και αργιλώδη με υψηλό ποσοστό ένυδρων οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου ή καολινίτη) παίρνουν τιμές διαβρωσιμότητας  $K$  μικρότερες του 0,2. Εδάφη με μέτρια διηθητικότητα παίρνουν τιμές οι οποίες κυμαίνονται από 0,2 έως 0,3. Τέλος, εδάφη με μικρή διηθητικότητα, τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα ιλύος, είναι ευπρόσβλητα στη διάβρωση και παίρνουν τιμές  $K$  μεγαλύτερες του 0,3 (Κανακοπούλου, 2008).

Η εξίσωση υπολογισμού του παράγοντα  $K$  αναπτύχθηκε από τους Wischmeier et al. (1971) και περιλαμβάνει πέντε εδαφικές παραμέτρους (υφή, περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και σε χονδροειδή θραύσματα, δομή και διαπερατότητα εδάφους) (Efthimiou et al., 2014). Είναι, επομένως, συνάρτηση της σύστασης και των ιδιοτήτων του εδάφους και εκφράζεται ως:

$$K = \frac{[2,1 \cdot M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 \cdot (b - 2) + 2,5 \cdot (c - 3)]}{100} \quad [1.6]$$

όπου

$K$ : ο παράγων διαβρωσιμότητας του εδάφους (σε  $tn \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ),

$M$ : η παράμετρος του μεγέθους των κόκκων του εδάφους, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$M = P_s \cdot (100 - P_c) \quad [1.7]$$

όπου

$P_s$ : το ποσοστό % της ιλύος, της πολύ λεπτής άμμου και της άμμου 0,10 mm και  $P_c$ : το ποσοστό % της αργίλου,

$a$ : η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (σε ποσοστό %),

$b$ : η δομή του εδάφους (οι τιμές κυμαίνονται από 1 έως 4, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων:  $b = 1$  για πολύ λεπτόκοκκο έδαφος,  $b = 2$  για λεπτόκοκκο,  $b = 3$  για μεσαίο ή χονδρόκοκκο και  $b = 4$  για συμπαγές ή κρυσταλλώδες πέτρωμα) και

$c$ : η διαπερατότητα του εδάφους (οι τιμές κυμαίνονται από 1, για πολύ μεγάλη διαπερατότητα, έως 6, για πολύ μικρή).

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί μαθηματική έκφραση του νομογραφήματος διαβρωσιμότητας του εδάφους, το οποίο αναπτύχθηκε από τους Wischmeier & Smith (1978) (Εικόνα 1.9). Το νομογράφημα αποτελείται από δύο σκέλη. Με αφετηρία το πρώτο σκέλος και την αριστερή κλίμακα με το ποσοστό της ιλύος και της πολύ λεπτής άμμου, κατευθυνόμαστε έως το σημείο της καμπύλης το οποίο αντιστοιχεί στο ποσοστό της άμμου. Έπειτα, με κατακόρυφη κίνηση φτάνουμε στο ποσοστό του οργανικού υλικού. Ακολουθεί οριζόντια κίνηση έως τη δεξιά κλίμακα του πρώτου σκέλους του νομογραφήματος, όπου λαμβάνουμε την πρώτη εκτίμηση για τον παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους K. Από την πρώτη αυτή εκτίμηση προχωράμε με οριζόντια κίνηση προς το δεύτερο σκέλος, μέχρι το σημείο το οποίο αντιστοιχεί στη δομή του εδάφους. Με κατακόρυφη κίνηση φτάνουμε στην τάξη της διαπερατότητας του εδάφους και, τέλος, με οριζόντια κίνηση έως την αριστερή κλίμακα του δεύτερου σκέλους καταλήγουμε στην τελική εκτίμηση του παράγοντα K. Η τιμή η οποία προκύπτει από το νομογράφημα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή μετατροπής 1,292 (Βιδάλη, 2013).

Μία άλλη εξίσωση υπολογισμού του παράγοντα K αναπτύχθηκε από τους Römken et al. (1986) και συσχετίζει τον παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους με τη διάσταση των σωματιδίων του επιφανειακού στρώματος εδάφους. Εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία στις ευρωπαϊκές συνθήκες και εκφράζεται ως:

$$K = 0,0034 + 0,0405 \cdot \exp \left[ -0,5 \cdot \left( \frac{\log D_g + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right] \quad [1.8]$$

όπου

$D_g$ : η μέση διάσταση των σωματιδίων του επιφανειακού στρώματος εδάφους (σε mm), η οποία προκύπτει από τη σχέση:

$$D_g = \exp \left( \sum f_i \cdot \ln \left( \frac{d_i + d_{i-1}}{2} \right) \right) \quad [1.9]$$

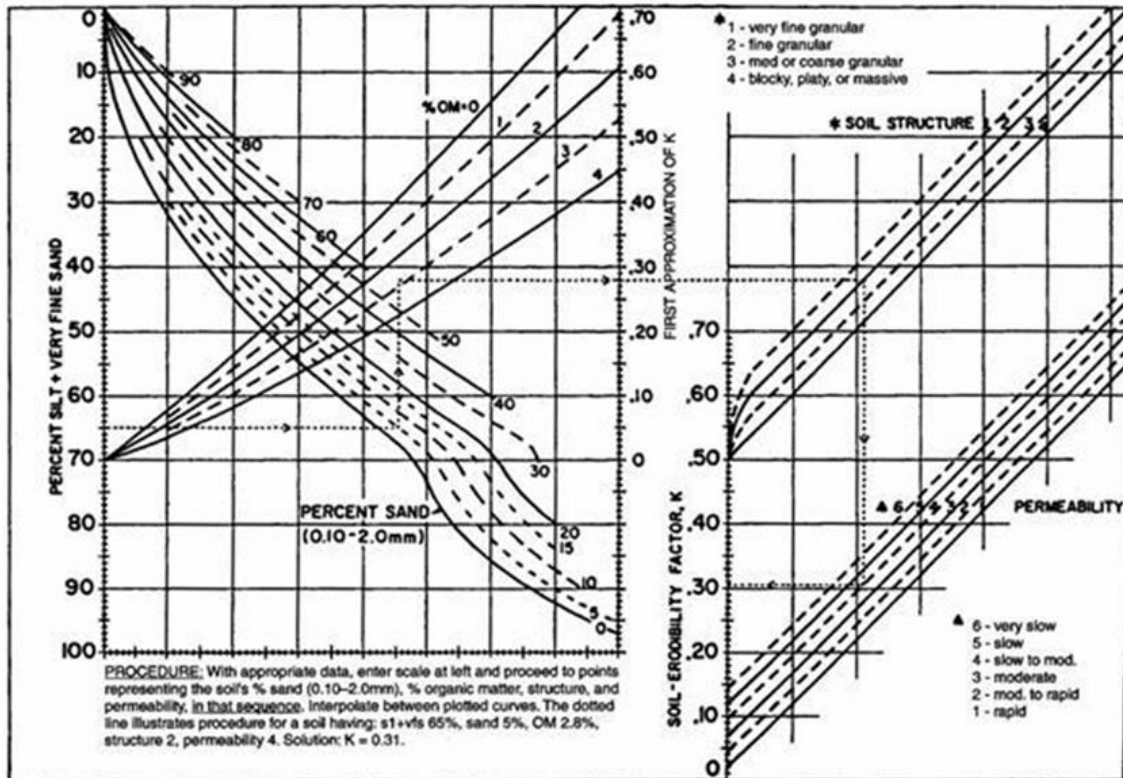
όπου

$d_i$ : η μέγιστη διάσταση του σωματιδίου (σε mm),

$d_{i-1}$ : η ελάχιστη διάσταση του σωματιδίου (σε mm) και

$f_i$ : το κλάσμα της μάζας της κατηγορίας επί της συνολικής εδαφικής μάζας.

Για τη βέλτιστη εκτίμηση του παράγοντα διαβρωσιμότητας πραγματοποιούνται άμεσες μετρήσεις στο πεδίο, όπου συλλέγονται εδαφικά δείγματα και ακολουθούν εργαστηριακές αναλύσεις των χαρακτηριστικών του εδάφους. Όμως οι μετρήσεις αυτές είναι δαπανηρές και απαιτούν πολύ χρόνο, ενώ είναι εφικτές σε ορισμένους μόνο τύπους εδαφών. Για το λόγο αυτό αναθέτονται συνήθως βιβλιογραφικές τιμές από διάφορες ερευνητικές εργασίες. Μάλιστα, στο εγχειρίδιο της μεθόδου RUSLE υπάρχουν ενδεικτικές τιμές K για μία σειρά εδαφών (Ασλάνης, 2018).



Εικόνα 1.9. Νομογράφημα της διαβρωσιμότητας του εδάφους K (Wischmeier & Smith, 1978)

### 1.6.3. Παράγων αναγλύφου ή τοπογραφικός παράγων (LS)

Ο παράγων αναγλύφου ή τοπογραφικός παράγων (LS) (Slope Length and Slope Steepness factor) αναπαριστά την επίδραση της γεωμορφολογίας και του αναγλύφου και συγκεκριμένα του μήκους της κλιτύς (L) και του συντελεστή κλίσης της κλιτύς (S) στο ρυθμό της εδαφικής διάβρωσης (Στεφανίδης και συν., 2016). Έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην απώλεια του εδάφους σε ευρωπαϊκή κλίμακα (Νικόλινα, 2016). Πρόκειται για το αναμενόμενο ποσοστό εδαφικής απώλειας, υπό ιδανικές συνθήκες αγρανάπαυσης, από κανονικό πειραματικό τεμάχιο διαστάσεων 22,13 x 22,13 m και κλίσης 9%.

Το μήκος της κλιτύς (L) αφορά στην οριζόντια απόσταση από το σημείο έναρξης της απορροής έως το σημείο μείωσης της κλίσης, όπου ξεκινάει η απόθεση των φερτών υλικών ή συγκεντρώνεται η απορροή σε κάποιο ρέμα. Αντιπροσωπεύει την επίδραση του μήκους κλίσης της κλιτύς στη διάβρωση και προκύπτει από την εξίσωση:

$$L = \left( \frac{A}{22,13} \right)^m \quad [1.10]$$

όπου

A: Η έκταση της επιφάνειας, για την οποία υπολογίζεται το μήκος της κλιτύς,

m: Προκύπτει από την εξίσωση:

$$m = J^3 \cdot (1 + J^3) \quad [1.11]$$

όπου

$$J = \frac{\frac{\sin\theta}{0,0896}}{3 \cdot \sin\theta^{0,8} + 0,56} \quad [1.12]$$

όπου

$\theta$ : η κλίση (σε μοίρες).

Ο συντελεστής κλίσης της κλιτύς (S) αντιπροσωπεύει την επίδραση της απότομης κλίσης του εδάφους στη διάβρωση. Προκύπτει από τις εξής εξισώσεις, ανάλογα με την επί τοις εκατό κλίση της περιοχής μελέτης (McCool et al., 1987):

Για κλίσεις < 9%:

$$S = 10,8 \cdot \sin\theta + 0,03 \quad [1.13]$$

Για κλίσεις  $\geq$  9%:

$$S = 16,8 \cdot \sin\theta + 0,5 \quad [1.14]$$

όπου

$\theta$ : η κλίση (σε μοίρες).

Ο παράγων αναγλύφου LS αποτελεί αδιάστατο μέγεθος και η τιμή του υπολογίζεται από το διάγραμμα των Wischmeier & Smith (1978) (Εικόνα 1.10). Οι αυξημένες τιμές του υποδηλώνουν υψηλές τιμές όγκου και ταχύτητας απορροής, οι οποίες συνεπάγονται υψηλά ποσοστά απώλειας του εδάφους (Efthimiou et al., 2014).

Οι καλύτερες εκτιμήσεις για τον παράγοντα αναγλύφου LS προκύπτουν έπειτα από μετρήσεις πεδίου, αλλά αυτές είναι σπάνια διαθέσιμες. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι, οι οποίοι χρησιμοποιούν το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM – Digital Elevation Model) της περιοχής. Πρόκειται για μία ποσοτική αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας, η οποία παρέχει βασικές πληροφορίες για το έδαφος και επιτρέπει την παραγωγή χαρακτηριστικών, όπως η κλίση και η καμπυλότητα (Nikolova, 2016).

Οι Moore & Burch (1986) ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο, ο οποίος υπολογίζει τον παράγοντα LS σύμφωνα με την εξής εξίσωση:

$$LS = \left( \frac{\text{Flow Accumulation} \cdot \text{Cell size}}{22,13} \right)^p \cdot \left( \frac{\sin\alpha}{0,0896} \right)^q \quad [1.15]$$

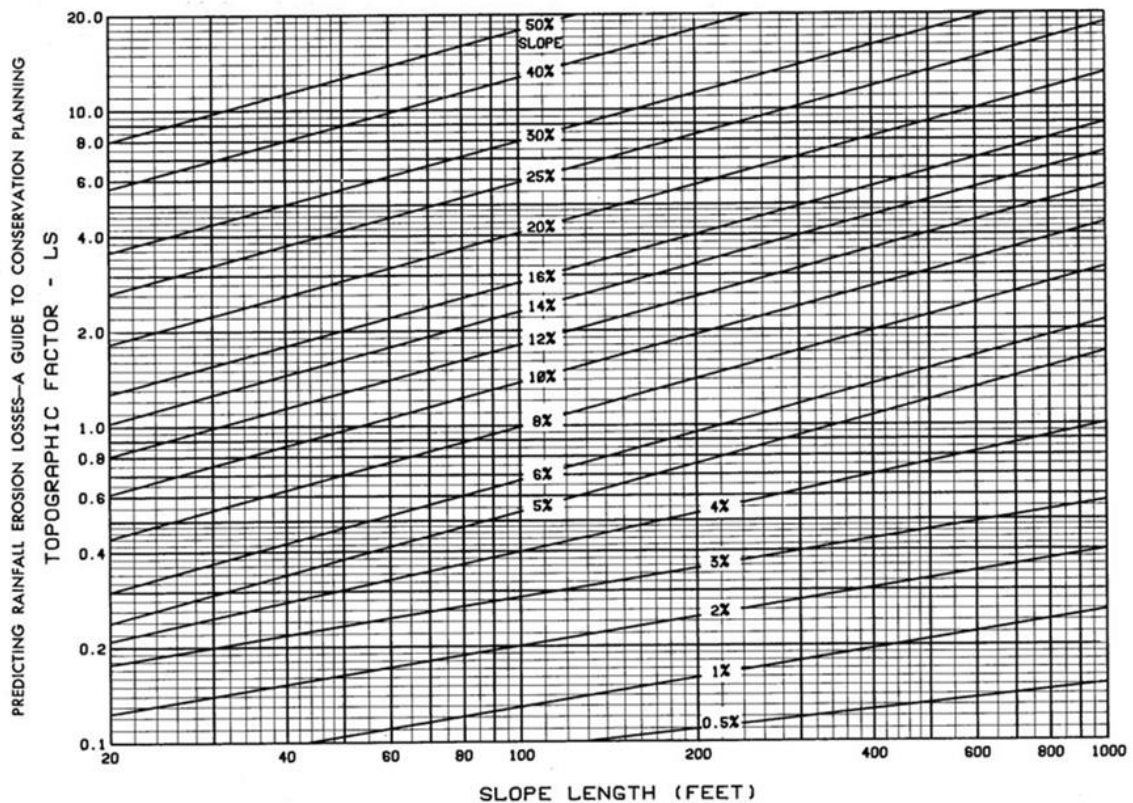
όπου

Flow Accumulation: η συγκέντρωση της ροής,

Cell size: το μέγεθος του κελιού (ανάλυση του καννάβου) (σε m),

$\alpha$ : η μορφολογική κλίση του εδάφους (σε rad) και

$\rho$ ,  $q$ : εμπειρικοί εκθέτες με τιμές 0,4 και 1,3 αντίστοιχα.



Εικόνα 1.10. Διάγραμμα υπολογισμού του τοπογραφικού παράγοντα LS (Wischmeier & Smith, 1978)

#### 1.6.4. Παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C)

Κάθε τύπος φυτοκάλυψης και καλλιεργητικό σύστημα παρέχει διαφορετικό βαθμό αντιδιαβρωτικής προστασίας στα εδάφη. Ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) (Cover – Management factor) εκτιμά την επιρροή των καλλιεργητικών τεχνικών και της διαχειριστικής πρακτικής στο ρυθμό της εδαφικής απώλειας. Είναι συνάρτηση του ρυθμού της εδαφικής διάβρωσης υπό συγκεκριμένες συνθήκες φυτοκάλυψης, επιφανειακής κάλυψης, εδαφικής τραχύτητας και εδαφικής υγρασίας (Στεφανίδης και συν., 2016).

Ουσιαστικά πρόκειται για τον παράγοντα μείωσης της ευπάθειας των εδαφών στην τρωτότητα, παραμετροποιώντας την προστατευτική επίδραση της βλάστησης, η οποία απορροφά και διαχέει την κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης και τα αποτελέσματα της απορροής (Efthimiou et al., 2014).

Κατά τους Van der Knijff et al. (2000) είναι – μετά τον τοπογραφικό παράγοντα LS – ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει την εδαφική διάβρωση.



Αποτελεί αδιάστατο μέγεθος και η τιμή του κυμαίνεται από 0 έως 1. Όταν προσεγγίζει τη μονάδα, η προστασία του εδάφους κρίνεται ανεπαρκής, αφού απουσιάζει η εδαφική κάλυψη (συνθήκες διαρκούς αγρανάπαυσης – η επιφάνεια θεωρείται γυμνό έδαφος), Αντίθετα, όταν η τιμή του είναι μικρότερη του 0,1, πρόκειται για δασικές εκτάσεις με πυκνή φυτοκάλυψη ή για καλλιεργούμενα χωράφια (πολύ καλή αντιδιαβρωτική προστασία των εδαφών). (Κανακοπούλου, 2008, Νικολονα, 2016).

Υπολογίζεται από το λόγο της ποσότητας του εδάφους, η οποία χάνεται σε συνθήκες αγρού, προς την τιμή του εδάφους, η οποία χάνεται σε συνθήκες διαρκούς αγρανάπαυσης (για πάνω από δύο χρόνια) και κατεργασίας καθαρισμού του εδάφους (ώστε να εμποδίζονται η ανάπτυξη της χλωρίδας και της εδαφικής κρούστας).

Προκύπτει από την πολλαπλασιαστική σχέση (Renard et al., 1997):

$$C \sim SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM \quad [1.16]$$

όπου

C ~ SLR: ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (Soil Loss Ratio),

PLU: ο συντελεστής πρότερης χρήσης γης (Prior Land Use),

CC: ο συντελεστής φυτοκάλυψης (Canopy Cover),

SC: ο συντελεστής επιφανειακής κάλυψης (Surface Cover),

SR: ο συντελεστής εδαφικής τραχύτητας (Surface Roughness) και

SM: ο συντελεστής εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture).

Οι παραπάνω συντελεστές έχουν εύρος τιμών 0-1 και προκύπτουν με τη σειρά τους από άλλες σχέσεις.

Ο συντελεστής πρότερης χρήσης γης PLU προκύπτει από τη σχέση:

$$PLU = C_f \cdot C_b \cdot \exp \left[ (-c_{ur} \cdot B_{ur}) + \left( \frac{c_{us} \cdot B_{us}}{c_f \cdot c_{uf}} \right) \right] \quad [1.17]$$

όπου

C<sub>f</sub>: η συνοχή του επιφανειακού εδαφικού στρώματος,

C<sub>b</sub>: η συνδρομή των φυτικών υπολειμμάτων του επιφανειακού εδάφους στην εδαφική συνοχή,

c<sub>ur</sub>, c<sub>us</sub>: οι συντελεστές διόρθωσης, οι οποίοι σχετίζονται με την επίδραση των φυτικών υπολειμμάτων,

$B_{ur}$ : η ποσότητα των ζωντανών και νεκρών ριζών στο επιφανειακό έδαφος (σε  $lb \cdot acre^{-1} \cdot in^{-1}$ ),

$B_{us}$ : η ποσότητα των φυτικών υπολειμμάτων στο επιφανειακό έδαφος (σε  $lb \cdot acre^{-1} \cdot in^{-1}$ ) και

$c_{uf}$ : η επίδραση της συνοχής του εδάφους στην αποτελεσματικότητα των φυτικών υπολειμμάτων.

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης  $CC$  υποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της φυτοκάλυψης στην απομείωση της ενέργειας των βροχοσταγόνων και προκύπτει από τη σχέση:

$$CC = 1 - F_c \cdot \exp(-0,1 \cdot H) \quad [1.18]$$

όπου

$F_c$ : το κλάσμα της φυτοκάλυψης επί της συνολικής έκτασης και

$H$ : το ύψος της πτώσης των βροχοσταγόνων μετά την πρόσκρουσή τους στην φυτοκάλυψη.

Ο συντελεστής της επιφανειακής κάλυψης  $SC$  είναι ο πιο σημαντικός ανάμεσα στους συντελεστές του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους. Σχετίζεται με την ελάττωση της μεταφορικής ικανότητας του νερού, αφού μειώνεται η επιφάνεια του εδάφους που μένει εκτεθειμένη στη διαβρωτική επίδραση της βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα την πρόκληση αποθέσεων σε περιοχές με λιμνάζοντα ύδατα. Περιλαμβάνει αρόσιμες επιφάνειες, οργανικά και φυτικά υπολείμματα, βολβούς, ρίζες, πέτρες και κροκάλες. Προκύπτει από τη σχέση:

$$SC = \exp \left[ -b \cdot S_p \cdot \left( \frac{0,24}{R_u} \right)^{0,08} \right] \quad [1.19]$$

όπου

$b$ : εμπειρικός συντελεστής, ο οποίος υποδηλώνει την αποτελεσματικότητα της εδαφικής κάλυψης στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους,

$S_p$ : το ποσοστό της επιφανειακής κάλυψης επί της συνολικής επιφάνειας και

$R_u$ : η επιφανειακή τραχύτητα του αδιατάρακτου εδάφους (σε  $in$ ).

Το ποσοστό της επιφανειακής κάλυψης επί της συνολικής επιφάνειας  $S_p$  προκύπτει από τη σχέση:

$$S_p = [1 - \exp(-a \cdot B_s)] \cdot 100 \quad [1.20]$$

όπου

$a$ : ο λόγος της επιφάνειας προς τη μάζα του υπολείμματος (σε  $lb \cdot acre^{-1}$ ) και

B<sub>s</sub>: το ξηρό βάρος του υπολείμματος, το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους (σε lb · acre<sup>-1</sup>).

Η επιφανειακή τραχύτητα του αδιατάρακτου εδάφους R<sub>u</sub> προκύπτει από τη σχέση:

$$R_u = 0,24 + [D_r \cdot (R_i - 0,24)] \quad [1.21]$$

όπου

D<sub>r</sub>: ο συντελεστής εξομάλυνσης της τραχύτητας του εδάφους, η οποία προκαλείται από την επίδραση της βροχόπτωσης, και

R<sub>i</sub>: η αρχική τραχύτητα του εδάφους (σε in).

Ο συντελεστής D<sub>r</sub> προκύπτει από τη σχέση:

$$D_r = \exp\left[\frac{1}{2} \cdot (-0,14 \cdot P_t) + \frac{1}{2} \cdot (-0,012 \cdot EI_t)\right] \quad [1.22]$$

όπου

P<sub>t</sub>: το συνολικό ύψος της βροχόπτωσης στο διάστημα το οποίο μεσολάβησε από την πιο πρόσφατη εδαφική διατάραξη (σε in) και

EI<sub>t</sub>: η ποσότητα ενέργειας της βροχόπτωσης στο αντίστοιχο διάστημα.

Ο συντελεστής της εδαφικής τραχύτητας SR προκύπτει από τη σχέση:

$$SR = \exp[-0,66 \cdot (R_u - 0,24)] \quad [1.23]$$

όπου

R<sub>u</sub>: η επιφανειακή τραχύτητα του αδιατάρακτου εδάφους (σε in) (Βαχαβιώλος, 2014).

Τέλος, ο συντελεστής της εδαφικής υγρασίας SM προκύπτει από δεδομένα πινάκων. Κατά τις υγρές περιόδους η τιμή του πλησιάζει τη μονάδα, ενώ κατά τις ξηρές το μηδέν.

Άλλος τρόπος για τον υπολογισμό του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C είναι να εφαρμοστούν μέθοδοι τηλεπισκόπησης, χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες και δείκτες βλάστησης, και κυρίως τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) (Wang et al., 2003).

Ο δείκτης βλάστησης χρησιμοποιείται για να χαρτογραφηθούν περιοχές, στις οποίες η πυκνότητα της φυτοκάλυψης είναι διαφοροποιημένη, ώστε να εντοπιστούν η ποσότητα και το επίπεδο της υγιούς βλάστησης. Για να υπολογιστεί εφαρμόζονται απλοί αλγεβρικοί τύποι, οι οποίοι βασίζονται στις τιμές ανακλαστικότητας κάθε εικονοστοιχείου (pixel) στα φασματικά

κανάλια του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου, στα οποία η βλάστηση παρουσιάζει φασματική απόκριση.

Σύμφωνα με τους Prasannakumar et al. (2012), ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI συμβάλλει στην εκτίμηση της ζωτικότητας της βλάστησης, αφού απεικονίζονται περιοχές έντονης, αραιής ή μηδενικής φυτοκάλυψης. Βέβαια, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα σύννεφα είναι πιθανό να επηρεάσουν τον υπολογισμό του. Προκύπτει από το λόγο της διαφοράς ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο και στο κόκκινο φασματικό κανάλι, προς το άθροισμά τους.

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad [1.24]$$

όπου

NIR: το εγγύς υπέρυθρο τμήμα φάσματος (0,76-0,9 μm) και

R: το ερυθρό τμήμα φάσματος (0,63-0,69 μm).

Η τιμή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI κυμαίνεται από -1 έως 1. Όταν προσεγγίζει τη μονάδα, αντιστοιχεί σε έδαφος με πλούσια βλάστηση, όπου σημειώνεται μεγάλη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, ενώ όταν λαμβάνει αρνητική τιμή, πρόκειται για γυμνό έδαφος ή για μάζες ύδατος (Huete et al, 1997).

Όσον αφορά στη συσχέτιση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI με τον παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C, οι Van der Knijff et al (1999) πρότειναν την εξίσωση:

$$C = \exp \left[ \frac{(-a \cdot NDVI)}{(\beta - NDVI)} \right] \quad [1.25]$$

όπου

α, β: οι παράμετροι οι οποίες καθορίζουν το σχήμα της καμπύλης NDVI – C και λαμβάνουν τις τιμές 2 και 1 αντίστοιχα (Εικόνα 1.11).

Η εξίσωση [1.25] απλοποιήθηκε από τον Sulistygo (2011) σε μία γραμμική εκθετική συνάρτηση:

$$Y = \alpha \cdot e^{(\beta \cdot X)} \quad [1.26]$$

όπου

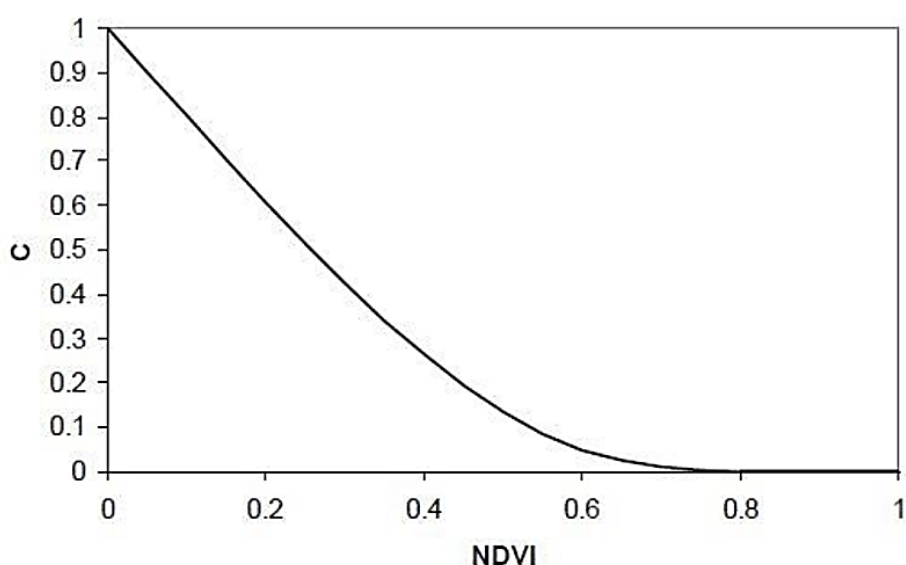
Y: ο τοπογραφικός παράγων C,

X: οι τιμές του NDVI και

α, β: οι παράμετροι οι οποίες καθορίζουν το σχήμα της καμπύλης NDVI – C (με προτεινόμενες τιμές 2 και 1 αντίστοιχα από τον Van der Knijff et al. (1999)).

Συνεπώς, για να υπολογιστεί η τιμή του παράγοντα C για καλλιεργήσιμες εκτάσεις απαιτούνται πολλά στοιχεία, όπως οι πιθανές μέρες σποράς και συγκομιδής, ο ρυθμός ανάπτυξης της κομοστέγης, το τελικό ποσοστό εδαφοκάλυψης από την κόμη, οι πρότερες χρήσεις γης, η τραχύτητα και η υγρασία του εδάφους, κ.λπ. Λόγω της δυσκολίας εύρεσης των παραπάνω στοιχείων, υιοθετούνται απλοποιημένες προσεγγίσεις, οι οποίες αφορούν σε μεγαλύτερες χωρικές κλίμακες. Στο εγχειρίδιο του μοντέλου RUSLE υπάρχουν πίνακες για την εύρεση του C, ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης.

Ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους επηρεάζεται από τις αλλαγές των χρήσεων γης, την εναλλαγή των καλλιεργειών και τις διαχειριστικές πρακτικές. Συγκεκριμένα η αποψίλωση έχει το μεγαλύτερο αντίκτυπο, καθώς οδηγεί σε σημαντική απώλεια εδάφους και, κατά συνέπεια, σε αύξηση του παράγοντα C (Nikolona, 2016).



Εικόνα 1.11. Σχέση μεταξύ του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI και του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C με τη χρήση εκθετικής συνάρτησης (Van der Knijff et al., 1999)

#### 1.6.5. Παράγων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P)

Ο παράγων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης P (Support Practices factor) ορίζεται ως η αναλογία της εδαφικής απώλειας, η οποία συμβαίνει υπό συγκεκριμένες διαχειριστικές και καλλιεργητικές πρακτικές, προς την αντίστοιχη εδαφική απώλεια, η οποία θα συνέβαινε χωρίς αυτές (Efthimiou et al., 2014).

Αναφέρεται σε πρακτικές εφαρμογές, οι οποίες αποσκοπούν στον έλεγχο της εδαφικής διάβρωσης, την επιβράδυνση ή τροποποίηση του μοτίβου ροής της επιφανειακής απορροής και τη μείωση του όγκου των φερτών υλικών. Τέτοιες είναι η καλλιέργεια παράλληλα με τις ισοϋψείς καμπύλες ή σε εδαφικές λωρίδες εναλλασσόμενων καλλιεργειών, η ανάπτυξη αναβαθμίδων και αναχωμάτων, η εξομάλυνση του εδάφους, η υπόγεια αποστράγγιση, κ.ά. (Κανακοπούλου, 2008, Nikolona, 2016, Στεφανίδης και συν., 2016).

Πρόκειται για αδιάστατο μέγεθος και η τιμή του κυμαίνεται από 0 έως 1 (Κανακοπούλου, 2008, Στεφανίδης και συν., 2016). Όταν είναι μηδενική, υποδεικνύει ότι έχουν ληφθεί όλα τα αναγκαία μέτρα για την αποτροπή της διάβρωσης, γεγονός πρακτικά αδύνατο, καθώς όλες οι πρακτικές εφαρμογές απλά επιβραδύνουν το φαινόμενο και δεν το σταματούν. Όταν προσεγγίζει τη μονάδα, υποδεικνύει ότι δε λαμβάνονται καθόλου μέτρα.

Από τους πέντε παράγοντες του μοντέλου RUSLE, οι τιμές για τον παράγοντα P θεωρούνται ως οι πιο αβέβαιες. Για τον υπολογισμό του εφαρμόζονται μέθοδοι τηλεπισκόπησης, όπου απαιτούνται δεδομένα υψηλής ανάλυσης τηλεανίχνευσης, είτε εξάγονται τιμές από επεξεργασία βιβλιογραφικών δεδομένων, τα οποία αφορούν σε υποστηρικτικές πρακτικές κατά της διάβρωσης, οι οποίες υιοθετήθηκαν σε διαφορετικά περιβαλλοντικά πλαίσια (Nikolova, 2016).

Κατά τους Παναγούλια & Δήμου (2002) η τιμή του παράγοντα P κυμαίνεται μεταξύ 0,6-0,9 για καλλιέργεια παράλληλα με τις ισοϋψείς καμπύλες, μεταξύ 0,3-0,45 σε λωρίδες εναλλασσόμενων καλλιεργειών και μεταξύ 0,12-0,18 σε ανάπτυξη αναβαθμίδων ή αναχωμάτων.

## Κεφάλαιο 2.

### Περιοχή μελέτης: Σαντορίνη

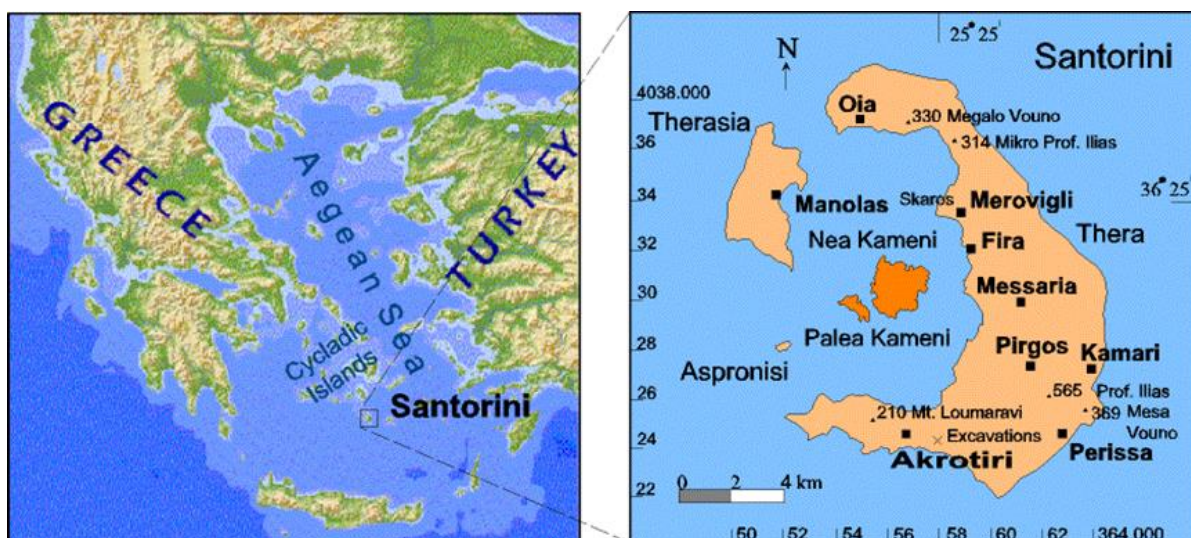
#### 2.1. Εισαγωγή – Γεωγραφική θέση της Σαντορίνης

Η Σαντορίνη (ή Θήρα ή Στρογγύλη) είναι ένα νησί του Αιγαίου Πελάγους στο νοτιότερο σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Βρίσκεται δυτικά της Ανάφης και νότια της Ίου, 63 ναυτικά μίλια βόρεια της Κρήτης, σε γεωγραφικό πλάτος από 36° 19' 56" Β έως 36° 28' 40" Β και γεωγραφικό μήκος από 25° 19' 22" Α έως 25° 29' 13" Α.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα νησιωτικό σύμπλεγμα, το οποίο αποτελείται από τα νησιά **Θήρα**, **Θηρασία**, **Ασπρονήσι**, **Παλαιά** και **Νέα Καμένη** (Εικόνα 2.1).

Η έκτασή της είναι 89,07 km<sup>2</sup> και το μήκος της ακτογραμμής της 67 km, με τη Θήρα να καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση και το Ασπρονήσι τη μικρότερη (Πίνακας 2.1) (Συμπόσιο «Καλντέρα», 2014, Τσιμπίρη, 2017).

Σύμφωνα με την ελληνική απογραφή του 2011 η οποία διενεργήθηκε από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ, 2011), η Σαντορίνη έχει πληθυσμό 15.500 μόνιμων κατοίκων, με το Ασπρονήσι και τη Νέα Καμένη να είναι ακατοίκητα και την Παλαιά Καμένη να αριθμεί μόνο έναν κάτοικο. Οι κάτοικοι κατανέμονται στα εξής 15 χωριά: Φηρά, Φηροστεφάνι, Ημεροβίγλι, Οία, Εμπορείο, Μεγάλο Χωριό, Πύργος, Μέσα Γωνιά – Καμάρι, Έξω Γωνιά, Βουρβούλος, Βόθωνας, Καρτεράδος, Κοντοχώρι, Μεσαριά και Ακρωτήρι (Συμπόσιο «Καλντέρα», 2014).



Εικόνα 2.1. Γεωγραφική θέση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Decade Volcano, 2004)

Πίνακας 2.1. Εκτάσεις του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (σε km<sup>2</sup>) (Τσιμπήρη, 2017).

Περιοχή	Έκταση (σε km <sup>2</sup> )
Ασπρονήσι	0,12
Παλαιά Καμένη	0,51
Νέα Καμένη	3,33
Θηρασία	9,19
Θήρα	75,92
Σύνολο	89,07

## 2.2. Γεωτεκτονικό καθεστώς

### 2.2.1. Ηφαιστειακό τόξο

Η ηφαιστειότητα στον ελληνικό χώρο, και συγκεκριμένα στο χώρο του Αιγαίου, οφείλεται στην υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, ή ακριβέστερα την υπο-πλάκα του Αιγαίου, εξαιτίας της μεταξύ τους σύγκλισης. Ο ρυθμός υποβύθισης είναι 5 cm/έτος με βορειοανατολική κατεύθυνση και γωνία 30-40° (Σολδάτος, n.d.). Αποτέλεσμα αυτής της σύγκλισης είναι η δημιουργία του ελληνικού τόξου, με το όριο των δύο πλακών να βρίσκεται στην ελληνική τάφρο νότια της Κρήτης (Εικόνα 2.2) (Μιχαήλ, 2017).

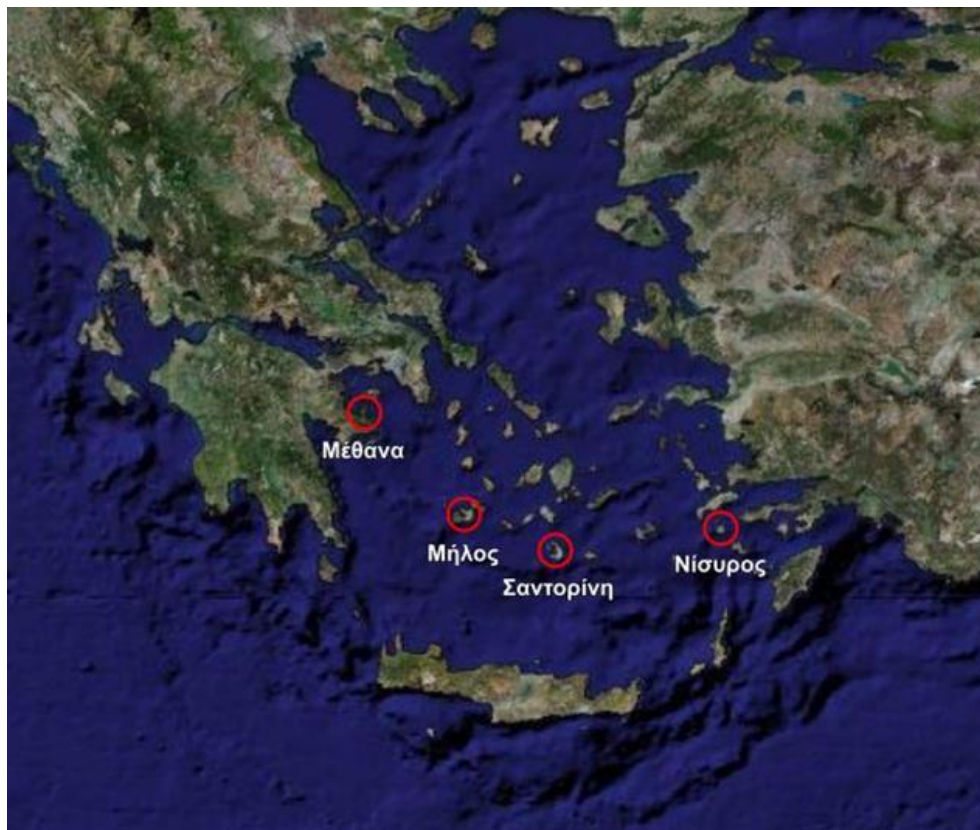
Η Αφρικανική πλάκα λιώνει σε μεγάλο βάθος και τα τηγμένα πετρώματα ανέρχονται στην επιφάνεια, σχηματίζοντας μία αλυσίδα ηφαιστειών, η οποία αποτελεί το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου (Μιχαήλ, 2017). Το ηφαιστειακό τόξο, μήκους 500 km και πλάτους 20-40 km, εκτείνεται από την ηπειρωτική Ελλάδα μέχρι την Τουρκία μέσω των νησιών Αίγινα, Μέθανα, Πόρος, Μήλος, Σαντορίνη, Κως, Γυαλί και Νίσυρος (Εικόνα 2.3) (Decade Volcano, 2004, Σολδάτος, n.d.).

Η ηφαιστειότητα στο τόξο του Νοτίου Αιγαίου ξεκίνησε πριν από 3-4 Ma κατά το Πλειόκαινο, με την κύρια ηφαιστειακή δραστηριότητα να σημειώνεται στο Πλειστόκαινο. Εξαιρέση αποτελούν η Κως, όπου εντοπίστηκαν ιγνιμβρίτες του Μειόκαινου (ηλικίας 10-11 Ma), και η Σαντορίνη, όπου, ενώ η ηφαιστειότητα ξεκίνησε κατά το Πλειόκαινο, παρουσίασε μεγαλύτερη δραστηριότητα τα τελευταία 200.000 χρόνια (Friedrich, 2007).





Εικόνα 2.2. Τομή του ενεργού ελληνικού ορογενετικού τόξου (Λόζιος και συν., 2018)



Εικόνα 2.3. Τα κυριότερα ηφαιστειακά κέντρα του Ηφαιστειακού Τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Σολδάτος, n.d.)

## 2.2.2. Τεκτονική της Σαντορίνης

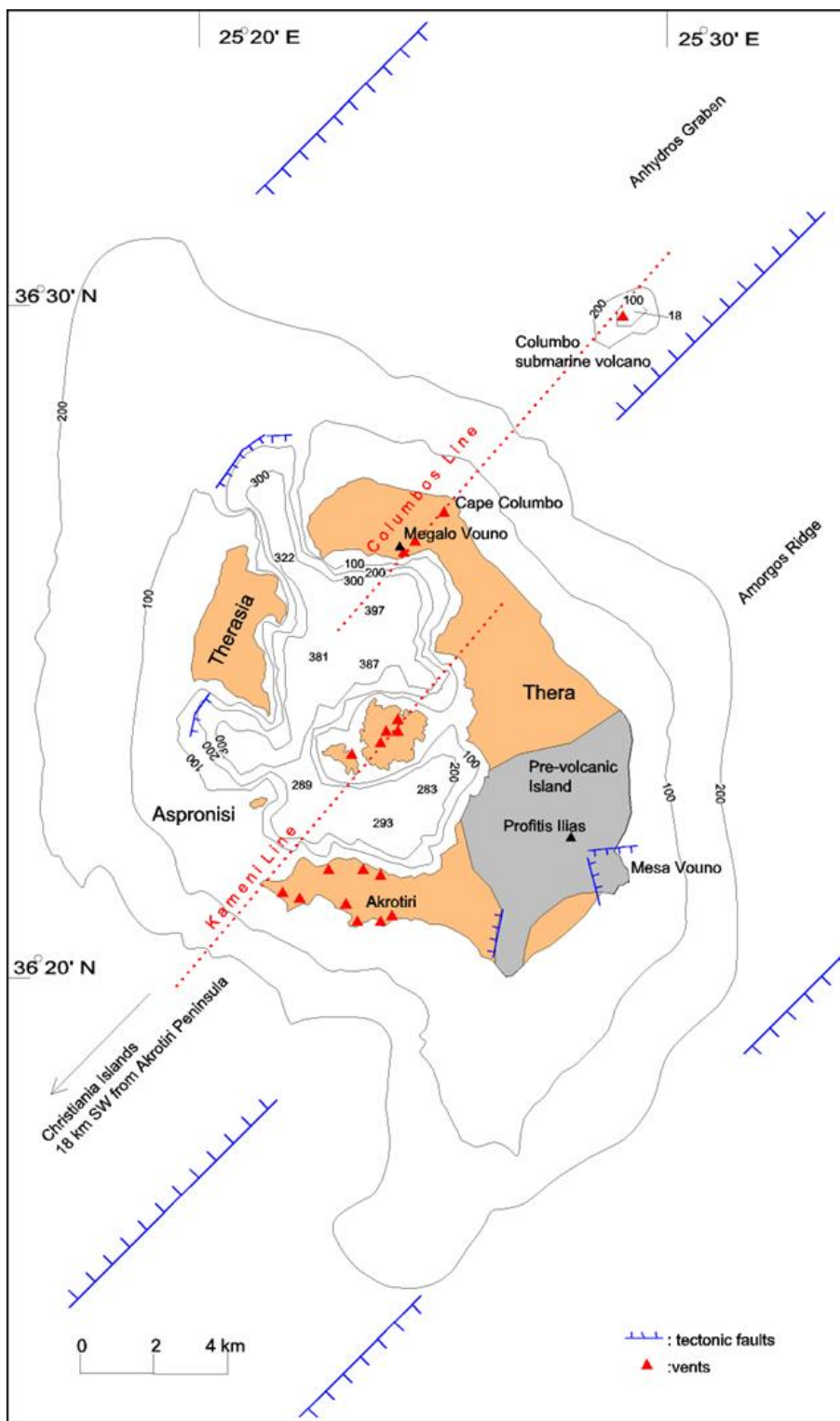
Το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης είναι το πιο ενεργό μέρος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Decade Volcano, 2004). Στο εσωτερικό της «πλημμυρισμένης» καλδέρας βρίσκονται τα νησιά της Παλαιάς και της Νέας Καμένης. Στο εξωτερικό της βρίσκονται τα νησιά Θήρα, Θηρασία και Ασπρονήσι.

Η ηφαιστειότητα στην καλδέρα της Σαντορίνης ξεκίνησε πριν από περίπου 2 Ma και είναι μέρος ενός ευρύτερου τεκτονικού / ηφαιστειακού συμπλέγματος, το οποίο εκτείνεται από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά σε μία απόσταση 45 km (Συμπόσιο «Καλντέρα», 2014, Σολδάτος, n.d.) και περιλαμβάνει επιπλέον τις νησίδες Χριστιανά, περίπου 20 km νοτιοδυτικά, και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο, 7 km βορειοανατολικά (Decade Volcano, 2004).

Αυτά τα ηφαιστειακά κέντρα δημιουργούν μία ζώνη ρηγμάτων, η οποία αποτελείται από δύο παράλληλες γραμμές ρηγμάτωσης, τη γραμμή της Καμένης και τη γραμμή του Κολούμπο. Η γραμμή της Καμένης (με πάχος 600 m και μήκος 4,5 km) διέρχεται από την Παλαιά και τη Νέα Καμένη, όπου συναντώνται οι νεότερες ηφαιστειακές αποθέσεις στη Σαντορίνη. Η γραμμή του Κολούμπο διέρχεται από το Μεγάλο Βουνό, το Κόκκινο Βουνό, το δακτύλιο των τόφφων του ακρωτηρίου του Κολούμπο και το αντίστοιχο υποθαλάσσιο ηφαίστειο (Μιχαήλ, 2017, Τσιμπίρη, 2017).

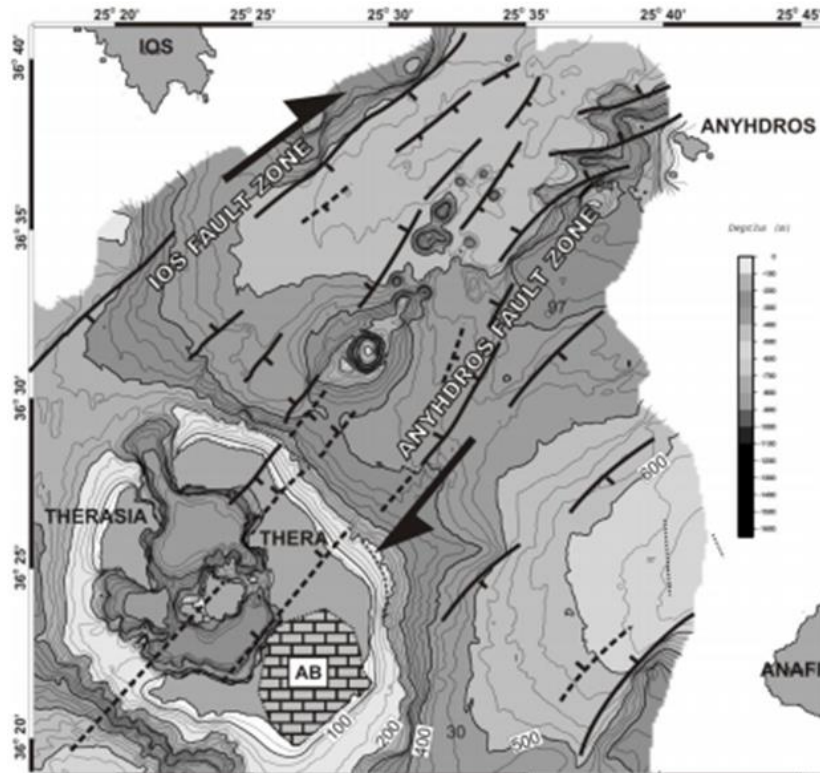
Σύμφωνα με τους Sakellariou et al. (2010), οι οποίοι πραγματοποίησαν γεωλογική έρευνα στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή της Σαντορίνης, οι γραμμές της Καμένης και του Κολούμπο αποτελούν μία ρηξιγενή ζώνη οριζόντιας ολίσθησης, από όπου το μάγμα ανέρχεται σε όλα τα ηφαιστειακά κέντρα του συμπλέγματος.

Τέλος, στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, πέραν της κύριας ρηγμάτωσης με διεύθυνση ΝΔ–ΒΑ, σημειώνονται δύο ακόμα ρηγματώσεις διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, με περιορισμένο αριθμό εμφανίσεων (Εικόνα 2.4, 2.5) (Mountrakis et al., 1996).



Εικόνα 2.4. Τεκτονικός χάρτης του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Σαντορίνης (γραμμή Καμένης και Κολούμπο) (Heiken & McCoy, 1984)

Σημείωση. Στα νοτιοδυτικά βρίσκονται τα Χριστιανά και στα βορειοανατολικά το Κολούμπο



Εικόνα 2.5. Χάρτης των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής του ηφαιστειακού πεδίου Σαντορίνης – Κολούμπο (Sakellariou et al, 2010)

### 2.3. Γεωμορφολογία της Σαντορίνης

Σύμφωνα με την ταξινόμηση του αναγλύφου κατά Dikau (1989), η Σαντορίνη στη μεγαλύτερή της έκταση χαρακτηρίζεται ως πεδινή, με υψόμετρο που δεν υπερβαίνει τα 150 m.

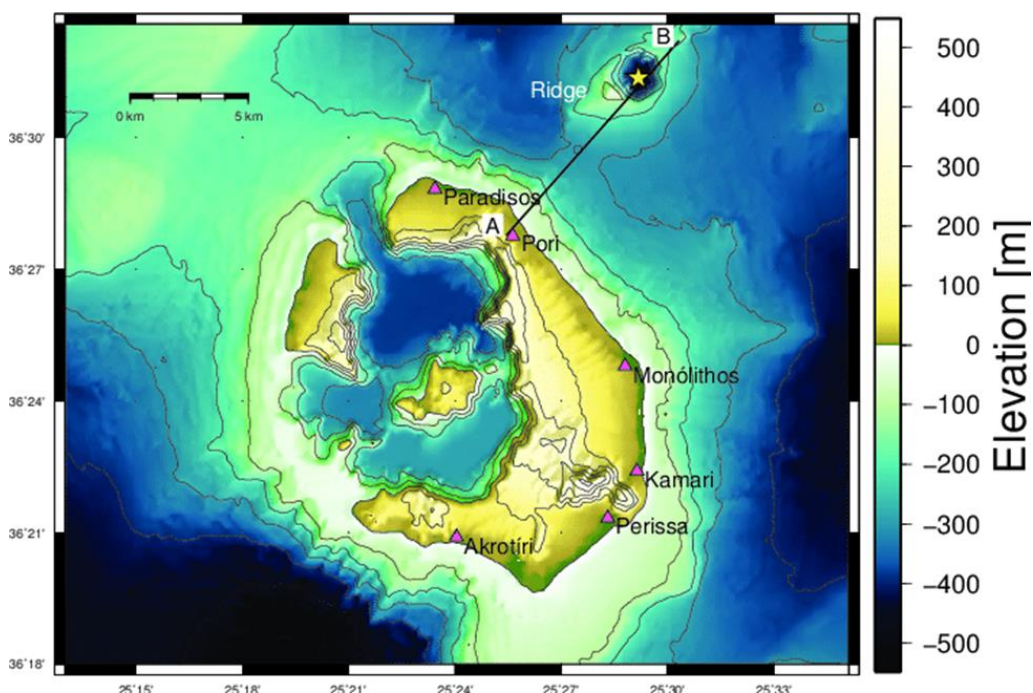
Εξαιρέση αποτελούν το βουνό Προφήτης Ηλίας, όπου βρίσκεται η υψηλότερη κορυφή του νησιού στα 567 m, το Μεγάλο Βουνό στο βόρειο τμήμα της Θήρας και η περιοχή ανατολικά του ακρωτηρίου του Σκάρου, με ύψος περίπου 300 m. Οι περιοχές αυτές, οι οποίες καταλαμβάνουν περίπου το 33% της συνολικής έκτασης της Σαντορίνης, χαρακτηρίζονται ως λοφώδεις, καθώς το υψόμετρό τους κυμαίνεται μεταξύ 150 και 600 m (Πίνακας 2.2, Εικόνα 2.6) (Τσιμπίρη, 2017).

Οι ακτές του νησιού, ιδιαιτέρως στην ανατολική του πλευρά, είναι εξαιρετικά ομαλές, χωρίς έντονο διαμελισμό. Η δυτική του πλευρά, αντίθετα, είναι βραχώδης και απόκρημνη – σε ορισμένα μάλιστα σημεία προσεγγίζει κάθετες τιμές κλίσης. Η καλδέρα φτάνει σε ύψος τα 300 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και σε μέγιστο βάθος θαλάσσιου πυθμένα περίπου τα 390 m.

Τέλος, στη Σαντορίνη απουσιάζουν οι λίμνες, τα ποτάμια και τα ρέματα, ενώ υπάρχουν τρεις κύριες και τέσσερις ιαματικές πηγές (Μιχαήλ, 2017).

Πίνακας 2.2. Ταξινόμηση του αναγλύφου με βάση την υψομετρική διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας κατά Dikau (1989).

Υψόμετρο (σε m)	Χαρακτηρισμός αναγλύφου
< 150	Πεδινό
150-600	Λοφώδες
600-900	Ημιορεινό
> 900	Ορεινό



Εικόνα 2.6. Βαθυμετρία (αρνητικές τιμές) και τοπογραφία (θετικές τιμές) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (Nomíkou et al., 2013)

## 2.4. Γεωλογία της Σαντορίνης

Η Σαντορίνη είναι ένα πολυσύνθετο στρωματοηφαίστειο, του οποίου η καλδέρα σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια πολλών εκρήξεων μεγάλης κλίμακας τα τελευταία 360.000 έτη. Με εξαίρεση ένα μικρό μη ηφαιστειακό υπόβαθρο, στη μεγαλύτερή της έκταση αποτελείται από Πλειοκαινικά έως πρόσφατα ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία συνθέτουν μία πολύχρωμη ακολουθία (Εικόνα 2.7 και 2.8).

### 2.4.1. Μη ηφαιστειακό υπόβαθρο

Οι μη ηφαιστειακές αποθέσεις του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης εντοπίζονται στο νοτιοανατολικό του μέρος, κυρίως στον Προφήτη Ηλία, στο Μέσα Βουνό και στη ράχη του Γαβρήλου (Πλατύναμος), και στον Αθηνιό.

Αποτελούνται από πετρώματα Τριαδικής έως Ηωκαινικής ηλικίας, τα οποία αντιπροσωπεύουν ένα παλιό μη ηφαιστειακό νησί διαστάσεων περίπου 9 x 6 km, παρόμοιο με τα γειτονικά νησιά των Κυκλάδων. Πρόκειται για ασβεστόλιθους, μάρμαρα και μεταπηλίτες, τα οποία, σύμφωνα με τον Μουντράκη (1985), ανήκουν στην Ενότητα των Νότιων Κυκλάδων της Απτικοκυκλαδικής ζώνης και χαρακτηρίζονται από μεταμόρφωση πρσινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης.

Συγκεκριμένα, στον Προφήτη Ηλία, το Μέσα Βουνό και τον Γαβρήλο συναντώνται ασβεστόλιθοι, ενώ στα τοιχώματα της καλδέρας κοντά στον Αθηνιό εμφανίζονται μεταπηλίτες σε έκταση 2 km.

#### **2.4.2. Ηφαιστειακοί σχηματισμοί**

Το ηφαιστειακό πεδίο κατασκευάστηκε πάνω στο προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο, το οποίο προουπήρχε. Οι ηφαιστειακοί σχηματισμοί του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης προέρχονται από αποθέσεις δώδεκα μεγάλων εκρήξεων και πολλών μικρότερων. Η καλδέρα έχει σχηματιστεί και πληρωθεί από ηφαιστειακά υλικά τουλάχιστον τέσσερις φορές, εξαιτίας των επαναλαμβανόμενων κύκλων ηφαιστειότητας στο νησί. Η σωρευτική πυροκλαστική διαδοχή των εκρήξεων χαρακτηρίζεται ως «Πυροκλαστικός Σχηματισμός της Θήρας» (Druitt et al., 1989).

Τα αρχαιότερα ηφαιστειακά πετρώματα ηλικίας 650-550 ka απαρτίζονται από πυριτικές λάβες και τόφφους με αμφιβολίτες και αποτελούν τα πρώιμα κέντρα της Χερσονήσου του Ακρωτηρίου. Συγκεκριμένα πρόκειται για ρυοδακίτες και τόφφους οι οποίοι εντοπίζονται στο Ακρωτήρι, από ανδεσίτες στο βουνό Λουμαραβίου και από δακίτες στο Ακρωτήριο του Μαύρου.

Ακολούθησαν εκρήξεις οι οποίες σχημάτισαν κώνους σκωριών από ανδεσίτες και βασάλτες ηλικίας 450-340 ka που υπέρκεινται των πρώιμων ρυοδακίτικων κέντρων. Συναντώνται στα Ακρωτήρια του Μπάλου, της Κοκκινόπετρας και του Μαυροραχιδίου.

Έχουν καταγραφεί δύο μεγάλοι κύκλοι ηφαιστειακής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια του «Πυροκλαστικού Σχηματισμού της Θήρας».

Ο πρώτος κύκλος (360-180 ka) έχει ως πρώιμα προϊόντα ανδεσιτικές λάβες, οι οποίες εντοπίζονται μεταξύ του λιμανιού των Φηρών και του Ακρωτηρίου Αλάι. Περιλαμβάνει πέντε μεγάλες εκρήξεις: την πρώτη, δεύτερη και τρίτη έκρηξη του Ακρωτηρίου των Θερμών, οι οποίες παρήγαγαν ανδεσιτικό ιγκνιμβρίτη, ρυοδακίτικη κίσηρη και ανδεσιτικές αποθέσεις αντίστοιχα, και την πρώτη και δεύτερη έκρηξη της κατώτερης κίσηρης. Ακολούθησε η πρώτη κατάρρευση της καλδέρας στη νότια πλευρά του λιμανιού των Φηρών.

Ο δεύτερος κύκλος (180-3,6 ka) ξεκίνησε με την κατασκευή του ασπιδόμορφου ηφαιστείου του Σημαντηρίου, όπου αποτέθηκαν ανδεσίτες και βασάλτες πάνω από την κατώτερη κίσηρη του προηγούμενου κύκλου. Ακολούθησε σειρά από εκρήξεις, όπου αποτέθηκαν στρώματα τόφφων (σειρά Μέσου Τόφφου), ενώ σε επόμενες εκρήξεις αποτέθηκαν κίσηρης και κώνοι σκωριών.

Στο εσωτερικό της καλδέρας αναπτύχθηκε το ασπιδόμορφο ηφαίστειο του Σκάρου, από το οποίο αποτέθηκαν δακίτες, ανδεσίτες και βασάλτες. Ακολούθησε νέα μεγάλη ανδεσιτική

έκρηξη του ηφαιστείου του Σκάρου, τα προϊόντα της οποίας ονομάστηκαν Ανώτερη Σκωρία 2, και έκρηξη στο Ακρωτήριο του Ρίβα, όπου αποτέθηκαν δακιτικά και ρυοδακιτικά υλικά. Μετά την τελευταία έκρηξη κατέρρευσε το ασπιδόμορφο ηφαίστειο του Σκάρου (Druitt et al., 1999).

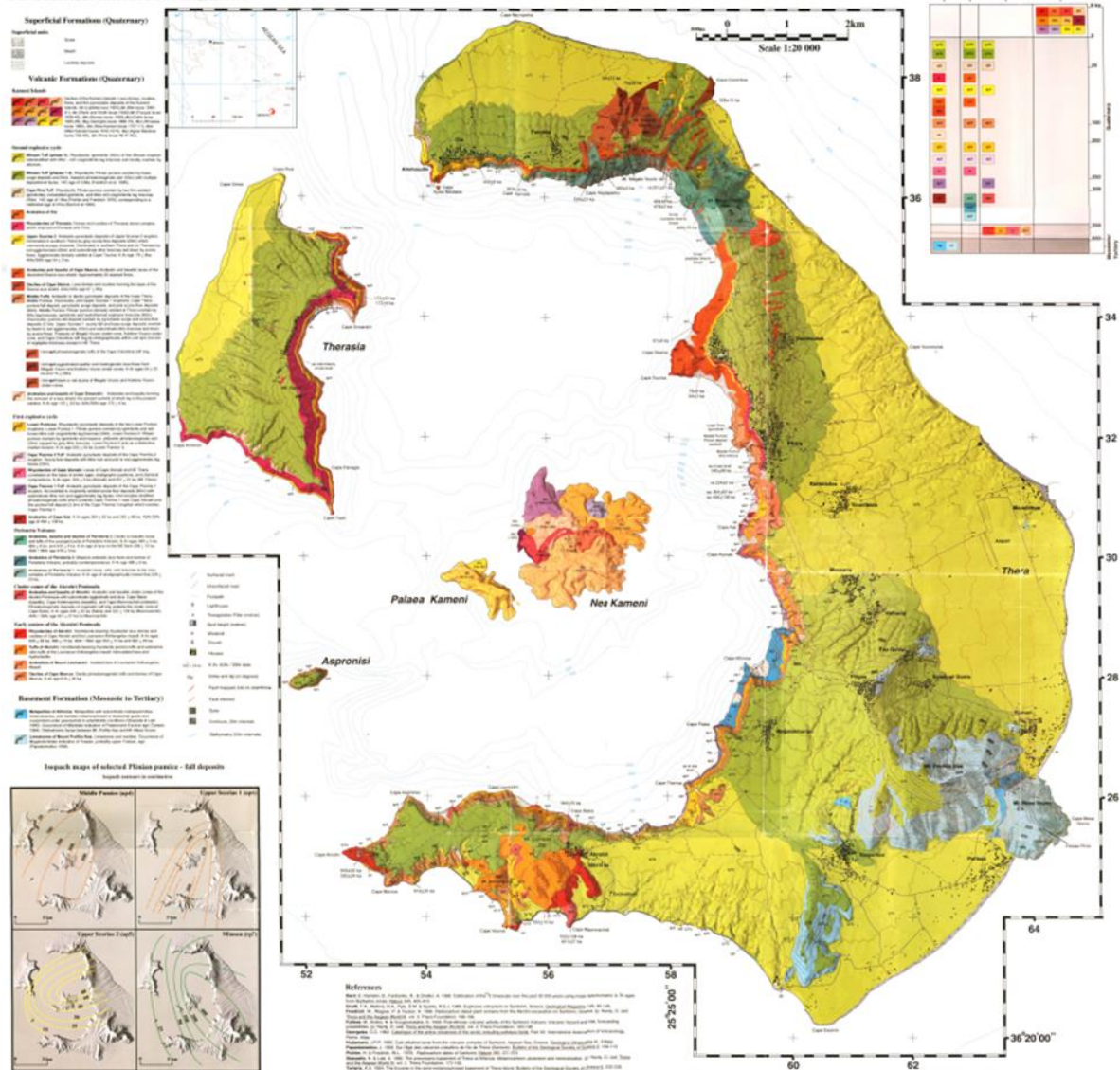
Το 1613 π.Χ., κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού, σημειώθηκε η Μινωική έκρηξη, η οποία είναι η τελευταία μεγάλη πλινιακή έκρηξη του νησιού και μία από τις μεγαλύτερες στην ιστορία της ανθρωπότητας με εκτιμώμενο δείκτη ηφαιστειακής έκρηξης (VEI) 6 (Nomikou, 2017). Αποτέθηκε παχύ κάλυμμα λευκού τόφφου, ο οποίος καλύπτει σχεδόν εξ ολοκλήρου το νησί. Η Μινωική έκρηξη περιελάμβανε τέσσερις φάσεις, με βάση τη χρονική τους εξέλιξη και τα προϊόντα που αποτέθηκαν στην καθεμία. Κατά την πρώτη φάση παρήχθησαν πλίνιοι τόφφοι, κατά τη δεύτερη και τρίτη φρεατομαγματικές πυροκλαστικές ροές και κατά την τέταρτη υποαέριες ροές.

Λόγω της τεράστιας έκρηξης εκκενώθηκαν μεγάλοι όγκοι μάγματος και δημιουργήθηκαν μικρά τσουνάμι από πυροκλαστικές ροές, με αποτέλεσμα την κατάρρευση της μεγάλης καλδέρας, η οποία πληρώθηκε με θαλασσινό νερό. Η Θήρα, η Θηρασία και το Ασπρονήσι αποτελούν υπολείμματα της Μινωικής έκρηξης.

Μεταγενέστερες εκχύσεις λάβας στο κέντρο της καλδέρας δημιούργησαν σταδιακά τα δακιτικά νησιά της Παλαιάς και της Νέας Καμένης. Το τελευταίο παροξυσμικό συμβάν κάλυψε όλο το νησί με κίσσηρη, σκωρίες και τόφφους. Τα τελευταία 500 χρόνια έχουν σημειωθεί οκτώ εκρήξεις, με την τελευταία το 1950 μ.Χ. (Friedrich, 2007, Nomikou et al., 2014, Papachristou et al., 2016, Σολδάτος, n.d.).

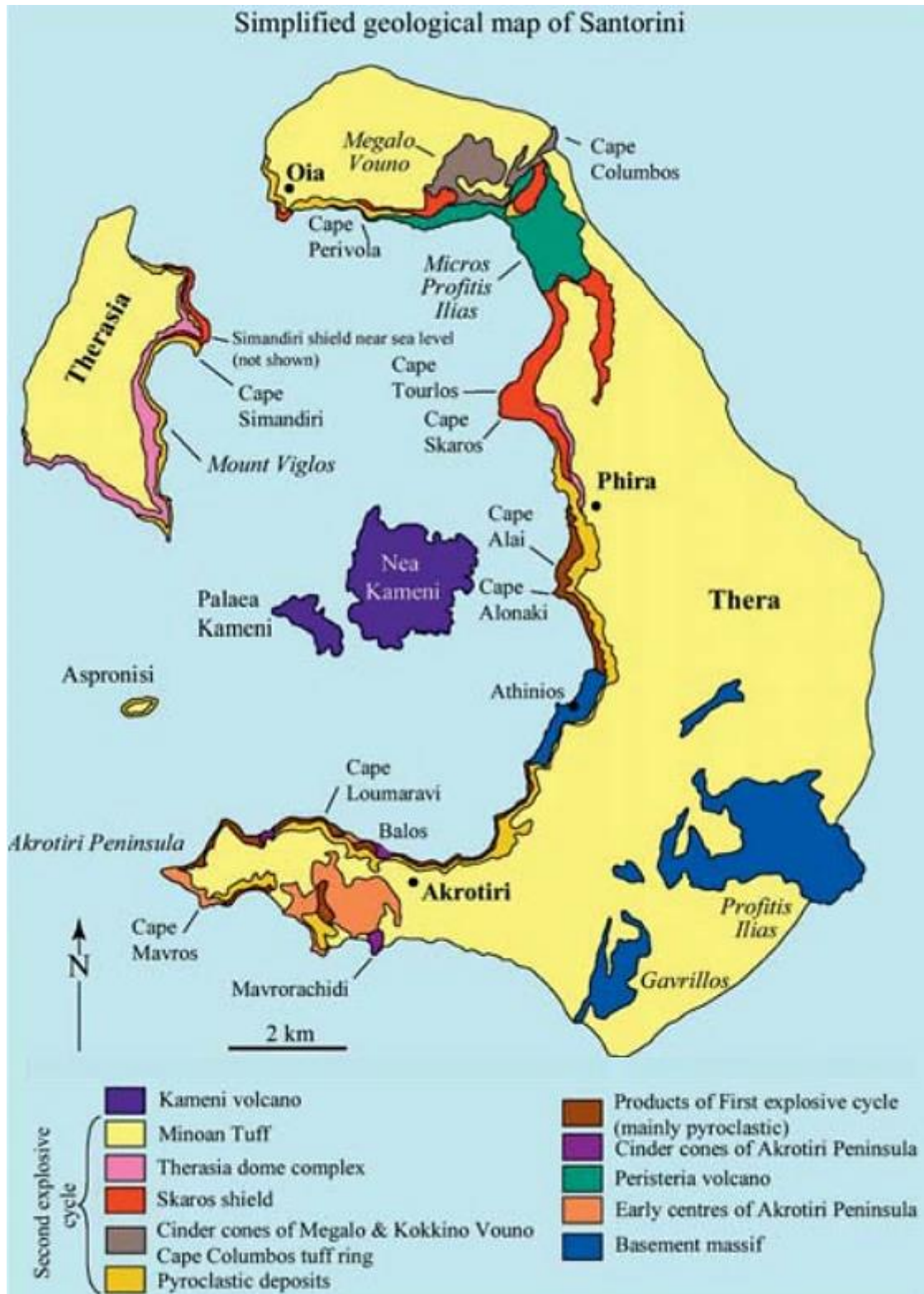
Field work by T.H. Druitt and M.A. Davies 1999-06  
 Digital cartography by M.A. Davies

## GEOLOGICAL MAP OF THE SANTORINI ISLANDS AEGEAN SEA, GREECE



Εικόνα 2.7. Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Druitt et al., 1999)





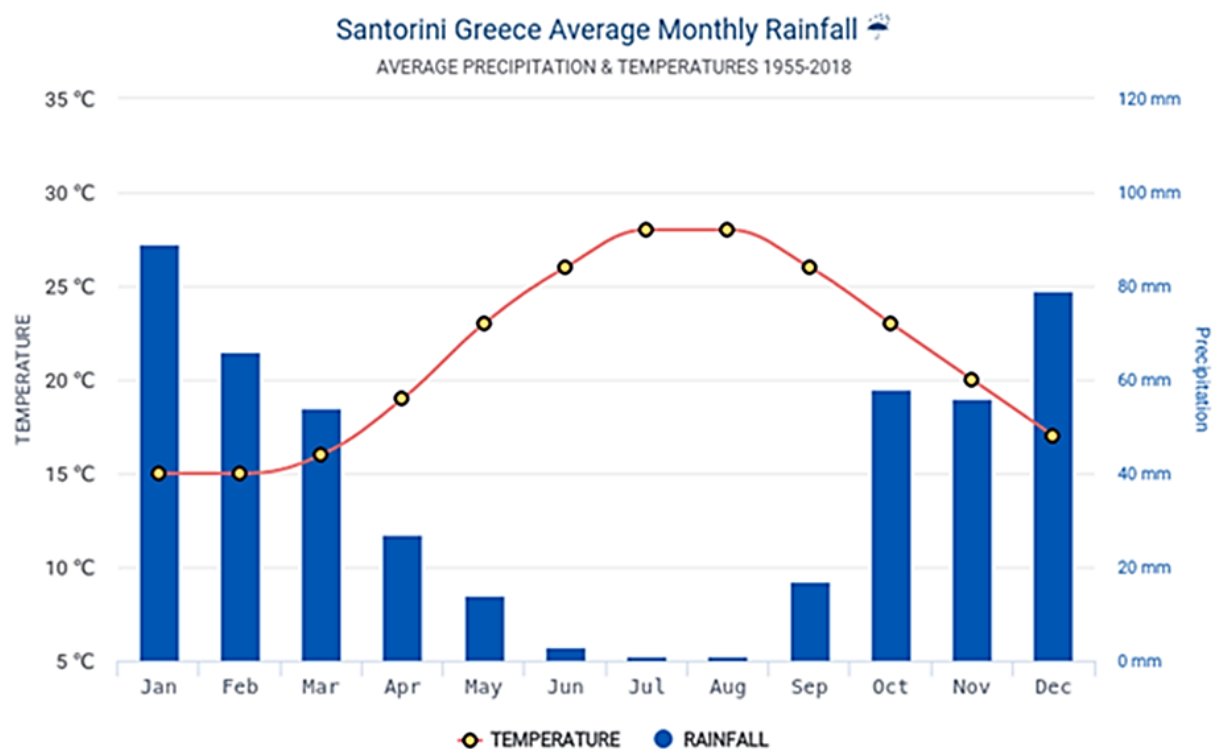
Εικόνα 2.8. Απλουστευμένος γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Druitt et al., 1999)

## 2.5. Κλίμα και βλάστηση της Σαντορίνης

Σύμφωνα με την αναθεωρημένη κλιματική κατάταξη Köppen – Geiger (2007), η οποία βασίζεται στις μέσες ετήσιες και μηνιαίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις και την εποχιακή κατανομή του υετού, το κλίμα της Σαντορίνης χαρακτηρίζεται ως εύκρατο ερημικό (BWh). Μάλιστα μαζί με την Ανάφη αποτελούν τις μοναδικές περιοχές στην Ευρώπη με αυτό το είδος κλίματος (Peel et al., 2007, Wikipedia, n.d.a.).

Πρόκειται, συνεπώς, για έναν ιδιόμορφο τύπο κλίματος, με κύρια χαρακτηριστικά τους ήπιους χειμώνες, με συχνές βροχοπτώσεις και μέση θερμοκρασία περίπου 10-15°C, και τα δροσερά καλοκαίρια λόγω των μελεμιών, με σχεδόν μηδενικές βροχοπτώσεις. Έτσι, ενώ η Σαντορίνη είναι το νοτιότερο νησί των Κυκλάδων, είναι και το ψυχρότερο, εξαιτίας των βορειοανατολικών ανέμων οι οποίοι πνέουν στην περιοχή (Wikipedia, n.d.b.).

Πιο συγκεκριμένα η μέση ετήσια θερμοκρασία του νησιού είναι 21°C και η μέση ετήσια ποσότητα κατακρημνίσεων είναι 465 mm, ενώ έχουν καταγραφεί βροχοπτώσεις περίπου 570 mm σε μερικά ακραία γεγονότα. Ο πιο ψυχρός μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος, με μέση θερμοκρασία 15°C και μέση βροχόπτωση 89 mm, ενώ ο θερμότερος είναι ο Ιούλιος, με μέση θερμοκρασία 28°C, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και 40°C (Εικόνα 2.8, Πίνακας 2.3) (Αντωνίου et al., 2017, Hikers Bay, 2018). Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού της Σαντορίνης (36.402, 25.474), ο οποίος είναι ιδιοκτησία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) και βρίσκεται σε υψόμετρο 40 m (Ε.Μ.Υ., n.d.).



Εικόνα 2.9. Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης για το διάστημα 1955-2018 (Hikers Bay, 2018)

Πίνακας 2.3. Μηνιαία κλιματικά δεδομένα για τη Σαντορίνη για το διάστημα 1955-2018 (Hikers Bay, 2018).

Μήνας	Θερμοκρασία (σε °C)	Βροχόπτωση (σε mm)
Ιανουάριος	15	89
Φεβρουάριος	15	66
Μάρτιος	16	54
Απρίλιος	19	27
Μάιος	23	14
Ιούνιος	26	3
Ιούλιος	28	1
Αύγουστος	28	1
Σεπτέμβριος	26	17
Οκτώβριος	23	58
Νοέμβριος	20	56
Δεκέμβριος	17	79

Όσον αφορά στη βλάστηση, το έδαφος της Σαντορίνης είναι γόνιμο εξαιτίας της ηφαιστειακής του προέλευσης. Εξάιρεση αποτελεί το νοτιοανατολικό ασβεστολιθικό τμήμα του νησιού, το οποίο είναι πετρώδες με πολύ φτωχή βλάστηση.

Κύριο πρόβλημα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών αποτελεί η ανυδρία λόγω της έλλειψης του εδαφικού ύδατος και των ελάχιστων κατακρημνίσεων, η οποία όμως αναπληρώνεται από την ατμοσφαιρική υγρασία η οποία συγκρατείται από το πορώδες έδαφος. Οι αρδευτικές ανάγκες του νησιού καλύπτονται από γεωτρήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται στο υπέδαφός του.

Οι βασικές καλλιέργειες είναι τα αμπέλια, τα δημητριακά, με κύριο το κριθάρι, η φάβα και η τομάτα (Μιχαήλ, 2017).

## 2.6. Χρήσεις γης

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό σύστημα κατανομής χρήσεων γης CORINE 2018, το οποίο βασίζεται στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων τηλεπισκόπησης, στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης συναντώνται 13 τύποι κάλυψης γης. Πρόκειται για τεχνητές επιφάνειες, γεωργικές περιοχές και δάση και ημι-φυσικές περιοχές (ΕΕΑ, 2018).

Στον Πίνακα 2.4 και αντίστοιχα στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζονται οι συνολικές εκτάσεις των χρήσεων γης καθώς και το ποσοστό τους επί της συνολικής έκτασης του νησιού, όπως

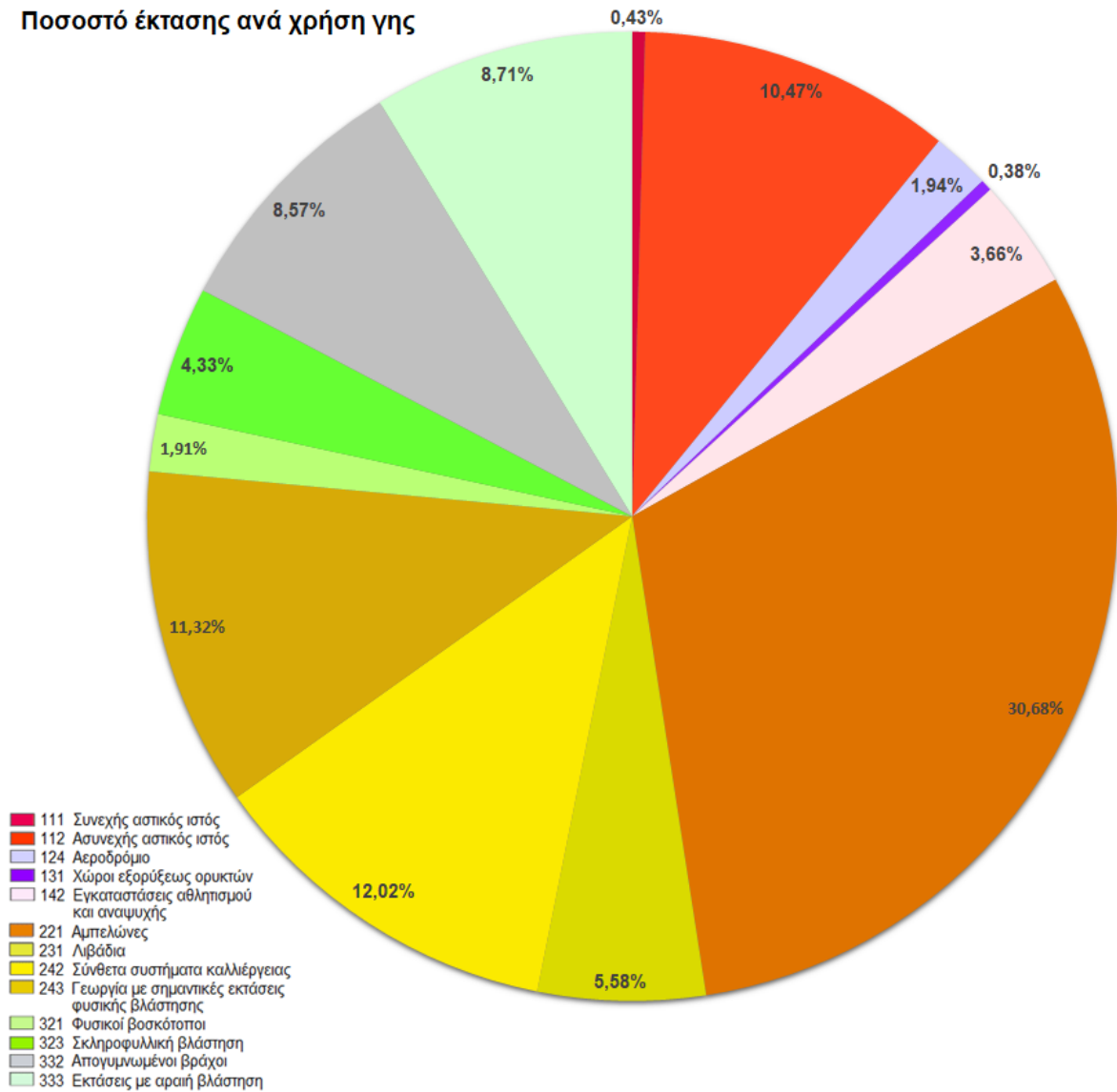
προέκυψαν ύστερα από στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Pro της εταιρείας Esri (<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>).

Στην Εικόνα 2.10 απεικονίζεται ο χάρτης με τις χρήσεις γης του νησιωτικού συμπλέγματος (CORINE, 2018).

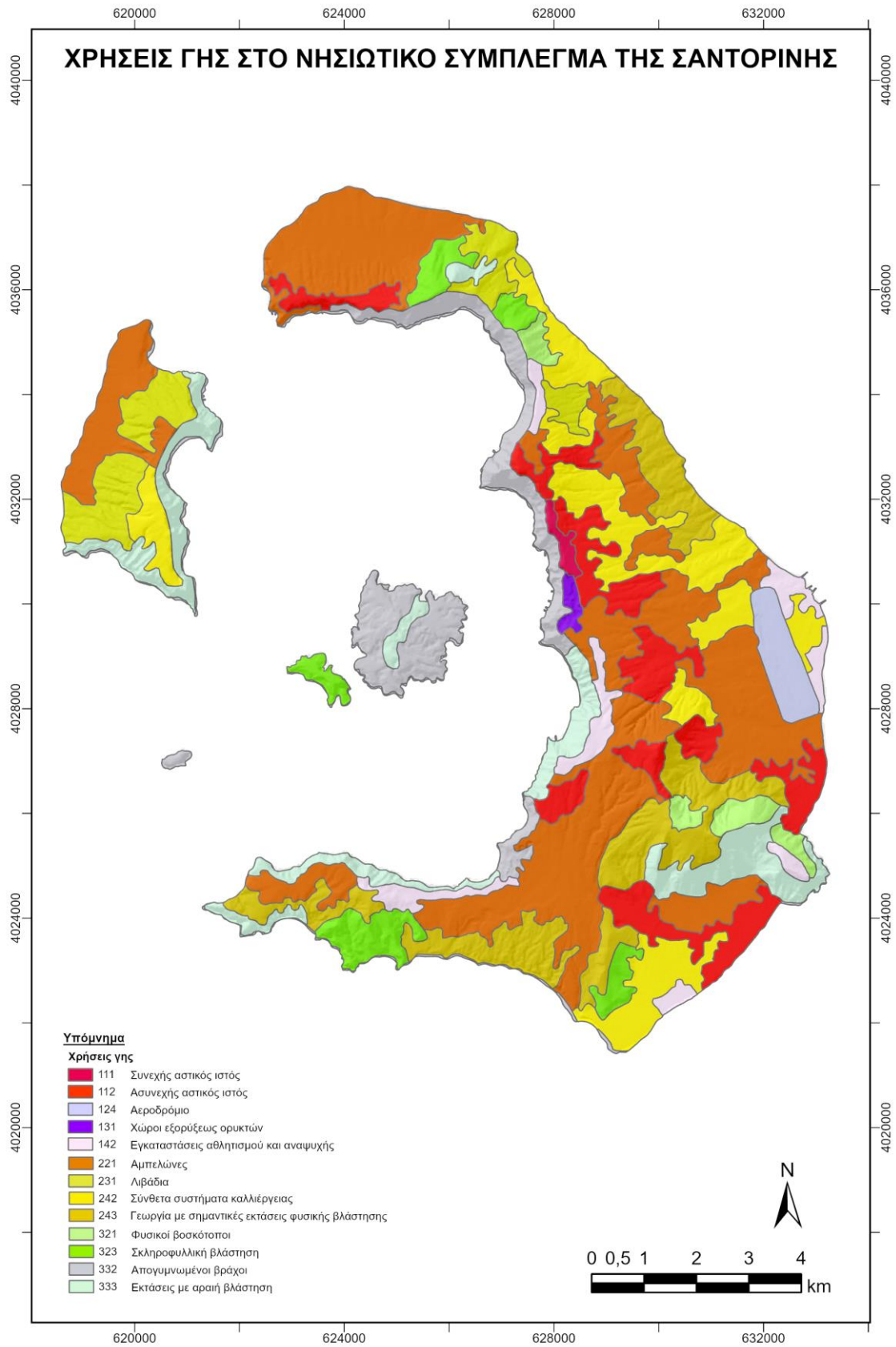
Πίνακας 2.4. Χρήσεις γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, συνολική τους έκταση (σε km<sup>2</sup>) και ποσοστό επί της συνολικής έκτασης, όπως προέκυψαν έπειτα από στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Pro.

Κωδικός CORINE	Χρήση γης	Έκταση (σε km <sup>2</sup> )	Ποσοστό έκτασης (%)
111	Συνεχής αστικός ιστός	0,38	0,43
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	9,33	10,47
124	Αεροδρόμιο	1,73	1,94
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0,34	0,38
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	3,26	3,66
221	Αμπελώνες	27,33	30,68
231	Λιβάδια	4,97	5,58
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	10,71	12,02
243	Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	10,08	11,32
321	Φυσικοί βοσκότοποι	1,69	1,91
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	3,86	4,33
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	7,63	8,57
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	7,76	8,71

Ποσοστό έκτασης ανά χρήση γης



Εικόνα 2.10. Ποσοστά κάλυψης ανά χρήση γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, όπως προέκυψε έπειτα από στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Pro.



Εικόνα 2.11. Χρήσεις γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (CORINE, 2018)

### 2.6.1. Τεχνητές επιφάνειες

Κυριαρχεί ο **αστικός ιστός**, ο οποίος καλύπτει περίπου το 11% του νησιωτικού συμπλέγματος, και διακρίνεται σε **συνεχή** (κωδικός CORINE 111) και **ασυνεχή** (κωδικός CORINE 112). Το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της γης καλύπτεται από κτίσματα και το δίκτυο μεταφορών (κτίρια, δρόμοι, τεχνητές επιφάνειες). Όταν πρόκειται για την ασυνεχή αστική δόμηση, συναντώνται επιπλέον ζώνες βλάστησης και γυμνού εδάφους, οι οποίες καλύπτουν ασυνεχείς, αλλά εκτενείς επιφάνειες.

Οι κύριες υποδομές της Σαντορίνης αφορούν σε: εγκαταστάσεις τοπικής αυτοδιοίκησης (Δημαρχείο, ΚΕΠ, κ.ά.), εγκαταστάσεις σωμάτων ασφαλείας (αστυνομικά τμήματα, πυροσβεστικοί σταθμοί, λιμενικό σώμα), εγκαταστάσεις υγείας (Γενικό Νοσοκομείο Σαντορίνης, ιατρεία), εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνίας (κεραίες και δίκτυο), εγκαταστάσεις ύδρευσης και αποχέτευσης, χώρους εκπαίδευσης (σχολεία, παιδικοί σταθμοί, φροντιστήρια, κ.ά.), χώρους εμπορίου και εστίασης, εγκαταστάσεις εμπορίας και μεταφοράς καυσίμων (βενζινάδικα, κ.ά.), βιοτεχνικές εγκαταστάσεις, χώροι διάθεσης απορριμμάτων και οδικό δίκτυο.

Όσον αφορά στις βιομηχανικές – εμπορικές ζώνες και τα δίκτυα μεταφορών, στη Σαντορίνη υπάρχει το **αεροδρόμιο** (κωδικός CORINE 124), το οποίο συμπεριλαμβάνει όλες του τις εγκαταστάσεις (διάδρομοι, κτίρια και τα συνδεδεμένα με αυτά εδάφη).

Επιπλέον συναντώνται **χώροι εξορύξεως ορυκτών** (κωδικός CORINE 131). Τα ορυχεία της Σαντορίνης παράγουν θηραϊκή γη, η οποία αποτελεί σπουδαίο οικοδομικό υλικό, και κίσηρη (Wikipedia, n.d.b.).

Τέλος, ως προς τις τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πράσινου, συναντώνται **εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής** (κωδικός CORINE 142), οι οποίες αναφέρονται σε χώρους κατασκήνωσης, αθλητικές εγκαταστάσεις, πάρκα ψυχαγωγίας, γήπεδα, πίστες αγώνων, κ.ά. Περιλαμβάνονται επίσης διαρρυθμισμένοι χώροι πράσινου, οι οποίοι δεν περικλείονται από αστικές ζώνες.

### 2.6.2. Γεωργικές περιοχές

Στη Σαντορίνη οι γεωργικές περιοχές καλύπτουν περίπου το 60% της συνολικής της έκτασης. Συγκεκριμένα συναντώνται **αμπελώνες** (κωδικός CORINE 221), οι οποίοι αποτελούν μόνιμες καλλιέργειες και παρέχουν επαναλαμβανόμενη συγκομιδή, καταλαμβάνοντας μεγάλη έκταση του νησιού (περίπου 31%).

Τα **λιβάδια** (κωδικός CORINE 231), στα οποία κυριαρχούν τα αγροστώδη φυτά, χρησιμοποιούνται κυρίως για βοσκή ή γίνεται μηχανική συγκομιδή της ζωτροφής.

Τέλος, ως προς τις ετερογενείς γεωργικές περιοχές, συναντώνται **σύνθετα συστήματα καλλιέργειας** (κωδικός CORINE 242), τα οποία αποτελούν μωσαϊκό από μικρά αγροτεμάχια με διάφορες ετήσιες καλλιέργειες, λιβάδια και / ή μόνιμες καλλιέργειες, και περιοχές με **γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης** (κωδικός CORINE 243).

### 2.6.3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές

Στη Σαντορίνη συναντώνται συνδυασμοί θαμνώδους ή / και ποώδους βλάστησης, οι οποίοι καλύπτουν περίπου το 24% της συνολικής της έκτασης.

Πρόκειται για **φυσικούς βοσκότοπους** (κωδικός CORINE 321) χαμηλής παραγωγικότητας, οι οποίοι βρίσκονται σε περιοχές με ανώμαλο, ανισόπεδο έδαφος και συχνά περιλαμβάνουν βραχώδεις περιοχές, φρύγανα και χερσότοπους.

Επιπλέον περιλαμβάνουν τη θαμνώδη **σκληροφυλλική βλάστηση** (κωδικός CORINE 323), η οποία είναι χαρακτηριστικός τύπος της μεσογειακής βλάστησης και περιλαμβάνει τη μακκία, με κύρια είδη το πουρνάρι, το σχίνος, την κουμαριά, την αγριελιά, τη δάφνη, τη μυρτιά, κ.ά., και τα φρύγανα, με κύρια είδη το θυμάρι, την ασφάκα, τη λαδανιά, κ.ά.

Τέλος, υπάρχουν ανοιχτοί χώροι με λίγη ή και καθόλου βλάστηση, και συγκεκριμένα **απογυμνωμένοι βράχοι** (κωδικός CORINE 332) και **εκτάσεις με αραιή βλάστηση** (κωδικός CORINE 333).



## Κεφάλαιο 3.

### Υπολογισμός των παραγόντων του μοντέλου RUSLE στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, το μοντέλο RUSLE είναι ένα εμπειρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μεγέθους της αναμενόμενης απώλειας εδάφους, η οποία προέρχεται από την επιφανειακή (sheet) και την αυλακωτή (rill) διάβρωση.

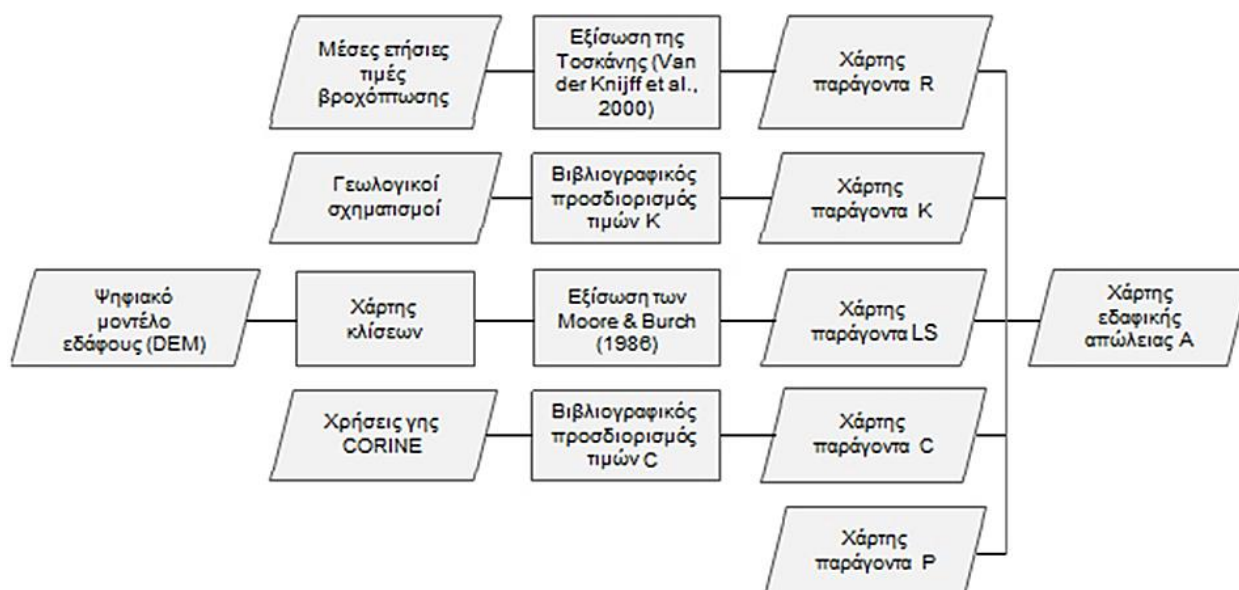
Βασίζεται στον υπολογισμό πέντε παραγόντων, οι οποίοι καθορίζουν το ρυθμό διάβρωσης. Πρόκειται για τον παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (R), τον παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (K), τον παράγοντα αναγλύφου (LS), τον παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) και τον παράγοντα συμπληρωματικών έργων ελέγχου διάβρωσης (P).

Το τελικό αποτέλεσμα της μέσης εδαφικής απώλειας προκύπτει έπειτα από τον πολλαπλασιασμό των παραπάνω παραγόντων μεταξύ τους.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια αξιολόγησης της εδαφικής διάβρωσης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τη χρήση του μοντέλου RUSLE, το οποίο, ενώ εφαρμόζεται σε λεκάνες απορροής, συμβατικά το εφαρμόζουμε σε όλη την έκταση του νησιού. Για την εφαρμογή του μοντέλου και τον υπολογισμό των επιμέρους παραγόντων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS Pro v.2.5.0 (Desktop) της εταιρείας Esri, για τη διαχείριση και ανάλυση των χωρικών δεδομένων (spatial data).

Για κάθε παράγοντα και για το τελικό αποτέλεσμα δημιουργήθηκαν επίπεδα πληροφορίας σε ψηφιδωτή (raster) μορφή καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν τη χωρική κατανομή του καθενός.

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής το οποίο ακολουθήθηκε για την εφαρμογή του μοντέλου RUSLE στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.1. Διάγραμμα ροής της εφαρμογής του μοντέλου RUSLE με το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS Pro.

### 3.1. Υπολογισμός του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (R)

Για τον υπολογισμό του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (R), εξαιτίας της απουσίας συνεχόμενων βροχομετρικών δεδομένων έντασης διάρκειας 30 λεπτών στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, καταφύγαμε σε απλές βιβλιογραφικές σχέσεις γραμμικής παλινδρόμησης, οι οποίες συνδέουν τον παράγοντα R με τη μέση ετήσια βροχόπτωση.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση της Τοσκάνης (Van der Knijff et al., 2000), η οποία αναπτύχθηκε στην κεντρική Ιταλία και εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία στις μεσογειακές και κυρίως τις ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες (Efthimiou et al., 2014, Λυκούδη & Ζαρρής, 2002).

Η εξίσωση εκφράζεται ως:

$$R = a \cdot P \quad [3.1]$$

όπου

R: η μέση τιμή του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (σε  $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{hour}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ),

a: ο συντελεστής αναλογίας, ο οποίος ισούται με  $1,3 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{hour}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ , και

P: η μέση ετήσια βροχόπτωση (σε mm).

Η τιμή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης P προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού της Σαντορίνης για το χρονικό διάστημα 1931-2002 (διάστημα 71 ετών). Σύμφωνα με τους Antoniou et al. (2017), οι πληροφορίες της βροχόπτωσης

βαθμονομήθηκαν με το υψόμετρο, διαιρώντας το νησιωτικό σύμπλεγμα σε ζώνες ανά 200 μέτρα υψόμετρου με βάση το ύψος της βροχόπτωσης (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1. Βαθμονόμηση του ύψους βροχόπτωσης με το υψόμετρο στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (Antonioni et al., 2017).

Υψόμετρο (σε m)	Ύψος βροχόπτωσης (σε mm)
0-200	170,6
201-400	370,6
401-600	570,6

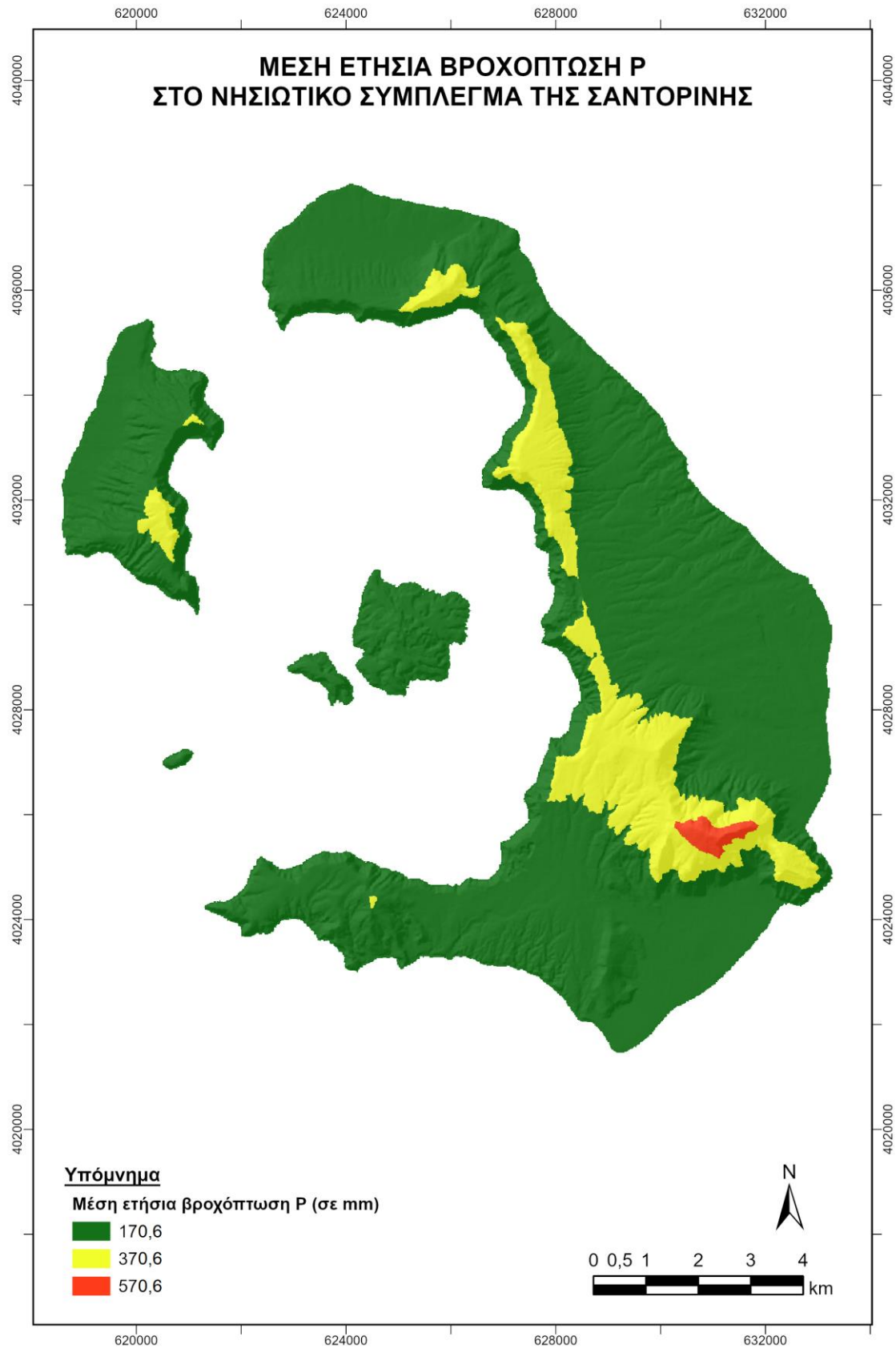
Η μέση ετήσια βροχόπτωση  $P$  εισήχθη ως ψηφιδωτό (raster) επίπεδο πληροφορίας στο περιβάλλον του ArcGIS Pro (Εικόνα 3.2).

Τέλος, εφαρμόστηκε η εξίσωση των Van der Knijff et al. (2000), η οποία εισήχθη στο εργαλείο “Raster Calculator” (Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator) ως εξής:

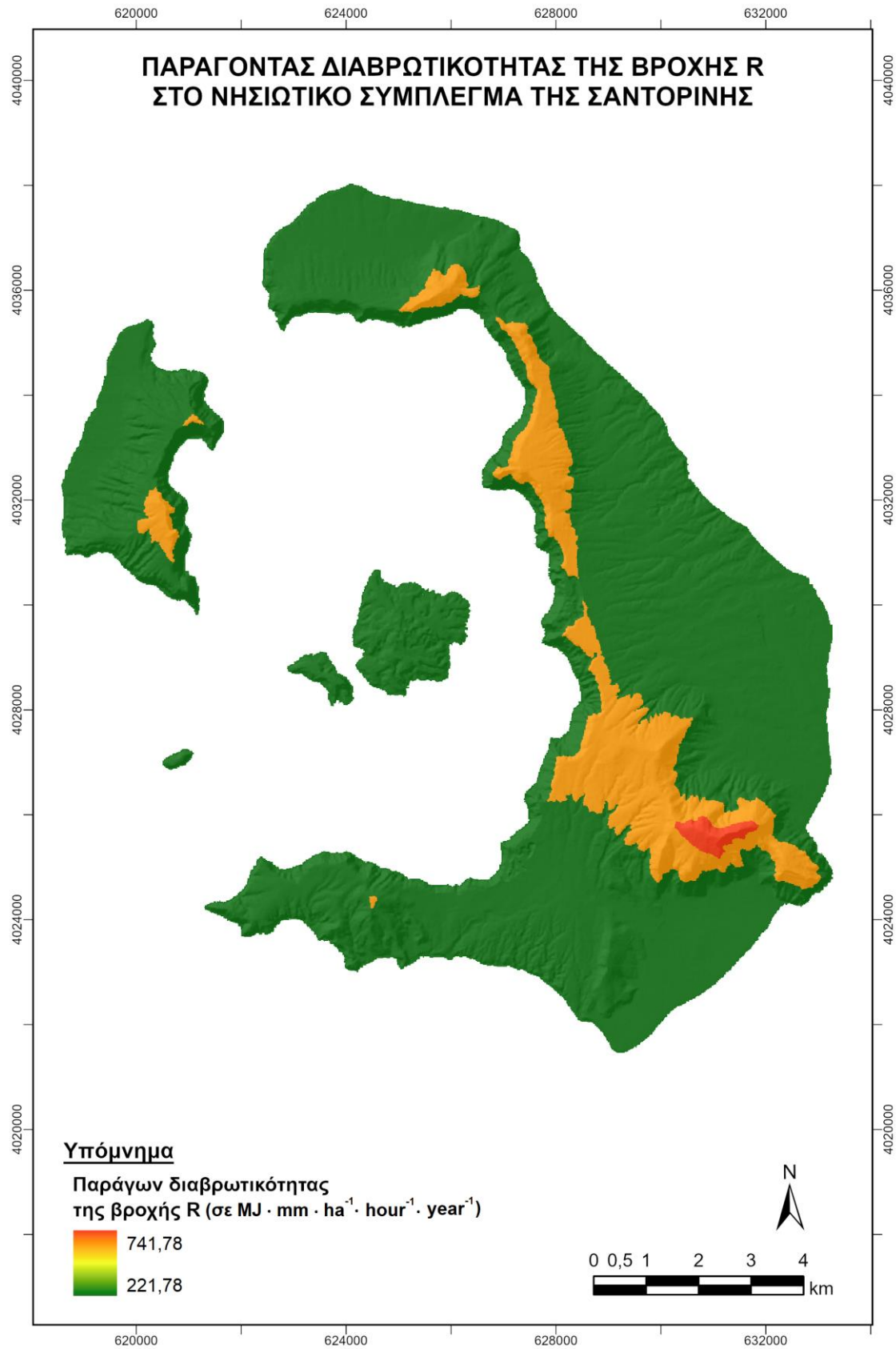
$$R = 1,3 * \text{Μέση ετήσια βροχόπτωση } P \quad [3.2]$$

Έτσι προέκυψε ο χάρτης κατανομής του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής  $R$  στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 221,78 έως 741,78  $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{hour}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  (Εικόνα 3.3).

Παρατηρούμε ότι οι περιοχές υψηλού κινδύνου βρίσκονται κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θήρας στην περιοχή του Προφήτη Ηλία. Μεσαίες τιμές συναντώνται στις δυτικές και βορειοδυτικές ακτές της Θήρας (Μεγάλο Βουνό) και στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θηρασίας. Πρόκειται για τις περιοχές με τα μεγαλύτερα υψόμετρα στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, καθώς σε αυτά σημειώνονται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής και, κατά συνέπεια, η μεγαλύτερη μέση ετήσια βροχόπτωση. Επομένως, σε αυτές τις περιοχές ο παράγων  $R$  λαμβάνει τις υψηλότερες τιμές του.



Εικόνα 3.2. Χάρτης της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης Ρ στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro



Εικόνα 3.3. Χάρτης της κατανομής του παράγοντα διαβρωτικότητας της βροχής (R) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro

### 3.2. Υπολογισμός του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (K)

Για τον υπολογισμό του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (K) χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης των Druitt et al. (1999), ο οποίος προστέθηκε ως διανυσματικό (vector) επίπεδο πληροφορίας στο ArcGIS Pro (Εικόνα 3.4).

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί οι οποίοι εμφανίζονται στο χάρτη είναι οι εξής (Τσιμπίρη, 2017):

- **Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα:** Πρόκειται για ανθρακικούς σχηματισμούς, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές διαπερατότητας, διηθητικότητας και συνεκτικότητας και από την ύπαρξη πολλών ασυνεχειών και εγκοίλων στο εσωτερικό τους.
- **Κίσσηρις:** Πρόκειται για ηφαιστειακό σχηματισμό με όξινη σύσταση και μεγάλο πορώδες. Χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές διαπερατότητας και διηθητικότητας και από χαμηλή συνεκτικότητα.
- **Κώνιοι κορημάτων:** Πρόκειται για χαλαρούς σχηματισμούς με μεγάλο πορώδες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μέση διαπερατότητα και χαμηλή συνεκτικότητα.
- **Λάβες:** Πρόκειται για σκληρούς και δύσκαμπτους ηφαιστειακούς σχηματισμούς, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές διαπερατότητας και διηθητικότητας και υψηλή συνεκτικότητα.
- **Μεταπηλίτες:** Πρόκειται για μεταμορφωμένους ιζηματογενείς σχηματισμούς, κυρίως για σχιστόλιθους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές διηθητικότητας και συνεκτικότητας και από χαμηλή διαπερατότητα.
- **Σκωρίες:** Πρόκειται για σχηματισμούς από βασαλτική κυρίως τέφρα, η οποία εκτοξεύτηκε από το ηφαίστειο. Χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές διαπερατότητας και διηθητικότητας και από χαμηλή συνεκτικότητα.
- **Τόφφοι:** Πρόκειται για πυροκλαστικούς σχηματισμούς με μικρό ειδικό βάρος και μαλακή σύσταση. Χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές διαπερατότητας και διηθητικότητας.

Εξαιτίας της απουσίας διαθέσιμων δεδομένων για τη μηχανική σύσταση των εδαφών στη Σαντορίνη, σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό αντιστοιχίστηκε μία προσεγγιστική τιμή για τον παράγοντα K. Η τιμή αυτή προέκυψε από επεξεργασία βιβλιογραφικών δεδομένων από προγενέστερες εφαρμογές του μοντέλου RUSLE, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Οι τιμές K οι οποίες επιλέχθηκαν για την εφαρμογή του μοντέλου στην παρούσα εργασία συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.2 (Βαρβαρήγος, 2011, Βαχαβιώλος, 2014, Grauso et al., 2015, Μπαθρέλλος και συν., 2010, Ξανθάκης και συν., 2010, Rozos et al., 2013, Σπύρου, 2017).

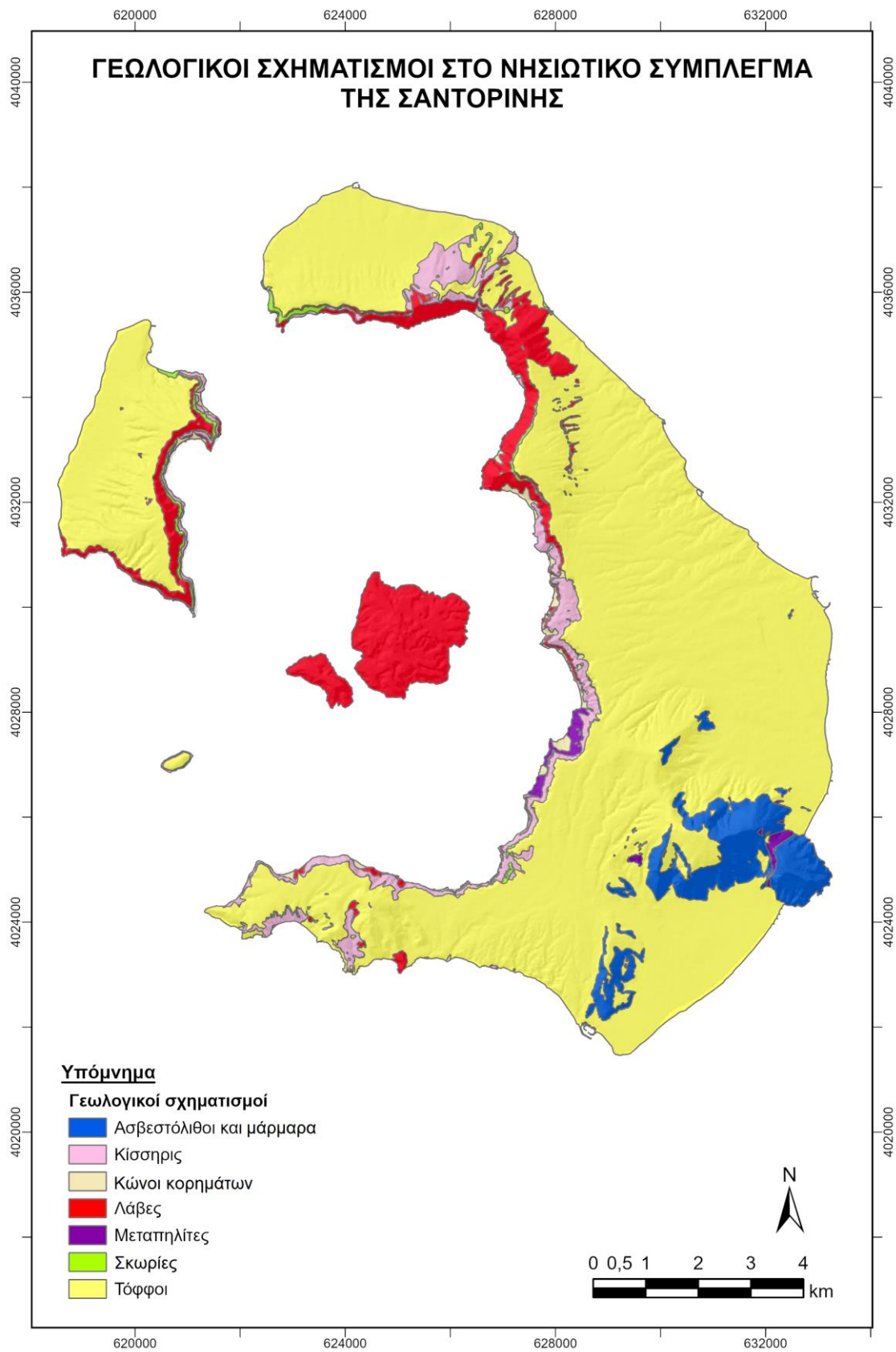
Πίνακας 3.2. Γεωλογικοί σχηματισμοί στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τις αντίστοιχες τιμές του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους K (Βαρβαρήγος, 2011, Βαχαβιώλος, 2014, Grauso et al., 2015, Μπαθρέλλος και συν., 2010, Ξανθάκης και συν., 2010, Rozos et al., 2013, Σπύρου, 2017).

Γεωλογικός σχηματισμός	Παράγων K (σε $tn \cdot hour \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ )
Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα	0,0048
Κίσσηρις	0,036
Κώνιοι κορημάτων	0,43
Λάβες	0,03
Μεταπηλίτες	0,009
Σκωρίες	0,036
Τόφφοι	0,028

Έπειτα επεξεργάστηκε ο πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών (Attribute Table) του επιπέδου πληροφορίας των γεωλογικών σχηματισμών του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης, προσθέτοντας νέο πεδίο (Add Field) με τις τιμές του παράγοντα K (από τον Πίνακα 3.2). Τέλος, έγινε επαναταξινόμηση του γεωλογικού χάρτη, ώστε να προβληθούν τα δεδομένα ως προς το νέο αυτό πεδίο.

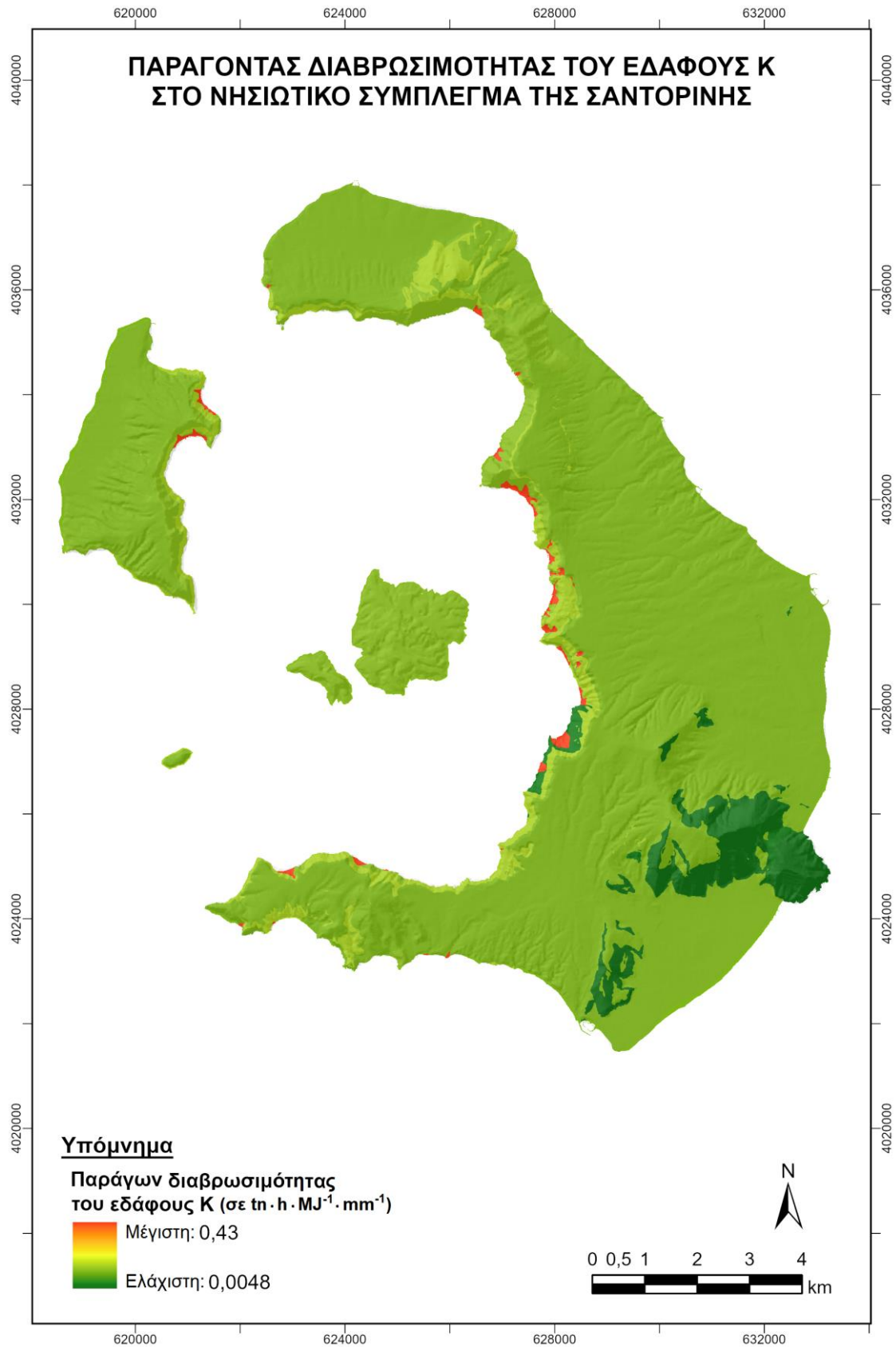
Έτσι προέκυψε ο χάρτης κατανομής του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους K στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0,0048 έως 0,43  $tn \cdot hour \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$  (Εικόνα 3.5).

Παρατηρούμε ότι στη μεγαλύτερη έκταση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης σημειώνονται μικρές τιμές του παράγοντα K. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου βρίσκονται κυρίως στις δυτικές ακτές της Θήρας στα τμήματα της καλδέρας, όπως στην περιοχή του Αθηνιού, όπου σημειώνονται και εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα (Αντωνίου et al., 2017), και στις βορειοανατολικές ακτές της Θηρασίας. Πρόκειται για περιοχές στις οποίες το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από κώνους κορημάτων, στους οποίους η καταλληλότητα του εδάφους κρίνεται ως μη συνεκτική. Αντίθετα, οι μικρότερες τιμές συναντώνται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θήρας στην περιοχή του Προφήτη Ηλία και ανατολικά του Αθηνιού, όπου το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα και η καταλληλότητα του εδάφους κρίνεται ως συνεκτική (ημιβράχος ή βράχος).



Εικόνα 3.4. Γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης (Druitt et al., 1999)





Εικόνα 3.5. Χάρτης της κατανομής του παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (Κ) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro

### 3.3. Υπολογισμός του τοπογραφικού παράγοντα (LS)

Για τον υπολογισμό του τοπογραφικού παράγοντα (LS) χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης, με μέγεθος κελιού (cell size) 15 m του δορυφόρου Terra / Aster, το οποίο προστέθηκε ως ψηφιδωτό (raster) επίπεδο πληροφορίας στο ArcGIS Pro (Εικόνα 3.6).

Έπειτα χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο "Fill Sinks" (Spatial Analyst Tools → Hydrology → Fill), ώστε να γεμίσουν όλα τα κενά του εδαφικού αναγλύφου (απομάκρυνση των τοπικών κοιλοτήτων από το DEM), αντικαθιστώντας τα με επίπεδες περιοχές.

Η διεύθυνση της ροής του επιφανειακού νερού στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης υπολογίστηκε μέσω του εργαλείου "Flow Direction" (Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Direction) (Εικόνα 3.7).

Η συγκέντρωση της ροής, η οποία λαμβάνει υπόψη τη διεύθυνση της ροής (Flow Direction), υπολογίστηκε από το εργαλείο "Flow Accumulation" (Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Accumulation). Περιοχές με υψηλές τιμές συγκέντρωσης αντιστοιχούν συνήθως σε χείμαρρους ή ποτάμια, ενώ περιοχές μηδενικής συγκέντρωσης ροής αντιστοιχούν συνήθως σε κορυφές (Εικόνα 3.8).

Από το DEM της περιοχής υπολογίστηκαν οι μορφολογικές κλίσεις του εδάφους σε μοίρες, μέσω του εργαλείου "Slope" (Spatial Analyst Tools → Surface → Slope) (Εικόνα 3.9).

Τέλος, εφαρμόστηκε η εξίσωση των Moore & Burch (1986), η οποία εισήχθη στο εργαλείο "Raster Calculator" (Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator) ως εξής:

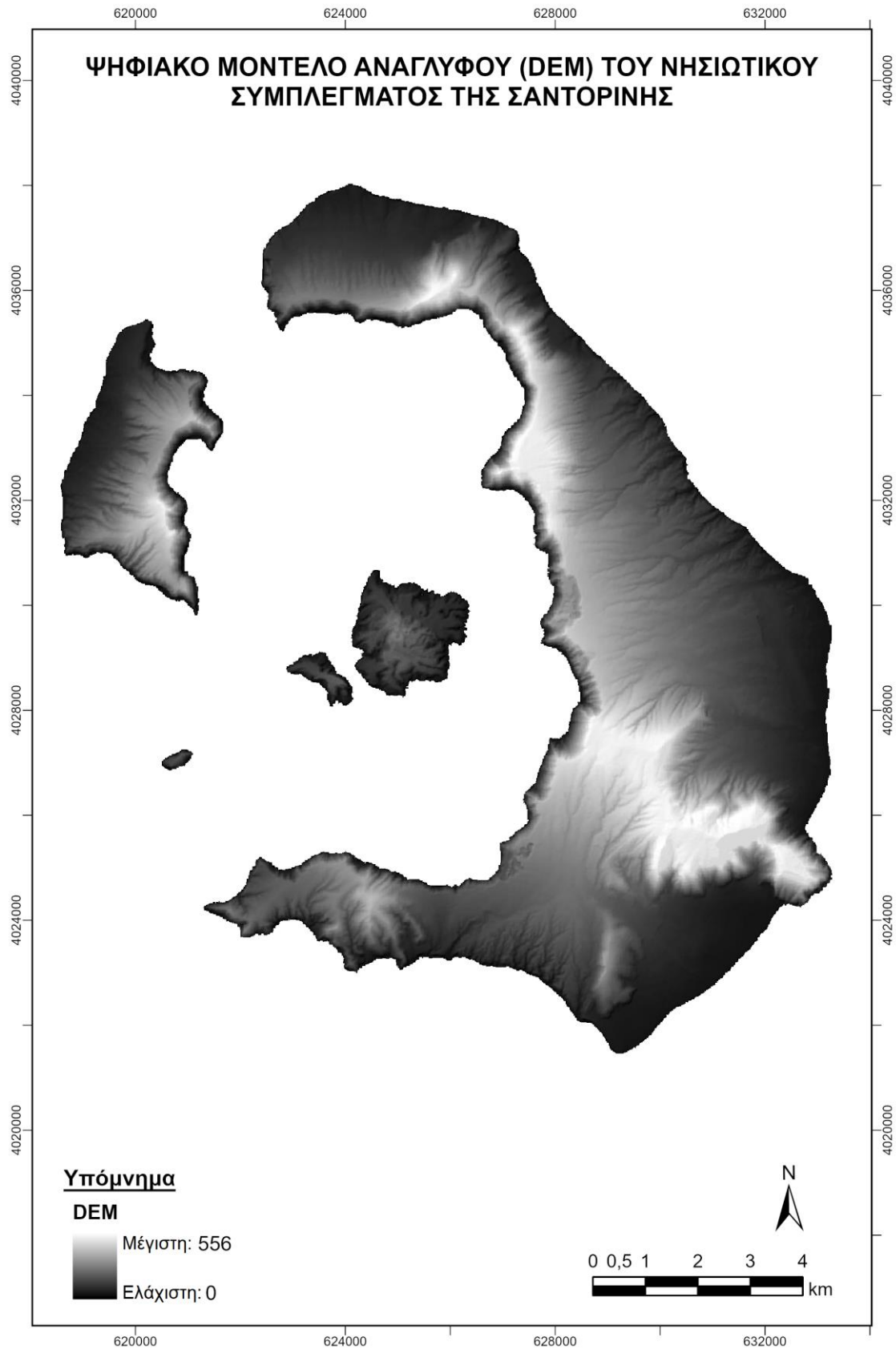
$$Power (Sin ("Slope" * 0.01745) / 0.0896 , 1.3) * 1.3 \quad [3.3]$$

*Power* ("Flow Accumulation" \* 15 / 22.13 , 0.4) \*

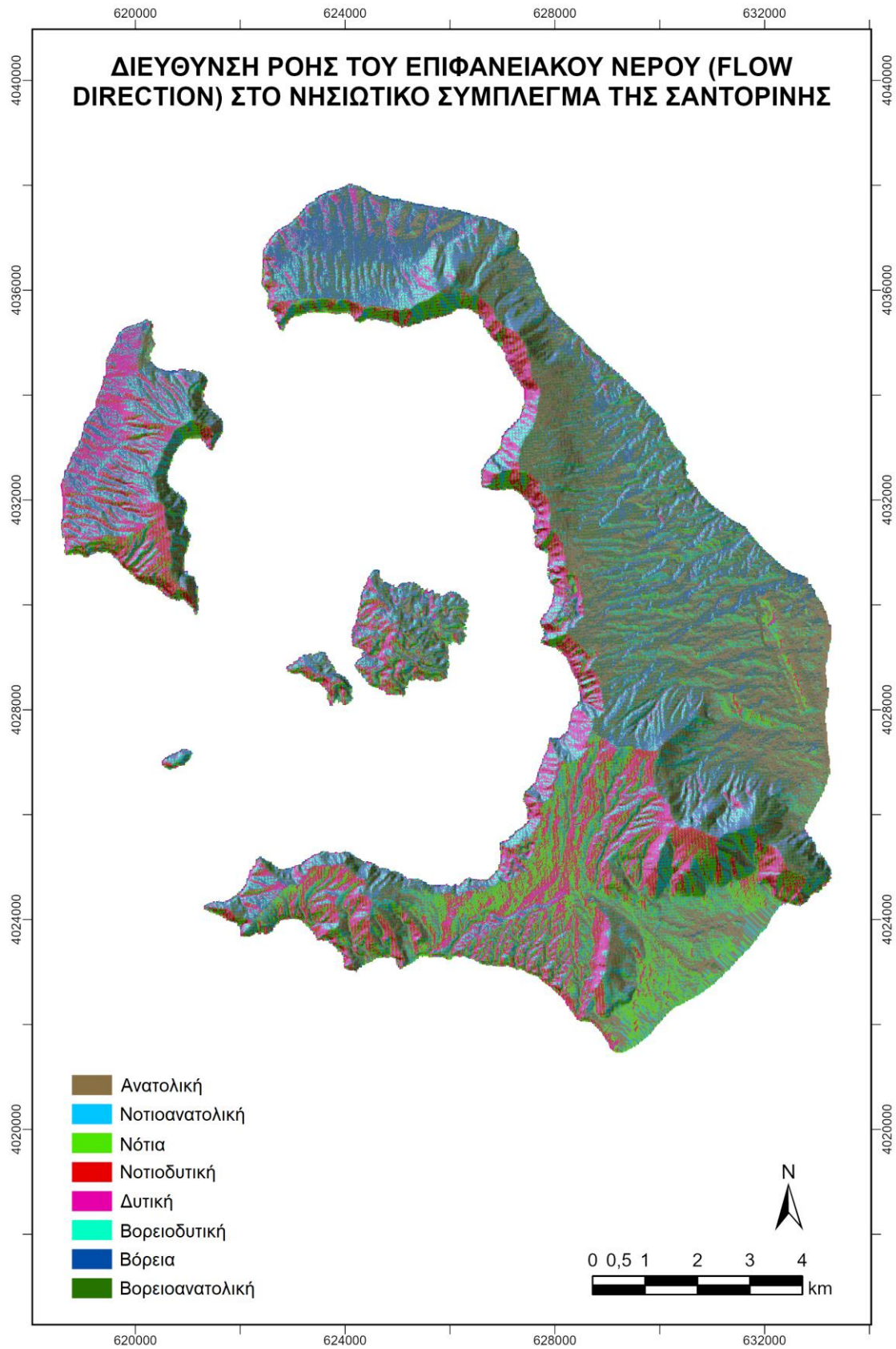
όπου το 15 αντιπροσωπεύει το μέγεθος του κελιού (σε m) και εξαρτάται από το DEM. Το Slope πολλαπλασιάζεται με το 0.01745, ώστε να μετατραπούν οι μοίρες σε ακτίνια.

Έτσι προέκυψε ο χάρτης κατανομής του τοπογραφικού παράγοντα LS στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0 έως 327,361 (Εικόνα 3.10).

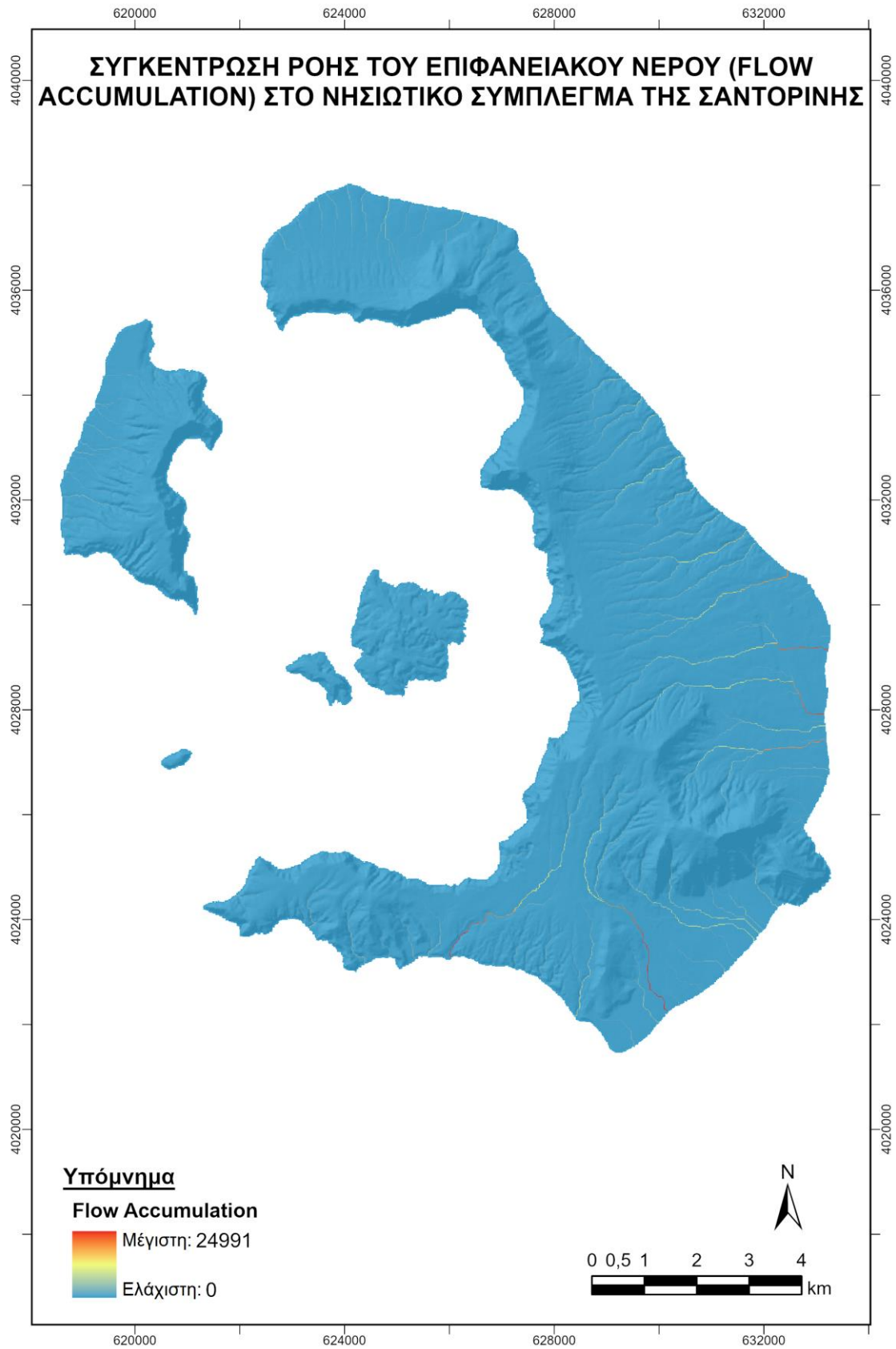
Παρατηρούμε ότι στη μεγαλύτερη έκταση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης σημειώνονται μικρές έως μηδενικές τιμές του παράγοντα LS, κυρίως σε εκτάσεις χαμηλού υψομέτρου και επίπεδου αναγλύφου. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου βρίσκονται κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θήρας στην περιοχή του Προφήτη Ηλία, στις δυτικές ακτές της Θήρας στα τμήματα της καλδέρας και στις ανατολικές ακτές της Θηρασίας. Πρόκειται για τις περιοχές με τις μεγαλύτερες τιμές μορφολογικών κλίσεων και γίνεται ιδιαίτερα εμφανές το πόσο επηρεάζει η κλίση τη διάβρωση του εδάφους.



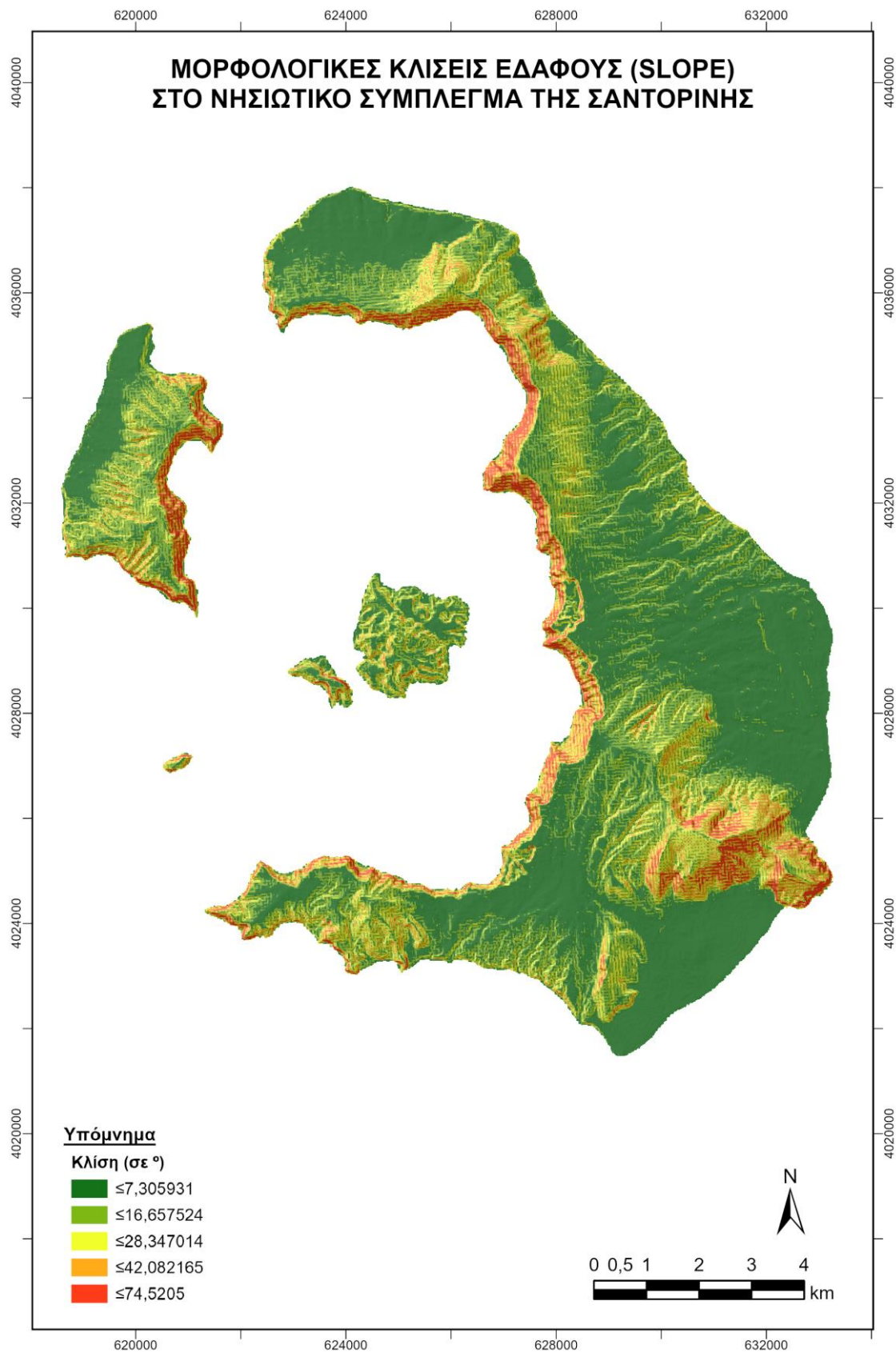
Εικόνα 3.6. Χάρτης του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM) του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης



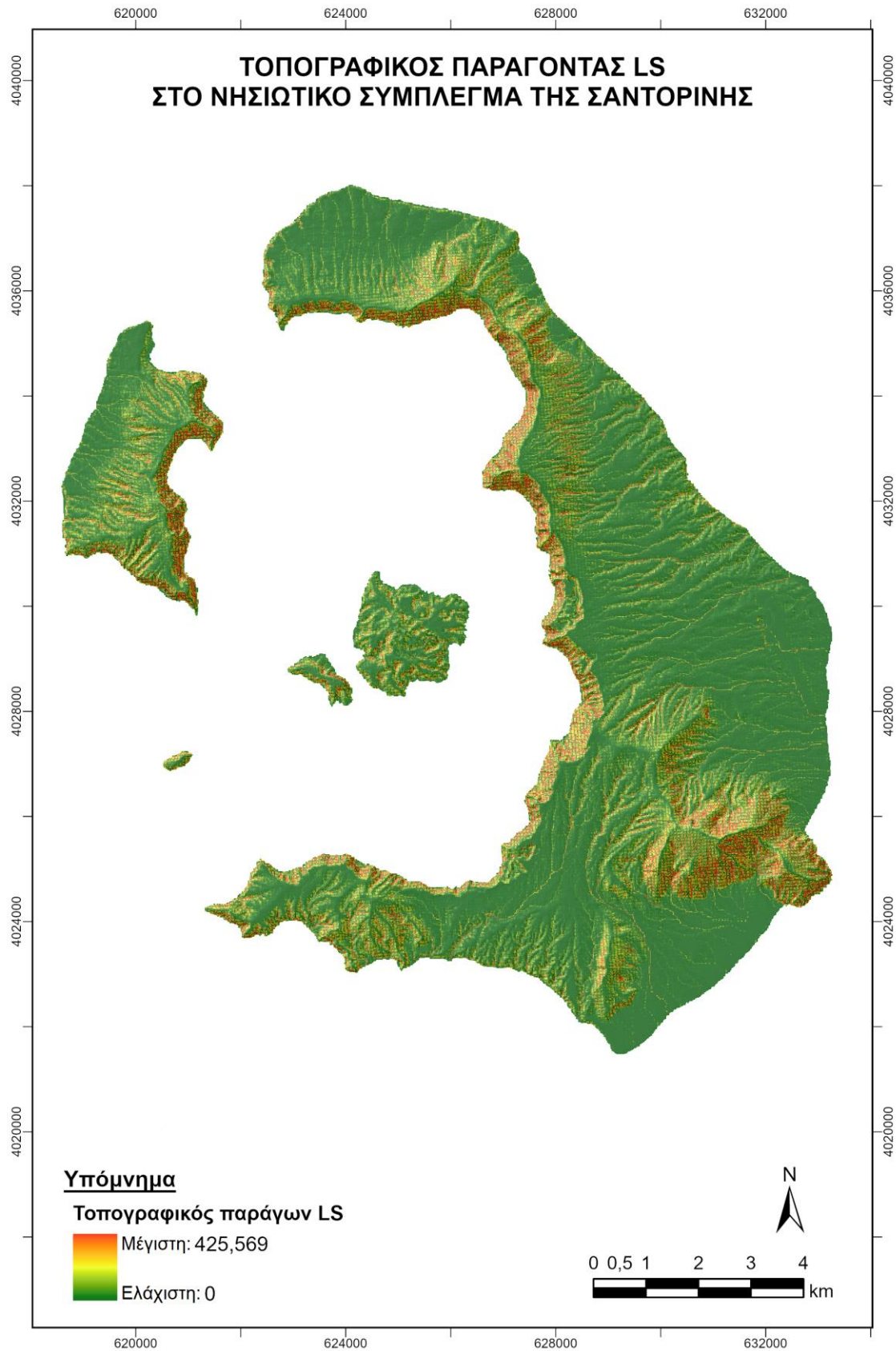
Εικόνα 3.7. Χάρτης απεικόνισης του Flow Direction στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro



Εικόνα 3.8. Χάρτης απεικόνισης του Flow Accumulation στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro



Εικόνα 3.9. Χάρτης των μορφολογικών κλίσεων του εδάφους του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης, υπολογισμένη σε μοίρες από τη χρήση του DEM, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro



Εικόνα 3.10. Χάρτης της κατανομής του τοπογραφικού παράγοντα (LS) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro

### 3.4. Υπολογισμός του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C)

Για τον υπολογισμό του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης χρήσεων γης σύμφωνα με το ευρωπαϊκό σύστημα CORINE 2018, ο οποίος προστέθηκε ως διανυσματικό (vector) επίπεδο πληροφορίας στο ArcGIS Pro (Εικόνα 3.11). Το νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης ταξινομήθηκε σε 14 κατηγορίες κάλυψης γης.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για τον προσδιορισμό του παράγοντα C απαιτούνται πολλά στοιχεία, όπως οι πιθανές μέρες σποράς και συγκομιδής, ο ρυθμός ανάπτυξης της κομοστέγης, το τελικό ποσοστό εδαφοκάλυψης από την κόμη, οι πρότερες χρήσεις γης, η τραχύτητα και η υγρασία του εδάφους, κ.λπ.

Λόγω της δυσκολίας εύρεσης των παραπάνω στοιχείων, εξαιτίας της έκτασης της περιοχής μελέτης, σε κάθε κωδικοποιημένη χρήση γης αντιστοιχήθηκε μία προσεγγιστική τιμή για τον παράγοντα C. Η τιμή αυτή προέκυψε από επεξεργασία βιβλιογραφικών δεδομένων από προγενέστερες εφαρμογές του μοντέλου RUSLE, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τιμές για τον παράγοντα, όπως συλλέχθηκαν από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές.

Πίνακας 3.3. Χρήσεις γης και αντίστοιχες τιμές του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C βάσει διάφορων βιβλιογραφικών πηγών (Ασλάνης, 2018, Κούβαρη, 2013, Kouli et al., 2008, Lastoria et al., 2008, Radislav et al., 2011, Rozos et al., 2013, Σπύρου, 2017).

Κωδικός CORINE	Ασλάνης, 2018	Κούβαρη, 2013	Kouli et al., 2008	Lastoria et al., 2008	Radislav et al., 2011	Rozos et al., 2013	Σπύρου, 2017
111		0,001		0			
112	0,001	0,001		0		0,05	0,001
124		0		0			
131	0,36	0,05		0		0,05	
142	0,005	0,05		0,005	0,005		
221	0,2	0,2	0,294141	0,1	0,1		
231	0,1	0,005	0,543197	0,02	0,02		0,113
242	0,18	0,18	0,428191	0,12	0,12	0,08	0,148
243	0,07	0,07	0,307676	0,12	0,12	0,05	0,131
321	0,05	0,3	0,545464	0,05	0,05	0,1	0,052
323	0,03	0,03	0,412805			0,005	0,02
332		0,02	0,785093	1	1		
333		0,45	0,644916	0,3	0,3	0,05	



Οι τιμές C οι οποίες επιλέχθηκαν για την εφαρμογή του μοντέλου στην παρούσα εργασία συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.4, με κριτήριο την καλή ανταπόκρισή τους στις ελληνικές συνθήκες.

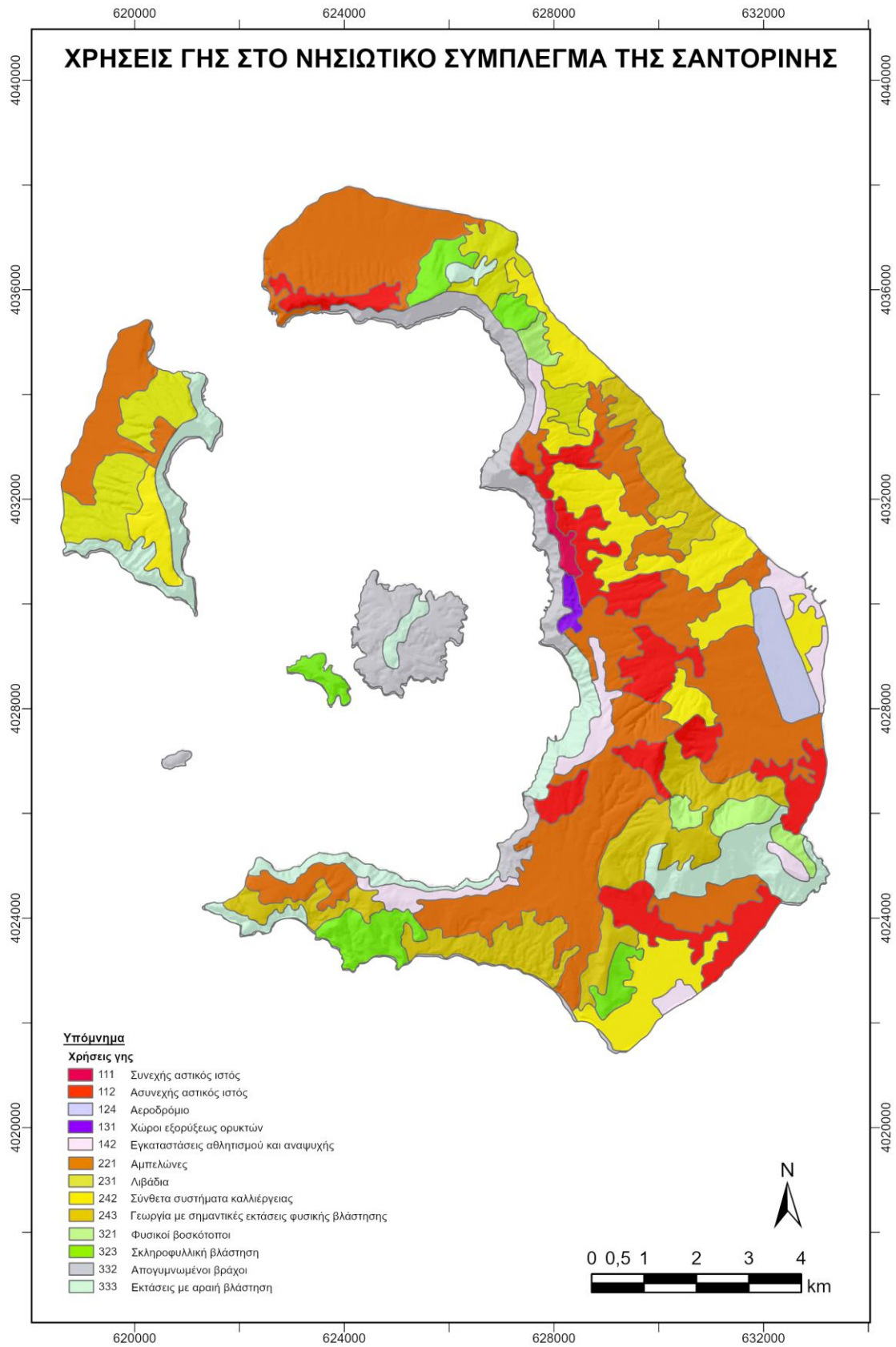
Πίνακας 3.4. Χρήσεις γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τις αντίστοιχες τιμές του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C.

Κωδικός CORINE	Χρήση γης	Παράγων C
111	Συνεχής αστικός ιστός	0,001
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0,001
124	Αεροδρόμιο	0
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0,05
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0,005
221	Αμπελώνες	0,2
231	Λιβάδια	0,1
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0,18
243	Γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0,07
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0,05
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0,03
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	0,78
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0,45

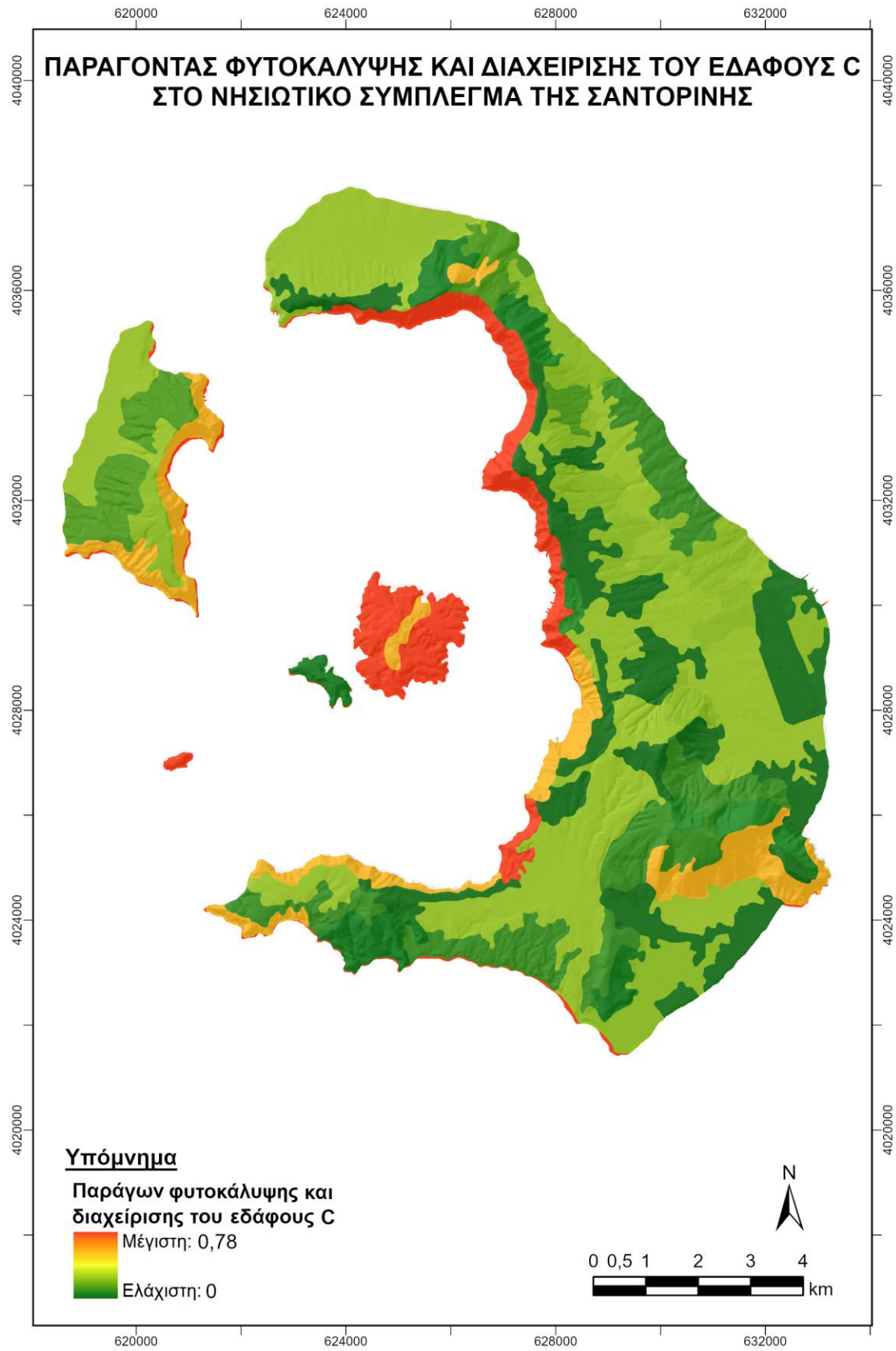
Έπειτα επεξεργάστηκε ο πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών (Attribute Table) του επιπέδου πληροφορίας των χρήσεων γης του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης, προσθέτοντας νέο πεδίο (Add Field) με τις τιμές του παράγοντα C (από τον Πίνακα 3.4). Τέλος, έγινε επαναταξινόμηση του χάρτη χρήσεων γης, ώστε να προβληθούν τα δεδομένα ως προς το νέο αυτό πεδίο.

Έτσι προέκυψε ο χάρτης κατανομής του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους C στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 0 έως 0,78 (Εικόνα 3.12).

Παρατηρούμε ότι στη μεγαλύτερη έκταση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης σημειώνονται μικρές τιμές του παράγοντα C. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου βρίσκονται κυρίως στις δυτικές ακτές της Θήρας στα τμήματα της καλδέρας, στη Νέα Καμένη και στο Ασπρονήσι. Πρόκειται για περιοχές στις οποίες συναντώνται απογυμνωμένοι βράχοι, όπου η προστασία του εδάφους κρίνεται ανεπαρκής, και οι οποίοι τις καθιστούν ως τις πιο επιρρεπείς στη διάβρωση περιοχές. Μεσαίες τιμές συναντώνται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θήρας στην περιοχή του Προφήτη Ηλία, στο νοτιοδυτικό τμήμα της Θήρας, στην περιοχή του Αθηνιού, στο κεντρικό τμήμα της Νέας Καμένης και στις βορειοανατολικές ακτές της Θηρασίας, όπου πρόκειται για εκτάσεις με αραιή βλάστηση.



Εικόνα 3.11. Χάρτης των χρήσεων γης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης (CORINE, 2018)



Εικόνα 3.12. Χάρτης της κατανομής του παράγοντα φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro

### **3.5. Υπολογισμός του παράγοντα συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P)**

Στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης παρατηρούνται περιοχές, όπως είναι η Φοινικιά, η Μεσσαριά, ο Πύργος, ο Καρτεράδος και το Εμπορείο, όπου έχει αναπτυχθεί καλλιέργεια σε αναβαθμίδες (πεζούλες ή σκάλες ή ταράτσες), με σκοπό την εκμετάλλευση των δύσβατων και μη παραγωγικών εδαφών.

Οι αναβαθμίδες έχουν σμιλευθεί με τη μαύρη ηφαιστειακή πέτρα του νησιού και λειτουργούν ως στηρίγματα, τα οποία παρέχουν προστασία από τον αέρα, αξιοποιούν το ελάχιστο βρόχινο νερό, συγκρατούν το εδαφικό κάλυμμα και συμβάλλουν στην καλλιέργεια των άγονων πρανών (Wines of Greece, n.d.).

Επειδή οι περιοχές αυτές καλύπτουν μικρό ποσοστό της συνολικής έκτασης της Σαντορίνης, δεν είναι ικανές ώστε να αποτρέψουν τα διαβρωτικά φαινόμενα. Ο παράγων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P) δεν επηρεάζεται από μεμονωμένες πρακτικές, αλλά από συστηματικές προσπάθειες αντιμετώπισης της διάβρωσης. Για το λόγο αυτό στον παράγοντα δόθηκε ενιαία τιμή ίση με τη μονάδα ( $P = 1$ ) σε κάθε εικονοστοιχείο του χάρτη, καθώς πρόκειται για τη δυσμενέστερη περίπτωση.

## Κεφάλαιο 4.

### Μέση ετήσια εδαφική απώλεια (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης

Για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας εδαφικής απώλειας (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, αφού υπολογίστηκαν οι πέντε παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το ρυθμό διάβρωσης, εφαρμόστηκε η Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση της Εδαφικής Απώλειας του μοντέλου RUSLE (Renard et al., 1997) στο περιβάλλον του ArcGIS Pro.

Συγκεκριμένα, για τον παράγοντα συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P) λήφθηκε η τιμή 1, ενώ για τους υπόλοιπους τέσσερις παράγοντες χρησιμοποιήθηκε η χωρική κατανομή τους.

Η εξίσωση εισήχθη στο εργαλείο “Raster Calculator” (Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator) ως εξής:

$$A = R * K * LS * C * 1 \quad [4.1]$$

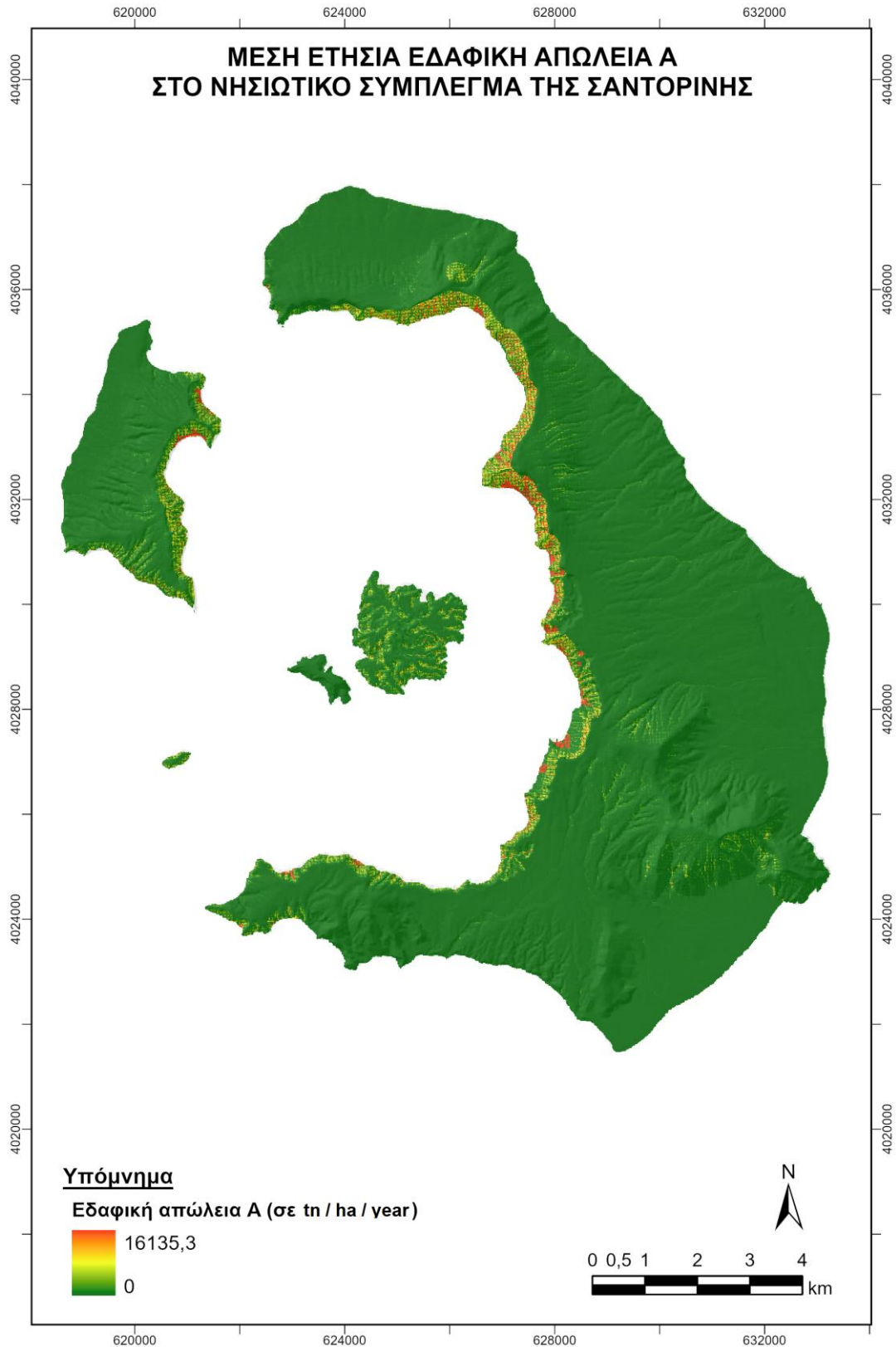
όπου πολλαπλασιάστηκαν τα ανεπτυγμένα ψηφιδωτά (raster) αρχεία.

Έτσι προέκυψε ο χάρτης της μέσης ετήσιας εδαφικής απώλειας (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με μέγεθος κελιού (cell size) 15 m και με εύρος τιμών το οποίο κυμαίνεται από 0 έως 16.135,3 tn/ha/year (Εικόνα 4.1).

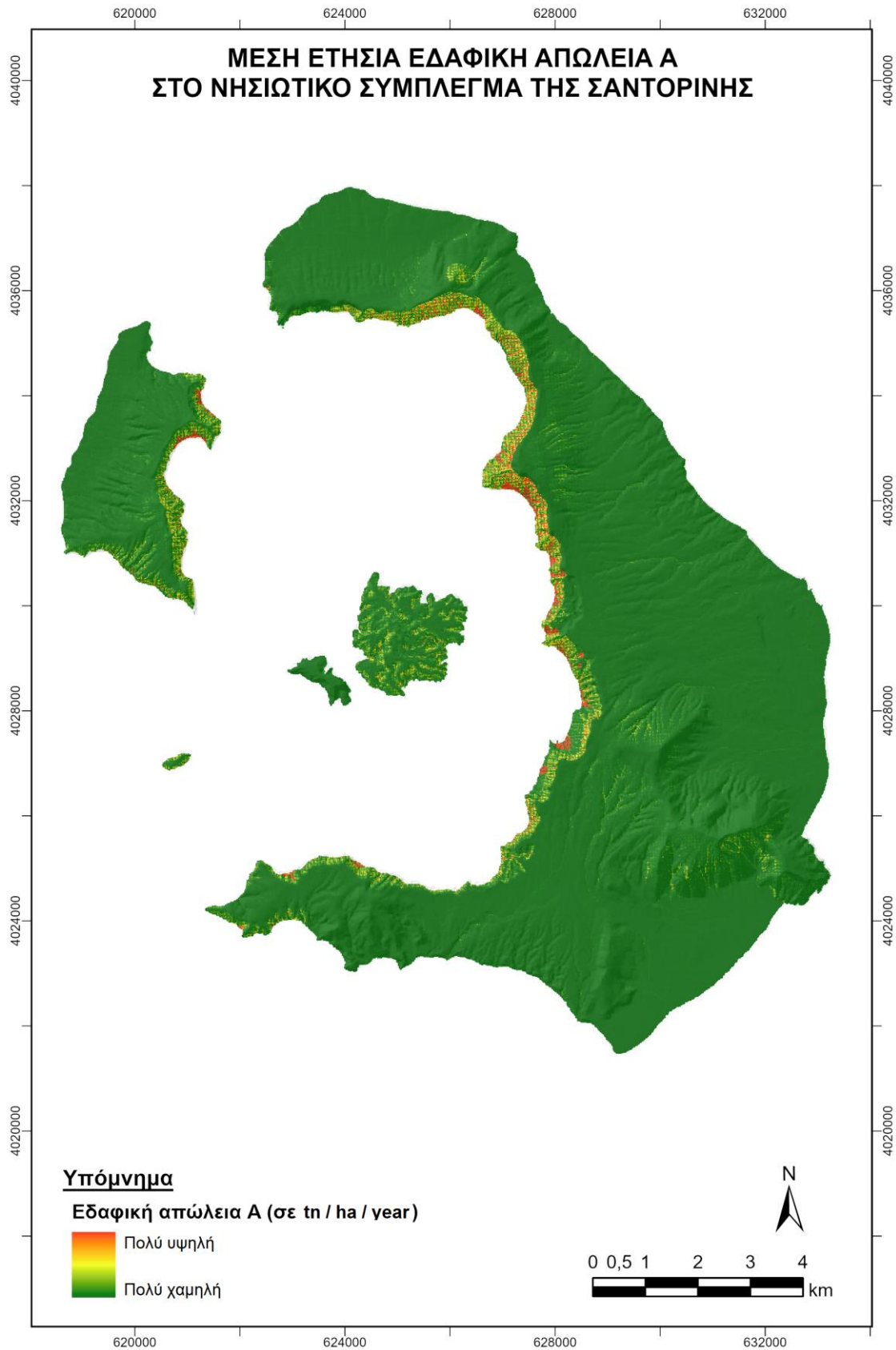
Έπειτα, επειδή οι τιμές του μοντέλου RUSLE δεν έχουν ποσοτική αξία, αλλά μόνο ποιοτική, οι ακραίες τιμές οι οποίες προέκυψαν από την εξίσωση 4.1 αντιστοιχίστηκαν σε πολύ χαμηλό έως πολύ υψηλό βαθμό εδαφικής απώλειας (Εικόνα 4.2).

Παρατηρούμε ότι σε όλη σχεδόν την έκταση του νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης σημειώνονται χαμηλές έως πολύ χαμηλές τιμές μέσης ετήσιας εδαφικής απώλειας, οπότε δεν παρουσιάζονται προβλήματα διάβρωσης. Πρόκειται για περιοχές με ήπιες κλίσεις, μικρές ποσότητες βροχόπτωσης και ύπαρξη βλάστησης, η οποία παρέχει πολύ καλή αντιδιαβρωτική προστασία. Οι περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από μέση έως υψηλή και κατά τόπους πολύ υψηλή εδαφική απώλεια εμφανίζονται σε λίγες και μικρές εκτάσεις και εντοπίζονται κυρίως στις δυτικές ακτές της Θήρας στα τμήματα της καλδέρας και στις βορειοανατολικές ακτές της Θηρασίας. Πρόκειται για περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο και απότομη μορφολογική κλίση, με μικρή συνεκτικότητα εδάφους, αφού το γεωλογικό τους υπόβαθρο αποτελείται από κώνους κορημάτων, και με απουσία ή παρουσία αραιής βλάστησης, η οποία προσφέρει μικρή προστασία στα εδάφη. Τέλος, χαμηλή έως μέση εδαφική απώλεια εντοπίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Θήρας στην περιοχή του Προφήτη Ηλία και στο

νοτιοδυτικό της τμήμα, όπου υπάρχουν έντονες κλίσεις και αραιή βλάστηση, αλλά η συνεκτικότητα του εδάφους χαρακτηρίζεται από μεσαία έως μεγάλη.



Εικόνα 4.1. Χάρτης της μέσης ετήσιας εδαφικής απώλειας (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro



Εικόνα 4.2. Χάρτης του βαθμού της εδαφικής απώλειας (A) στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης, ο οποίος προέκυψε μέσω του λογισμικού ArcGIS Pro

## Κεφάλαιο 5.

### Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας έγινε προσπάθεια εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Εφαρμόστηκε η Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση της Εδαφικής Απώλειας RUSLE στο περιβάλλον του ArcGIS Pro (έκδοση 2.5.0) της εταιρείας Esri, με σκοπό τη χωρική και ποσοτική εκτίμηση της διάβρωσης του εδάφους.

Αρχικά υπολογίστηκαν οι πέντε παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η μέθοδος RUSLE και αυτοί είναι ο παράγων διαβρωτικότητας της βροχής (R), ο παράγων διαβρωσιμότητας του εδάφους (K), ο παράγων αναγλύφου (LS), ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C) και ο παράγων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P). Κάθε παράγοντας ποσοτικοποιήθηκε και βαθμονομήθηκε ανάλογα με το πόσο επηρεάζει τις διεργασίες της διάβρωσης.

Ο υπολογισμός τους στηρίχθηκε κυρίως σε δεδομένα της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας, ενώ ψηφιακοί χάρτες της γεωλογίας της περιοχής μελέτης, του υψομέτρου και των χρήσεων γης υποβλήθηκαν σε επεξεργασία σύμφωνα με τις συμβάσεις της μεθόδου. Ως προς την επιλογή των κατάλληλων εξισώσεων για τον υπολογισμό των επιμέρους παραγόντων, αυτή έγινε με βάση το ποιες από αυτές αποδίδουν στις κλιματικές συνθήκες της Μεσογείου και ιδιαίτερα του ελληνικού χώρου.

Προέκυψε ότι οι μέσες ετήσιες εδαφικές απώλειες είναι πολύ χαμηλές σχεδόν σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται κυρίως σε πρηνή στις δυτικές ακτές της Θήρας στα τμήματα της καλδέρας και στις βορειοανατολικές ακτές της Θηρασίας, όπου το υψόμετρο είναι μεγάλο, η μορφολογική κλίση είναι πιο απότομη, η συνεκτικότητα του εδάφους είναι μικρή και η βλάστηση είναι αραιή ή απουσιάζει.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα ως προς τους παράγοντες κινδύνου της διάβρωσης του εδάφους:

- Οι παράγοντες διαβρωτικότητας της βροχής (R), διαβρωσιμότητας του εδάφους (K) και αναγλύφου (LS) εξαρτώνται κυρίως από τη φύση και δεν μπορούν εύκολα να μεταβληθούν. Βέβαια ο παράγων αναγλύφου, επειδή εξαρτάται άμεσα από τις ενδογενείς δυνάμεις που δρουν σε μια περιοχή (όπως στην προκειμένη η έντονη σεισμικότητα και ηφαιστειότητα στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Σαντορίνης), δεν μπορεί να θεωρηθεί ως σταθερός.



- Όσον αφορά στον παράγοντα συμπληρωματικών έργων ελέγχου της διάβρωσης (P), πρακτικές υποστήριξης, όπως η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς (contour farming) και η δημιουργία αναβαθμίδων, μπορούν να μειώσουν τη διάβρωση του εδάφους από το νερό, αλλά απαιτούν σημαντικές οικονομικές επενδύσεις.
- Επί του παρόντος, ο μοναδικός παράγοντας ο οποίος μπορεί να τροποποιηθεί με λογικό κόστος είναι ο παράγων φυτοκάλυψης και διαχείρισης του εδάφους (C), μέσα από διάφορες γεωργικές πρακτικές.

Η μέθοδος RUSLE είναι εμπειρική και δεν αντιπροσωπεύονται μαθηματικά οι φυσικές διεργασίες της διάβρωσης. Συνεπώς, τα αποτελέσματά της αποτελούν εκτιμήσεις του μεγέθους της εδαφικής απώλειας. Πρόκειται για σημαντικό εργαλείο για τους αρμόδιους φορείς, ώστε να επιλέγονται τα κατάλληλα έργα ενάντια στη διάβρωση και την υποβάθμιση του εδάφους.

Τέλος, παρατίθενται προτάσεις οι οποίες αποσκοπούν στην προστασία των εδαφών από τη διάβρωση, ενισχύοντας τη σταθερότητα των πρηνών, καθώς και στην αποκατάσταση των πληγεισών περιοχών (Κούβαρη, 2013, Πετσίνης, 2016, Φίκιρης, 2007).

- Διατήρηση της φυτοκάλυψης, η οποία προστατεύει από τη διάβρωση, καθώς απορροφά και διαχέει την κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης και τα αποτελέσματα της απορροής. Ειδικά στα πρηνή, στα οποία είναι αδύνατη η εφαρμογή άλλων μεθόδων καλλιέργειας, επιλέγεται η υδροσπορά, με στόχο την ταχεία εγκατάσταση χλοοτάπητα.
- Πρόληψη της εκτεταμένης αυλακωτής διάβρωσης (rill erosion) με την κατασκευή αναβαθμίδων, εκτροπών, κ.ά.
- Υιοθέτηση βοηθητικών πρακτικών, όπως η δημιουργία αναβαθμίδων με προσανατολισμό κάθετο στην κατεύθυνση της απορροής και του αέρα και η δημιουργία επιφανειακού συστήματος αποστράγγισης με στόχο τη μείωση της επιφανειακής απορροής.
- Τροποποίηση της τοπογραφίας, με στόχο τη μείωση του μήκους και της κλίσης της κλιτύος.
- Χρήση γεωσυνθετικών υλικών (π.χ. γεωφάσματα, γεωμεμβράνες, γεωπλέγματα, γεωδίχτυα, κ.ά.), τα οποία εμποδίζουν τη μετακίνηση των εδαφών η οποία προκαλείται από τη δράση του αέρα ή από την επιφανειακή απορροή των υδάτων. Για μεγαλύτερη ευστάθεια των πρηνών γίνεται ταυτόχρονη επένδυση με σκυρόδεμα.
- Κατασκευή φρακτών και επενδύσεων, με στόχο τη συγκράτηση του εδάφους το οποίο έχει υποστεί διάβρωση.
- Κατασκευή τεχνικών υδραυλικών διευθετήσεων σε σημεία στα οποία αναμένεται μεγάλη επιφανειακή απορροή, με στόχο τον έλεγχο της ταχύτητας της απορροής και τη διατήρησή της σε χαμηλά επίπεδα.

## Βιβλιογραφία

- Antoniou, V., Lappas, S., Leoussis, C. & Nomikou, P. (2017). Landslide Risk Assessment of the Santorini Volcanic Group. GISTAM 2017 – 3rd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management. DOI: 10.5220/0006385801310141.
- ArcGIS Pro v.2.5.0 (Desktop). Esri. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
- Arnold, J.G. & Allen, P.M. (1996). Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. *Journal of Hydrology*, 176(1): 57-77.
- Ασλάνης, Π. (2018). Εφαρμογές GIS στην χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας σε διάβρωση. Εμπειρική Ανάλυση για την λεκάνη απορροής του Ξηριά. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Γεωγραφίας, Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και Εφαρμοσμένων Οικονομικών, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, σσ. 122. <http://estia.hua.gr/file/lib/default/data/20592/theFile>.
- Βαρβαρήγος, Γ. (2011). Μελέτη επικινδυνότητας της διάβρωσης στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος Μανικιάτη (Κεντροανατολική Εύβοια). Μεταπτυχιακή διατριβή. Δι-ιδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών», Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών, 176σ. <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/1318360>.
- Βαχαβιώλος, Θ. (2014). Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης, στερεοαπορροής και αποθέσεων ταμειυτήρα από εμπειρικές μεθόδους με έμφαση στην επίδραση της βροχόπτωσης. Μεταπτυχιακή εργασία. Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 158σ. <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1483/>.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F. & Monke, A. (1980). ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23(4): 938-944.
- Βιδάλη, Μ. (2013). Εκτίμηση μοντέλου διάβρωσης και στερεοπαροχής στον ταμειυτήρα του φράγματος Πηνειού Νομού Ηλείας. Μεταπτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Βουβαλίδης, Κ. (2011). Φυσική Γεωγραφία. Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη, 160σ.
- Βουδούρης, Κ. (2006). Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, κεφ 2, σσ. 13. [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_0.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_0.pdf).
- Γρηγοράκης, Χ. (1967). Προβλήματα της διάβρωσης του εδάφους στην Ελλάδα. Νέα αγροτική επιθεώρηση.
- CORINE. (2018). CORINE Land Cover (CLC) 2018. Copernicus Land Monitoring Service. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>.
- Decade Volcano. (2004). Geology of Santorini. Geographic Setting of Santorini. [http://www.decadevolcano.net/santorini/santorini\\_geology\\_geography.htm](http://www.decadevolcano.net/santorini/santorini_geology_geography.htm).

- 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., Mellors, R.A., Pyle, D.M. & Sparks, R.S.J. (1989). Explosive volcanism on Santorini, Greece. *Geophysical Magazine* 126, pp. 95-126.
- Druitt, T.H., Edwards, L., Mellors, R., Pyle, D.M., Sparks, R.S.J., Lanphere, M., Davies, M. & Barriero, B. (1999). Santorini Volcano. *Geol. Soc. Lond. Mem.* vol. 19, p 165.
- Efthimiou, N., Lykoudi, E. & Karavitis, C. (2014). Soil erosion assessment using the RUSLE model and GIS. *European Water* 2014, 47, 15-30. [https://www.researchgate.net/publication/319325409\\_Soil\\_erosion\\_assessment\\_using\\_the\\_RUSLE\\_model\\_and\\_GIS](https://www.researchgate.net/publication/319325409_Soil_erosion_assessment_using_the_RUSLE_model_and_GIS).
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.). (n.d.). <http://www.hnms.gr/emy/el/>.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ). (2011). Απογραφή Πληθυσμού – Κατοικιών 2011. <https://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous>.
- European Environment Agency (EEA). (1994). CORINE Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. CORINE land resources. <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-soil>.
- European Environment Agency (EEA). (2012). Estimated soil erosion by water in Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/soil-erosion-by-water-1/assessment>.
- European Environment Agency (EEA). (2018). Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. European Topic Centre on Urban, land and soil systems; ETC/ULS. Service Contract No 3436 / R0-Copernicus / EEA.57441, Task 3, D3.1 – Part 1. [https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018\\_Nomenclature\\_illustrated\\_guide\\_20190510.pdf](https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf).
- Friedrich, W. (2007). Φωτιά στη Θάλασσα. Ηφαιστειότητα και Φυσική Ιστορία της Σαντορίνης. Ο μύθος της Ατλαντίδας. Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, σσ.290.
- Ζαΐμης, Γ. (n.d.). Δασική Εδαφολογία – Σχηματισμός Εδαφών. Παρουσιάσεις του μαθήματος της Εδαφολογίας. Προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών. Τμήμα Δασοπονίας & Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Δι.Π.Α.Ε Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. <https://eclass.emt.ihu.gr/modules/document/file.php/FD111/%CE%9A%CE%B5%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%20%20-%20%CE%95%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF.pdf>.
- Grauso, S., Verrubbi, V., Zini, A., Peloso, A., Crovato, C. & Sciortino, M. (2015). Soil erosion estimate in southern Lazio (Central Italy) using RUSLE and geo-statistical techniques. *Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. ENEO*. [https://www.researchgate.net/publication/285299263\\_Soil\\_erosion\\_estimate\\_in\\_southern\\_Lazio\\_Central\\_Italy\\_using\\_RUSLE\\_and\\_geo-statistical\\_techniques](https://www.researchgate.net/publication/285299263_Soil_erosion_estimate_in_southern_Lazio_Central_Italy_using_RUSLE_and_geo-statistical_techniques).
- Heiken, G. & McCoy, J. (1984). Caldera development during the Minoan eruption, Thira, Cyclades, Greece.
- Hikers Bay. (2018). Climate conditions in Santorini. <http://hikersbay.com/climate-conditions/greece/santorini/climate-conditions-in-santorini.html?lang=en>.
- Huete, A.R., Liu, H., Batchily, K. & van Leeuwen, W. (1997). A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 59(3):440-451.

- Θεοχάρης, Μ. (2015). Αδρεύσεις (Θεωρία). Ενότητα 2: Το έδαφος. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου. <https://eclass.teiep.gr/courses/TEXG108/>.
- Κανακοπούλου, Α. (2008). Παράγοντες που συμβάλλουν στην υποβάθμιση των εδαφικών πόρων. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογία Γεωπονίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας, σσ. 198.
- Kirkby, M.J., Le Bissonais, Y., Coulthard, T.J., Daroussin, J. & McMahon, M.D. (2000). The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 81(2): 125-135.
- Knisel, W.G., Williams, J.R. & Singh, V.P. (1995). Hydrology components of CREAMS and GLEAMS models. *Computer models of watershed hydrology*, 1: 1069-1114.
- Κούβαρη, Γ.Γ. (2013). Προσδιορισμός εδαφικών παραμέτρων για τον εντοπισμό περιοχών υψηλής διαβρωτικής επικινδυνότητας στην Περιφέρεια Πελοποννήσου και μέτρα προστασίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Δι-ιδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σσ. 157. <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/uoadl:1319582>.
- Kouli, M., Soupios, P. & Vallianatos, F. (2008). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environ Geol*. DOI: 10.1007/s00254-008-1318-9.
- Λαμπροπούλου, Ε. (2017). Διάβρωση – Εξωγενείς παράγοντες διαμόρφωσης αναγλύφου. Presentation. SlideShare. <https://www.slideshare.net/EffieLamproulou/ss-84245333>.
- Lastoria, B., Miserocchi, F., Lanciani, A. & Monacelli, G. (2008). An Estimated Erosion Map for the Aterno – Pescara River Basin. *European Water* 21/22: 29-39, 2008. E.W. Publications. [https://www.ewra.net/ew/pdf/EW\\_2008\\_21-22\\_03.pdf](https://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2008_21-22_03.pdf).
- Λόζιος, Σ., Σκούρτσος, Ε. & Σούκης, Κ. (2018). Αλπικό ορογενετικό σύστημα – Μεσόγειος – Δομή Ελληνικού Τόξου. Παρουσιάσεις του μαθήματος Γεωλογία Ελλάδος. Προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών. Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λυκούδη, Ε. & Ζαρρής, Δ. (2002). Πρόβλεψη περιοχών υψηλού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Κεφαλληνία με χρήση της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας. Πρακτικά του 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη, 3-6 Οκτωβρίου, ΤΟΜΟΣ II, σσ. 412-419.
- Μάρης, Φ. (n.d.). Διαβρώσεις – Προσχώσεις. Προπτυχιακό μάθημα «Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα». Εργαστήριο Υδρολογίας και Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. <https://docplayer.gr/51600162-Potamia-ydryayliki-kai-tehnika-erga.html>.
- Marsellos, A., Foster, D., Min, K., Kidd, W., Garver, J. & Kyriakopoulos, K. (2013). An application of GIS analysis on structural data from metamorphic rocks in Santorini Island. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(3), 1479-1488. <https://doi.org/10.12681/bgsg.10986>.
- McCool, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R., Mutchler, C.K. & Mayer, L.D. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30:1387–1396.
- Μιχαήλ, Μ.Σ. (2017). Ηφαιστειακή δραστηριότητα και συστήματα παρακολούθησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Γεωγραφίας, Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και Εφαρμοσμένων Οικονομικών, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, σσ. 120. <http://estia.hua.gr/browse/19592>.

- Moore, I.D., Burch, G.J. (1986). Physical basis of the length – slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society America Journal*, 50, pp. 1294-1298.
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerwald, K., Chisci P., Torri, D. & Styczen, M.E. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(6): 527-544.
- Morgan, R.P.C. (2001). A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan – Morgan – Finney model. *Catena*, 44(4): 305-322.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, pp. 204-205.
- Mountrakis, D., Pavlides, S., Chatzipetros, A., Meletlidis, S., Tranos, M., Vougioukalakis, G. & Kiliyas, A. (1996). Active deformation of Santorini. *Proceedings of the second workshop Santorini, Greece 2 to 4 May*, p13-22.
- Μουσουλιώτης, Α. (n.d.). Σύσταση, φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Κλάδος Χρήσης Γης και Ύδατος, Τμήμα Γεωργίας, Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης & Περιβάλλοντος.
- Μπαθρέλλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ. & Χουσιανίτης, Κ. (2010). Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στην νήσο Ζάκυνθο με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 9<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Αθήνα.
- Μπεάζη Κατσιώτη, Μ. (2015). Πετρώματα. Ειδικά κεφάλαια ανόργανης χημείας. Ηλεκτρ. βιβλ. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα, κεφ 6. <http://hdl.handle.net/11419/3477>.
- Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J. & Finkner, S.C. (1989). A process – based soil erosion model for USDA – Water Erosion Prediction Project Technology. *Transactions of the ASAE*, 32(5): 1587-1593.
- Nearing, M.A., Lane, L.J. & Lopes, V.L. (1994). Modeling soil erosion. In *Soil Erosion Research Methods*, Lal R (ed). Soil Water Conservation Society: Ankeny.
- Nikolova, E. (2016). Soil erosion modeling using RUSLE and GIS in the Republic of Macedonia. *MSc in Environmental and Geomatic Engineering, Politecnico di Milano, Como Campus*, pp. 69.
- Nomikou P. (2017). The Santorini project: Geology the amazing volcano from the land till the sea. *EuroWorkshop: Geothermal – The Energy of the Future*, 18-19 May 2017, Santorini.
- Nomikou, P., Carey, S., Croff Bell, K., Papanikolaou, D., Bejelou, K., Alexandri, M., Cantner, K. & Martin, J. F. (2013). Morphological slope analysis in the Kolumbo submarine volcanic zone NE of Santorini Island. *Z. Geomorphol.*, 57, 37–47.
- Nomikou, P., Parks, M., Papanikolaou, D, Pyle, D.M, Mather, T.A., Carey, S., Watts, A.B., Paulatto, M., Kalnins, M.L., Livanos, I., Bejelou, K., Simou, E. & Perros, I. (2014). The emergence and growth of a submarine volcano: The Kameni islands, Santorini (Greece). *GeoResJ* vol. 1-2, pp. 8–18.
- Ξανθάκης, Μ., Παυλόπουλος, Κ., Αποστολόπουλος, Γ., Καψιμάλης, Β., Γκορέγια, Α., Σταφανίδης, Π., & Μαρουκιάν, Χ. (2010). Εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης φερτών υλών σε τενητούς ταμειυτήρες – Μελέτη περίπτωσης λίμνη Μαραθώνα. 9<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Αθήνα.
- Παναγούλια, Δ. & Δήμου, Γ. (2002). Μηχανική των Φερτών Υλικών. Έκδοση 3<sup>η</sup>, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σσ. 462.
- Πάνου, Δ.Α. (1982). Ο πράσινος εθνικός φυτοτεχνικός χρυσός. Εκδόσεις Πάνου.

- Papachristou, M., Fytikas, M., Andritsos, N., Nikolaidou, E. & Kolios, P. (2016). New thermometric data from shallow aquifers in Santorini island (Greece): Possibilities for geothermal exploitation. European Geothermal Congress 19-24 Sept 2016, Strasbourg, France. [https://www.researchgate.net/publication/308620243\\_New\\_thermometric\\_data\\_from\\_shallow\\_aquifers\\_in\\_Santorini\\_island\\_Greece\\_Possibilities\\_for\\_geothermal\\_exploitation](https://www.researchgate.net/publication/308620243_New_thermometric_data_from_shallow_aquifers_in_Santorini_island_Greece_Possibilities_for_geothermal_exploitation).
- Παρούσης, Η., Αλεξανδρή, Σ. & Σιμώνης, Α. (1990). Το πρόβλημα διάβρωσης των Ελληνικών εδαφών. Πρακτικά του 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου Προστασία εδαφών ποιότητα ζωής, Θεσσαλονίκη.
- Παυλόπουλος, Κ. (2011). Γεωμορφολογία: Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες. Εκδόσεις ΙΩΝ.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.
- Πετσίνης, Χ. (2016). Διάβρωση εδάφους και τρόποι αντιμετώπισης. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, 41σ. <http://repository.library.teimes.gr/xmlui/handle/123456789/5020>.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S. & Geetha, N. (2012). Estimation of Soil Erosion Risk within a Small Mountainous Sub-Watershed in Kerala, India, Using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and Geo-Information Technology. *Geoscience Frontiers*, vol. 3, no. 2, pp. 209–215.
- Radislav, T., Slavoljub, D., Stanimir, K. & Nada, D. (2011). Assessment of soil erosion potential by the USLE method: Case study, Republic of Srpska – BiH. *PSP Volume 20 – No 8*. 2011, Fresenius Environmental Bulletin. [https://www.researchgate.net/figure/CORINE-land-use-code-and-corresponding-C-factor\\_tbl2\\_235986141](https://www.researchgate.net/figure/CORINE-land-use-code-and-corresponding-C-factor_tbl2_235986141).
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *USDA-ARS Agricultural Handbook 703*, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. pp. 384.
- Rogler, H. & Schwertmann, U. (1981). Erosivität der Niederschläge und Isoerodentenkarte Bayerns. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 22,99–112.
- Römkens, M.J.M., Prasad, S.N. & Poesen J.W.A. (1986). Soil erodibility and properties. In *Proc. 13th Congr. Int. Soil Sci. Soc.*, vol.5, pp. 492-504.
- Rozos, D., Skilodimou, H., Loupasakis, C. & Bathrellos, G. (2013). Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island, Greece. *Environ Earth Sci* (2013) 70:3255–3266. DOI: 10.1007/s12665-013-2390-3.
- Sakellariou, D., Sigurdsson, H., Alexandri, M., Carey, S., Rousakis, G., Nomikou, P., Georgiou, P. & Ballas, D. (2010). Active tectonics in the Hellenic volcanic arc: The Kolumbo submarine volcanic zone. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XLIII, No 2, 1056-1063.
- Sharpley, A.N. & Williams, J.R. (1990). EPIC – erosion / productivity impact calculator: 1. Model documentation. Technical Bulletin – United States Department of Agriculture.
- Σολδάτος, Τ. (n.d). Σαντορίνη. Ηλεκτρονικό βοήθημα για το μάθημα της Ηφαιστειολογίας. Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. [http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/6\\_santorini.htm](http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo765e/6_santorini.htm).

- Σπύρου, Ν.Ι. (2017). Χαρτογράφηση Κινδύνου Διάβρωσης στην Πυρόπληκτη Περιοχή της Νεάπολης Λακωνίας με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων», Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Σχολή Θετικών Επιστημών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σσ. 130. <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/1332569>.
- Σταματάκη, Σ. (n.d.). Χαρακτηριστικά Αποθήκευτων Πετρωμάτων. Παρουσίαση για το μάθημα της Μηχανικής Πετρελαίων. Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών. Τομέας Μεταλλευτικής, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο. [http://old-2017.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d24d9\\_gr\\_simeioseis\\_chapter3](http://old-2017.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d24d9_gr_simeioseis_chapter3).
- Στεφανίδης, Σ., Χατζηχριστάκη, Χ. & Στεφανίδης, Π. (2016). Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με τη συνδυασμένη χρήση του μοντέλου RUSLE και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Συλλαίος, Ν., Μπίλας, Γ. & Καραπέτσας, Ν. (2007). Χαρτογράφηση και αξιολόγηση γεωργικών εδαφών με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και GIS. Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος στο ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Sulistyo, B., Gunawrti, T., Hartono, Danoedoro. (2010). Pemetaan Faktor C Dari Data Penginderaan Jauh, Manusia dan Lingkungan Vol 18 (2011).
- Συμπόσιο «Καλντέρα». (2014). 1<sup>ο</sup> Διεθνές Γεωπολιτισμικό Συμπόσιο «Καλντέρα» 6-8 Ιουνίου, Σαντορίνη. <https://kaldera.mesonisos.gr/index.php/el-GR>.
- Σφακιανάκη, Μ., Μαγαλιού, Κ. & Μπότσαρης, Ι. (2006). Έδαφος, Ρύπανση, Διάβρωση, Ερημοποίηση. Προγράμματα ανοικτών περιβαλλοντικών τάξεων «ΚΑΛΛΙΣΤΩ». <http://repository.edulll.gr/edulll/retrieve/4976/1415.pdf>.
- Τσιμπίρη, Σ.Χ. (2017). Γεωλογική και γεωμορφολογική μελέτη της Σαντορίνης με τη χρήση Τηλεπισκόπησης και GIS. Διπλωματική διατριβή ειδίκευσης. Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 92. <http://ikee.lib.auth.gr/record/292402/files/GRI-2017-19705.pdf>.
- Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. & Anderson, W.P. (1989). AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44(2): 168-173.
- United States Department of Agriculture (USDA). (n.d.). A Soil Profile. Natural Resources Conservation Service. [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054308](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054308).
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A. & Montanarella, L. (1999). Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau, EUR 19044 EN, pp. 52.
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A. & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in Italy, EUR 19044 EN, 44pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Viney, N.R. & Sivapalan, M. (1999). A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia. *Hydrological Processes*, 13(5): 727-743.
- von Werner, M. (2000). EROSION-3D Technical user manual, Department of Soil Science and Water Protection. TU, Bergakademie Freiberg, Berlin, Germany.
- Wang, J., Rich, P.M. & Price, K. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*.

- Wikipedia: The free encyclopedia. (n.d.a.). Κλιματική ταξινόμηση Κέππεν. [https://el.wikipedia.org/wiki/Κλιματική\\_ταξινόμηση\\_Κέππεν](https://el.wikipedia.org/wiki/Κλιματική_ταξινόμηση_Κέππεν).
- Wikipedia: The free encyclopedia. (n.d.b.). Σαντορίνη. <https://el.wikipedia.org/wiki/Σαντορίνη>.
- Wines of Greece. (n.d.). The stone terraces (pezoules). New Wines of Greece. [http://www.newwinesofgreece.com/the\\_stone Terraces\\_pezoules/el\\_oi\\_pezoules.html](http://www.newwinesofgreece.com/the_stone Terraces_pezoules/el_oi_pezoules.html).
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. & Cross B.W. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 5: 189-193.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses; A guide to Conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, United States Department of Agriculture (USDA) Sci. and Edyc. Admin., Washington D.C.
- Φίκιρης, Ι.Φ. (2007). Αντιδιαβρωτική Προστασία με Χρήση Γεωσυνθετικών Υλικών. Ημερίδα. Γεωτεχνικές Εφαρμογές Γεωσυνθετικών Υλικών, ΕΒΕΑ 11 Ιαν 2007, Αθήνα.
- Φλαμπούρης, Κ.Π. (2008). Μελέτη της επίδρασης του παράγοντα βροχόπτωσης R στον νόμο RUSLE. Διδακτορική Διατριβή. Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ. 181. <http://hdl.handle.net/10442/hedi/18969>.