



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης
Master Thesis

**Χαρτογράφηση Κινδύνου Διάβρωσης στην Πυρόπληκτη Περιοχή της
Νεάπολης Λακωνίας με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών**

**Erosion Hazard Mapping in the Fire Affected Area of Neapolis
Laconia with the Use of GIS**

ΝΑΥΣΙΚΑ-ΙΩΑΝΝΑ ΣΠΥΡΟΥ / Nafsika-Ioanna Spirou
A.M. / R.N. : 14076

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2017002

Αθήνα, Μάρτιος 2017
Athens, March 2017



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Χαρτογράφηση Κινδύνου Διάβρωσης στην Πυρόπληκτη Περιοχή της Νεάπολης Λακωνίας με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Erosion Hazard Mapping in the Fire Affected Area of Neapolis Laconia with the Use of GIS

ΝΑΥΣΙΚΑ-ΙΩΑΝΝΑ ΣΠΥΡΟΥ / Nafsika-Ioanna Spirou

A.M. / R.N. : 14076

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Ε. Λέκκας,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Σ. Λόζιος,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Μ. Σταυροπούλου,
Αναπλ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Εξειδικευμένη Επιστημονική Καθοδήγηση:

Ε. Ανδρεαδάκης
Γεωλόγος MSc, PhDc, ΕΚΠΑ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	ii
Περίληψη	iv
Abstract	v
Πρόλογος ή/και Ευχαριστίες.....	vi
Κατάλογος Πινάκων	vii
Κατάλογος Εικόνων	viii
Κεφάλαιο 1. Δασικές πυρκαγιές και διάβρωση εδάφους.....	11
1.1. Έδαφος και πεδόςφαιρα	11
1.1.1. Παράγοντες διαμόρφωσης της εδαφογένεσης.....	11
1.1.2. Διεργασίες σχηματισμού εδάφους	12
1.1.3. Τύποι εδαφών	13
1.1.4. Ορίζοντες εδαφών	14
1.2. Διάβρωση εδάφους	14
1.2.1. Μηχανική και χημική απόσάθρωση	15
1.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση.....	16
1.2.3. Κατηγορίες διάβρωσης εδάφους	17
1.2.4. Απορροή και διήθηση.....	18
1.2.5. Υπολογισμός απώλειας εδάφους	19
1.3. Διάβρωση και κίνδυνος διάβρωσης στην Ελλάδα.....	20
1.4. Διάβρωση σε πυρόπληκτες περιοχές	22
1.4.1. Δασικές πυρκαγιές	22
1.4.2. Είδη των δασικών πυρκαγιών	23
1.4.3. Φάσεις της καύσης.....	24
1.4.4. Αίτια, συνέπειες και συχνότητα των δασικών πυρκαγιών	27
1.4.5. Πυρκαγιές στα ελληνικά δάση	28
1.4.6. Διάβρωση εδάφους και υδρολογικό ισοζύγιο σε πυρόπληκτες περιοχές ..	29
1.5. Μέθοδοι αξιολόγησης κινδύνου διάβρωσης.....	32
1.5.1. USLE (Universal Soil Loss Equation)	34
1.5.2. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)	36
1.5.3. PESERA (Pan-European Soil Risk Assessment)	37
1.5.4. WEPP (Water Erosion Prediction Project)	37
1.5.5. EUROSEM (European Soil Erosion Model)	38
1.5.6. KINEROS (Kinematic Runoff and Erosion Model)	38
1.5.7. LISEM (Limburg Soil Erosion Model).....	39
Κεφάλαιο 2. Περιοχή μελέτης- Περιοχή Νεάπολης Λακωνίας.....	41
2.1. Γεωμορφολογία.....	42
2.2. Υδρογραφικό δίκτυο	45
2.3. Γεωλογία	49
2.3.1. Γεωλογία- Στρωματογραφία	49
2.3.2. Τεκτονική	52
2.3.3. Υδρογεωλογία	53
2.4. Χρήσεις γης.....	55
2.5. Κλιματικές συνθήκες.....	58
2.6. Η φωτιά στη Νεάπολη Λακωνίας.....	59

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία	64
3.1. Εφαρμογή των μεθόδων εκτίμησης απώλειας εδάφους USLE και RUSLE σε παρόμοιες έρευνες	64
3.1.1. Εργασία 1: Εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης φερτών υλών σε τεχνητούς ταμειυτήρες- Μελέτη περίπτωσης λίμνη του Μαραθώνα	64
3.1.2. Εργασία 2: Εκτίμηση διάβρωσης στη νήσο Ζάκυνθο με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών	66
3.1.3. Εργασία 3: Soil erosion and degradation in a rapidly expanding industrial area of Eastern Mediterranean basin (Thrasio plain Greece)....	67
3.1.4. Εργασία 4: Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model	68
3.2. Δεδομένα και εφαρμογή της μεθόδου RUSLE στην περιοχή μελέτης	70
3.2.1. Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R.....	70
3.2.2. Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K.....	89
3.2.3. Συντελεστής αναγλύφου LS	91
3.2.4. Συντελεστής φυτοκάλυψης C	97
3.2.5. Συντελεστής μέτρων κατά της διάβρωσης P.....	103
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα	113
4.1. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A πριν την πυρκαγιά	113
4.2. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A μετά την πυρκαγιά	116
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα	120
Βιβλιογραφία	122

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία η χωρική και ποσοτική εκτίμηση της επιφανειακής εδαφικής διάβρωσης στην πυρόπληκτη περιοχή της Νεάπολης, Λακωνίας, υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την Αναθεωρημένη Εξίσωση Απώλειας Εδάφους (RUSLE) και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Στην μελέτη αυτή τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, είναι η βροχόπτωση, η λιθολογία, η μορφολογία, οι χρήσεις γης και τα αντιδιαβρωτικά μέτρα. Σύμφωνα με τη RUSLE, οι παράγοντες αυτοί είναι ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (R), ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους (K), ο τοπογραφικός συντελεστής (LS), ο συντελεστής φυτοκάλυψης (C) και ο συντελεστής διαχείρισης εδαφών κατά της διάβρωσης (P). Κάθε παράγοντας ποσοτικοποιήθηκε και βαθμονομήθηκε ανάλογα με το πόσο επηρεάζει τις διεργασίες της διάβρωσης. Ο συντελεστής φυτοκάλυψης (C) υπολογίστηκε για τις περιπτώσεις πριν και μετά την πυρκαγιά, λαμβάνοντας υπόψη, τις χρήσεις γης του CORINE 2012 (πριν) και την επεξεργασία πολυφασματικής εικόνας 'Worldview2' για τον υπολογισμό του δείκτη NDVI (μετά) μέσω των υπολειμμάτων βλάστησης. Το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας ήταν η δημιουργία χαρτών εκτίμησης της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης της περιοχής μελέτης πριν και μετά την πυρκαγιά. Η εκτίμηση απώλειας εδάφους παράτηρούμε ότι είναι πολύ μεγαλύτερη μετά την φωτιά. Τα μέτρα κατά της διάβρωσης σημειώνουν σημαντική συμβολή στην συγκράτηση του εδάφους και έχει ιδιαίτερη σημασία η συντήρηση ή η αποκατάσταση τους όπου χρειάζεται, ιδιαίτερα στη μεταπυρική περίοδο.

Abstract

The spatial and quantitative assessment of soil loss in the fire affected area of Neapolis, Laconia, was implemented using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and Geographic Information Systems (GIS). In this research the used data were rainfall, morphology, lithology, land use and anti-corrosion measures of the study area. According to the RUSLE, the factors which were used are rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length and steepness (LS), cropping management (C) and conservation supporting practice (P). Each factor was quantified and rated according to the influence in the erosion processes. The parameter of vegetation calculated twice, before and after the wildfire, taking into consideration the land uses of CORINE 2012 (before) and processing of multispectral satellite image 'Worldview2' for the calculation index NDVI (after) through the vegetation residue. The final result of the applied methodology was the creation of average annual soil erosion maps of the study area before and after the fire. The soil loss assessment, depicting erosion hazard, is significantly higher after the fire. The anti-erosion measures evidently contribute significantly to the reduction of erosion hazard and the maintenance or restoration wherever it's necessary, is particularly important, especially after the wildfire.

Πρόλογος ή/και Ευχαριστίες

Η θέληση και η αφιέρωση της ψυχής ανοίγουν την πόρτα της γνώσης, κατά της οποίας είναι ο λόγος που όσο ζεις θα προσπαθείς να μαθαίνεις, και όσο μαθαίνεις τόσο θα προσπαθείς, διότι η γνώση αποτελεί πηγή ενέργειας, πηγή ανεξάντλητη.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας μου θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη εκτίμηση μου στους καθήγητές της τριμελούς επιτροπής της διπλωματικής μου διατριβής και στους συντελεστές του μεταπτυχιακού προγράμματος. Ακόμα θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Μανώλη Ανδρεαδάκη για την στήριξη που μου προσέφερε κατά την διεξαγωγή της έρευνας μου. Τέλος, την αγάπη και τις θερμές ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου για την οικονομική και ηθική τους συμπαράσταση.

‘Εκεί που ανοίγει ένα σχολείο, κλείνει μία φυλακή’

‘Βίκτωρ Ουγκώ’

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1. Μέθοδοι εκτίμησης εδαφικής απώλειας και οι παράγοντες που απαιτούνται για την αξιολόγηση της.....	40
Πίνακας 2.1. Πληθυσμιακά στοιχεία του δήμου Μονεμβασιάς (ΕΛΣΤΑΤ 2011 από Λέκκας et. al., 2015)	41
Πίνακας 2.2. Οι κυριότερες μορφολογικές παράμετροι των λεκανών απορροής της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et. al., 2015).....	47
Πίνακας 2.3. Χαρακτηριστικά μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Μονεμβασιάς (Λέκκας et. al., 2015).	58
Πίνακας 3.1. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή διαβρωσιμότητας K.....	89
Πίνακας 3.2. Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή φυτοκάλυψης C για διαφορετικές χρήσεις γης της περιοχής μελέτης.	97
Πίνακας 3.3. Πίνακας των πρακτικών υποστήριξης κατά της διάβρωσης του εδάφους P _c σε διαφορετικές κλίσεις.	103
Πίνακας 3.4. Καταγραφή των αναβαθμίδων και αντίστοιχες τιμές P _{sw}	105

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1. Απεικόνιση τοπογραφικού χάρτη της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).	42
Εικόνα 2.2. Χάρτης των μορφολογικών κλίσεων της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).....	44
Εικόνα 2.3. Χάρτης απεικόνισης του προσανατολισμού της μορφολογίας της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).....	45
Εικόνα 2.4. Χάρτης του υδρογραφικού δικτύου και των υδρολογικών λεκανών της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).....	46
Εικόνα 2.5. Γεωλογικός χάρτης και υδρολογικός χάρτης της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).	48
Εικόνα 2.6. Χάρτης των γεωλογικών σχηματισμών της πυρόπληκτης περιοχής (ΓΕΡΟΥΜΑΤΟΣ & KOWALCZYK, 1999 από Λέκκας et al., 2015).	51
Εικόνα 2.7. Υδρολιθολογικός χάρτης της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et. al., 2015).	54
Εικόνα 2.8. Χάρτης απεικόνισης των χρήσεων γης της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et. al., 2015).	56
Εικόνα 2.9. Χάρτης υποδομών της περιοχής Νεάπολης, Λακωνίας (Λέκκας et al., 2015).	57
Εικόνα 2.10. Χάρτης εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς για το Σάββατο 18/7/2015 στον ελλαδικό χώρο από το Υπουργείο Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης	60
Εικόνα 2.11. Οι εκτάσεις των χρήσεων γης που κάηκαν από την πυρκαγιά.	61
Εικόνα 2.12. Προσπάθειες κατάσβεσης της φωτιάς από οχήματα του δήμου Μονεμβασιάς (“Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015: http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias).	62
Εικόνα 2.13. Εικόνα από την πυρκαγιά στη Νεάπολη Λακωνίας και η συμβολή της πυροσβεστικής (“Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015): http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias).	62
Εικόνα 2.14. Κάτοικοι της πυρόπληκτης περιοχής προσπαθούν τα διαχειριστούν την κατάσταση μέσα στην αποπνικτική ατμόσφαιρα (“Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015: http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias).	63
Εικόνα 2.15. Εξάπλωση της φωτιάς στον αστικό ιστό της περιοχής (Ρέβη, 2015: http://www.protothema.gr/greece/article/493802/megali-fotia-sti-neapoli-lakonias-/)	63
Εικόνα 3.1. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Ιανουαρίου (ρ_2).	72
Εικόνα 3.2. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Φεβρουαρίου (ρ_2).	73
Εικόνα 3.3. Εικόνα 12: Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Μαρτίου, (ρ_3).	74

Εικόνα 3.4. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Απριλίου, (ρ_4).	75
Εικόνα 3.5. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Μαΐου, (ρ_5).	76
Εικόνα 3.6. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Ιουνίου (ρ_6).	77
Εικόνα 3.7. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Ιουλίου (ρ_7).	79
Εικόνα 3.8. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Αυγούστου (ρ_8).	80
Εικόνα 3.9. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Σεπτεμβρίου (ρ_9).	81
Εικόνα 3.10. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Οκτωβρίου (ρ_{10}).	82
Εικόνα 3.11. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Νοεμβρίου (ρ_{11}).	83
Εικόνα 3.12. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Δεκεμβρίου (ρ_{12}).	84
Εικόνα 3.13. Χάρτης με την μέση ετήσια βροχόπτωση (ρ_{13}).	85
Εικόνα 3.14. Χάρτης απεικόνισης του παράγοντα MF.	87
Εικόνα 3.15. Χάρτης του συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$).	88
Εικόνα 3.16. Χάρτης του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K ($\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$).	90
Εικόνα 3.17. Χάρτης του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου της περιοχής DEM.	92
Εικόνα 3.18. Απεικόνιση της κλίσης του εδάφους της πυρόπληκτης περιοχής υπολογισμένη σε μοίρες από τη χρήση του DEM.	93
Εικόνα 3.19. Χάρτης απεικόνισης του Flow Direction στην πυρόπληκτη περιοχή μελέτης.	94
Εικόνα 3.20. Χάρτης απεικόνισης του Flow Accumulation στην πυρόπληκτη περιοχή. .	95
Εικόνα 3.21. Χάρτης του τοπογραφικού συντελεστή LS.	96
Εικόνα 3.22. Χάρτης του συντελεστής φυτοκάλυψης C πριν την πυρκαγιά.	98
Εικόνα 3.23. Απεικόνιση της κατάστασης της περιοχής μελέτης μετά την πυρκαγιά από την δορυφορική εικόνα “Worldview2”.	100
Εικόνα 3.24. Χάρτης του δείκτη NDVI στην περιοχή μελέτης μετά την πυρκαγιά.	101
Εικόνα 3.25. Συντελεστής φυτοκάλυψης C μετά την πυρκαγιά.	102
Εικόνα 3.26. Χάρτης του συντελεστή P_c	104
Εικόνα 3.27. Χάρτης του παράγοντα P_{sw} στην πυρόπληκτη περιοχή.	106
Εικόνα 3.28. Χάρτης του συντελεστή μέτρων κατά της διάβρωσης P.	107
Εικόνα 3.29. Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι της ενότητας της Τρίπολης που υπέρκεινται τεκτονικά της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Απεικόνιση έκτασης με αναβαθμίδες που συγκρατούν το έδαφος (Λέκκας et al., 2015).	108
Εικόνα 3.30. Άποψη του Μεσοχωρίου, η κεντρική περιοχή είναι καλυμμένη από αναβαθμούς που προστατεύουν την περιοχή από την διάβρωση του εδάφους. Η περιοχή αυτή έχει προταθεί για συντήρηση των αναβαθμίδων ως αντιδιαβρωτικό μέτρο (Λέκκας et al., 2015).	109

Εικόνα 3.31. Άποψη καμένης έκτασης διαφορετικών ζωνών βλάστησης. Η ύπαρξη αναβαθμίδων και οι περιοχές με πυκνή βλάστηση που έχουν διατηρήσει υπέργειους σκελετούς και ρίζες ευνοούν τη συγκράτηση του έδαφους (Λέκκας et al., 2015).	109
Εικόνα 3.32. Απουσία αναβαθμών στην βόρεια είσοδο του Αγίου Νικολάου. Η περιοχή δομείται από τεταρτογενείς κλάστικούς σχηματισμούς που είναι από την φύση τους πιο ευδιάβρωτοι, μετά την πυρκαγιά το έδαφος αποσπάται εύκολα, ειδικά σε περιοχές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις (Λέκκας et al., 2015).	110
Εικόνα 3.33. Δημιουργία αυλακώσεων από την αύξηση του ρυθμού διάβρωσης μετά την πυρκαγιά στην περιοχή κατάντη του Μεσοχωρίου, διακρίνονται και κατολισθήσεις σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο με παρεμβολές χαλαζιτών (Λέκκας et al., 2015)	110
Εικόνα 3.34. Δημιουργία αυλακώσεων και μικροκατολισθήσεων από τη διάβρωση στη νοτιοανατολική έξοδο του Μεσοχωρίου (Λέκκας et al., 2015).	111
Εικόνα 3.35. Ασταθείς μάζες αποσαθρωμένου σχιστόλιθου, κορημάτων και εδάφους. Έντονη διάβρωση του εδάφους και καταστροφή των αναβαθμίδων ανάντη του Φαρακλού (Λέκκας et al., 2015).....	111
Εικόνα 3.36. Στην περιοχή κατάντη του Φαρακλού καταλήγουν απορροές από τον οικισμό και των ομβρίων του δόμου προς Καστανιά. Παρατηρείται διάβρωση του εδάφους που εντείνεται μετά την πυρκαγιά εφόσον αποσπάται πιο εύκολα ο εδαφικός μανδύας (Λέκκας et al., 2015).	112
Εικόνα 4.1. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A (t/ha) πριν την πυρκαγιά με την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων.	114
Εικόνα 4.2. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A (t/ha) πριν την πυρκαγιά χωρίς την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων (P=1).	115
Εικόνα 4.3. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A μετά την πυρκαγιά με την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων.	117
Εικόνα 4.4. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A μετά την πυρκαγιά χωρίς την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων (P=1).	118
Εικόνα 4.5. Χάρτης των αναβαθμίδων που χρήζουν αποκατάστασης έπειτα από τις ζημιές που υπέστησαν μετά την πυρκαγιά.	119

Κεφάλαιο 1.

Δασικές πυρκαγιές και διάβρωση εδάφους

1.1. Έδαφος και πεδόςφαιρα

Το έδαφος ή αλλιώς πεδόςφαιρα (από το πέδον που είναι το έδαφος και τη σφαίρα) είναι η επιδερμίδα της γης, το ανώτερο τμήμα του γήινου φλοιού. Αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από έδαφος (χώμα) πάνω στο οποίο ζουν και αναπτύσσονται φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί, ωστόσο ακόμα αποτελεί το καλλιεργήσιμο ανώτατο στρώμα. Ως πεδόςφαιρα λοιπόν αντιλαμβανόμαστε το σύνολο των οργανισμών, εδαφών αλλά και των ρευστών όπως το νερό και τον αέρα που κυκλοφορούν μέσα σ' αυτήν (Κράνης, Σκούρτσος, & Σούκης, 2015). Τα σωματίδια με τη φύση και τη διάταξη τους δίνουν τη δυνατότητα στήριξης από υπερκείμενους οργανισμούς, διάκενα για τη στήριξη νεαρού και ανόργανα στοιχεία για τη θρέψη των φυτών. Το οργανικό υλικό βελτιώνει τη δομή του εδάφους και τη συγκράτηση του νερού και προωθεί τη διαδικασία ανακύκλωσης των ανόργανων στοιχείων. Το νερό είναι το μέσο στο οποίο διαλύονται τα απαραίτητα για τα φυτά συστατικά. Ακόμα, ο αέρας περιορισμένος μέσα στα διάκενα ανάμεσα στα σωματίδια περιέχει οξυγόνο απαραίτητο για την αναπνοή των ριζών και των εδαφικών οργανισμών, διοξείδιο του άνθρακα που προωθεί τη διαδικασία της αποσάθρωσης των πετρωμάτων και άζωτο που χρησιμοποιείται από αζωτοδεσμευτικούς οργανισμούς (Βώκου, 2009). Τέλος, αξίζει να πούμε πως αποτελεί την διεπιφάνεια (interface) μεταξύ της λιθόσφαιρας, της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της βιόσφαιρας, με πολύ μικρό πάχος σε σχέση με την γήινη κλίμακα από μερικές δεκάδες εκατοστά ως και 200 μέτρα σε περιπτώσεις που ευνοείται η εδαφογένεση (Κράνης, Σκούρτσος, & Σούκης, 2015).

1.1.1. Παράγοντες διαμόρφωσης της εδαφογένεσης

Μέσα από τη διαδικασία της αποσάθρωσης μηχανικής, χημικής ή βιολογικής σχηματίζεται το έδαφος (εδαφογένεση ή πεδογένεση). Το υγιές πέτρωμα προσβάλλεται επιφανειακά από τις αποσαθρωτικές διεργασίες, οι οποίες το διασπούν, προχωρώντας σταδιακά όλο και βαθύτερα σε αυτό. Το προϊόν της αποσάθρωσης είναι τεμάχια υλικού διαφόρων μεγεθών, από τη λεπτομερέστατη άργιλο έως και αδρομερή άμμο ή χαλίκια. Αν το αποσαθρωμένο υλικό δε μεταφερθεί μέσω των διεργασιών της διάβρωσης και της μεταφοράς από την αρχική του θέση, παραμένει ως ένα είδος «μανδύα» που περιβάλλει το υγιές πέτρωμα. Αυτό το υλικό καλείται ρηγόλιθος (regolith από το αρχαίο ῥήγος (κάλυμμα) και λίθος). Τα ανώτερα στρώματα του ρηγόλιθου, τα οποία υποστηρίζουν την ανάπτυξη της χλωρίδας, συνιστούν το έδαφος (soil). Το έδαφος λοιπόν αποτελείται από τεμάχια και κόκκους αποσαθρωμένου πετρώματος μαζί με οργανική ύλη (ή οργανικό υλικό, φυσική οργανική ύλη που έχει ως βάση της τον άνθρακα και προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς) (Κράνης et al., 2015).

Κατά τη δημιουργία του εδάφους σημειώνεται αλληλεπίδραση της λιθόσφαιρας μέσω του μητρικού πετρώματος (υλικό από το οποίο προκύπτει το έδαφος με σταδιακή φυσική ή χημική αποσάθρωση), της ατμόσφαιρας μέσω της κυκλοφορίας του νερού, ενώ ακόμα παίζουν ρόλο η τοπογραφία και ο χρόνος. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των συστημάτων περιλαμβάνουν προσθήκη, μεταφορά και αφαίρεση υλικού καθώς και χημικούς μετασχηματισμούς. Μέσα από τις διεργασίες της αποσάθρωσης, η διάσπαση του πετρώματος προσθέτει στο έδαφος στοιχεία όπως ασβέστιο, θείο, μαγνήσιο, σίδηρο, φωσφόρο, κ.α. και δευτερογενή ορυκτά που είναι απαραίτητα για την διατήρηση και ανάπτυξη των οργανισμών.

Η συμμετοχή των παραπάνω κατά την εδαφογένεση σημειώνεται ως εξής:

Λιθόσφαιρα: Βοηθά στην προσθήκη ορυκτών από τα μητρικά πετρώματα, μέσα από τις διεργασίες της αποσάθρωσης, η διάσπαση του πετρώματος προσθέτει στο έδαφος στοιχεία όπως ασβέστιο, θείο, μαγνήσιο, σίδηρο, φωσφόρο, κ.α. και δευτερογενή ορυκτά όπως αργιλικά ορυκτά και οξειδία που είναι απαραίτητα για την διατήρηση και ανάπτυξη των οργανισμών.

Υδροσφαιρα: Συμμετέχει μέσα από την μεταφορά υλικών και διαλυμάτων καθώς και μέσα από χημικές διεργασίες που περιλαμβάνουν ανταλλαγή και μεταφορά ιόντων.

Βιόσφαιρα: Προσθέτει οργανική ύλη, η οποία εισέρχεται στο σύστημα αρχικά ως οργανικά υπολείμματα. Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης δημιουργεί το χούμο (το σύνολο της οργανικής ύλης η οποία βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και υποβάλλεται συνεχώς σε διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών) ενώ παράλληλα απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ο χούμος περιέχει, μεταξύ άλλων, άνθρακα, άζωτο και φωσφόρο, στοιχεία που είναι απαραίτητα στην εδαφογένεση.

Αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας- υδροσφαιρας: Η αλληλεπίδραση της ατμόσφαιρας και της υδροσφαιρας που λαμβάνουν χώρα πάνω στην επιφάνεια του εδάφους οδηγούν στην προσθήκη χρήσιμων στοιχείων σε αυτό, όπως κάλιο, νάτριο, χλώριο, μαγνήσιο, κ.α. Από τα σημαντικότερα στοιχεία που προστίθενται στο έδαφος μέσω αυτής της αλληλεπίδρασης είναι και το άζωτο. Ωστόσο, το έδαφος δέχεται και ρυπαντές, όπως το διοξείδιο του θείου και του άνθρακα, μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Ατμόσφαιρα: Ιδιαίτερα σημαντική στην εδαφογένεση είναι η συμβολή της ατμόσφαιρας, την οποία επηρεάζει σημαντικά η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο επιταχύνονται οι χημικές αντιδράσεις που συμβάλλουν στην εδαφογένεση, ενώ παράλληλα η ανάπτυξη της χλωρίδας που συμμετέχει στην εδαφογένεση είναι άμεσα συνδεδεμένη και αυτή με τη μέση ετήσια θερμοκρασία, παρατηρείται ότι σε τροπικά κλίματα, τα φυτά μεγαλώνουν αλλά και αποσυντίθενται με υψηλό ρυθμό. Έτσι τα θρεπτικά προϊόντα της αποσύνθεσης καταναλώνονται γρήγορα αναπτυσσόμενα φυτά. Στο άλλο άκρο, δηλαδή στις αρκτικές περιοχές, τα εδάφη είναι πτωχά σε οργανική ύλη εξαιτίας του πολύ μικρού ρυθμού ανάπτυξης της χλωρίδας. Αντίθετα, σε δυο εύκρατα κλίματα, η διαδοχή των εποχών εξισορροπεί την προσφορά και τη ζήτηση της οργανικής ύλης, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εύφορων εδαφών.

Τοπογραφία και χρόνος: Όσον αφορά το χρόνο όσο παλαιότερο είναι ένα έδαφος, τόσο καλύτερα αναπτυγμένο είναι. Από την άλλη όσον αφορά τη μορφολογία, η εδαφογένεση ευνοείται σε περιοχές με ήπια μορφολογία, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε απότομες πλαγιές. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και ο προσανατολισμός, από τον οποίο εξαρτάται το ποσό ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η περιοχή. Γενικά, η πεδογένεση ευνοείται σε ελαφρά επικλινείς περιοχές, προσανατολισμένες προς τον Ήλιο (δηλαδή με νότιο προσανατολισμό στο Βόρειο Ημισφαίριο, και το αντίθετο στο Νότιο (Κράνης et al., 2015).

1.1.2. Διεργασίες σχηματισμού εδάφους

Οι διεργασίες μέσω των οποίων σχηματίζεται το έδαφος είναι (Χατζηνικολάου, 2011):

Φυσικές: Το έδαφος σχηματίζεται από τη δράση νερού, ανέμου, θερμότητας, βαρύτητας.

Χημικές: Το έδαφος σχηματίζεται μέσα από τη διαδικασία ανταλλαγών χημικών στοιχείων στα συστατικά του εδάφους.

Βιολογικές: Το έδαφος σχηματίζεται από την αποικοδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων από οργανισμούς. Η πιο σημαντική βιολογική διαδικασία είναι η διάσπαση και χουμοποίηση, δηλαδή η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων των ζώων και φυτών και των νεκρών μικροοργανισμών με τελικό προϊόν ένα υλικό χωρίς ιδιαίτερη δομή που ονομάζεται χούμος (humus), που αποτελεί το ουσιωδέστερο συστατικό των εύφορων εδαφών, διότι κατακρατεί τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της χλωρίδας, επιπλέον, το χούμο απορροφά την εδαφική υγρασία και διογκώνεται, ενώ αποβάλλοντας την συρρικνώνεται.

1.1.3. Τύποι εδαφών

Είναι γεγονός ότι όλα τα εδάφη δεν σχηματίστηκαν με τον ίδιο τρόπο, σε κάποια από αυτά επέδρασε περισσότερο το νερό με αποτέλεσμα την απόθεση περισσότερης άμμου, σε άλλα έζησε ανά περιόδους μεγαλύτερος αριθμός ζώων και φυτών με συνέπεια να εμπλουτίσουν σε θρεπτικά συστατικά τα συγκεκριμένα εδάφη κ.α. Έτσι λοιπόν τα εδάφη που επιτρέπουν τη βλάστηση διακρίνονται στους παρακάτω τύπους (Λαζαρίδου-Αθανασιάδου, n.d.; "Τύποι εδαφών - GAIAPedia," n.d.)

- **Αμμώδη:** Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει τα εδάφη στα οποία το ποσοστό της άμμου είναι μεγαλύτερο από 70% και το ποσοστό της αργίλου είναι μικρότερο από 15%. Γενικά σε αυτήν την κατηγορία κυριαρχούν οι ιδιότητες της άμμου. Δηλαδή έχουν μικρή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων και οι καλλιεργητικές πρακτικές πραγματοποιούνται με ευκολία. Η κίνηση του αέρα, του νερού και η ανάπτυξη της ρίζας μέσα στο έδαφος γίνεται χωρίς εμπόδια. Τα αμμώδη εδάφη πρέπει να αρδεύονται επαρκώς και να λιπαίνονται ορθολογικά με συχνές και μικρές δόσεις. Πολύ φτωχά αμμώδη εδάφη χρησιμοποιούνται μόνο σε δάση (πευκοδάση), ενώ πλουσιότερα αμμώδη εδάφη, (με μεγαλύτερο ποσοστό αργίλου) χρησιμοποιούνται για σίκαλη και πατάτες. Επίσης συναντάμε και εδάφη που το ποσοστό της άμμου δεν είναι συντριπτικά μεγαλύτερο της αργίλου και για αυτό χαρακτηρίζονται ως αμμοπηλώδη εδάφη.
- **Αργιλώδη:** Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα εδάφη στα οποία το ποσοστό της αργίλου είναι τουλάχιστον 35%, αν και σε πολλές περιπτώσεις το ποσοστό αυτό είναι πάνω από 45%. Είναι εδάφη με μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων και οι καλλιεργητικές πρακτικές πραγματοποιούνται με δυσκολία. Συχνά εμφανίζουν προβλήματα στράγγισης και αερισμού, ενώ και η ανάπτυξη της ρίζας μέσα στο έδαφος γίνεται με εμπόδια. Είναι δύσκολα στην επεξεργασία όταν υπάρχει πολλή υγρασία, γιατί είναι πολύ υδατοδιαπερατά και λασπώνουν γρήγορα. Έτσι γίνεται η επιφάνεια τους αδιαπέραστη στον αέρα οπότε υποβαθμίζεται η ποιότητα του εδάφους και παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των φυτών.
- **Πηλώδη:** Λέγονται και εδάφη μέσης σύστασης. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει εδάφη όπου οι αναλογίες σε άμμο, αργίλο και ιλύ είναι περίπου ίσες. Τα εδάφη της ομάδας αυτής εκδηλώνουν μόνο τις επιθυμητές ιδιότητες της άμμου και της αργίλου. Αποτέλεσμα είναι μια μέση μηχανική σύσταση να θεωρείται κατάλληλη για την ανάπτυξη των φυτών χωρίς προβλήματα.
- **Οργανικά:** Αν και οι οργανικές αποθέσεις είναι πιο περιορισμένες από τα άλλα είδη εδαφικών μητρικών υποστρωμάτων, εν τούτοις καταλαμβάνουν ένα σημαντικό τμήμα της επιφάνειας της γης και είναι σημαντικές από περιβαλλοντικής και γεωργικής πλευράς. Συνήθως οργανικές αποθέσεις σχηματίζονται σε παράλια έλη και χερσαίες βαλτώδεις περιοχές. Όταν το νερό είναι ρηχό, απαντώνται χαρακτηριστικά είδη χλωρίδας π.χ.

βούρλα, καλαμιές και το κοινό γρασίδι. Στην Ελλάδα, σε τέτοιες περιοχές φύονται καλάμια, βούρλα και ιπιές, π.χ. στις Πρέσπες. Καθώς οι φυτικοί αυτοί οργανισμοί νεκρώνονται ή ρίχνουν τα φύλλα τους, δημιουργείται στον πυθμένα μια στρώση οργανικών καταλοίπων. Λόγω της παρουσίας του νερού, τα οργανικά αυτά κατάλοιπα δεν οξειδώνονται και, με την πάροδο των ετών, συσσωρεύονται και δημιουργούνται οργανικές αποθέσεις μεγάλου πάχους.

- Αργιλοασβεστώδη: Τα αργιλοασβεστώδη εδάφη είναι τα πιο γόνιμα εδάφη απ' όλα. Οι πόροι τους συγκρατούν πολύ νερό. Δημιουργήθηκαν από την συγκέντρωση πολύτιμων, πλούσιων σε θρεπτικές ουσίες υλικών στο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων. Σε τέτοια εδάφη ευδοκούν τα πιο απαιτητικά φυτά.
- Ασβεστώδη: Τα ασβεστώδη εδάφη έχουν περιεκτικότητα σε άσβεστο πάνω από 40%, αερίζονται καλά και είναι πλούσια σε χούμο και θρεπτικές ουσίες. Είναι αρκετά γόνιμα αλλά δεν συγκρατούν πολύ νερό. Με καλή άρδευση μπορούν να καλλιεργηθούν σε τέτοια εδάφη κριθάρι και ψυχανθή.

1.1.4. Ορίζοντες εδαφών

Το έδαφος αποτελείται από μία σειρά διακριτών στρωμάτων τα οποία ονομάζονται εδαφικοί ορίζοντες. Όλοι οι εδαφικοί ορίζοντες μαζί αποτελούν την εδαφοτομή ή αλλιώς ένα εδαφικό προφίλ και ανάμεσα τους κυκλοφορούν τα ρευστά νερό και αέρας. Μάλιστα, όταν το έδαφος δεχτεί ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, το νερό που κατεισδύει διαλύει συστατικά από τους ανώτερους ορίζοντες και τα μεταφέρει στους κατώτερους, η διαδικασία αυτή ονομάζεται απόπλυση (leaching), και μεταξύ άλλων, έχει ως αποτέλεσμα τα λεπτομερή αργιλικά συστατικά να μεταφέρονται και να αποτίθενται στον χαμηλότερο ορίζοντα ο οποίος έτσι γίνεται πλούσιος σε αργιλικό υλικό και κατά συνέπεια αυξάνεται η ικανότητά του να κατακρατεί υγρασία. Οι εδαφικοί ορίζοντες λοιπόν είναι οι εξής (Κράνης et al., 2015):

- Ορίζοντας O: Το ανώτατο στρώμα το οποίο περιέχει και τον χούμο ονομάζεται ορίζοντας O (Οργανικός ορίζοντας) και αποτελείται από χούμο, οργανική ουσία και ίχνη ορυκτών κόκκων.
- Ορίζοντας A: Αποτελείται από κάποια ποσότητα χούμου, μαζί με άμμο, ιλύ και άργιλο και είναι το αμέσως επόμενο στρώμα κάτω από τον ορίζοντα O.
- Ορίζοντας B: Ακολουθεί ο ορίζοντας B, στον οποίον κυριαρχούν τα προϊόντα της αποσάθρωσης του μητρικού πετρώματος, ενώ η συμμετοχή της οργανικής ουσίας είναι μικρή.
- Ορίζοντας C: Αποτελεί το βαθύτερο στρώμα που αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από προϊόντα αποσάθρωσης δηλαδή τα τεμαχίδια του θρυμματισμένου μητρικού πετρώματος, το οποίο βρίσκεται ακριβώς κάτω από αυτό.

1.2. Διάβρωση εδάφους

Με τον όρο διάβρωση έχουμε να κάνουμε με την διαδικασία της απομάκρυνσης των προϊόντων της αποσάθρωσης που προκαλείται από την δράση των ατμοσφαιρικών και των επιφανειακών ρευστών που είναι ο αέρας, το νερό και οι παγετώνες ή ακόμα από την δράση της ίδιας της βαρύτητας (Κράνης, Σκούρτσος, & Σούκης, 2015). Η έννοια αυτή της διάβρωσης είναι αλληλένδετη με της αποσάθρωσης που αφορά το σύνολο των διεργασιών μέσα από τις οποίες οι εξωγενείς παράγοντες θρυμματίζουν τα πετρώματα που είναι εκτεθειμένα στη γήινη

επιφάνεια και ορισμένοι δεν τις διαχωρίζουν εννοιολογικά. Ωστόσο η διάβρωση εμπεριέχει την έννοια της “αφαίρεσης” δηλαδή με απλά λόγια της απομάκρυνσης υλικού από την αρχική του θέση, ενώ στην περίπτωση της αποσάθρωσης το διασπώμενο υλικό μπορεί να παραμείνει στην ίδια θέση που ήταν πριν από αυτή. Ο βασικός μηχανισμός της διαδικασίας της διάβρωσης είναι η απόξεση ή αλλιώς τριβή (abrasion), που οφείλεται στη δράση των ρευστών πάνω σε ένα πέτρωμα, αυτά μπορεί να είναι είτε ο αέρας, είτε το νερό σε υγρή μορφή όπως το τρεχούμενο νερό ή σε στερεά μορφή όπως οι παγετώνες (Imeson & Curfs, n.d.; Roxo, Asimiro, & Sousa, 2004).

1.2.1. Μηχανική και χημική αποσάθρωση

Οι διεργασίες της αποσάθρωσης λειτουργούν προς την κατεύθυνση της δημιουργίας του εδάφους, όμως η διαδικασία που την ακολουθεί δηλαδή η διάβρωση τείνει προς την αποδόμηση του. Οι διεργασίες της αποσάθρωσης που οδηγούν στη διάβρωση του εδάφους γίνονται είτε με μηχανικό (θρυμματισμό) είτε με χημικό τρόπο (διάλυση), έτσι με αυτό τον τρόπο διακρίνεται σε μηχανική ή αλλιώς φυσική και χημική αποσάθρωση. Σε κάθε περίπτωση, οι διεργασίες συντελούνται στα επιφανειακά πετρώματα μέχρι το βάθος εκείνο που επιτρέπει στο νερό, στον αέρα και στους έμβιους οργανισμούς να επιδρούν σε αυτά. Έτσι λοιπόν οι διεργασίες της αποσάθρωσης περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω (Παπανικολάου & Σίδερης, 2007):

- Μηχανική / φυσική αποσάθρωση (physical/mechanical weathering): Στην περίπτωση αυτή η αποδόμηση των πετρωμάτων εξελίσσεται μέσα από τη διαδικασία διεύρυνσης και επέκτασης των ασυνεχειών με μηχανικό τρόπο που οδηγεί στη σταδιακή χαλάρωση της μάζας και στον θρυμματισμό της. Τα στερεά τεμαχίδια που προκύπτουν έχουν ίδια ορυκτολογική σύσταση με το αποσαθρούμενο μητρικό πέτρωμα, διότι σε αυτήν την περίπτωση δεν σημειώνονται χημικές εξαλλοιώσεις ορυκτών.
- Χημική αποσάθρωση (chemical weathering): Εδώ η αποικοδόμηση των πετρωμάτων γίνεται σταδιακά, μέσα από τις χημικές αντιδράσεις των πρωτογενών ορυκτών τους κυρίως με το νερό αλλά σαφώς και με τον αέρα που κυκλοφορεί στις ασυνέχειες. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα μερικά από τα πετρογενετικά ορυκτά να διαλύονται όπως ο ασβεστίτης ενώ άλλα εξαλλοιώνονται, μετασχηματίζονται σε νέα ορυκτά πιο ευσταθή στις επιφανειακές συνθήκες.

Οι παράγοντες που ελέγχουν τα ποσοτικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της αποσάθρωσης είναι οι εξής (Παπανικολάου & Σίδερης, 2007):

- ➔ Το είδος του πετρώματος, όσο πιο σκληρό είναι τόσο πιο δύσκολα αποσαθρώνεται (π.χ. γρανίτης).
- ➔ Τα τεκτονικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, όπου τα πιο έντονα καταπονημένα αποσαθρώνονται πιο εύκολα.
- ➔ Το ανάγλυφο της περιοχής, όσο πιο τραχύ και πολυσχιδές είναι τόσο πιο γρήγορα εξελίσσεται η αποσάθρωση.

1.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση

Αν και θεωρείται εύκολο να αποτραπεί η διάβρωση του εδάφους, τουλάχιστον το 75% των καλλιεργούμενων εδαφών παγκοσμίως έχει υποβαθμιστεί ή επηρεαστεί από αυτή τη διεργασία, το μεγαλύτερο ποσοστό διάβρωσης εμφανίζεται σε γεωργικές και εκχερσωμένες περιοχές, όταν συμβαίνουν φαινόμενα διάβρωσης μπορεί να προκληθούν πλημμύρες και ζημιές εκτός του πεδίου δράσης του φαινομένου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση είναι η ένταση και η ποσότητα της βροχής, η αντίσταση του εδάφους στη διάβρωση, το ποσοστό φυτοκάλυψης, τα χαρακτηριστικά κλίσης της επιφάνειας του εδάφους και οι πρακτικές διαχείρισης.

Ρυθμιστικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση (“Διαχείριση Φυσικών Πόρων”; Συλλαίος, Μπίλας, & Καραπέτσας, 2007; Χατζηνικολάου, 2011):

- Ένταση βροχοπτώσεων: Το έδαφος είναι ευάλωτο στις βροχοπτώσεις καθώς οι σταγόνες της βροχής φτάνουν στο έδαφος με μεγάλη ένταση και ταχύτητα, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα η βροχή ή το χιόνι περνά ανάμεσα στα κενά των σωματιδίων του εδάφους και χαλαρώνει το έδαφος, έτσι κατά τη διάρκεια έντονων καταιγίδων το μέγεθος των σταγονιδίων είναι μεγαλύτερο και η δύναμη με την οποία πέφτουν και χτυπούν στο έδαφος είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα την αποκόλληση και διασπορά των σωματιδίων του εδάφους.
- Αντίσταση του εδάφους στη διάβρωση: Το αμμώδες έδαφος είναι πιο ευάλωτο απέναντι στα φαινόμενα που προκαλούν διάβρωση εφόσον τα μεγάλα κενά μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους καθιστούν πιο εύκολο για τον άνεμο ή τη ροή των επιφανειακών υδάτων την κίνηση των σωματιδίων του εδάφους ενώ το αργιλώδες έδαφος είναι πιο ανθεκτικό διότι είναι περισσότερο συμπαγή.
- Ποσοστό φυτοκάλυψης: Η βλάστηση προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση διότι παρέχει κάλυψη από τις σταγόνες της βροχής και δεν της αφήνει να φτάσουν στο έδαφος, το ίδιο συμβαίνει και από την νεκρή βλάστηση που βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα του εδάφους και το στρώμα οργανικής ύλης που σχηματίζεται εκεί. Επιπλέον, το ριζικό σύστημα αυξάνει την συμπίεση του εδάφους, αφού οι μικρές ρίζες κολλάνε στα σωματίδια του εδάφους, περιορίζοντας τη διασπορά των σωματιδίων. Όταν η βλάστηση απομακρυνθεί, το έδαφος είναι εκτεθειμένο στην διαδικασία της διάβρωσης.
- Κλίση της επιφάνειας του εδάφους: Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του εδάφους τόσο μεγαλύτερη είναι και η βαρύτητα μετακίνησης των σωματιδίων. Στην περίπτωση της επίπεδης γης ο κίνδυνος για διάβρωση είναι μικρότερος λόγω του ότι το νερό δεν έχει κλίση για να κινηθεί επιφανειακά με αποτέλεσμα να περνάει απλά μέσα από τους πόρους του εδάφους, Στην περίπτωση όμως που η κλίση αρχίζει να αυξάνει η βαρύτητα βοηθά το νερό να κινηθεί προς την κατεύθυνση της κλίσης του εδάφους μεταφέροντας έτσι και τα σωματίδια που βρίσκονται σε αυτό.
- Ανθρώπινη δραστηριότητα: Τις περισσότερες φορές οι λόγοι που επιταχύνουν τη διάβρωση είναι κατά βάση ανθρωπογενείς, και τα αποτελέσματα γίνονται πιο δραστικά όταν ισχύουν και οι παραπάνω συνθήκες. Αλλαγή χρήσης γης σε γεωργική με αποτέλεσμα τη μείωση του ριζικού συστήματος και την αύξηση της ευπάθειας του εδάφους στη διάβρωση, μείωση του ποσοστού φυτοκάλυψης, μείωση της οργανικής ουσίας του εδάφους και μη ορθολογική καλλιέργεια της γης με αποτέλεσμα να εξαντλούνται τα θρεπτικά στοιχεία και να υποβαθμίζεται το έδαφος καταστρέφοντας τις φυσικές του ιδιότητες.

Η αλλαγή χρήσης γης προς την κτηνοτροφία και την υπερβόσκηση επιταχύνει την

αποψίλωση των περιοχών και τα πόδια των ζώων καταστρέφουν τη δομή του εδάφους και δημιουργούν κόκκους σκόνης αντίστοιχα.

1.2.3. Κατηγορίες διάβρωσης εδάφους

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εδαφική διάβρωση αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές μορφές υποβάθμισης του εδάφους, που αφορά στη μείωση της παραγωγικότητας για μία ή περισσότερες χρήσεις γης. Μπορεί να προκληθεί από φυσικά φαινόμενα και να επιταχυνθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και παρεμβάσεις. Η διάβρωση χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες την υδατική, την αιολική, τις κατολισθήσεις και τη μηχανική διάβρωση.

Οι κατηγορίες διάβρωσης διαμορφώνονται ως εξής:

- Υδατική διάβρωση (water erosion): Η υδατική διάβρωση αφορά μία φυσική διαδικασία που οφείλεται στις έντονες βροχοπτώσεις, στην τοπογραφία, στο χαμηλό σε οργανική ουσία περιεχόμενο του εδάφους, στο ποσοστό και στον τύπο φυτοκάλυψης. Αξίζει να πούμε πως αυξάνεται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν να κάνουν με ακατάλληλες πρακτικές καλλιέργειας, αποψίλωση εδάφους, αλλαγές στις υδρολογικές συνθήκες και περιθωριοποίηση ή εγκατάλειψη της γης (Imeson & Curfs, n.d.; Συλλαίος et al., 2007). Οι τύποι υδατικής διάβρωσης είναι:

Η διάβρωση διασποράς που έχει να κάνει με την αποκόλληση και την απομάκρυνση εδαφικών τεμαχιδίων που προκαλείται από την πτώση σταγόνων βροχής στο έδαφος.

Η επιφανειακή διάβρωση που αφορά την αφαίρεση ενός σχετικά ομοιόμορφου λεπτού στρώματος εδάφους από την επιφάνεια εξαιτίας των βροχοπτώσεων και της επιφανειακής απορροής.

Η χαραδρωτή διάβρωση που είναι μία διεργασία κατά την οποία το νερό συγκεντρώνεται σε χαραδρες απομακρύνοντας το έδαφος σε σημαντικό βάθος μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, το βάθος αυτό κυμαίνεται από 0,5 μέτρα έως 25 με 30 μέτρα.

Η υπόγεια διάβρωση η οποία παρατηρείται σε εδάφη που είναι επιρρεπή στη δημιουργία υπόγειων διόδων νερού. Τα εδάφη αυτά είναι πλούσια σε άργιλο που όταν ξηραίνονται συστέλλονται και όταν υγραίνονται διαστέλλονται.

- Αιολική διάβρωση (wind erosion): Όσον αφορά την αιολική διάβρωση, ο παράγοντας που την επηρεάζει είναι η υγρασία του εδάφους (Marshall, Holmes, & Rose, 1996). Για να συμβεί η αιολική διάβρωση το έδαφος πρέπει να είναι πολύ ξηρό. Υγρά ή κάθυγρα εδάφη δεν διαβρώνονται από τον άνεμο (Γαπαϊωάννου και Τάντος, 2006). Για τον λόγο αυτό ισχυροί ξηροθερμικοί άνεμοι, που μπορούν να ξεράνουν το έδαφος, αυξάνουν τον κίνδυνο της αιολικής διάβρωσης (Παπαιωάννου & Τάντος, 2006). Ακόμα ένας παράγοντας μπορεί να θεωρηθεί η ταχύτητα του ανέμου που όταν ξεπερνάει την τιμή 30-40 Km/h αρχίζει η μεταφορά εδαφικών υλικών (McLaren & Cameron, 1996). Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η τραχύτητα του εδάφους η οποία είναι πολύ σημαντική καθώς επηρεάζει (μειώνει) την ταχύτητα του ανέμου πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και μέχρι ένα ύψος 300 mm (McLaren & Cameron, 1996). Τέλος, μπορούμε ακόμα να πούμε πως και η βλάστηση επηρεάζει σημαντικά την αιολική διάβρωση η οποία επιδρά στην

τραχύτητα και στην συνοχή του εδάφους. Έτσι λοιπόν η φυσική διαδικασία της αιολικής διάβρωσης είναι μία κοινή αιτία υποβάθμισης και ερημοποίησης της γης που παρατηρείται συνήθως σε περιόδους ξηρασίας όταν ισχυροί άνεμοι φυσούν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, έτσι η ταχύτητα του ανέμου αποσπά τεμάχια συγκεκριμένου μεγέθους όπως (χονδρόκοκη ύλη ή άμμο). Όταν τα τεμάχια αυτά δεν συγκρατούνται ισχυρά με την παρουσία της οργανικής ουσίας, των ριζών ή της αργίλου διαβρώνονται εύκολα ("Wind erosion," 2011).

- Παράκτια διάβρωση (coastal erosion): Είναι η υποσκαφή των πετρωμάτων σε κρημνώδεις ακτές από τη βίαιη πρόσκρουση των κυμάτων μαζί με το στερεό τους φορτίο (κόκκοι άμμου) (National Geographic Society, n.d.).
- Παγετική διάβρωση (glacial erosion): Πρόκειται για το "ξύρισμα" των πετρωμάτων στην κοίτη και τα πλευρά των παγετώνων. Το λιώσιμο του παγετώνα προκαλεί απόθεση των μεταφερόμενων γωνιωδών θραυσμάτων, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ειδικού τύπου κλαστικά πετρώματα που ονομάζονται μοιραίνες (κλασικές μορφές παγετικής διάβρωσης αποτελούν οι επιμήκεις και βαθιές παγετοκοιλιάδες) (National Geographic Society, n.d.).

1.2.4. Απορροή και διήθηση

Η διάβρωση όπως έχουμε ήδη αναφέρει, συνδέεται άμεσα με την απορροή (επιφανειακή), κυρίως στο στάδιο της μεταφοράς. Επιφανειακή (επίγεια) απορροή (overland flow) παρατηρείται όταν η ένταση της βροχής είναι μεγαλύτερη από τον ρυθμό απορρόφησης και συγκράτησης του νερού στο έδαφος (National Geographic Society, n.d). Αυτή άλλωστε είναι και η υπόθεση του Horton (Hortonian overland flow), σε καμένες περιοχές ή περιοχές με αραιή βλάστηση (Παπαιωάννου & Τάντος, 2006). Σε περιοχές όμως όπου το έδαφος χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό συντελεστή απορροής (π.χ. όταν υπάρχει πυκνή παρεδάφια βλάστηση), η βροχή διηθείται στο σύνολό της, ακόμα και για μεγάλες εντάσεις και επίγεια απορροή παρατηρείται όταν το έδαφος κορεστεί και η επιφάνεια του υπόγειου υδροφορέα φτάσει την επιφάνεια του εδάφους (επίγεια ροή λόγω κορεσμού από κάτω) (Κουτσογιάννης, 1999). Στην πραγματικότητα λοιπόν, το αίτιο της επίγεια ροής ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και τις εδαφικές συνθήκες της, χωρίς να αποκλείεται και η συνύπαρξη των δύο περιπτώσεων. Η επιφανειακή απορροή απομακρύνει σημαντικές ποσότητες νερού, που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της δασικής βλάστησης και των υπογείων αποθεμάτων.

Όσον αφορά τη διήθηση (infiltration) του νερού από τα δασικά εδάφη είναι σχεδόν πάντα επιθυμητή. Η βλάστηση και τα φυτικά υπολείμματα ασκούν πολύ θετική επίδραση στην απορρόφηση και διήθηση του νερού από το έδαφος, μειώνοντας την επιφανειακή απορροή, τόσο στο επίπεδο πρόσληψης νερού μέσω των ριζών, όσο και στο επίπεδο μείωσης της ταχύτητας ροής της επιφανειακής απορροής, σαν φυσικά εμπόδια. Στα δασικά εδάφη, η διηθητικότητα των ανωτέρων στρωμάτων είναι πολύ μεγάλη, ώστε να μην παρατηρείται επιφανειακή (επίγεια) απορροή ακόμη και μετά από επεισόδια βροχής μεγάλης έντασης (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Γι' αυτόν τον λόγο, ο μηχανισμός γένεσης της επίγεια απορροής στα δασικά εδάφη, θεωρείται ο κορεσμός από κάτω (saturation overland flow), (Hewlett, 1961 από Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Η ικανότητα διήθησης του εδάφους εξαρτάται γενικώς πέρα από την βλάστηση, από τον τύπο του εδάφους, την υγρασία του, το ποσοστό των οργανικών υλών και την εποχή (Μιμίκου, 1994). Ο πιο βασικός παράγοντας όμως, είναι το πορώδες (μη τριχοειδές), που επηρεάζει την ικανότητα αποθήκευσης του εδάφους και την αντίστασή του στη ροή μέσα σε αυτό. Η διήθηση αυξάνεται με το πορώδες, συνεπώς εδάφη

πλούσια σε λεπτά αργιλώδη υλικά, δηλαδή εδάφη με πολύ χαμηλό ενεργό πορώδες, είναι πολύ ευάλωτα στην διάβρωση. Επιπλέον, η αύξηση των οργανικών υλών αυξάνει την ικανότητα διήθησης, ενώ η ύπαρξη υγρασίας στο έδαφος μειώνει τη διήθηση (Μιμίκου, 1994). Έτσι, αν κατά το χρόνο της βροχόπτωσης το έδαφος είναι ξηρό, το νερό της βροχής κινείται με ευκολία στο εσωτερικό του εδάφους από τους πόρους και τα ανοίγματα που υπάρχουν στην επιφάνεια του ξηρού εδάφους και η ταχύτητα της διήθησης είναι μεγάλη. Με την πάροδο του χρόνου και ενώ η βροχόπτωση συνεχίζεται, κλείνουν σταδιακά τα ανοίγματα και οι πόροι, είτε με διόγκωση του εδάφους, που προκαλείται από την αύξηση της υγρασίας (οι τριχοειδείς πόροι γεμίζουν με νερό), είτε με τη μεταφορά κόκκων στα ανοίγματα και τους πόρους, που προέρχονται από την κρούση σταγόνων, στην επιφάνεια του εδάφους. Όταν το έδαφος κορεστεί σε νερό, η διήθηση ελαχιστοποιείται και αρχίζει η επιφανειακή (επίγεια) απορροή (δεχόμαστε για τα δασικά εδάφη με πλούσια βλάστηση, την απορροή λόγω κορεσμού από κάτω) (Μιμίκου, 1994). Η διήθηση και η πορεία της με τον χρόνο παριστάνεται με την καμπύλη του Horton στις αρχές της δεκαετίας του 1930 (Μιμίκου, 1994), γνωστή και σαν καμπύλη ικανότητας διήθησης και μας δείχνει πως όσο ο βαθμός κορεσμού αυξάνει, η διηθητικότητα μειώνεται εκθετικά

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-kt}$$

όπου, f_p η ικανότητα διήθησης (mm ή cm/hour) στο χρόνο t , k σταθερά που αντιπροσωπεύει το ρυθμό μείωσης της ικανότητας διήθησης f , f_c η τελική ικανότητα διήθησης, f_0 η αρχική ικανότητα διήθησης, t ο χρόνος από την έναρξη της κατακρήμνισης.

Η σχέση υποδηλώνει ότι αν η βροχόπτωση υπερβεί την ικανότητα διήθησης, η διήθηση τείνει να μειωθεί με εκθετικό βαθμό. Αν και η εξίσωση έχει απλή μορφή, παρουσιάζονται δυσκολίες στον καθορισμό των τιμών για τα f_0 και k (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

1.2.5. Υπολογισμός απώλειας εδάφους

Ο υπολογισμός απώλειας του εδάφους λόγω διάβρωσης στηρίζεται σε εμπειρικές μεθόδους οι οποίες θεωρούνται χρήσιμα εργαλεία για την αποτίμηση του μεγέθους και της έκτασης της διάβρωσης όπως επίσης και της πρόβλεψης της υποβάθμισης της παραγωγικότητας των εδαφών. Από το 1950 έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα που έχουν ως σκοπό την εκτίμηση της διάβρωσης του εδάφους και παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η αποτίμηση βασίζεται συνήθως στον προσδιορισμό διαφόρων επιμέρους παραγόντων όπως κλίσεις, χρήσεις γης, το μέγεθος και η ένταση της βροχόπτωσης κ.α. που είναι κοινά μεταξύ των διαφόρων μοντέλων. Μεταξύ αυτών των μοντέλων η USLE (Universal Soil Loss Equation) είναι το πιο απλό μαθηματικό μοντέλο αποτίμησης της ετήσιας διάβρωσης καθώς επίσης αποτελεί την παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους (Weischmeir & Smith, 1978; Μυρωνίδης, 2012; Συλλαίος et al., 2007), ο τύπος της έχει ως εξής

$$A = R * K * LS * C * P$$

όπου,

- A είναι η μέση ετήσια επιφανειακή διάβρωση σε tn/ha/έτος.
- R είναι ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{hour}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) ο οποίος υπολογίζεται με βάση την κινητική ενέργεια και το ύψος του συνόλου των κατακρημνισμάτων του έτους από όλες τις διαβρωτικά ενεργές βροχές.
- K είναι ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους ($\text{ton}\cdot\text{ha}\cdot\text{hr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) και αποτυπώνει την ευπάθεια του εδάφους στην απόσπαση και μεταφορά εξαιτίας της πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής και της απορροής.
- LS είναι ο συντελεστής αναγλύφου ο οποίος αφορά την τοπογραφία της περιοχής. Όσο πιο απότομες και μεγάλες σε μήκος είναι οι κλίσεις που επικρατούν σε μια περιοχή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος διάβρωσης.
- C είναι ο συντελεστής φυτοκάλυψης ο οποίος χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας της προστασίας που παρέχει η βλάστηση στη διάβρωση του εδάφους μειώνοντας την κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής.
- P είναι ο συντελεστής ελέγχου διάβρωσης ο οποίος εκφράζει την ανθρώπινη παρέμβαση για την προστασία από τη διάβρωση. Είναι ανάλογος της κλίσης και εξαρτάται από τις πρακτικές (π.χ. όργωμα κατά την διεύθυνση των ισοϋψών) και κατασκευές (π.χ. φράγματα) ελαχιστοποίησης της διάβρωσης οι οποίες εφαρμόζονται.

1.3. Διάβρωση και κίνδυνος διάβρωσης στην Ελλάδα

Είναι γεγονός ότι το φαινόμενο της εδαφικής διάβρωσης στις συνθήκες του σήμερα σημειώνει μεγάλη ταχύτητα εξέλιξης. Είναι δυνατόν σε χρονικό διάστημα μερικών ωρών να καταστραφεί έδαφος για το σχηματισμό του οποίου απαιτούνται εκατοντάδες ή και χιλιάδες χρόνια. Η κατάσταση της διάβρωσης του εδάφους σε παγκόσμιο επίπεδο προκαλεί έντονο προβληματισμό εφόσον πλήττει όλες τις χώρες του κόσμου είτε σε μικρότερο είτε σε μεγαλύτερο βαθμό.

Στο χώρο εντός των εθνικών συνόρων της Ελλάδας η διάβρωση είναι ο κύριος παράγοντας υποβάθμισης του εδάφους επηρεάζοντας το 1/3 της εδαφικής μάζας. Το 26,5% της επιφάνειας της χώρας εμφανίζει έντονη επιφανειακή, αυλακωτή και χαραδρωτική διάβρωση, σύμφωνα με πολύ πρόσφατα στοιχεία (Παπαιωάννου & Τάντος, 2006). Κυρίως σε περιοχές όπου οι παράγοντες γένεσης της διάβρωσης όπως οι κλιματικές συνθήκες, οι απότομες κλίσεις κ.α. συντελούν στην ταχύτερη εξέλιξη του φαινομένου, έχει χαθεί η παραγωγικότητα περισσότερων από 2 εκατομμυρίων εκταρίων γης από τα συνολικά 13 εκατομμύρια εκτάρια της συνολικής έκτασης της χώρας. Στις περιοχές αυτές έχουν απομείνει γυμνά από κάθε μορφής βλάστησης, ασβεστολιθικά και ηφαιστειακά πετρώματα. Επίσης, άλλα 2,9 εκατομμύρια εκτάρια είναι σοβαρά διαβρωμένα και χαρακτηρίζονται ως μερικώς δασοσκεπείς εκτάσεις ή δασοσκεπή λιβάδια (Παπαιωάννου & Τάντος, 2006). Ένας από τους κύριους παράγοντες που συντελούν στη μεγιστοποίηση της διάβρωσης του εδάφους στην Ελλάδα είναι η υποβάθμιση των δασών και των δασικών εκτάσεων (Ντάφης, 1986). Η υποβάθμιση των δασών και των δασικών εκτάσεων οφείλεται σ' έναν αριθμό παραγόντων που προέρχονται κυρίως από την ανθρώπινη παρέμβαση στο περιβάλλον. Μεταξύ των κυριότερων αυτών παραγόντων είναι οι εκχερσώσεις λόγω υπερβόσκησης, ληστρικής υλοτομίας, γεωργικής χρήσης, αστικής επέκτασης και λατομείων, η ρύπανση του αέρα και οι ασθένειες που προκαλούνται στη δασική κυρίως βλάστηση από έντομα, μύκητες κ.α. λόγω της γενικότερης εξασθένησης του εδάφους.

Μέσα από μελέτες και έρευνες έχουμε καταλήξει ότι πιο σημαντικοί παράγοντες διάβρωσης του εδάφους είναι οι πυρκαγιές και η υπερβόσκηση ή ο συνδυασμός αυτών των δύο. Σημειώνεται ότι στη χώρα μας διατίθενται 70 εκατομμύρια στρέμματα για βοσκή, παρόλα αυτά ασκείται σημαντική πίεση στα λίγα δάση που έχουν απομείνει. Μια άμεση συνέπεια της υπερβόσκησης είναι ότι πολλά φυτικά είδη εξαφανίζονται, άλλα νεκρώνονται ή δεν ριζώνουν επαρκώς, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει η απαιτούμενη κάλυψη του εδάφους από βλάστηση ώστε να προφυλάσσεται το έδαφος από τη διάβρωση. Ακόμα κάπου εδώ αξίζει να πούμε ότι μεγάλες επιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει η βόσκηση μετά από μία πυρκαγιά διότι δεν βοηθά την αναγέννηση της βλάστησης.

Παρόλα τα παραπάνω ένας παράγοντας ακόμα που ενισχύει το φαινόμενο της διάβρωσης στη χώρα μας όπως και σε όλες τις μεσογειακές χώρες είναι το κλίμα, οι λίγες βροχοπτώσεις δεν βοηθούν την ανάπτυξη της βλάστησης ενώ από την άλλη οι περιστασιακές έντονες βροχές που σημειώνονται ευνοούν το φαινόμενο αυτό ειδικά σε εδάφη που έχουν υπερβροσκηθεί και απογυμνωθεί. Επιπλέον υπάρχει πίεση λόγω της ανάγκης αύξησης των εξαγωγών αγροτικών προϊόντων με σκοπό τη βελτίωση του ισοζυγίου πληρωμών, ανάγκη που ενισχύεται από τα κίνητρα που παρέχει η Κοινή Αγροτική Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αυτό σε συνδυασμό με τον τύπο της ιδιοκτησίας της γης που αναγκάζει τους αγρότες σε καλλιέργειες κατά τη διεύθυνση της κλίσης, μεγιστοποιούν το πρόβλημα της εδαφικής διάβρωσης (Παπαθεοδοσίου & Χριστοδούλου, 2009). Το 1/4 του καλλιεργούμενου εδάφους στην Ελλάδα δηλαδή γύρω στα 700.000 εκτάρια αν και διαβρωμένο περιλαμβάνει το μισό περίπου των καλλιεργούμενων λοφωδών και ορεινών περιοχών της χώρας με γωνία κλίσης μεγαλύτερη από 15°, ενώ δεν λείπουν και περιπτώσεις εγκατάλειψης πολλών χωραφιών εξαιτίας της μικρής γονιμότητάς τους (Παπαιωάννου & Τάντος, 2006).

Ακόμα, οι μεταλλευτικές εργασίες και οι παραθεριστικές κατοικίες στα δάση επιδεινώνουν τα διαβρωτικά φαινόμενα και το έδαφος, με τη συμβολή του ευνοϊκού τοπογραφικού ανάγλυφου, καθίσταται έρμαιο των βροχοπτώσεων. Συνέπεια αυτής της κατάστασης είναι η παρουσία τουλάχιστον 700 χειμάρρων, που χαρακτηρίζονται μεγάλοι και καταστρεπτικοί και διαυλακώνουν την ελληνική γη από άκρη σε άκρη (Καϊλίδης, 1993).

Τέλος, οι δασικοί δρόμοι που κατασκευάζονται πρόχειρα, σε πολύ περισσότερο αριθμό από τον αναγκαίο στην χώρα μας, ευθύνονται για την δημιουργία έντονων και εκτεταμένων διαβρώσεων (αυλακωτών και χαραδρωτικών). Οι δασικοί δρόμοι πρέπει να σχεδιάζονται με πολλή προσοχή και να αποφεύγονται οι ασταθείς θέσεις (Ντάφης, 1986). Επιπλέον, έχει αποδειχθεί πως όχι μόνο δεν μείωσαν τις δασικές πυρκαγιές καθώς βοηθούν στην περιπολία και την κατάσβεση, αλλά αντίθετα από το 1975 και μετά, που άρχισε η συστηματική διάνοιξή τους, οι πυρκαγιές αυξήθηκαν, καθώς διευκολύνθηκε η πρόσβαση των εμπρηστών στα δάση (Καϊλίδης, 1993).

1.4. Διάβρωση σε πυρόπληκτες περιοχές

1.4.1. Δασικές πυρκαγιές

Το δάσος αποτελεί ένα από τα πολυπλοκότερα οικοσυστήματα στη φύση από την αρχαιότητα ως και σήμερα τα δάση παίζουν καθοριστικό ρόλο για την διαφύλαξη της οικολογικής ισορροπίας σε παγκόσμιο επίπεδο και φυσικά για την διαφύλαξη της ίδιας της ζωής. Αξίζει να πούμε ότι το δάσος είναι ο βασικότερος ρυθμιστής του κλίματος του πλανήτη, παράγει οξυγόνο και συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής κατακρατώντας σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον αποτελεί έναν πλούσιο βιότοπο που φιλοξενεί μία τεράστια ποικιλία χλωρίδας και πανίδας. Ωστόσο είναι βασικός κρίκος στον υδρολογικό κύκλο αυξάνοντας την διαπερατότητα των εδαφών και κατακρατώντας σημαντικές ποσότητες φυσικού νερού. Η αξία του απέναντι στον άνθρωπο είναι ανεκτίμητη διότι του παρέχει πρώτες ύλες, δασικά προϊόντα, ξυλεία, χαρίζει στο τοπίο και στο περιβάλλον τουριστική και πολιτιστική αξία, αποτρέπει τις πλημμύρες, παρόλα αυτά η πιο ευεργετική προσφορά του στον άνθρωπο είναι η επίδραση που ασκεί στη υγιεινή, την αισθητική, και πνευματική κατάσταση του παρέχοντας δυνατότητες αναψυχής και επαφής με τη φύση.

Όπως όλες οι μεσογειακές χώρες έτσι και η Ελλάδα πλήττεται από μεγάλες καταστροφές των δασών από πυρκαγιά. Κάθε χρόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σημειώνεται ένας μεγάλος αριθμός πυρκαγιών στα πλαίσια της χώρας, αυτό έχει ως συνέπεια την απώλεια ανθρώπινης ζωής, την καταστροφή κατοικημένων περιοχών, πολλών στρεμμάτων δασών, γεωργικών εκμεταλλεύσεων και στρατιωτικών εγκαταστάσεων που η αξία τους εκτιμάται πολλά εκατομμύρια ευρώ. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν το πιο σημαντικό αίτιο των γυμνών βουνών της χώρας μας, είναι ένας φυσικός παράγοντας της εξέλιξης του τοπίου και αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι του μεσογειακού οικοσυστήματος. Ακόμα οι πυρκαγιές που σημειώθηκαν για κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες έχουν προκαλέσει υδρολογικές και γεωμορφολογικές αλλαγές με αποτέλεσμα την εδαφική διάβρωση.

Γενικά η φωτιά είναι ένα ενεργό σύστημα που λαμβάνει την ορμητική του ενέργεια από την καύση, δηλαδή τη γρήγορη μεταβολή της αποθηκευμένης χημικής ενέργειας στη βιομάζα, σε κινητική ενέργεια μετάδοσης θερμότητας (Johnson & Miyanishi, 2001), και είναι αποτέλεσμα μιας χημικής διεργασίας, για την οποία απαιτείται η συνύπαρξη τριών θεμελιωδών στοιχείων κατάλληλα συνδυασμένων μεταξύ τους. Τα στοιχεία αυτά είναι η καύσιμη ύλη, η θερμότητα και το οξυγόνο. Το γνωστό τρίγωνο της φωτιάς. Αν αφαιρεθεί έστω και μία από τις πλευρές του τριγώνου τότε το τρίγωνο παύει να υπάρχει. Το ίδιο ισχύει και για την ύπαρξη της φωτιάς εάν αφαιρεθεί η καύσιμη ύλη, το οξυγόνο ή η θερμότητα. Επάνω σε αυτή την αρχή στηρίζονται όλες οι μέθοδοι πρόληψης και καταστολής των δασικών πυρκαγιών (Θανασούλας, 2011). Η φωτιά μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

- Φυσικό φαινόμενο: Η καύση εμπλέκει τη δημιουργία, μεταφορά και απορρόφηση ενέργειας θερμότητας (Καϊλίδης, 1993). Η μετάδοση της θερμότητας είναι δεδομένη σε κάθε περίπτωση που έχει προκληθεί φωτιά.
- Χημικό φαινόμενο: Ως χημικό φαινόμενο, η καύση ανήκει στη γενική κατηγορία των χημικών οξειδωτικών αντιδράσεων (DeBano, Osborn, Krammes, & Letey, 1967).

1.4.2. Είδη των δασικών πυρκαγιών

Στις δασικές πυρκαγιές η καύσιμη ύλη χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες

- ➔ στην *επεδάφια καύσιμη ύλη* που περιλαμβάνει όλο το ζωντανό και νεκρό οργανικό υλικό πάνω στο έδαφος (Καϊλίδης, 1993), όσον αφορά το νεκρό οργανικό υλικό αναφερόμαστε στην αποσύνθεση της οργανική ύλη όπως ο χούμος, η τύρφη και οι νεκρές ρίζες
- ➔ στην *καύσιμη ύλη επί του εδάφους ή έρπουσα* μέχρι ύψους 2 μέτρων από αυτό που περιλαμβάνει τα πεσμένα φύλλα και βελόνες, τον λεγόμενο ξηροτάπητα, την ποώδη βλάστηση, τους θάμνους, τα πεσμένα δένδρα, τα υπολείμματα των υλοτομιών, τα φρύγανα κλπ. Είναι σπάνιες πυρκαγιές στη χώρα μας και καίγεται κατά κανόνα την καύσιμη ύλη που συσσωρεύεται στο έδαφος (Βορίσης, n.d.; Θανασούλας, 2011)
- ➔ στην *εναέρια καύσιμη ύλη* που περιλαμβάνει τα καύσιμα υλικά που βρίσκονται πάνω από τα 2 μέτρα από το έδαφος όπως το φύλλωμα και τα λεπτά κλαδιά των δένδρων (κύρια των κωνοφόρων), οι λειχήνες, τα αναρριχόμενα φυτά, τα όρθια νεκρά δένδρα κλπ. Διαδίδονται πολύ γρήγορα, επειδή υπάρχει άφθονος αέρας και οξυγόνο, άφθονη φλόγα και θερμοκρασία ενώ τα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών αυτών διαφέρουν σημαντικά κατά περίπτωση. Ανάλογα με την καύσιμη ύλη και τις επικρατούσες συνθήκες οι πυρκαγιές αυτές μπορεί να είναι από ασήμαντες και εύκολα ελεγχόμενες έως εξαιρετικά σοβαρές και δύσκολες στην αντιμετώπισή τους (Βορίσης, n.d.; Θανασούλας, 2011)

Αξίζει να πούμε πως όλες οι πυρκαγιές δεν είναι ίδιες, διαφέρουν μεταξύ τους λόγω της προέλευσης, της ταχύτητας εξάπλωσης και το μέγεθος της βλάβης που προκαλούν. Ωστόσο για να ορίζουμε τα είδη των πυρκαγιών λαμβάνουμε κυρίως υπόψη μας τον τρόπο εξάπλωσης της φωτιάς και την γεωγραφική θέση στην οποία έχει εκδηλωθεί. Τα είδη πυρκαγιών λοιπόν τα χωρίζουμε ως εξής:

- Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες (ground fire): Σε αυτήν την περίπτωση καίγεται οργανική ύλη που συσσωρεύεται στα εδάφη των δασών, περιλαμβάνει όλο το ζωντανό και νεκρό οργανικό υλικό πάνω στο έδαφος (Καϊλίδης, 1993), όσον αφορά το νεκρό οργανικό υλικό αναφερόμαστε στην αποσύνθεση της οργανική ύλη όπως ο χούμος, η τύρφη και οι νεκρές ρίζες. Συγκεκριμένα σε πολλούς δασικούς τόπους συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του εδάφους διάφορες ποσότητες οργανικής ύλης, που βρίσκονται σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης. Το στρώμα αυτό της οργανική ύλης καλείται ως χούμος. Χαρακτηριστικό αυτού του είδους είναι η βραδεία καύση και είναι δυνατόν να μην έχουμε παραγωγή καπνού, οπότε γίνονται πολύ δύσκολα αντιληπτές, στη συνέχεια όμως εφόσον υπάρχει βλάστηση η φωτιά μεταδίδεται σ' αυτή, ακόμα μπορεί να διεισδύουν σε βάθος έως και 2 μέτρα εξαπλώνονται αργά και είναι από τις πιο δύσκολες στην κατάσβεση. Οι πυρκαγιές αυτού του είδους είναι σπάνιες στην Ελλάδα.
- Πυρκαγιές επιφανείας ή έρπουσες (surface fire): Οι πυρκαγιές του είδους αυτού καίνε τους χορτοβοσκότοπους, τον βελονοτάπητα ή φυλλοτάπητα, τους κατακείμενους ξερούς κλάδους, τις φυτικές αναγεννήσεις, τα υπολείμματα των υλοτομιών ή και συνδυασμό των προηγούμενων. Ακόμη, εδώ υπάγονται και οι πυρκαγιές των θαμνώνων της χώρας μας

οι οποίες είναι οι πιο συνηθισμένες (Καϊλίδης, 1993; Κωνσταντινίδης, 2003).

- Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες (crown fire): Σε αυτές τις πυρκαγιές καίγεται η κόμη των δένδρων. Τα δένδρα και ειδικά τα κωνοφόρα σχεδόν πάντα νεκρώνονται. Οι πυρκαγιές του είδους αυτού γίνονται σε φυτικά είδη με εύφλεκτη κόμη όπως για παράδειγμα στα κωνοφόρα και κυρίως στα δάση πεύκης. Οι πυρκαγιές αυτές προέρχονται συνήθως από έρπουσες πυρκαγιές. Στη χώρα μας στα δάση χαλεπίου και τραχιάς πεύκης συχνά καίγεται ο υπόροφος (έρπουσες) και μεταδίδει τη φωτιά στην κόμη. Εδώ ανήκουν το 40% με 50% των μεγάλων δασικών πυρκαγιών (Καϊλίδης, 1993). Πυρκαγιές καθαρής κόμης φαίνεται πως έχουμε σπάνια (Γκόφας, 2001). Στις πυρκαγιές κόμης ο άνεμος παρασύρει σε αρκετή απόσταση καιγόμενα φύλλα, κλαδιά και όχι κώνους, όπως πολλοί πιστεύουν, οπότε δημιουργούνται νέες εστίες πυρκαγιών.
- Σημειακή πυρκαγιά ή πυρκαγιά καύτρας (spot fire): Μια τέτοια πυρκαγιά μπορεί να γίνει οποιοδήποτε άλλο είδος πυρκαγιάς. Χαρακτηρίζεται ως ξεχωριστό είδος πυρκαγιάς, λόγω του τρόπου της έναρξής της, καθώς δημιουργείται από εκσφενδονισμένες καύτρες οι οποίες με τη σειρά τους δημιουργούν προχωρημένες εστίες μέχρι και 300 μέτρα μπροστά από το κυρίως μέτωπο της πυρκαγιάς (Γκόφας, 2001).
- Πυρκαγιές αστραπών ή δένδρων (lightning fire): Τέτοιου είδους πυρκαγιές εμφανίζονται πάνω σε μεμονωμένα δένδρα (σημειακές πυρκαγιές) κατά τη διάρκεια μια θύελλας και προέρχονται συνήθως από αστραπές. Οι πυρκαγιές αυτές συνήθως ελέγχονται και σβήνουν πολύ γρήγορα χωρίς να επεκταθούν κυρίως διότι οι αστραπές συνοδεύονται και από κατακρήμνισμα (Γκόφας, 2001).

1.4.3. Φάσεις της καύσης

Η καύση, όπως και κάθε άλλη αντίδραση, ακολουθεί μια συγκεκριμένη πορεία: έναρξη, ενδυνάμωση της δραστηριότητας και λήξη. Αυτές οι φάσεις στην περίπτωση της καύσης είναι γνωστές ως ανάφλεξη (έναρξη), διάδοση (εξάπλωση) και εξάλειψη (σβέση) (DeBano, Daniel, & Ffolliot, 1998; Johnson & Miyanishi, 2001; Καϊλίδης, 1993). Στις ρυθμιζόμενες βιομηχανικές φωτιές το περιβάλλον καύσης, άρα και οι φάσεις της, μπορούν να διαχειριστούν και να διαχωριστούν. Αντίθετα, στις δασικές πυρκαγιές σχεδόν καμία μεταβλητή δεν μπορεί να ελεγχθεί και η φωτιά μπορεί να είναι ετερογενής, επιδεικνύοντας διάφορες φάσεις καύσης, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή ή σε διαφορετικές στιγμές στον ίδιο τόπο (Γκόφας, 2001). Το περιβάλλον καύσης, στην περίπτωση των δασικών πυρκαγιών, δεν είναι περιορισμένο αλλά αλλάζει συνεχώς εξαιτίας των ακαθόριστων χαρακτηριστικών του εδάφους και της ατμόσφαιρας. Η ποικιλομορφία της καύσιμης ύλης, οι καιρικές συνθήκες, η τοπογραφία και η αλληλεπίδραση με άλλες εστίες φωτιάς καθορίζουν το περιβάλλον καύσης στις δασικές πυρκαγιές. Εδώ η καύσιμη ύλη δεν είναι χημικά ομοιόμορφη και οι δασικές πυρκαγιές δεν καίνε με ομοιόμορφο τρόπο. Η καύσιμη ύλη αποτελείται από διαφορετικές χημικές συνιστώσες (χημικά πολύπλοκοι υδρογονάνθρακες σε συμπαγή στερεά μορφή) (DeBano et al., 1998) κάθε μια εκ των οποίων αναφλέγεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και με διαφορετικό τρόπο απόκρισης. οι δασικές πυρκαγιές λαμβάνουν χώρα σε μια πλατιά γεωγραφική ζώνη με διαφορετικά χαρακτηριστικά από σημείο σε σημείο. Το τελικό περιβάλλον της πυρκαγιάς οριοθετεί τη ζώνη αντίδρασης και

αυτή με τη σειρά της καθορίζει το ενεργό περιβάλλον καύσης. Οι φάσεις της καύσης παρουσιάζονται λεπτομερώς παρακάτω.

- **Προανάφλεξη (preignition):** Η πυρκαγιά ξεκινά με ενδοθερμικές αντιδράσεις οι οποίες απορροφούν ενέργεια και τελειώνει με εξωθερμικές αντιδράσεις οι οποίες εκλύουν ενέργεια. Η προανάφλεξη είναι το σύνολο των ενδοθερμικών αντιδράσεων του φαινομένου (Καϊλίδης, 1993). Οι εξωθερμικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως καύση και το στάδιο μεταξύ την προανάφλεξης και της καύσης είναι γνωστό ως ανάφλεξη. Η προανάφλεξη είναι η υποχρεωτική διαδικασία με την οποία μέσω της προθέρμανσης (αφυδάτωσης, dehydration) και της πυρόλυσης (pyrolysis) η καύσιμη ύλη προετοιμάζεται για την καύση (Καϊλίδης, 1993). Η θερμοκρασία της στερεάς καύσιμης ύλης πρέπει να αυξηθεί και στην περίπτωση της καύσης με ύπαρξη φλόγας, κατάλληλα εύφλεκτα αέρια εκλύονται και αναπτύσσονται γύρω από αυτή. Η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης, στην οποία η διαδικασία της κύριας καύσης ξεκινά, ονομάζεται θερμοκρασία ανάφλεξης (ignition temperature) (DeBano et al., 1998). Ο χρόνος απόκρισης που απαιτείται για τη θερμική προετοιμασία της καύσιμης ύλης καλείται χρόνος καθυστέρησης ή υστέρησης (Καϊλίδης, 1993). Τόσο η θερμοκρασία ανάφλεξης όσο και ο χρόνος υστέρησης είναι μεταβλητά μεγέθη και εξαρτώνται από τη φυσική και χημική σύσταση της καύσιμης ύλης, το χαρακτήρα της θερμικής πηγής και τον τύπο της καύσης, με φλόγα ή πυράκτωση. Επομένως, όλη η διαδικασία της προανάφλεξης είναι ευμετάβλητη και όχι σταθερή.
- **Ανάφλεξη (ignition):** Η ανάφλεξη παρατηρείται στην έναρξη της καύσης. Σηματοδοτεί την επικράτηση των εξώθερμων αντιδράσεων (DeBano et al., 1998) οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενέργειας έναντι των ενδόθερμων αντιδράσεων οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την απορρόφηση ενέργειας. Στην πραγματικότητα η ανάφλεξη δεν είναι μια απλή διαδικασία αλλά μια σειρά διαδικασιών, δεν είναι το τέλος της πυρόλυσης (Καϊλίδης, 1993), αλλά μια επιτάχυνση αυτής, ούτε ένα απομονωμένο γεγονός το οποίο ολοκληρώνεται κατά τη διάρκεια της φωτιάς, αλλά μια συνεχόμενη ακολουθία γεγονότων καθώς τα σωματίδια εντός της σύνθετης καύσιμης ύλης εμπλέκονται ξεχωριστά. Η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την ανάφλεξη προάγει την πυρόλυση, η οποία φτάνει σε αιχμή μέσα στη ζώνη της φλόγας (Καϊλίδης, 1993).
- **Καύση με παρουσία φλόγας:** Σε αυτή την περίπτωση απελευθερώνονται οι μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας θερμότητας, διαμορφώνοντας έτσι το πιο έντονο περιβάλλον καύσης και προκαλώντας τα περισσότερα βιοχημικά και οικολογικά αποτελέσματα των δασικών πυρκαγιών (DeBano et al., 1998). Η ζώνη της φλόγας μας παρέχει μια σειρά πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά και τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς. Το ύψος της είναι ένα μέτρο για την καταστροφή των κορυφών των δέντρων ιδιαίτερα των κωνοφόρων (Ντάφης, 1986). Με το βάθος της φλόγας έχουμε ένα μέτρο που μας δείχνει πόσο έντονο είναι το κάψιμο. Τα περισσότερα συστήματα πρόβλεψης της συμπεριφοράς και των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών, καθώς και για την εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς, στηρίζονται στην κατανόηση των χαρακτηριστικών της ζώνης φλόγας. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι το σχήμα φλόγας που περιγράφει το μέγεθος της ζώνης, η ταχύτητα

φλόγας ή ρυθμός εξάπλωσης του μετώπου της φλόγας που μας δείχνει το ρυθμό διάδοσης της φλόγας μέσα στο μείγμα καύσιμης ύλης και οξυγόνου και η ένταση αντίδρασης ή ένταση της γραμμής πυρός που μας δείχνει το ρυθμό απελευθέρωσης ενέργειας κατά μήκος του μετώπου της πυρκαγιάς (Γκόφας, 2001; Καϊλίδης, 1993). Η πυρκαγιά χαρακτηρίζεται ως καύση με φλόγα όταν αέριες μάζες εκπέμπονται από την καύσιμη ύλη λόγω πυρόλυσης και αναφλέγονται (Johnson & Miyanishi, 2001). Από την άλλη η καύση με πυράκτωση συνεπάγεται πως η οξειδωση συμβαίνει απευθείας επάνω στην στερεή καύσιμη ύλη (Johnson & Miyanishi, 2001). Η πυρόλυση, η καύση με φλόγα και η καύση με πυράκτωση μπορούν να συνυπάρχουν μέσα στην ίδια ζώνη αντίδρασης την ίδια χρονική στιγμή ή να υπάρχουν σε διαφορετικά τμήματα της πυρκαγιάς ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς (Καϊλίδης, 1993).

- Καύση με πυράκτωση (smoldering and glowing): Οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές παρουσιάζουν φλόγες και μερικές από αυτές όπως οι πυρκαγιές σε χορτολιβαδικές εκτάσεις, έχουν μόνο φλόγα. Όμως, η πλειονότητα των πυρκαγιών εμφανίζουν σε κάποιο βαθμό καύση με πυράκτωση, χωρίς φλόγα (flameless). Ειδικά, οι πυρκαγιές σε οργανικά εδάφη τείνουν να κάνουν την καύση με πυράκτωση πρώτη φάση της διαδικασίας της καύσης (Καϊλίδης, 1993). Πολλές φορές καύσεις με φλόγα ξεκινούν με καύση πυράκτωσης και πολλές δασικές πυρκαγιές με φλόγα καταλήγουν με το στάδιο της πυράκτωσης (DeBano et al., 1998; Γκόφας, 1995). Η καύσιμη πυράκτωση είναι αργή και πλήρης όπως για παράδειγμα η καύση του κάρβουνου. Η καύση με φλόγα είναι γρήγορη, λιγότερο αποτελεσματική, στη μετατροπή της χημικής σε θερμική ενέργεια και χαρακτηρίζεται από μεγάλα υπολείμματα άκαυστων υλικών (DeBano et al., 1998). Από την άλλη πλευρά η καύση με πυράκτωση μπορεί να συμβεί και σε χαμηλές θερμοκρασίες καθώς δεν απαιτεί τις υψηλές θερμοκρασίες που είναι απαραίτητες για γρήγορη πυρόλυση και φλόγα. Κάπου εδώ να σημειώσουμε ότι όταν υπάρχει καύσιμη ύλη σε ογκώδεις διαστάσεις (κορμοί δένδρων), η καύση με πυράκτωση είναι αυτή που οξειδώνει με αργούς ρυθμούς την πλειοψηφία της καύσιμης ύλης παράγοντας ταυτόχρονα καπνό και ενέργεια και μπορεί να διαρκέσει μέρες ή ακόμα και εβδομάδες (Καϊλίδης, 1993). Ως βιολογικό φαινόμενο συνεισφέρει σημαντικά στον μετασχηματισμό των οργανικών συστατικών ενός οικοσυστήματος όπως στη χλωρίδα και την πανίδα σε μεικτό απόθεμα ανόργανης και βιοχημικής ύλης της οποίας η διαθεσιμότητα είναι θεμελιώδους σπουδαιότητας για το ίδιο το οικοσύστημα (DeBano et al., 1998).
- Σβέση (extinction). Αν η καύσιμη ύλη, το οξυγόνο ή η θερμότητα πέσουν κάτω από ένα κρίσιμο σημείο τότε η φωτιά σβήνει (Γκόφας, 2001). Στις ρυθμιζόμενες φωτιές η σβέση μπορεί να είναι ακαριαία, η φλόγα σβήνει με ελάττωση της πηγής θερμότητας ή της παροχής αέρα ή της καύσιμης ύλης. Αυτό φυσικά δε συμβαίνει στις δασικές πυρκαγιές όπου η σβέση γίνεται σταδιακά και με αργούς ρυθμούς. Στη σβέση η θερμότητα σταδιακά και τμηματικά ελαττώνεται. Με τη συνεχή μείωση το δίκτυο της θερμότητας καύσης υποχωρεί κάτω από το σημείο καύσης πυρακτώσεως. Εν συνεχεία κάτω από την παροδική ανάφλεξη και τις απαιτήσεις που έχει η πυρόλυση και η αφυδάτωση (Καϊλίδης, 1993). Για την κατάσβεση μιας δασικής πυρκαγιάς είναι απαραίτητο να

απομακρυνθεί η καύσιμη ύλη ή το οξυγόνο ή να κρυώσει η ζώνη αντίδρασης (μείωση θερμότητας) ή να παρέμβουμε στη μοριακή διεργασία η οποία κάνει την αλυσιδωτή αυτή αντίδραση δυνατή. Έτσι λοιπόν έχουμε ως αποτέλεσμα η αρχική ακολουθία των μεμονωμένων αναφλέξεων που χαρακτηρίζουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς να αντικαθίσταται εδώ από την ακολουθία των τοπικών, ανεξάρτητων μεταξύ τους, κατασβέσεων.

1.4.4. Αίτια, συνέπειες και συχνότητα των δασικών πυρκαγιών

ΑΙΤΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΤΙΣ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών μπορεί να είναι τα εξής:

- Φυσικά αίτια: Εδώ μπορούμε να εντάξουμε τις πυρκαγιές που προκαλούνται από κεραυνούς που δεν μπορούν να σβήσουν από τη βροχή και βρίσκονται σε απόκρημνες και δύσβατες περιοχές. Επίσης στις φυσικές πυρκαγιές συμπεριλαμβάνουμε και εκείνες που έχουν προκληθεί από εκρήξεις ηφαιστείων που είναι ανύπαρκτες στη χώρα μας.
- Εμπρησμοί από αμέλεια: Οι εμπρησμοί από αμέλεια είναι η κύρια αιτία των δασικών πυρκαγιών και καταλαμβάνουν το ποσοστό 50% των περιπτώσεων. Τέτοιες μπορεί να είναι από απόρριψη τσιγάρου, καύση καλαμιών, σκουπιδιών κ.α.
- Εμπρησμοί από πρόθεση: Το αίτιο αυτό αποτελεί το 30% των δασικών πυρκαγιών και είναι το πιο καταστροφικό, μιας και οι εμπρηστές επιλέγουν να προκαλέσουν τη φωτιά τις ημέρες που ευνοούν την εξάπλωση και διατήρηση της. Οι λόγοι μπορεί να είναι η δημιουργία βοσκοτόπων, η υποβάθμιση μιας περιοχής για την μείωση του τουρισμού, η οικοπεδοποίηση κ.α.
- Άγνωστα αίτια: Είναι εκείνα που δεν μπορούν να εξηγηθούν λογικά και να αποδειχθούν και αποτελούν το 17% των περιστατικών.

ΖΗΜΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

Η φωτιά ως μία σοβαρή διαταραχή για τα χερσαία οικοσυστήματα επηρεάζει όλους εκείνους τους λόγους για τους οποίους οι σύγχρονες κοινωνίες διαχειρίζονται τα δάση, στερώντας από αυτές πολλές και σημαντικές ωφέλειες (Καλαμποκίδης, 2002). Οι ζημιές από τις πυρκαγιές μπορεί να διακριθούν σε άμεσες και έμμεσες και είναι οι εξής:

- Άμεσες: Είναι εκείνες που προκαλούνται από μερική ή ολική καταστροφή του ξυλώδους κεφαλαίου και περιλαμβάνουν απώλειες δασικών προϊόντων, βλάστησης και βοσκοτόπων. Επιπλέον περιλαμβάνονται οι ζημιές που προκαλούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, γεωργικές καλλιέργειες, κτηνοτροφικές και μελισσοκομικές εγκαταστάσεις, κατοικίες κ.α.
- Έμμεσες: Είναι εκείνες που προκαλούνται στις έμμεσες ωφέλειες του δάσους και παρουσιάζονται παρακάτω:

Οικολογικές: Μετά τη δασική πυρκαγιά σημειώνεται διαταραχή του δασικού οικοσυστήματος καθώς αλλοιώνεται η ισορροπία που η βιοκοινότητα αυτοδιατηρείται και βρίσκεται σε πλήρη εναρμόνιση με τον βιότοπο.

Υδρολογικές: Εξαιτίας της καταστροφής της οργανικής ύλης του εδάφους (χούμου) ελαττώνεται η διαπερατότητα του. Έτσι δημιουργούνται πλημμύρες και αποθέσεις φερτών υλών σε κατοικημένες περιοχές.

Απώλεια θέσεων εργασίας: Με την καταστροφή του δάσους παρατηρείται απώλεια θέσεων εργασίας όπως δασεργατών κ.α.

Υπερβόσκηση: Η καταστροφή των βοσκοτόπων εξαιτίας της πυρκαγιάς έχει ως αποτέλεσμα να μαζεύονται περισσότερα κοπάδια σε άλλες περιοχές που υπάρχει βλάστηση με συνέπεια τον συνωστισμό και υποβαθμισμό των νέων βοσκοτόπων.

Αισθητική, τουριστική και πολιτιστική αξία του δάσους: Οι αξίες αυτές που ενισχύουν την ψυχική ισορροπία του ανθρώπου χάνονται μέσω της πυρκαγιάς.

Υγειονομικές επιπτώσεις: Το δάσος είναι πηγή οξυγόνου για όλον τον πλανήτη ενώ ταυτόχρονα φιλτράρει τον μολυσμένο αέρα, κατακρατώντας τους μολυσμένους ρύπους. Έτσι λοιπόν σημαντική είναι η επιβάρυνση στη δημόσια υγεία από τους καπνούς των δασικών πυρκαγιών που μολύνουν την ατμόσφαιρα.

Προκαλείται κοινωνικοοικονομικό κόστος: Διατίθενται οικονομικοί πόροι για την καταστολή και τη διατήρηση δυνάμεων αντιμετώπισης.

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Όσον αφορά τη συχνότητα που ξεσπούν οι δασικές πυρκαγιές έχει παρατηρηθεί σύμφωνα με μελέτες ότι το 80% συμβαίνουν τους μήνες 1η Ιουνίου έως και 31 Οκτωβρίου, ωστόσο κάποιες φορές σημειώνονται τον Νοέμβριο ή τον Μάιο ιδίως τα ξηρά έτη.

1.4.5. Πυρκαγιές στα ελληνικά δάση

Το μεγαλύτερο τμήμα του ελλαδικού χώρου είναι μεσογειακό όπου οι εποχές αποτελούν μόνιμο εποχικό οικολογικό φαινόμενο. Χαρακτηριστικό όλων εκείνων των περιοχών που σημειώνονται θερινές πυρκαγιές είναι ότι έχουν μεσογειακό κλίμα που συνεπάγεται και την μεσογειακή βλάστηση. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους (Leon, Badia, & Echeverria, 2015). Στα μεσογειακά οικοσυστήματα λοιπόν, οι κλιματικές συνθήκες είναι τέτοιες που επιτρέπουν ο ρυθμός της φυτικής βιομάζας που παράγεται μέσω φωτοσύνθεσης να είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό διάσπασης την νεκρής βιομάζας μέσω της δράσης των μικροοργανισμών και της σήψης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα πλεόνασμα που χωρίς την ύπαρξη ενός εναλλακτικού τρόπου διάσπασης της βιομάζας θα οδηγούσε σε τέτοια συσσώρευση που δεν επέτρεπε ανανέωση των οικοσυστημάτων. Επιπλέον το καλοκαίρι η βιολογική δραστηριότητα των φυτών είναι έντονη η φυσική βλάστηση αναπτύσσεται με ελάχιστο νερό, έτσι οι φυτικοί οργανισμοί για να επιβιώσουν προσαρμόζονται με ειδικό μηχανισμό ώστε να διαχειρίζονται το νερό με μεγάλη οικονομία.

Ουσιαστικά τα μεσογειακά οικοσυστήματα δεν μπορούν να ανανεωθούν εκτός αν υπάρχει εναλλακτικός τρόπος καθαρισμού του εδάφους για φύτευση νέων σπόρων. Αυτό μπορεί να γίνει μετά τη φωτιά, επομένως το κατάλληλο έδαφος για την ανάπτυξη φυτών είναι μετά από πυρκαγιά (“Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα,” n.d.).

Τα προγεωργικά χρόνια η δασοκάλυψη της Ελλάδας ξεπερνούσε το 80% του εδάφους της (Καϊλίδης, 1993). Η καταστροφή των Ελληνικών δασών άρχισε με την ανάπτυξη της κτηνοτροφίας, στις απαρχές της νεολιθικής εποχής (8000-6000 π.Χ.). Η αιτία της αποδάσωσης αυτής ήταν η προσπάθεια να δημιουργήσουν μεγάλες βοσκολιβαδικές εκτάσεις, έτσι, έβαζαν φωτιές που διαρκούσαν βδομάδες ή και μήνες, βοσκούσαν τα κοπάδια τους στην καμένη έκταση για μια σειρά ετών και όταν αυτή η έκταση εξαντλούταν έβαζαν φωτιά σε γειτονικά δάση (Μάργαρης, 2001). Η κατάσταση αυτή άρχισε να χειροτερεύει όταν με την ανάπτυξη της γεωργίας και την αύξηση του πληθυσμού ήταν αναγκαίες πολύ περισσότερες εκτάσεις ελεύθερες από δάση για βοσκή ή και για ανάπτυξη οικισμών. Έχει παρατηρηθεί ότι τα τελευταία 100 χρόνια το ποσοστό δασοκάλυψης έχει μειωθεί σε λιγότερο από το μισό. Ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών ως το 1975 ήταν σταθερός στα 700 περιστατικά ανά έτος, τα επόμενα 20 χρόνια παρουσίασε αυξητική τάση σε αρκετές χιλιάδες περιστατικά, ενώ από το 1998 μετά την ανάληψη της δασοπυρόσβεσης από το Πυροσβεστικό Σώμα τα μεγέθη παρουσίασαν μία σχετική σταθερότητα. Αξίζει να πούμε όμως ότι το 2006 ήταν η έκτη συνεχόμενη χρονιά που τα καμμένα στρέμματα σε δάση ήταν στα χαμηλότερα επίπεδα της τελευταίας 50ετίας. Παρατηρείται λοιπόν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό πυρκαγιών τόσο ως προς τον αριθμό όσο και ως προς την έκταση οφείλεται σε άγνωστα αίτια ή σε απροσεξία, ωστόσο πιστεύουμε πως πλέον σχετίζεται με τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες εκάστοτε περιοχής. Οι εκτάσεις με μακί ή φρύγανα, θεωρούμενες ως χαμηλότερου αισθητικού κάλλους, χρησιμοποιούνται πολύ συχνά και ως βοσκότοποι. Ακόμα ένας κίνδυνος που διατρέχουν αυτές οι θαμνώδεις εκτάσεις είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψη ως δάσος (που δεν είναι) ή δασικές εκτάσεις (που είναι) σύμφωνα με το ισχύον Σύνταγμα, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αλλαγής χρήσης γης μετά από την φωτιά (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, 2015).

1.4.6. Διάβρωση εδάφους και υδρολογικό ισοζύγιο σε πυρόπληκτες περιοχές

Οι σχέσεις διάβρωσης, ερημοποίησης και πυρκαγιάς είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις περιοχές της Μεσογείου. Εκτός από ειδικές περιπτώσεις η πυρκαγιά δίνει τη δυνατότητα στο έδαφος να συγκρατεί το νερό και να αυξήσει τη γονιμότητα του, μόνο στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία ξεπέρασε το όριο της τιμής των 4000-600 βαθμών Κελσίου η διάβρωση του εδάφους αυξήθηκε πραγματικά. Σημαντικό είναι να πούμε πως οι δασικές πυρκαγιές δεν προκαλούν στον ίδιο βαθμό τη διάβρωση χωρίς την ύπαρξη της ανθρώπινης δραστηριότητας, έτσι η παρεμπόδιση και ο μετριασμός της διάβρωσης θα μπορούσε να επιτευχθεί με την απαγόρευση κάθε είδους ανθρώπινης δραστηριότητας στις πληγείσες περιοχές, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα στη φύση να αναγεννηθεί, διεργασία που διαρκεί γενικά από τρία έως τέσσερα έτη.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει διάβρωση είναι η απόσπαση και η μεταφορά κομματιών του εδάφους μέσα από τη δράση του νερού και του ανέμου. Ο βαθμός με τον οποίο εμφανίζεται η

διάβρωση του εδάφους σε μια πρόσφατα καμένη λεκάνη, γενικά επηρεάζεται από τα εξής (Παπαμίχος, 1990):

- Το είδος της πυρκαγιάς που έχει να κάνει με την ένταση και την έκταση.
- Τη συχνότητα της πυρκαγιάς.
- Την τοπογραφική και γεωλογική διαμόρφωση της λεκάνης, καθώς και τα χαρακτηριστικά των εδαφών της.
- Την προπυρική κατάσταση της λεκάνης.
- Τις καιρικές συνθήκες μετά την πυρκαγιά και ειδικά μετά τον πρώτο χρόνο.
- Τις χρήσεις γης και γενικά τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες μετά την πυρκαγιά.

Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών ελέγχονται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την ίδια τη φύση του φαινομένου και τις αρχικές συνθήκες στην πυρόπληκτη περιοχή. Η μέγιστη θερμοκρασία της φωτιάς, το είδος της βλάστησης, ο τύπος και η ποσότητα της καύσιμης ύλης, μαζί με τις καιρικές συνθήκες ελέγχουν τη διάρκεια και την ένταση της φωτιάς, καθώς και τη μέγιστη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια. Αυτοί οι παράγοντες (ένταση, δριμύτητα και μέγιστη θερμοκρασία της φωτιάς) καθορίζουν, ανάλογα και με την αρχική κατάσταση (κλίμα, τύπος βλάστησης, δομή και σύσταση του εδάφους), το βαθμό των επιπτώσεων στα υδρολογικά χαρακτηριστικά.

Η επιφανειακή διάβρωση από τη δράση του νερού, επηρεάζεται δραστικά από τη βαρύτητα και συνεπώς από τις κλίσεις του εδάφους. Η κλίση του εδάφους είναι βασικός παράγοντας που επηρεάζει και την διάβρωση λόγω ανέμου, ειδικά όταν προκαλούνται στροβιλισμοί (Marshall et al., 1996). Ακόμα, οι διαβρωτικές δυνάμεις στην επιφάνεια του εδάφους αυξάνονται όταν η φωτιά απογυμνώνει τη γη, καταναλώνοντας τις αποθέσεις φύλλων και άλλων αποσυντεθειμένων οργανικών υλικών, αφήνοντας εκτεθειμένο το ορυκτό χώμα. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους μπορεί επίσης να αυξηθεί εξαιτίας της εξαέρωσης του οργανικού εδαφικού υλικού (Tiedemann et al, 1979 από DeBano et al, 1998). Συνεπώς οι επιπτώσεις της φωτιάς έχουν να κάνουν και με την αύξηση της επιφανειακής διάβρωσης. Τα ποσοστά της επιφανειακής διάβρωσης μετά τη φωτιά, είναι συχνά αυξημένα σε υδροφοβικά εδάφη. Η μειωμένη διήθηση στα εδάφη αυτά και συνεπώς η επιταχυνόμενη επίγεια ροή δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την αποκόλληση και τη μεταφορά κομματιών εδάφους. Η απωθητικότητα του νερού που προκαλεί η πυρκαγιά είναι συνήθως περιορισμένη σε περιοχές με θόλους από φυτοκάλυψη. Επομένως τα συνεχή και διαδεδομένα στρώματα που απωθούν το νερό, βρίσκονται σε περιοχές με πυκνή φυτική κάλυψη, που κάηκε ολοσχερώς, ενώ ασυνεχή στρώματα θα βρούμε σε περιοχές αραιής βλάστησης η οποία κάηκε μερικώς.

Οι πυρκαγιές μεγάλης έντασης τείνουν να επιταχύνουν την διάβρωση του εδάφους περισσότερο από την ελεγχόμενη όπως η έρπουσα, μικρής έντασης πυρκαγιά. Αυτές οι πυρκαγιές μπορούν να μετακινήσουν το εδαφικό στρώμα προστασίας, εκτεθειμένη στη διαβρωτική δράση της πρόσκρουσης σταγόνων βροχής και της επίγεια ροής (DeBano et al., 1998). Ο αντίκτυπος των σταγόνων βροχής στο ορυκτό χώμα, είναι η άμεση αποσύνδεση και μεταφορά του σε μικρές αποστάσεις (Baker, 1990). Εκτός από τη διασκόρπιση λεπτών μορίων

εδάφους, οι σταγόνων βροχής σφραγίζουν το έδαφος, μειώνοντας τη διήθηση και προωθώντας την επίγεια ροή, που είναι το αίτιο για τη μεταφορά υλικού διάβρωσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

Ακόμα, αξίζει να πούμε ότι η απομάκρυνση της βλάστησης διακόπτει απότομα τη διαπνοή. Ως αποτέλεσμα, αυξάνεται η διάχυτη απορροή (“Υδρολογικές απώλειες εδάφους,” n.d.), η μέγιστη παροχή των ρεμάτων κατάντη στα επιμέρους επεισόδια βροχόπτωσης και η συνολική ετήσια απορροή σε επίπεδο λεκάνης (Μιμίκου, 1994), ανάλογα με το ποσοστό της έκτασης που έχει καεί. Ιδιαίτερα κατά τις πρώτες υγρές περιόδους μετά την πυρκαγιά, οι υδρολογικές επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα θεαματικές καθώς, ιδιαίτερα σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές (όπως οι περιοχές Μεσογειακού τύπου) έχουν παρατηρηθεί αυξήσεις της απορροής από 11% (Anderson et al, 1976) ως 300% (Nasser, 1998) σε μεγάλες λεκάνες, μέχρι 800% (Campbell et al, 1977) σε μικρές λεκάνες και μέχρι 50000% σε στοιχειώδεις περιοχές δοκιμών (Inbar et al, 1998). Αντίστοιχη είναι και η αύξηση στις μέγιστες πλημμυρικές παροχές των ρεμάτων (από 45% μέχρι 600% για τις μεγάλες λεκάνες και μέχρι 5700% για τις μικρές. Οι Bosch & Hewlett (1982) επισημαίνουν ότι παρουσιάζεται καλή συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της απορροής και του ποσοστού της καμένης έκτασης, ειδικά για τα δάση κωνοφόρων, ενώ η συσχέτιση μειώνεται για τα φυλλοβόλα δάση και τις θαμνώδεις εκτάσεις. Ειδικότερα, παρατηρούν μια αύξηση κατά μέσο όρο 40mm στην απορροή, για 10% μείωση της έκτασης των δασών κωνοφόρων (DeBano et al., 1967).

Επιπλέον, μετά από πυρκαγιές, έχει παρατηρηθεί παράταση της στείρευσης των ποταμών και πιο ομαλή καμπύλη στείρευσης, φαινόμενο που αποδίδεται γενικά στη διακοπή της διαπνοής και τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής συνολικά, ενώ κατά την ανάκαμψη της βλάστησης, είναι δυνατόν η εξατμισοδιαπνοή να ανέλθει σε επίπεδα υψηλότερα από ό,τι πριν την πυρκα (Batalla & Sala, 1998; Brown, 1972).

Οι φυσικοχημικές μεταβολές που επιφέρει η φωτιά στο έδαφος έχουν ως αποτέλεσμα το έδαφος να γίνεται πιο εύθρυπτο και ευδιάβρωτο, με αποτέλεσμα την απόσπαση σωματιδίων από τις βροχοπτώσεις, και τη δημιουργία αυλακώσεων στην επιφάνειά του. Σε ακραίες βροχοπτώσεις, είναι δυνατό να παρασυρθεί όλο το υπερκείμενο έδαφος πάνω από το υδρόφοβο στρώμα που σχηματίζεται σε βάθος μερικών εκατοστών. Ακόμα, εκεί όπου εκτίθεται στην επιφάνεια απευθείας το πέτρωμα, έχει παρατηρηθεί διαβρωτική δράση της φωτιάς που εκδηλώνεται κυρίως με κατασμίλευση της επιφάνειας (απόσπαση φακοειδών θραυσμάτων) και εγκάρσιες ρωγμές ανάλογα με το πέτρωμα και τη σοβαρότητα της φωτιάς (Bosch & Hewlett, 1982). Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, αυξάνονται οι ρυθμοί διάβρωσης στην πυρόπληκτη λεκάνη και η προσφορά ιζήματος κατάντη (που περιέχει πλέον αύξηση της δραστηριότητας των ριπιδίων). Επιπλέον, αυξάνεται γενικά η κατολισθητική επικινδυνότητα της περιοχής, ειδικές κατηγορίες κατολισθήσεων όπως οι λασποροές και οι ροές κορημάτων ευνοούνται ιδιαίτερα, ενώ έχει παρατηρηθεί και εδαφικός ερπυσμός εν ξηρώ. Οι επιπτώσεις αυτές, αποσβέννυνται σταδιακά σε βάθος χρόνου, ανάλογα όμως με το ρυθμό ανάκαμψης της βλάστησης στην πυρόπληκτη περιοχή, που δεν εξαρτάται μόνο από το κλίμα, αλλά σε μεγάλο βαθμό και από την ανθρώπινη δραστηριότητα που συχνά δεν επιτρέπει την ανάκαμψη (αλλαγή χρήσης, βόσκηση κ.λπ.). Αν ακολουθήσουν ξηρές περιόδους μετά τις πυρκαγιές μπορεί να παρατείνεται η διάρκεια

των επιπτώσεων, καθώς καθυστερούν την ανάκαμψη της βλάστησης (Legleiter, Lawrence, Fonstad, Marcus, & Aspinnall, 2003).

Στην Ελλάδα όπως και σε όλες τις άλλες μεσογειακές περιοχές η φωτιά αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα ερημοποίησης. Αυτό συμβαίνει διότι οι πυρκαγιές σημειώνονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με αποτέλεσμα οι βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης που εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου να αυξάνουν τη την απορροή και την διάβρωση (Καϊλίδης, 1993).

Τέλος, αξίζει να πούμε ότι πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι περίπου 30% της Χώρας βρίσκεται σε μεγάλο κίνδυνο ερημοποίησης, ενώ ένα άλλο 35% σε μέτριο κίνδυνο. Σε μεγάλο κίνδυνο ερημοποίησης βρίσκεται κυρίως η ανατολική Στερεά, τμήμα της Θεσσαλίας, η Εύβοια, τα νησιά του Αιγαίου, η ανατολική Πελοπόννησος και τμήμα της Μακεδονίας.

1.5. Μέθοδοι αξιολόγησης κινδύνου διάβρωσης

Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται προσπάθεια για τη δημιουργία και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που να δίνουν τη δυνατότητα περιγραφής του φαινομένου της διάβρωσης. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε πειραματικά δεδομένα, τα οποία είτε δανείζονται από τη βιβλιογραφία είτε είναι δεδομένα που προκύπτουν από πειραματικές διεργασίες που εκτελούνται αποκλειστικά με στόχο την ανάπτυξη των μοντέλων αυτών.

Τα μοντέλα διάβρωσης περιγράφουν τη διεργασία διάβρωσης σε μια περιοχή με σκοπό την εκ των προτέρων περιγραφή και πρόβλεψη της εξέλιξης του φαινομένου είτε σε μια υπάρχουσα είτε σε μια υποθετική κατάσταση, ώστε να λειτουργήσουν βοηθητικά στα συστήματα λήψης αποφάσεων. Καθορίζουν τα αναγκαία αντιδιαβρωτικά μέτρα, προσδιορίζουν ποσοτικά τις απώλειες του εδάφους και των θρεπτικών στοιχείων και εκτιμούν το βαθμό υποβάθμισης και ερημοποίησης των εδαφών, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζουν τα ρυπαντικά φορτία που καταλήγουν στους υδροφορείς.

Σύμφωνα με τους Candela, Aronica, & Santoro, 2005 η μοντελοποίηση της διάβρωσης του εδάφους είναι η διαδικασία της μαθηματικής περιγραφής της απόσπασης των εδαφικών τεμαχιδίων της μεταφοράς και της απόθεσής τους σε άλλες τοποθεσίες. Υπάρχουν τουλάχιστον τρεις λόγοι για τη μοντελοποίηση της διάβρωσης και είναι οι εξής:

- Τα πρότυπα διάβρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία πρόβλεψης για επεξεργασία της απώλειας του εδάφους για σχεδιασμό διατήρησης - συντήρησης, έρευνα, απογραφή εδαφικής διάβρωσης και για ρύθμιση (regulation).
- Φυσικά βασισμένα μαθηματικά πρότυπα μπορούν να προβλέψουν που και πότε λαμβάνει χώρα διάβρωση και μ'αυτό τον τρόπο να βοηθηθούν οι προσπάθειες συντήρησης - διατήρησης για τη μείωση της διάβρωσης.
- Τα πρότυπα δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για την κατανόηση των διαδικασιών διάβρωσης και των αλληλεπιδράσεών τους, καθώς και για τη θέσπιση ερευνητικών προτεραιοτήτων.

Προκειμένου να περιγραφεί, προβλεφθεί και να σχηματιστεί κλίμακα επικινδυνότητας του φαινομένου της διάβρωσης έχουν αναπτυχθεί πολλές εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις. Δεν υπάρχει όμως κάποια σχέση που να ικανοποιεί όλες τις περιπτώσεις με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διαφωνίες για την μορφή κάθε εξίσωσης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την επίδραση κάθε παράγοντα που συμμετέχει στη διεργασία της διάβρωσης. Ακόμα αξίζει να πούμε πως οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα που επιδρά στο περιβάλλον, καθιστά αναγκαία την εκτίμηση της διάβρωσης, είναι επομένως αναγκαία μια μέθοδος πρόβλεψης της διάβρωσης για υποθετικά σχέδια χρήσεων γης και καλλιεργητικών πρακτικών.

Σύμφωνα με τους (Nearing, Lane, & Lopes, 1994) τα μοντέλα διάβρωσης διακρίνονται σε εμπειρικά (empirical), θεμελιώδη (conceptual) και φυσικά (physically-based). Αναλυτικά περιγράφονται ως εξής:

- Τα εμπειρικά μοντέλα (empirical) : Βασίζονται αρχικά στην παρατήρηση και είναι συνήθως στατιστικής φύσης. Τα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται στην επαγωγική λογική και γενικά είναι εφαρμόσιμα μόνο για εκείνες τις συνθήκες για τις οποίες οι παράμετροι έχουν βαθμονομηθεί. Η Παγκόσμια Εξίσωση Απώλειας Εδάφους (USLE) αποτελεί το εμπειρικό μοντέλο διάβρωσης που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την πρόβλεψη της διάβρωσης του εδάφους. Η μεγαλύτερη ενάντια κριτική της USLE αποτέλεσε η αναποτελεσματικότητα σε εφαρμογές εκτός του εύρους των συνθηκών για τις οποίες εξελίχθηκε. Η υιοθέτηση της USLE σε ένα νέο περιβάλλον απαιτεί μια μεγάλη επένδυση πόρων και χρόνου για την εξέλιξη της βάσης δεδομένων που απαιτείται για την καθοδήγηση του μοντέλου.
- Τα θεμελιώδη μοντέλα (conceptual): Τοποθετούνται κάπου μεταξύ των φυσικά βασιζόμενων (physically-based) και των εμπειρικών μοντέλων (empirical) και βασίζονται σε χωρικά ταξινομημένες μορφές υδατικής και ιζηματολογικής συνέχειας εξισώσεις. Στόχος των θεμελιωδών μοντέλων αποτέλεσε η πρόβλεψη της αύξησης των ιζημάτων, κυρίως χρησιμοποιώντας την αρχή της υδρογραφικής μονάδας.
- Τα φυσικά μοντέλα (physically-based): Σκοπεύουν στην αναπαράσταση των απαραίτητων μηχανισμών ελέγχου της διάβρωσης. Η ισχύς των φυσικά βασιζόμενων μοντέλων είναι ότι αναπαριστούν τη σύνθεση των ανεξάρτητων συστατικών που επηρεάζουν τη διάβρωση, συμπεριλαμβάνοντας τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων παραγόντων και των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων. Το αποτέλεσμα είναι συνεργατικό, το πρότυπο ως ολότητα αντιπροσωπεύει περισσότερο από το σύνολο των ανεξάρτητων τμημάτων. Ο ερευνητής - επιστήμονας μπορεί να χρησιμοποιήσει τα φυσικά βασιζόμενα μοντέλα διάβρωσης για να βοηθηθεί στο να αναγνωρίσει ποια μέρη του συστήματος είναι τα πιο σημαντικά στη συνολική διεργασία διάβρωσης και γι' αυτό πρέπει να δοθεί προσοχή στην έρευνα και εξέλιξη της πρόβλεψης της διάβρωσης και τεχνολογίας ελέγχου. Ο σχεδιαστής συντήρησης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα φυσικά βασιζόμενο μοντέλο σαν ένα αλληλεπιδρόν εργαλείο σχεδίασης συντήρησης στοχεύοντας κρίσιμες εποχές ή μήνες στους οποίους λαμβάνουν χώρα κύρια επεισόδια διάβρωσης, καθώς και κρίσιμες τοποθεσίες σε κλιτύες λόφων,

όπου λαμβάνει χώρα η μεγαλύτερη απώλεια εδάφους. Ο σχεδιαστής μπορεί επίσης γρήγορα να προτείνει και να αξιολογήσει νέες στρατηγικές συντήρησης για ξεχωριστούς αγρούς.

1.5.1. USLE (Universal Soil Loss Equation)

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα η μέθοδος απώλειας εδάφους USLE, αποτελεί την παγκόσμια εξίσωση και καθορίστηκε από τον Wischmeier (1959). Η μέθοδος αυτή έχει γίνει το βασικό εργαλείο προγραμματισμού και συντήρησης των καλλιεργούμενων εδαφών. Το αποτέλεσμα της εξίσωσης αυτής της μεθόδου προκύπτει από το γινόμενο της απώλειας εδάφους (A), τον κλιματικό παράγοντα (R) τον παράγοντα διαβρωσιμότητας (K), τον τοπογραφικό παράγοντα (L), τον τοπογραφικό παράγοντα (S), τον παράγοντα φυτικής κάλυψης (C) και τον παράγοντα διαχείρισης γης (P) (Blinkov & Stanimir, 2010; Nearing et al., 2005; Μυρωνίδης, 2012).

Πιο αναλυτικά έχουμε:

Ως R ορίζουμε τη διαβρωτικότητα της βροχής, η ικανότητα των διαβρωτικών μέσων να προκαλούν απόσπασση εδάφους και μεταφορά καλείται διαβρωτικότητα (Lal & Elliot, 1994). Η διαβρωτικότητα των βροχοπτώσεων έχει να κάνει με την άμεση σύγκρουση των σταγόνων της βροχής και με την απορροή που δημιουργείται από τη βροχόπτωση. Η ικανότητα της βροχής να προκαλεί εδαφική διάβρωση εξαρτάται από το ρυθμό και την κατανομή του μεγέθους των βροχοσταγόνων που επιδρούν στο ενεργειακό φορτίο της βροχής. Σύμφωνα με τους Renard et al., 1991 επιδεικνύουν ότι όταν όλοι οι παράγοντες εκτός της βροχόπτωσης παραμένουν σταθεροί, οι εδαφικές απώλειες από καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι ευθέως ανάλογες σε μια παράμετρο της βροχόπτωσης, δηλαδή η παράμετρος R ισούται με την ολική ενέργεια της βροχής επί τη μέγιστη τριαντάλεπτη ένταση της $E_{I_{30}}$, όπου E η ενέργεια και I η μέγιστη 30-λεπτη ένταση της βροχόπτωσης αντίστοιχα, ενώ το R είναι το άθροισμα όλως των $E_{I_{30}}$ για όλες τις ισχυρές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους. Λόγω του ότι μέρος των παραπάνω δεν είναι πάντα διαθέσιμο, οι Wischmeier & Smith, 1978 προτείνουν ο R να προσδιορίζεται από της εξίσωση

$$\log R = 1.93 \log \Sigma \left(\frac{p_i^2}{p} \right) - 1.52$$

όπου, R ο παράγοντας της βροχόπτωσης ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{hour}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$), p_i η μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm) και p η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm).

Ως K ορίζουμε τον παράγοντα διαβρωσιμότητας του εδάφους (erodibility index), και έχει να κάνει με την αντίδραση του εδάφους στις διαβρωτικές διεργασίες ως αποτέλεσμα του συνδυασμού των εδαφολογικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων όπως η υφή, η σταθερότητα της δομής, το περιεχόμενο σε οργανική ουσία, η ορυκτολογία της αργίλου και τα χημικά συστατικά (Lal & Elliot, 1994). Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά, όπως η οργανική ουσία, είναι δυνατό να μεταβληθούν με το χρόνο από τη χρήση της γης, τις πρακτικές διαχείρισης και τα αγροτικά συστήματα. Η διάβρωση των επιφανειακών οριζόντων είναι πιθανό να εκθέσει στους

διαβρωτικούς παράγοντες πιο ανθεκτικούς στη διάβρωση ορίζοντας ή πιο ανθεκτικά εδάφη, τα οποία να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά που είχε ο επιφανειακός ορίζοντας. Επομένως, η διαβρωσιμότητα ενός εδάφους είναι δυνατό να μεταβάλλεται με το χρόνο, ο παράγοντας K αντιπροσωπεύει τις απώλειες εδάφους μέσω διάβρωσης για την κάθε μέγιστης έντασης και διάρκειας 30 λεπτών βροχή σε πειραματικό τεμάχιο μήκους 22m και κλίσης 50 . Σύμφωνα με τους Attle et al. (1980) (από Lal & Elliot, 1994) ο παράγοντας K μπορεί να εκτιμηθεί με τη βοήθεια της εξίσωσης συσχέτισης

$$K = 2.8 * 10^{-7} M^{1.14} (1.2 - a) + 4.3 * 10^{-3} (b - 2) + 3.3(c - 3)$$

όπου, K ο παράγοντας διαβρωσιμότητας εδάφους ($\text{ton}\cdot\text{ha}\cdot\text{hr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$), M η παράμετρος του μεγέθους των τεμαχιδίων (% ιλύς + % πολύ λεπτής άμμου)*(100 - % αργίλου), a το ποσοστό % της οργανικής ουσίας, b ο κωδικός δομής του εδάφους (πολύ λεπτοκοκκώδης = 1, λεπτοκοκκώδης = 2, μεσο- χονδροκοκκώδης = 3, συμπαγής ή πεπτατισμένη = 4) και c η κλάση διηθητικότητας του εδάφους (ταχεία = 1, μέση προς ταχεία = 2, μέση = 3, μέση προς αργή = 4, αργή = 5, πολύ αργή = 6).

Ως L ορίζουμε τον παράγοντα μήκος κλίσης και S τον παράγοντα κλίσης, έτσι λοιπόν το αποτέλεσμα της τοπογραφίας στη διάβρωση περιγράφεται από τους παράγοντες του μήκους κλίσης και της κλίσης του εδάφους. Το μήκος κλίσης ορίζεται ως η οριζόντια απόσταση από το σημείο έναρξης της επιφανειακής ροής μέχρι το σημείο όπου είτε η βαθμίδα κλίσης ελαττώνεται σημαντικά, ώστε να επιτραπεί η απόθεση, είτε η απορροή συλλέγεται σε ένα καθορισμένο κανάλι (Wischmeier & Smith, 1978). Ο παράγοντας κλίσης αντανακλά την επίδραση της βαθμίδας κλίσης στη διάβρωση. Η κλίση εκτιμάται στην ύπαιθρο με τη βοήθεια ειδικών οργάνων, όπως τα κλισίμετρα, ενώ είναι δυνατή η εκτίμησή της με τη βοήθεια των ισοϋψών και της δημιουργίας Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM), μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Και οι δύο αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στη διαδικασία της διάβρωσης καθώς με την αύξησή τους αυξάνεται η ταχύτητα επιφανειακής ροής του νερού και ο όγκος του μεταφερόμενου εδαφικού υλικού, δηλαδή η διαβρωτική και μεταφορική ικανότητα του νερού. Ο παράγοντας της τοπογραφίας της τοπογραφίας υπολογίζεται μαθηματικά από τον πολλαπλασιασμό των δύο συντελεστών του $L*S$, ωστόσο για να μπορούν να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες υπολογισμού του σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη δεδομένων, ο Morgan (1986) προτείνει να υπολογίζεται από την εξίσωση

$$LS = \left(\frac{L}{22.23} \right) m * (0.0065S^2 + 0.045S + 0.0065)$$

όπου, L το μήκος κλίσης, S η % κλίση και $m = 0,5$ αν $S > 5\%$, $0,4$ αν $3,5 < S < 4,5 \%$, $0,3$ αν $1 < S < 3 \%$, και $0,2$ αν $S < 1\%$.

Ως C ορίζουμε την κάλυψη γης, που αναφέρεται στη βλάστηση που καλύπτει το έδαφος και στον τρόπο που επηρεάζει την μείωση την κινητικής ενέργειας και την ποσότητα της βροχόπτωσης που φτάνει στο έδαφος. Το ύψος, η πυκνότητα της βλάστησης και η πυκνότητα των ριζών επιδρούν στη διαμόρφωση του αποτελέσματος που επιφέρει η κάλυψη της γης στην προστασία από τη διάβρωση. Ο παράγοντας C αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ των απωλειών σε έδαφος για μια συγκεκριμένη κάλυψη γης και των απωλειών εδάφους στην

περίπτωση απουσίας βλάστησης. Εξαρτάται δε σε σημαντικό βαθμό από το είδος της βλάστησης, καθώς και τις καλλιεργητικές μεθόδους. Μια σχέση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του παράγοντα C (Renard, Foster, Weesies, McCool, & Yoder, 1997) είναι

$$C = PLU * CC * SC * SR * SM$$

όπου, *PLU* η προηγούμενη χρήση γης, *CC* το φύλλωμα της καλλιέργειας, *SC* η κάλυψη της επιφάνειας, *SR* η επιφανειακή τραχύτητα και *SM* η υγρασία του εδάφους.

Καθένα από τα μέλη του δεξιού μέρους της σχέσης αποτελούν τους υποπαράγοντες του C και περιλαμβάνουν καλλιεργητικές και διαχειριστικές παραμέτρους που επιδρούν στη διάβρωση του εδάφους. Καθένας υποπαράγοντας υπολογίζεται με τη βοήθεια συναρτήσεων μιας ή περισσότερων παραμέτρων, όπως το υπολειμματικό κάλυμμα, το κάλυμμα φυλλώματος, το ύψος του φυλλώματος, την επιφανειακή τραχύτητα, την υποεπιφανειακή βιομάζα, την προηγούμενη καλλιέργεια, την εδαφική υγρασία και το χρόνο.

Ως P ορίζουμε τον παράγοντα αντιδιαβρωτικής προστασίας, που καθορίζεται από τα μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας, όπως αναχώματα και αύλακες κατά τις ισοϋψείς ή η παραμονή των υπολειμμάτων της καλλιέργειας. Αντιπροσωπεύει (McCool, Weesies, Renard, & Foster, 1994) τον τρόπο που οι επιφανειακές συνθήκες επιδρούν στους διαδρόμους και στην υδραυλική της ροής. Εκφράζει το λόγο της απώλειας του εδάφους, το οποίο προφυλάσσεται από συγκεκριμένο μέτρο αντιδιαβρωτικής προστασίας, προς την αντίστοιχη απώλεια με εφαρμογή οργώματος κατά τη φορά της κλίσης.

1.5.2. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

Η αναθεωρημένη εξίσωση απώλειας εδάφους RUSLE αποτελεί την αναβαθμισμένη μέθοδο της USLE (Renard et al., 1997), προέκυψε έπειτα από συνεχείς έρευνες, με προσθήκες μελετών, γνώσης και δεδομένων. Αναπτύχθηκε από την υπηρεσία USDA Γεωργικής Έρευνας με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο σχεδιασμού διατήρησης ή εργαλείο αξιολόγησης. Ακόμα, η συγκεκριμένη μέθοδος σχεδιάστηκε για να προβλέψει το ετήσιο μέσο όρο απώλειας εδάφους, ενώ δεν έχει τη δυνατότητα να ορίζει την δρομολόγηση των ιζημάτων μέσω των καναλιών και η εφαρμογή της περιορίζεται σε μικρές γεωγραφικές εκτάσεις. Η RUSLE χρησιμοποιεί την ίδια μαθηματική έκφραση με τη USLE με τη διαφορά ότι εμπεριέχει πολλές βελτιώσεις στη εκτίμηση των παραγόντων που την αποτελούν. Η αναθεωρημένη λοιπόν μορφή λαμβάνει υπόψη της στοιχεία όπως χάρτες με ισοδιαβρωτικές καμπύλες, παράγοντες διαβρωσιμότητας που εξαρτώνται από τον χρόνο, περιλαμβάνει υποπαράγοντες για την εκτίμηση της επίδρασης της φυτοκάλυψης ή άλλης κάλυψης του εδάφους, νέες εξισώσεις για να εκτιμηθεί η επίδραση του μήκους και του βαθμού της κλίσης, καθώς επίσης και για την εκτίμηση των πρακτικών συντήρησης (διατήρησης) των εδαφών (Yoder et al., n.d.; “Επιλογή μοντέλου για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης στο καλλιεργούμενο τμήμα της λεκάνης απορροής του π. Ανθεμούντα,” 2011; Μάρης, n.d.; Παπάζογλου, 2009).

1.5.3. PESERA (Pan-European Soil Risk Assessment)

Η μέθοδος εκτίμησης διάβρωσης εδάφους PESERA προτάθηκε από μία ομάδα εμπειρογνομώνων διάβρωσης εδάφους στην Ευρώπη, χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε περιοχές της Μεσογείου. Συνδυάζει δεδομένα που αφορούν την τοπογραφία, το κλίμα και το έδαφος, με σκοπό την ποσοτικοποίηση της διάβρωσης του εδάφους στο περιβάλλον και την ανάπτυξη των απαραίτητων στρατηγικών για τη διατήρηση του. Αν λάβουμε υπόψη μας ότι οι διεργασίες και οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης μας είναι πλήρως γνωστά μπορούμε να καθορίσουμε την ευαισθησία απέναντι σε αυτό το φαινόμενο παρέχοντας μια σειρά από δείκτες. Ως τέτοιους ορίζουμε τους κλιματικούς δείκτες που μπορεί να είναι με βάση την υψηλή ένταση της βροχόπτωσης και την ένταση της ξηρασίας ή την βροχόπτωση ανάλογα την εποχή, τους εδαφικούς δείκτες που μπορεί να είναι με βάση την τραχύτητα του εδάφους και την πειραματική διαβρωσιμότητα του εδάφους. Ακόμα παρόμοιοι δείκτες μπορεί να αναπτυχθούν για για το μητρικό πέτρωμα και την κλίση της τοπογραφίας και την βλάστηση. Έτσι λοιπόν από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι παράγοντες που υποδηλώνουν υψηλό κίνδυνο διάβρωσης μας δείχνουν υψηλή ευαισθησία του φαινομένου και το αντίθετο. Μεμονωμένοι δείκτες μπορούν να χαρτογραφηθούν ξεχωριστά, ωστόσο ο συνδυασμός όλων των παραγόντων σε μία ενιαία κλίμακα παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες. Χρησιμοποιεί δεδομένα μικρής κλίμακας για να χαρτογραφηθεί ο κίνδυνος διάβρωσης και για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιεί δεδομένα όπως την τοπογραφία, την βροχόπτωση, τις ιδιότητες του εδάφους, την βλάστηση, τις χρήσεις γης και την απορροή (Boardman & Poesen, 2006; Govers et al., n.d.; Μυρωνίδης, 2012).

1.5.4. WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Η μέθοδος WEPP εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και της Ασίας και υπολογίζει την εδαφική διάβρωση στις κλιτύες και τη στεροαπορροή στις βάσεις των κλιτύων σε συνεχή χρόνο ενώ δεν διαθέτει υπολογιστικές διαδικασίες για τη στερεομεταφορά στα υδατορεύματα. Η επιφανειακή διάβρωση διακρίνεται στη διάβρωση λόγω της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής. Οι επιφανειακές διαδικασίες γίνονται στη συγκεντρωμένη απορροή στα ρυάκια (rill flow). Το ποσοστό των φερτών υλικών που τελικά κατευθύνονται στα ρυάκια είναι ανάλογο του γινομένου της έντασης της βροχόπτωσης και του ύψους της επιφανειακής απορροής. Η διάβρωση στα ρυάκια περιγράφεται μαθηματικά ως συνάρτηση της ικανότητας της ροής να αποκολλάει φερτά υλικά από τα ρυάκια, τη στερεομεταφορική ικανότητα της ροής και το υπάρχον φορτίο φερτών υλικών από την επιφανειακή διάβρωση. Το WEPP μπορεί να υπολογίσει τις χρονικές και χωρικές μεταβολές της στερεοαπορροής σε διάφορα χρονικά βήματα, αφού διαθέτει και μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης της βροχόπτωσης καθώς και μοντέλο επιμερισμού του ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης. Το μοντέλο μπορεί να υπολογίσει τη στερεοαπορροή σε μικρές κλιτύες (μήκους έως 100 m) και επομένως η σχηματοποίηση μιας σύνθετης λεκάνης απορροής γίνεται μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία. Ακόμα, να σημειώσουμε ότι επειδή το μοντέλο αυτό λειτουργεί σε συνεχή χρόνο απαιτεί πληθώρα δεδομένων (όπως η εδαφική υγρασία πριν από την έναρξη του πλημμυρικού επεισοδίου), τα οποία κατά κανόνα δεν είναι διαθέσιμα. Ένα άλλο μειονέκτημα του είναι το γεγονός ότι η διάδοση της πλημμυρικής απορροής γίνεται με την απλή κινηματική μέθοδο και την ισοδύναμη παραδοχή της ομοιόμορφης ροής, η οποία δεν ισχύει κυρίως σε λεκάνες απορροής με μεσογειακά χαρακτηριστικά. Σε αυτές τις λεκάνες οι πλημμυρικές

απορροές ιδιαίτερα μεγάλης έντασης αποκλίνουν σημαντικά από την παραδοχή της κινηματικής μεθόδου διόδευσης της απορροής. Επιπλέον να πούμε ακόμα ότι μέθοδος αυτή αποτελείται από τέσσερα υπομοντέλα που εξετάζουν τον καιρό, τη διήθηση, την ανάπτυξη των φυτών, τη διαχείριση των καταλοίπων, τις επιδράσεις του οργώματος στο έδαφος και την ένωση των κόκκων του εδάφους. Για την εφαρμογή της χρησιμοποιεί τους παράγοντες όπως τη βροχόπτωση, τη βλάστηση, την τοπογραφία, τη τραχύτητα εδάφους και τις χρήσεις γης (Elliot, Hall, & Scheele, 1999; Nearing et al., 2005; Κουτσογιάννης et al., 1998).

1.5.5. EUROSEM (European Soil Erosion Model)

Το EUROSEM αποτελεί κατά κάποιο τρόπο την ευρωπαϊκή απάντηση στο WEPP, διότι είναι προσαρμοσμένο στις συνθήκες της κεντρικής Ευρώπης. Στηρίζεται στις αρχές της φυσικής και υπολογίζεται με τη βοήθεια ακραίων χειμαρρικών φαινομένων σε μικρές επιφάνειες ή σε πολύ μικρές λεκάνες απορροής σε χρονικό βήμα 1 min, προσομοιώνοντας τον τρόπο που τα ύδατα και οι φερτές ύλες κινούνται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Ως ένα χωρικά κατανομημένο μοντέλο, το EUROSEM χωρίζει μια λεκάνη απορροής σε μικρότερα ομοιογενή τμήματα ως προς την τοπογραφία, την εδαφική σύσταση ή τη φυτοκάλυψη. Το μοντέλο επομένως υπολογίζει την απορροή και το φορτίο των φερτών υλικών που παράγονται σε ένα τμήμα και μετά γίνεται η υδρολογική διόδευση τους κατάντη. Για την αξιολόγηση κινδύνου διάβρωσης με εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι απαραίτητη η χρήση των παραγόντων της βροχόπτωσης, της βλάστησης, της τοπογραφίας, του πάχους του εδάφους, της κοκκομετρίας εδάφους και της διήθησης. Τέλος το μοντέλο αυτό βασίζεται πάνω στη υδρολογική πλατφόρμα του μοντέλου KINEROS που εξετάζουμε παρακάτω (Morgan, Quinton, Smith, Govers, Poesen, Auerwald, et al., 1998; Morgan, Quinton, Smith, Govers, Poesen, Auerwald, et al., 1998; Κουτσογιάννης et al., 1998).

1.5.6. KINEROS (Kinematic Runoff and Erosion Model)

Το μοντέλο απορροής και διάβρωσης KINEROS αναπτύχθηκε από τους Smith et al., 1995 για την USDA (Υπηρεσία Αγροτικής Έρευνας) και χρησιμοποιείται κυρίως για περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, αποτελεί ένα προσδιοριστικό μοντέλο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία της διήθησης, επιφανειακής απορροής και διάβρωσης για μικρές αγροτικές λεκάνες απορροής ή αστικές λεκάνες απορροής. Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων που μπορεί να έχουν διάφορες τεχνικές κατασκευές, όπως η ανάπτυξη αστικών έργων σε πλημμυρικά υδρογραφήματα και στην στερεομεταφορά. Ακόμα, κατά την τεκμηρίωση του μοντέλου φαίνεται ότι τα κύρια στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα αποθήκευσης νερού είναι η διαρροή σε ήδη υγρή περιοχή, οι βροχοπτώσεις και η αρχική αποθήκευση. Ο αλγόριθμος της διήθησης ενσωματώνει ένα διπλό στρώμα εδαφικού προφίλ και μία νέα μέθοδο σύμφωνα με την φυσική του εδάφους, που έχει να κάνει με την αναδιανομή του νερού του εδάφους κατά τη διάρκεια της διακοπής των βροχοπτώσεων. Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου λοιπόν είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση του μεγέθους της βροχόπτωσης, η απορροή, η διήθηση και η τοπογραφία. Το KINEROS επιλύει αριθμητικά την εξίσωση της διατήρησης της μάζας στο μοναδιαίο όγκο με την υπόθεση του κινηματικού πλημμυρικού κύματος (kinematic wave assumption method) (Nearing et al., 2005; Pricop & Blidaru, n.d.; Woolhiser, Roger, Smith, Goodrich, & Unkrich, n.d.; Μυρωνίδης, 2006).

1.5.7. LISEM (Limburg Soil Erosion Model)

Το μοντέλο διάβρωσης LISEM δημιουργήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 για να εξυπηρετήσει ανάγκες της επαρχίας Limburg (De Roo, Hazelhoff, & Burrough, 1989; V. G. Jetten, De Roo, & Guerif, 1998). Το Limburg είναι μία πόλη της Ολλανδίας που συχνά δέχεται απειλές για ζημιές σε σπίτια και υποδομές από ροές λάσπης. Αυτό το μοντέλο δημιουργήθηκε λοιπόν κυρίως για αυτόν τον λόγο, με σκοπό την προσομοίωση της επίδρασης των άμεσων αντιδιαβρωτικών μέτρων (V. Jetten & De Roo, 2001). Εκτός από την Ολλανδία έχει χρησιμοποιηθεί για προσομοίωση σεναρίων για την αλλαγή χρήσης γης σε πολλές χώρες της Βορειοδυτικής Ευρώπης και της Μεσογείου, της Ανατολικής Αφρικής και της Ασίας. Ακόμα αξίζει να πούμε πως το μοντέλο εφαρμόζεται για περιοχές μικρής κλίμακας. Η διάβρωση περιλαμβάνει τη διάβρωση με παφλασμό, τη διάβρωση ροής με βάση την ικανότητα μεταφοράς υλικών, ενώ το νερό και τα ιζήματα δρομολογούνται μέσω της κινηματικής μεθόδου. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του LISEM προκύπτει από τη βροχόπτωση, την διήθηση και από την διαπερατότητα του εδάφους (Nearing et al., 2005).

Πίνακας 1.1. Μέθοδοι εκτίμησης εδαφικής απώλειας και οι παράγοντες που απαιτούνται για την αξιολόγηση της.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ							
ΜΕΘΟΔΟΙ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ						
	<i>Κλίση</i>	<i>Βλάστηση</i>	<i>Χρήσεις γης</i>	<i>Ιδιότητες εδάφους</i>	<i>Βροχόπτωση</i>	<i>Διήθηση</i>	<i>Απορροή</i>
<i>USLE</i>	+	+		+	+	+	
<i>RUSLE</i>	+	+		+	+	+	
<i>PESERA</i>	+	+	+	+	+		+
<i>WEPP</i>	+	+	+	+	+		
<i>EUROSEM</i>	+	+		+	+	+	
<i>KINEROS</i>	+				+	+	+
<i>LISEM</i>				+	+	+	

Στον πίνακα 1.1. καταγράφονται οι μέθοδοι εκτίμησης απώλειας εδάφους που παρουσιάζονται παραπάνω, καθώς και τα απαιτούμενα στοιχεία που χρειάζεται να λαμβάνουμε υπόψη μας την εκάστοτε φορά για να έχουμε μία ακριβή αξιολόγηση. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στις περισσότερες μεθόδους, τη διάβρωση του εδάφους επηρεάζουν σημαντικά η βροχόπτωση, οι ιδιότητες του εδάφους, η κλίση του και η βλάστηση της περιοχής που μελετάται.

Κεφάλαιο 2.

Περιοχή μελέτης- Περιοχή Νεάπολης Λακωνίας

Στην παρούσα έρευνα υλοποιούμε χαρτογράφηση κινδύνου διάβρωσης στη πυρόπληκτη περιοχή της Νεάπολης, Λακωνίας με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ανατολική Πελοπόννησο, στο νοτιοανατολικό άκρο της Νομαρχιακής ενότητας της Λακωνίας και συγκεκριμένα στο δυτικό τμήμα του Δήμου Μονεμβασιάς. Οι λεκάνες απορροής που μελετώνται αποστραγγίζουν τα δυτικά πρηνή του όρους Κρίθινα και βορειότερα των Λάκκα και Προφήτη Ηλία, τμήμα των οποίων αποστραγγίζονται διαμέσου της πεδιάδας της Νεάπολης, Βοιών.

Η έκταση του Δήμου είναι 908.2 km², και ο πληθυσμός του ανέρχεται σε 22.241 με βάση την απογραφή του 2011. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού παρουσιάζεται στις δημοτικές ενότητες Μονεμβασιάς και Νεάπολης. Οι κύριοι τομείς της οικονομίας της περιοχής είναι ο τουρισμός, η γεωργία, το εμπόριο, η κτηνοτροφία και η αλιεία (Λέκκας et al., 2015).

Πίνακας 2.1. Πληθυσμιακά στοιχεία του δήμου Μονεμβασιάς (ΕΛΣΤΑΤ 2011 από Λέκκας et al., 2015).

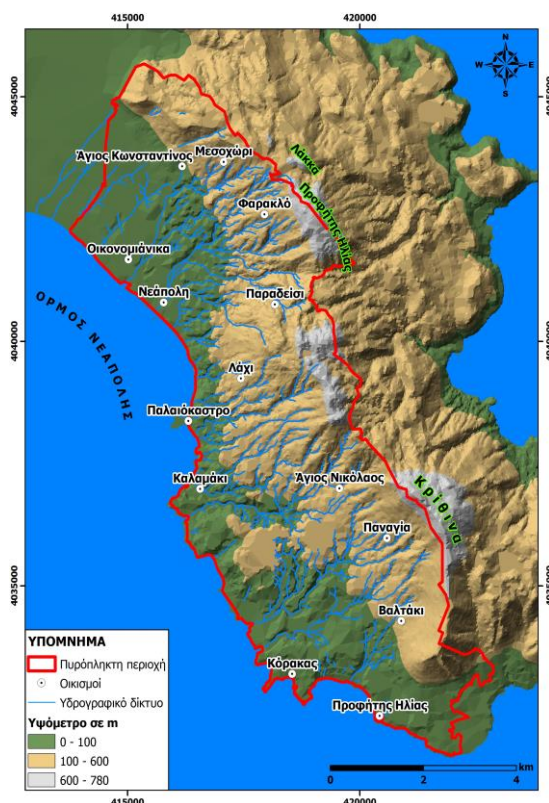
ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ
Δήμος Μονεμβασιάς	22.241
Δημοτική Ενότητα Μολάων	4.790
Δημοτική Ενότητα Ασωπού	3.467
Δημοτική Ενότητα Βοιών	7.380
Δημοτική Ενότητα Ζάρακα	1.689
Δημοτική Ενότητα Μονεμβασιάς	4.915

2.1. Γεωμορφολογία

Η γεωμορφολογία του ακρωτηρίου κυριαρχείται από ορεινούς όγκους τα όρη Κρίθινα, Λάκκα και Προφήτης Ηλίας με γενική διεύθυνση κορυφογραμμής ΒΔ-ΝΑ έως Β-Ν κατά θέσεις. Τα ποτάμια συστήματα αποστραγγίζουν τις πλαγιές των ορεινών αυτών όγκων διαμορφώνοντας 2 ομάδες υδρολογικών λεκανών:

- αυτές που απορρέουν προς τα δυτικά στον Λακωνικό κόλπο
- αυτές που απορρέουν δυτικά προς το Νοτιοδυτικό Αιγαίο

Στο μεγαλύτερο τμήμα του ακρωτηρίου και κατά μήκος των πλαγιών του ορεινού όγκου, οι μορφολογικές κλίσεις είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ακόμα και στα χαμηλά υψόμετρα, κοντά στη θάλασσα. Εξαιρέση σε αυτό αποτελεί το πεδίο της Νεάπολης στο οποίο απορρέουν και τα μεγαλύτερα σε έκταση δίκτυα της περιοχής. Ακόμα οι παρατηρούμενες μεγάλες μορφολογικές κλίσεις αυξάνουν τον κίνδυνο καταπτώσεων, κατολισθήσεων και λασπορροών, ενώ παράλληλα προσδίδουν στα επιφανειακά ύδατα που απορρέουν από τα εν λόγω πρηνή υψηλές ταχύτητες και μικρότερους χρόνους συγκέντρωσης στις εξόδους των λεκανών. Οι μικρότεροι χρόνοι αποστράγγισης και οι υψηλές ταχύτητες κίνησης αποτελούν παράγοντες επιβαρυντικούς στο πρόβλημα των πλημμυρών. Σε ότι αφορά την πυρόπληκτη περιοχή, αυτή διακρίνεται σε τρία τμήματα με βάση το υψόμετρο και ειδικότερα στο δυτικό παράκτιο πεδινό (0-100 m), το κεντρικό ημιορεινό (100-600 m) και το ανατολικό ορεινό τμήμα (600-780 m).

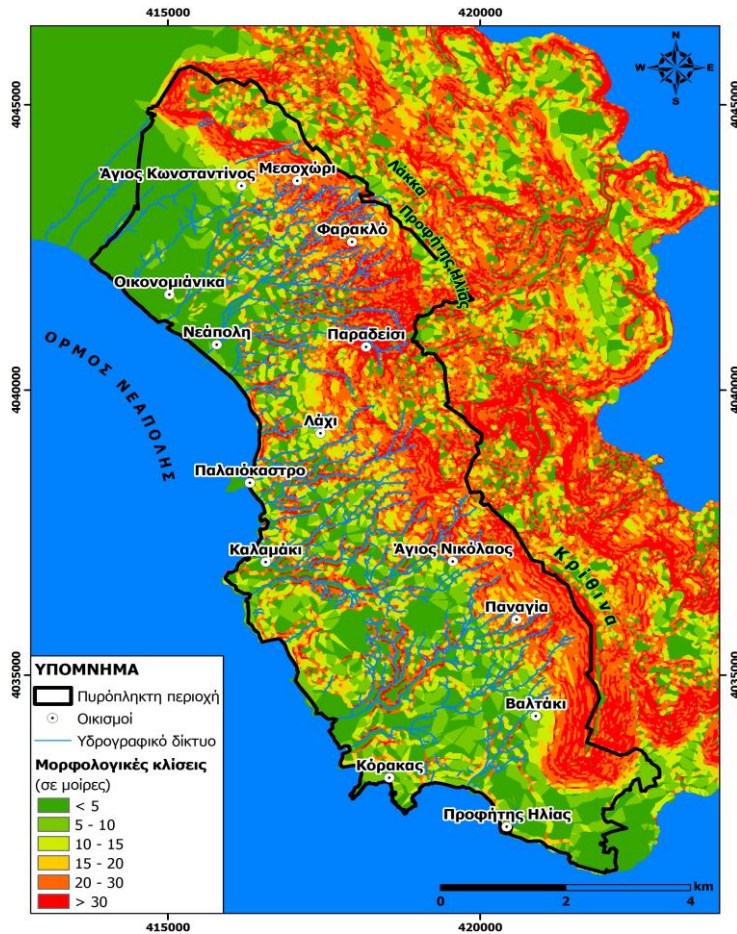


Εικόνα 2.1. Απεικόνιση τοπογραφικού χάρτη της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).

Το πεδινό τμήμα εκτείνεται με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση από την ακτογραμμή στα δυτικά μέχρι και την ισοϋψή των 100 m στα ανατολικά και περιλαμβάνει τις ευρύτερες περιοχές των οικισμών Άγιος Κωνσταντίνος, Οικονομιάνικα, Νεάπολη, Παλαιόκαστρο, Καλαμάκι, Κόρακας και Προφήτης Ηλίας. Οι κυριότερες πεδινές περιοχές είναι η περιοχή, που εκτείνεται από το βορειοδυτικό άκρο της πυρόπληκτης περιοχής έως και τη Νεάπολη και ο κάμπος του Αγίου Νικολάου, που εκτείνεται από το Παλαιόκαστρο έως τα ανατολικά του Προφήτη Ηλία.

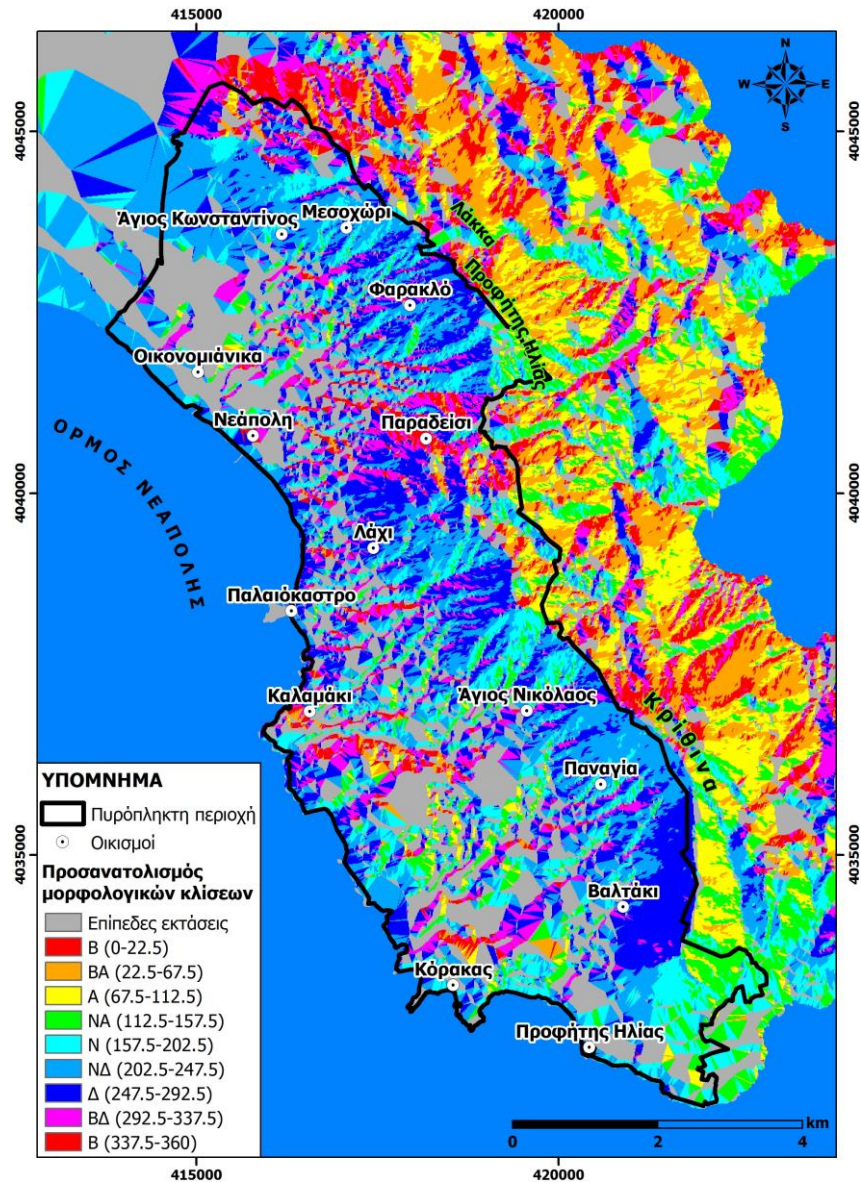
Το ημιορεινό τμήμα εκτείνεται επίσης με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση στα ανατολικά της πεδινής περιοχής μέχρι και την ισοϋψή των 600 m ανατολικότερα και περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή των οικισμών Μεσοχώρι, Φαρακλό, Παραδείσι, Λάχι, Άγιος Νικόλαος, Παναγιά και Βαλτάκι.

Το ορεινό τμήμα βρίσκεται στα ανατολικά της περιοχής μελέτης και ανατολικά της ημιορεινής περιοχής και περιλαμβάνει τα κορυφαία τμήματα των ορέων της περιοχής. Τα όρη αυτά είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων τεκτονικών διεργασιών και αποτελούν τις απολήξεις της οροσειράς του Πάρνωνα, οι οποίες έχουν γενική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και εκτείνονται μεταξύ της δυτικής και ανατολικής παράκτιας ζώνης της χερσονήσου Επιδαύρου Λιμηράς. Οι σημαντικότερες ορεινές μάζες της περιοχής μελέτης είναι οι: (α) Κριθίνα (794 m) ανατολικά του οικισμού Άγιος Νικόλαος, (β) Προφήτης Ηλίας (744 m) ανατολικά του οικισμού Φαρακλό και (γ) Λάκκα (626 m) ανατολικά του οικισμού Μεσοχώρι. Ακόμα, οι μορφολογικές κλίσεις στην πυρόπληκτη περιοχή διακρίθηκαν σε έξι κατηγορίες: (α) $< 5^\circ$, (β) $5^\circ-10^\circ$, (γ) $10^\circ-15^\circ$, (δ) $15^\circ-20^\circ$, (ε) $20^\circ-30^\circ$, (στ) $> 30^\circ$.



Εικόνα 2.2. Χάρτης των μορφολογικών κλίσεων της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et. al., 2015).

Οι μεγαλύτερες κλίσεις παρατηρούνται στο ημιορεινό και ορεινό τμήμα, όπου είναι μεγαλύτερες των 20° . Οι μικρότερες κλίσεις εντοπίζονται στην υπόλοιπη περιοχή και ειδικότερα στη σχεδόν επίπεδη παράκτια και πεδινή περιοχή στα δυτικά, όπου οι κλίσεις δεν ξεπερνούν τις 10° , και στην ημιορεινή περιοχή, όπου κυμαίνονται από 10° έως 20° . Επιπλέον από τη μελέτη του προσανατολισμού των μορφολογικών κλίσεων διαπιστώνεται ότι η πυρόπληκτη περιοχή κλίνει γενικά προς Δ, ενώ σε επιμέρους περιοχές προς Ν και ΝΔ. (Λέκκας et al., 2015).

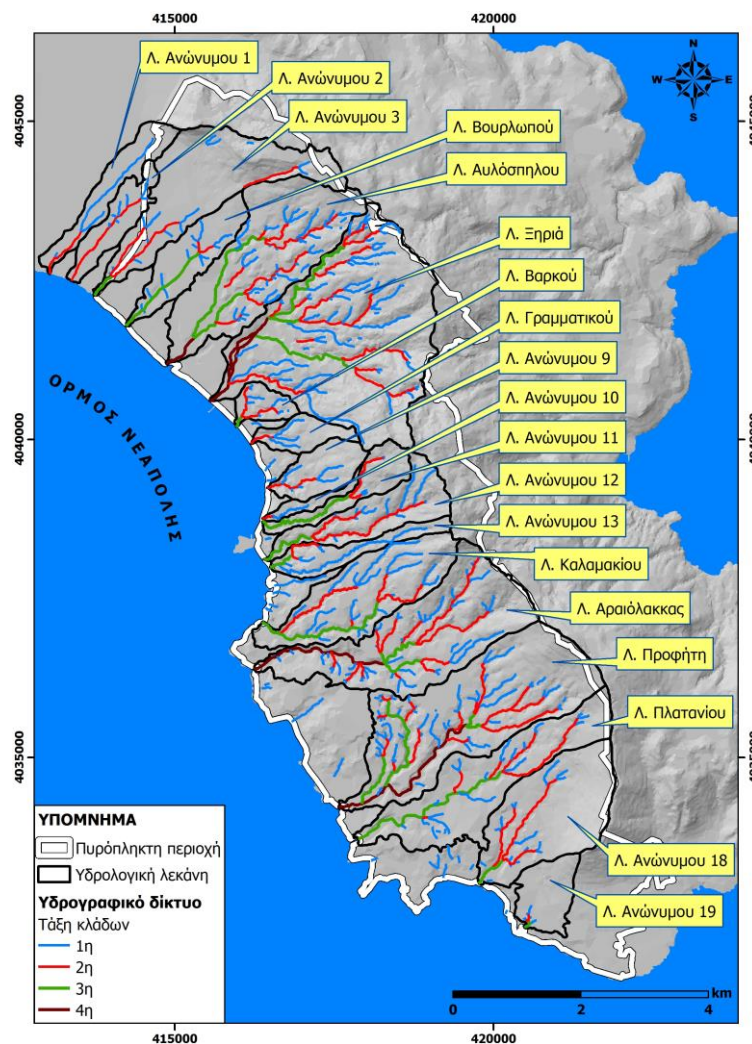


Εικόνα 2.3. Χάρτης απεικόνισης του προσανατολισμού της μορφολογίας της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).

2.2. Υδρογραφικό δίκτυο

Για τη μελέτη του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5.000, που προέρχονται από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ, φ.χ. υπ' αριθμ. 7398-3, 7398-4, 7398-5, 7398-6, 7398-7, 7398-8, 8308-2, 8308-6, 8309-1, 8309-3 και 8309-5). Μετά τη σάρωση και τη γεωαναφορά των χαρτών ακολούθησε ψηφιοποίηση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής της πυρόπληκτης περιοχής.

Στην πυρόπληκτη περιοχή δεν διέρχεται κάποιο ποτάμι με συνεχή ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Υπάρχουν όμως πολλά ρέματα που εκβάλουν στις ακτές της και σχηματίζουν ένα σχετικά πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με κυρίως δενδριτική μορφή. Στην εν λόγω περιοχή αναπτύσσονται 19 υδρολογικές λεκάνες, που από Β προς Ν είναι οι λεκάνες των ρεμάτων Ανώνυμου 1, Ανώνυμου 2, Ανώνυμου 3, Βουρλωπό, Αυλόσπηλος, Ξηριάς (ή Ποταμιά), Βαρκό, Γραμματικό, Ανώνυμου 9, Ανώνυμου 10, Ανώνυμου 11, Ανώνυμου 12, Ανώνυμου 13, Καλαμάκι, Αραιόλακκα, Προφήτης, Πλατάκι, Ανώνυμου 18 και Ανώνυμου 19.



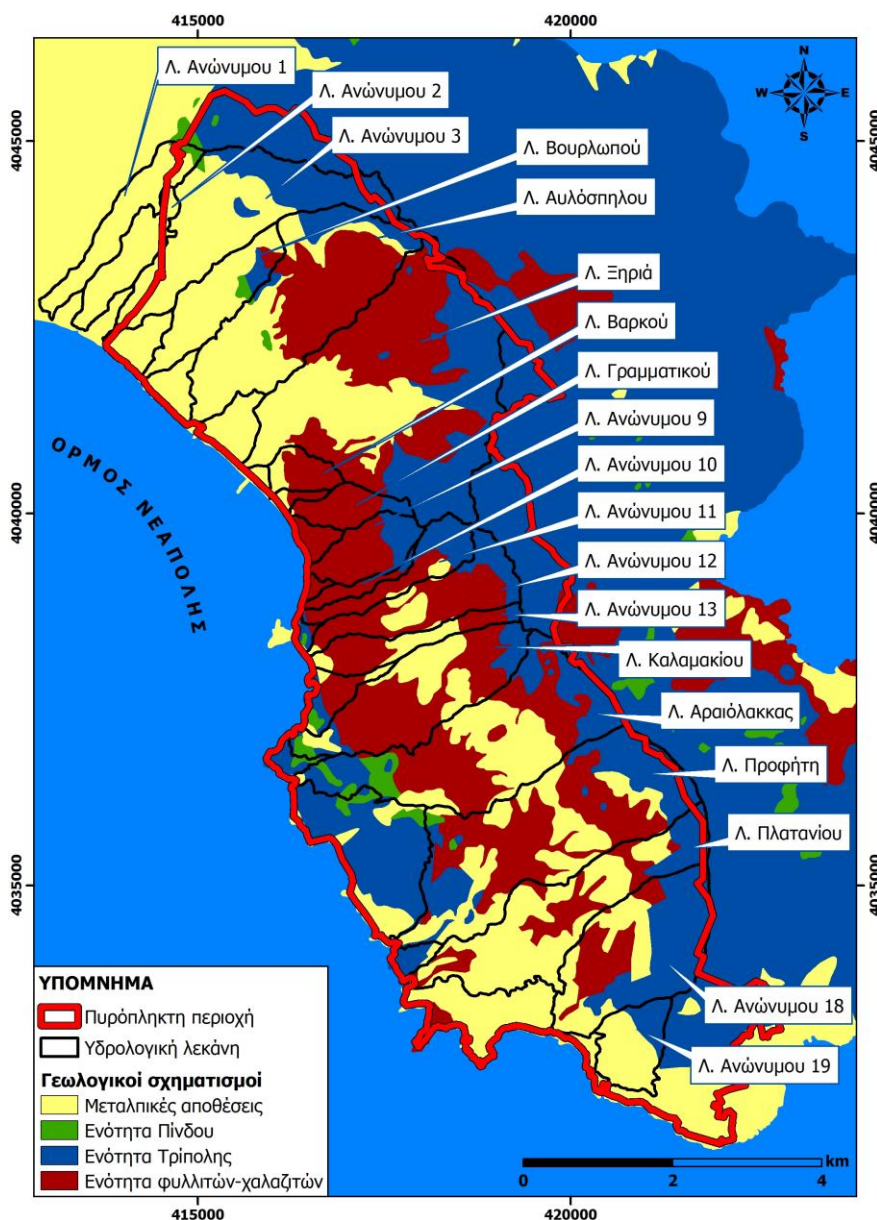
Εικόνα 2.4. Χάρτης του υδρογραφικού δικτύου και των υδρολογικών λεκανών της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).

Γενικά, αναπτύσσονται με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση ξεκινώντας από τις δυτικές πλαγιές του ορεινού όγκου, που διατρέχει τη χερσόνησο Επιδαύρου Λιμηράς με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και αποτελεί τμήμα της απόληξης της οροσειράς του Πάρωνα. Στη συνέχεια μέσω του ημιορεινού και πεδινού τμήματος της περιοχής μελέτης, υδρολογικές αυτές λεκάνες εκφορτίζονται στο Λακωνικό κόλπο και ειδικότερα στον όρμο Νεάπολης. Ανάμεσά τους αναπτύσσονται μεσολεκανώδεις περιοχές. Τα κυριότερα ρέματα είναι το Βουρλωπό, που εκβάλλει στην παράκτια περιοχή της Νεάπολης, ο Ξηριάς (ή Ποταμιά) που διέρχεται μέσα από τη Νεάπολη, ο Προφήτης και το Πλατάνι που εκβάλλουν βόρεια του οικισμού Κόρακας. Ακόμα υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε λεκάνη απορροής μορφολογικές παράμετροι και ειδικότερα η συνολική έκταση της λεκάνης σε km², η περίμετρος της λεκάνης σε km, το μέγιστο και το μέσο υψόμετρο της λεκάνης και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2. Οι κυριότερες μορφολογικές παράμετροι των λεκανών απορροής της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ(km²)	ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (km)	ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ(m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ (m)
<i>Ανώνυμο 1</i>	1.07	7.45	214	27
<i>Ανώνυμο 2</i>	0.87	5.90	35	18
<i>Ανώνυμο 3</i>	3.30	11.80	600	173
<i>Βουρλωπό</i>	1.32	6.51	140	31
<i>Αυλόσπηλος</i>	4.09	10.65	600	139
<i>Ξηριάς (ή Ποταμιά)</i>	7.57	13.69	740	286
<i>Βαρκό</i>	0.45	2.98	120	53
<i>Γραμματικό</i>	0.58	4.11	419	143
<i>Ανώνυμο 9</i>	0.89	4.17	442	183
<i>Ανώνυμο 10</i>	0.26	4.01	373	142
<i>Ανώνυμο 11</i>	0.88	6.45	620	324
<i>Ανώνυμο 12</i>	1.61	7.95	689	317
<i>Ανώνυμο 13</i>	0.86	6.55	680	197
<i>Καλαμάκι</i>	2.74	8.83	692	187
<i>Αραιόλακκα</i>	4.38	12.24	700	212
<i>Προφήτης</i>	5.38	12.42	760	212
<i>Πλατάνι</i>	3.24	12.16	758	153
<i>Ανώνυμο 18</i>	2.99	7.63	621	197
<i>Ανώνυμο 19</i>	0.93	4.53	341	60

Οι υδρολογικές λεκάνες έχουν διαμορφωθεί πάνω σε αλπικούς σχηματισμούς των ενότητων Φυλλιτών – Χαλαζιτών, Τρίπολης και Πίνδου και σε μεταλλικές αποθέσεις. Οι σχηματισμοί της ενότητας Πίνδου είναι έντονα τεκτονισμένοι ραδιολαρίτες, πυριτικό ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι με κονδύλους ή ενστρώσεις πυριτολίθων, μάργες, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί της ενότητας Τρίπολης περιλαμβάνουν ασβεστολίθους, δολομιτικούς ασβεστολίθους και δολομίτες Ανωτέρου Τριαδικού – Ηωκαίνου και κλαστικά (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργιλικό σχιστόλιθοι) και ανθρακικά (δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι) πετρώματα Κατώτερου-Μέσου Τριαδικού. Οι σχηματισμοί φυλλιτών-χαλαζιτών είναι οι πλέον μεταμορφωμένοι σχηματισμοί (Λέκκας et al., 2015).



Εικόνα 2.5. Γεωλογικός χάρτης και υδρολογικός χάρτης της πυρόπληκτης περιοχής Λέκκας et al., 2015).

2.3. Γεωλογία

2.3.1. Γεωλογία- Στωματογραφία

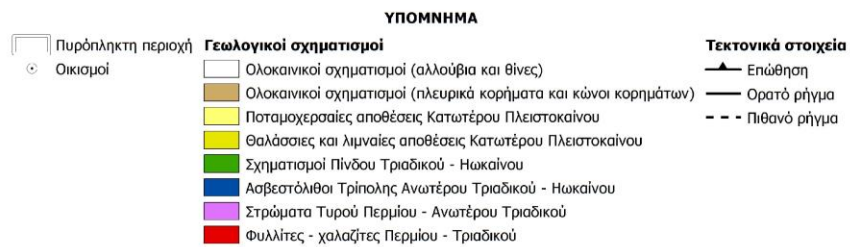
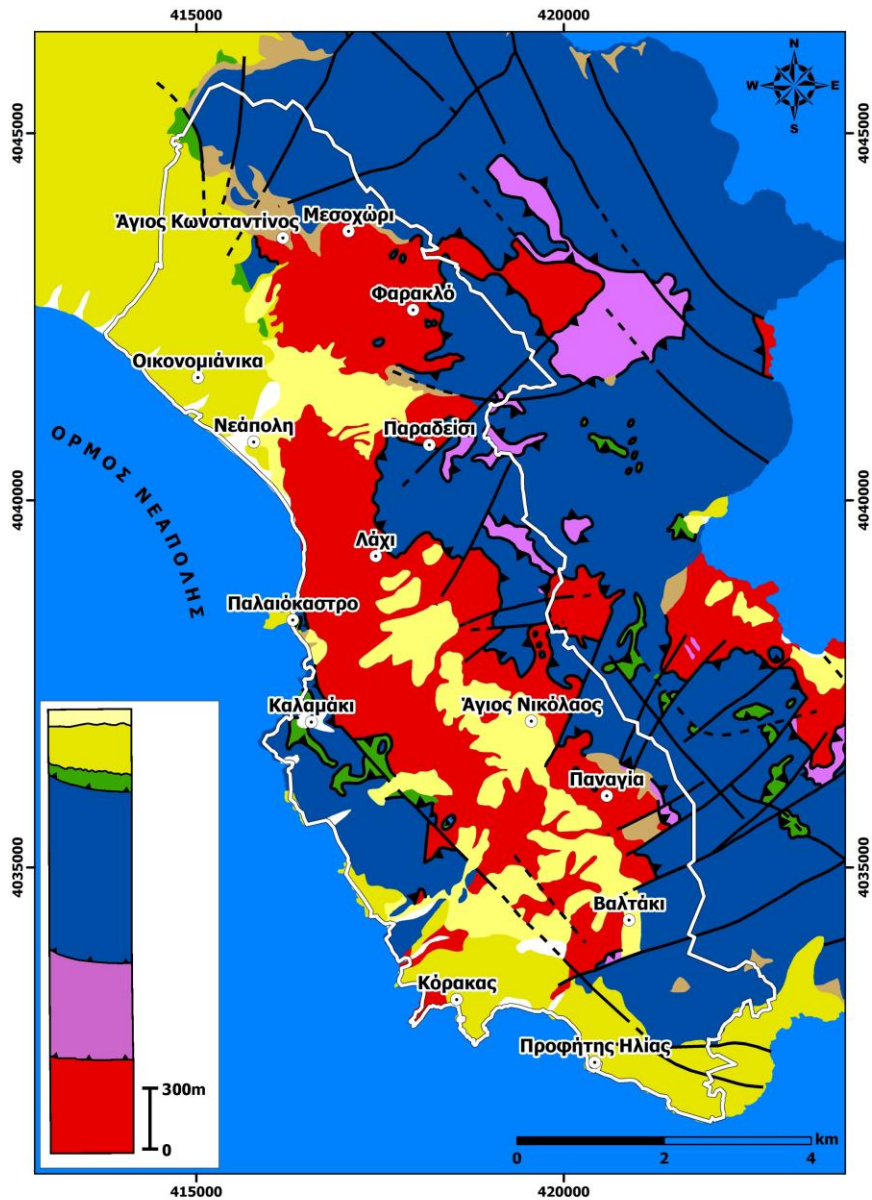
Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης έχει βασιστεί στη γεωλογική χαρτογράφηση του γεωλογικού φύλλου “Άγιος Νικόλαος Βοιών - Νεάπολη”, έκδοσης ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, (ΓΕΡΟΛΥΜΑΤΟΣ & ΚΩΒΑΛΤΣΥΚ, 1999). Η περιοχή μελέτης αποτελείται από αλπικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στο ανατολικό και πιο ορεινό τμήμα της και από μεταλπικές αποθέσεις, ηλικίας Ανώτερου Πλειόκαινου - Κατώτερου Πλειστόκαινου, που απαντούν στο δυτικό τμήμα της. Ειδικότερα στην ευρύτερη περιοχή της Νεάπολης και του Αγίου Νικολάου, εμφανίζονται:

- ➔ η ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών
- ➔ τα Στρώματα Τυρού και οι μεσοζωϊκοί ασβεστόλιθοι της ενότητας της Τρίπολης
- ➔ η ενότητα Πίνδου
- ➔ μεταλπικοί σχηματισμοί του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς

Ενότητα Φυλλιτών Χαλαζιτών: Η ενότητα των Φυλλιτών – Χαλαζιτών συνιστά τη βαθύτερη τεκτονική ενότητα της περιοχής μελέτης. Καταλαμβάνει τις δυτικές κλιείς των ορεινών όγκων που συνιστούν τη ραχοκοκαλιά της περιοχής φτάνοντας σε ορισμένες θέσεις, π.χ. νότια της Νεάπολης, μέχρι την θάλασσα. Στις χαμηλά τοπογραφικά περιοχές καλύπτονται από πλειστοκαινικές αποθέσεις και αλλούβια, ενώ στα υψηλότερα τμήματα των ορεινών όγκων, είναι τεκτονικά υποκείμενη της ενότητας της Τρίπολης. Πρόκειται για μεταμορφωμένη σε συνθήκες υψηλών πιέσεων/χαμηλών θερμοκρασιών (HP/LT) κλαστική ακολουθία, η οποία αποτελείται από φυλλίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς φυλλίτες, χαλαζίτες, μετακροκαλοπαγή και λεπτές ενστρώσεις από μάρμαρα (BLUMÖR & ΚΩΒΑΛΤΣΥΚ, 1993; BLUMÖR, 1998; GEROLYMATOS, 1993 από Λέκκας et al., 2015).

Ενότητα Τρίπολης: Τεκτονικά υπερκείμενη της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών είναι η ενότητα της Τρίπολης. Η ενότητα αυτή στην περιοχή μελέτης απαρτίζεται από δύο μέρη. Στη βάση της βρίσκεται ένα σύνολο ελαφρώς μεταμορφωμένων σχηματισμών, γνωστό ως Στρώματα Τυρού, ηλικίας Ανώτερου Παλαιοζωϊκού - Ανωτέρου Τριαδικού. Πρόκειται για κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και αργιλικούς σχίστες με μικρές παρεμβολές τοφφίτων τα οποία εξελίσσονται σε μικρού πάχους, λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους και ακολούθως σε παχυστρωματώδεις και συμπαγείς δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους με ωλιθικούς και στρωματολιθικούς χαρακτήρες. Τα πάχος των Στρωμάτων Τυρού είναι περίπου 200m και απαντούν ανατολικά του Παραδεισίου να υπόκεινται τεκτονικά των υπερκείμενων ανθρακικών πετρωμάτων της Τρίπολης. Τα ανθρακικά αυτά πετρώματα, αποτελούν το ανώτερο μέρος της ενότητας της Τρίπολης στη περιοχή μελέτης και βρίσκονται πάντα τεκτονικά υπερκείμενα των Στρωμάτων Τυρού, αν και σε αρκετές θέσεις βόρεια της περιοχής μελέτης έχουν περιγραφεί και κανονικές επαφές ανάμεσα στα δύο αυτά μέρη. Το κύριο χαρακτηριστικό του ανώτερου ανθρακικού τμήματος της ενότητας, είναι ότι πρόκειται για μία μονότονη σειρά από ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας Ανωτέρου Τριαδικού – Ανωτέρου Ηωακίνου. Η ακολουθία αυτή αποτελείται από βιτουμενιούχους, παχυστρωματώδεις έως άστρωτους ασβεστόλιθους και δολομίτες, κατά θέσεις λατυποποιημένους που το βασικό στοιχείο που τους διαφοροποιεί μεταξύ

τους είναι τα απολιθώματα. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας της Τρίπολης καταλαμβάνουν τα ανώτερα τμήματα του ορεινού όγκου της Κριθίνας, έως την περιοχή του Κάβο Μαλέα και την παράκτια ζώνη από το Παλαιόκαστρο έως την περιοχή Κότωνα. Οι ανθρακικοί αυτοί σχηματισμοί, εκτός από την περιοχή του Παραδεισίου, όπου υπέρκεινται τεκτονικά των Στρωμάτων Τυρού, έρχονται σε άμεση τεκτονική επαφή με τους υποκείμενους Φυλλίτες – Χαλαζίτες (Λέκκας et al., 2015).



Εικόνα 2.6. Χάρτης των γεωλογικών σχηματισμών της πυρόπληκτης περιοχής (ΓΕΡΟΥΜΑΤΟΣ & KOWALCZYK, 1999 από Λέκκας et al., 2015).

Ενότητα Πίνδου: Υπολειμματικές εμφανίσεις της ενότητας Πίνδου υπάρχουν στα υψηλότερα τμήματα του ορεινού όγκου της Κριθίνας, βορειοανατολικά και ανατολικά του Αγίου Νικολάου, οι οποίες τεκτονικά υπέρκεινται της ενότητας Τρίπολης. Πρόκειται για έντονα τεκτονισμένους σχηματισμούς, κυρίως ραδιολαρίτες και πυριτικούς ασβεστόλιθους, ερυθρού χρώματος, μάργες, ασβεστόλιθους με κονδύλους πυριτιολίθων, ιλυόλιθους, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Λέκκας et al., 2015).

Σχηματισμοί Ανώτερου Πλειοκαίνου- Μέσου Πλειστοκαίνου Οι μεταλπηκοί σχηματισμοί αποτελούνται από ποταμοχερσαίες και θαλάσσιες αποθέσεις. Οι ποταμοχερσαίες αποθέσεις συνίστανται από αργίλους, άμμους, πηλούς και κροκαλολατυποπαγή με ελαφρά αποστρογγυλωμένα έως γωνιώδη τεμάχια πετρωμάτων που προέρχονται κατά 90-95% από την κατώτερη ενότητα της περιοχής, των Φυλλιτών- Χαλαζιτών. Ο σχηματισμός αυτός απαντά ανατολικά και βορειοανατολικά της Νεάπολης και στην περιοχή ανάμεσα στον οικισμό του Λαχίου, Αγίου Νικολάου και Βαλτάκι, όπου οι αποθέσεις, δημιουργούν χαρακτηριστικά σχετικά ομαλά πρηνή με βαθιές κοιλάδες. Όσον αφορά τις θαλάσσιες αποθέσεις συνίστανται από άμμους, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με ταχεία κατακόρυφη και οριζόντια εναλλαγή. Όταν υπάρχει συνδετικό υλικό είναι αποκλειστικά ανθρακικό. Συναντώνται σε ολόκληρη τη λεκάνη της Νεάπολης και το πάχος τους ξεπερνά τα 200m (Λέκκας et. al., 2015).

Ανωπλειστοκαινικές- Ολοκαινικές αποθέσεις: Πρόκειται για τους νεότερους σχηματισμούς της περιοχής μελέτης που αντιπροσωπεύουν προϊόντα διάβρωσης των παλιότερων πετρωμάτων και ομαδοποιούνται σε πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων και σε αλλουβιακές αποθέσεις. Τα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων είναι χαλαρά αδιαβάθμητα υλικά που έχουν υποστεί μικρή μεταφορά. Αποτελούνται από λατυποκροκαλοπαγή με λατύπες και κροκάλες ανθρακικών και σχιστολιθικών πετρωμάτων. Τα ανθρακικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων είναι τις περισσότερες φορές έντονα συνεκτικά με συνδετικό υλικό αποτελούμενο από ασβεσίτη. Η ηλικία τους είναι Ανώτερο Πλειστοκαίνο – Ολόκαινο. Οι σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται από ασύνδετα υλικά προσχώσεων, υλικά ελουβιακού μανδύα και κλαστικές αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων, τα οποία περιλαμβάνουν κροκάλες, χαλίκια και κατά θέσεις αμμούχες αργίλους (Λέκκας et al., 2015).

2.3.2. Τεκτονική

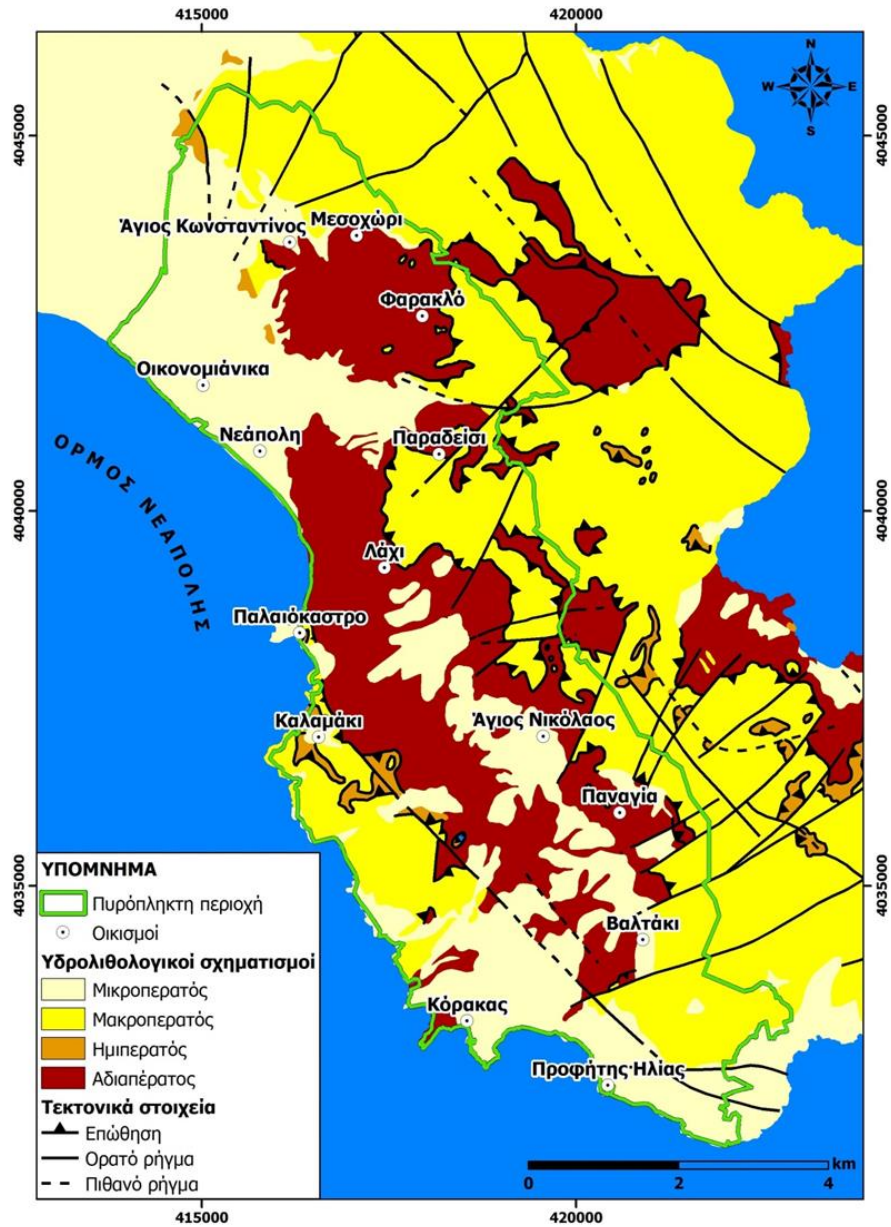
Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει πολύπλοκη τεκτονική δομή που χαρακτηρίζεται από επωθήσεις, πτυχώσεις και ρήγματα, τα οποία απεικονίζουν τα τεκτονικά καθεστώτα που έχουν δράσει στην περιοχή σε ολόκληρη τη γεωλογική της ιστορία. Παρατηρείται λοιπόν ρηγματογόνος και εφαπτομενικός τεκτονισμός. Αποτέλεσμα του εφαπτομενικού τεκτονισμού ήταν η επώθηση της ενότητας της Τρίπολης πάνω στους Φυλλίτες- Χαλαζίτες, η οποία αποτελεί την κυρίαρχη δομή στη περιοχή, καθώς και της ενότητας της Πίνδου πάνω σε αυτή της Τρίπολης. Η επαφή Φυλλιτών- Χαλαζιτών και Τρίπολης απαντά στα ανώτερα τμήματα της οροσειράς της Κριθίνας, εκτός από την περιοχή του Λαχίου που κατεβαίνει μέχρι το ανατολικό όριο του οικιστικού ιστού. Στον Κάβο Μαλέα η επαφή αυτή φτάνει στη θάλασσα. Το σημαντικότερο ρόλο από πλευράς τεκτονικής έχει διαδραματίσει η αναθόλωση του μεταμορφωμένου υποβάθρου (Φυλλίτες - Χαλαζίτες), εξαιτίας της οποίας η επαφή Φυλλιτών – Χαλαζιτών με την ενότητα Τρίπολης να είναι αναθολωμένη, με αποτέλεσμα αυτή να κλίνει προς τα ανατολικά στις ανατολικές κλιθείς των

ορεινών όγκων και προς τα δυτικά στις δυτικές πλευρές τους. Η ομόρροπη κλίση των κλιτύων και της επαφής αυτής, δημιούργησε τις απαραίτητες συνθήκες για να έχουν λάβει χώρα σημαντικές βαρυτικές ολισθήσεις, κατολισθήσεις και καταπτώσεις, όπου οι «σκληρότερες» υπερκείμενες ανθρακικές μάζες της Τρίπολης ολισθαίνουν βαρυτικά πάνω στους «μαλακότερους» Φυλλίτες – Χαλαζίτες. Ρήγματα στην περιοχή μελέτης παρατηρούνται κυρίως εντός της ανθρακικής μάζας της Τρίπολης και αυτά σπάνια τέμνουν την τεκτονική επαφή Φυλλιτών- Χαλαζιτών. Συνεπώς, πρόκειται για παλιά, ανενεργά σήμερα ρήγματα, κυρίως κανονικά, μεγάλης κλίσης και διεύθυνσης κυρίως ΒΑ-ΝΔ και λιγότερο ΒΔ-ΝΑ. Τα ρήγματα αυτά όμως, αποτελούν ασυνέχειες της βραχομάζας που ευνοούν τον αποχωρισμό της με συνέπεια να ορίζουν εν μέρει περιοχές που εύκολα μπορούν να ολισθήσουν βαρυτικά. (Λέκκας et al., 2015).

2.3.3. Υδρογεωλογία

Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών, εξαρτάται κυρίως από τη λιθολογική τους σύσταση, τον βαθμό παραμόρφωσής τους, το βαθμό αποσάθρωσης και από το βαθμό καρστικοποίησης (για τους ανθρακικούς σχηματισμούς). Η κίνηση και αποθήκευση του νερού μέσω των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών επιτυγχάνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πάσης φύσης πόροι) στους κοκκώδεις σχηματισμούς (μικροπερατοί σχηματισμοί) και μέσω του δευτερογενούς ενεργού πορώδους (πάσης φύσης ασυνέχειες) στους βραχώδεις σχηματισμούς (μακροπερατοί σχηματισμοί). Στη δεύτερη περίπτωση είναι δυνατόν να συνυπάρχουν πόροι και ασυνέχειες, οπότε γίνεται λόγος για πετρώματα με «διπλό πορώδες» (Λέκκας et al., 2015). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, διαχωρίζουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς σε:

- ➔ *Υδροπερατούς σχηματισμούς (μικροπερατούς και μακροπερατούς)*, στους οποίους είναι δυνατή η ευχερής κυκλοφορία του νερού επιτρέποντας την ανάπτυξη διαφόρου δυναμικότητας υδροφόρων οριζόντων.
- ➔ *Ημιπερατούς σχηματισμούς*, στους οποίους γίνεται εκλεκτική κίνηση του νερού που εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής του αδρομερούς κλάσματος, το πάχος της απόθεσης, καθώς και την καταπόνηση του πετρώματος επιτρέποντας την ανάπτυξη τοπικά ασθενών έως μέτριας δυναμικότητας υδροφόρων οριζόντων.
- ➔ *Αδιαπέρατους σχηματισμούς*, στους οποίους η κίνηση του νερού περιορίζεται κατά μήκος των επιφανειακών αποσασθρωμένων τμημάτων και των τεκτονισμένων ζωνών του πετρώματος με συνέπεια την ανάπτυξη τοπικών, μικρής δυναμικότητας υδροφόρων οριζόντων.



Εικόνα 2.7. Υδρολιθολογικός χάρτης της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et al., 2015).

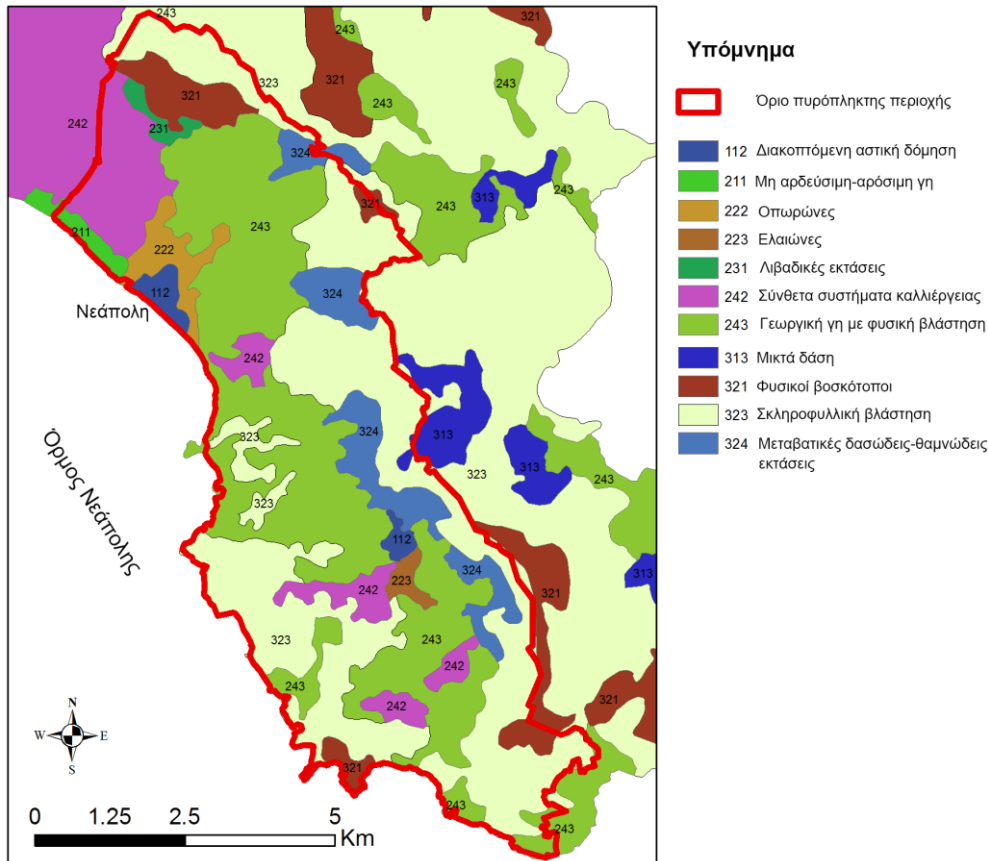
2.4. Χρήσεις γης

Στην περιοχή μελέτης μας, στην οποία διεξάγεται η έρευνα μας οι χρήσεις γης πριν την πυρκαγιά που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 2015 είναι κυρίως εκτάσεις φυσικής βλάστησης και δευτερευόντως γεωργικού χαρακτήρα. Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό σύστημα κατανομής χρήσεων γης CORINE 2000, κυριαρχούν τα παρακάτω (Λέκκας et.al., 2015):

- Έκταση γης που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές διάσπαρτες εκτάσεις φυσικής βλάστησης (Κωδ. CORINE 243).
- Θαμνώδης σκληροφυλλική βλάστηση. Τα κύρια στοιχεία της είναι (Κωδ. CORINE 323) η μακκία βλάστηση που πρόκειται για θαμνώνες αείφυλλων-πλατύφυλλων, χαρακτηριστικών τύπων μεσογειακής βλάστησης. Δημιουργούν πυκνές, συχνά αδιαπέραστες συστάδες με ύψος 1-2m σε κυρίως χαμηλά υψόμετρα και χαρακτηριστικά είδη είναι το πουρνάρι, ο σχίνος, η Κουμαριά, η Αγριελιά, η Μυρτιά και άλλα. Καθώς επίσης τα φρύγανα που πρόκειται για ασυνεχείς χαμηλές θαμνώδεις διαπλάσεις των μεσογειακών ασβεστούχων οροπεδίων με θυμάρι, ασφακά, Γαλατσίδα κ.α.
- Φυσικοί βοσκότοποι χαμηλής παραγωγικότητας. Συχνά βρισκόμενοι σε περιοχές με ανώμαλο, ανισόπεδο έδαφος σε βραχώδεις περιοχές που τις περισσότερες φορές περιλαμβάνουν φρύγανα και χερσότοπους (Κωδ. CORINE 321).

Επιπλέον αξίζει να σημειώσουμε ότι σε μικρότερες εκτάσεις, η περιοχή μελέτης μας περιλαμβάνει τα παρακάτω (Λέκκας et al., 2015):

- Μη αρδεύσιμη- αρόσιμη γη (Κωδ. CORINE 211).
- Οπωρώνες οι οποίοι στην ουσία αποτελούν αγροτεμάχια που έχουν φυτευτεί με οπωροφόρα δέντρα, συνήθως ως μονοκαλλιέργεια και σε ορισμένες περιπτώσεις μικτή που συνδέονται με μόνιμα καλυπτόμενες από ποώδη βλάστηση επιφάνειες.
- Ελαιώνες, περιοχές που έχουν φυτευτεί ελαιόδεντρα, περιλαμβανομένων αυτών με μίξη ελαιοδέντρων και αμπελιών σε μικτά αγροτεμάχια.
- Τεχνητές επιφάνειες με κυρίαρχη την διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, όπου το μεγαλύτερο τμήμα της έκτασης γης καλύπτεται από κτίσματα, συμπεριλαμβανομένου κτιρίων, δρόμων, ζωνών τεχνητών επιφανειών, σε συνδυασμό με ζώνες βλάστησης και γυμνού εδάφους που καλύπτουν ασυνεχείς αλλά εκτενείς επιφάνειες. Παράλληλα εντός της Νεάπολης παρουσιάζονται τμήματα συνεχούς αστικής δόμησης.
- Μικρές περιοχές με μικτά δάση με βλάστηση που αποτελείται κυρίως από δέντρα συμπεριλαμβανομένων υπορόφων με θάμνους και άλλη χαμηλή βλάστηση όπου δεν κυριαρχούν ούτε τα πλατύφυλλα είδη, ούτε τα κωνοφόρα.
- Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας όπως μωσαϊκό από μικρά αγροτεμάχια με διάφορες ετήσιες καλλιέργειες, λιβάδια και ή μόνιμες καλλιέργειες.
- Μεταβατικές δασώδεις- θαμνώδεις εκτάσεις με διασπαρμένα δέντρα και πόες.

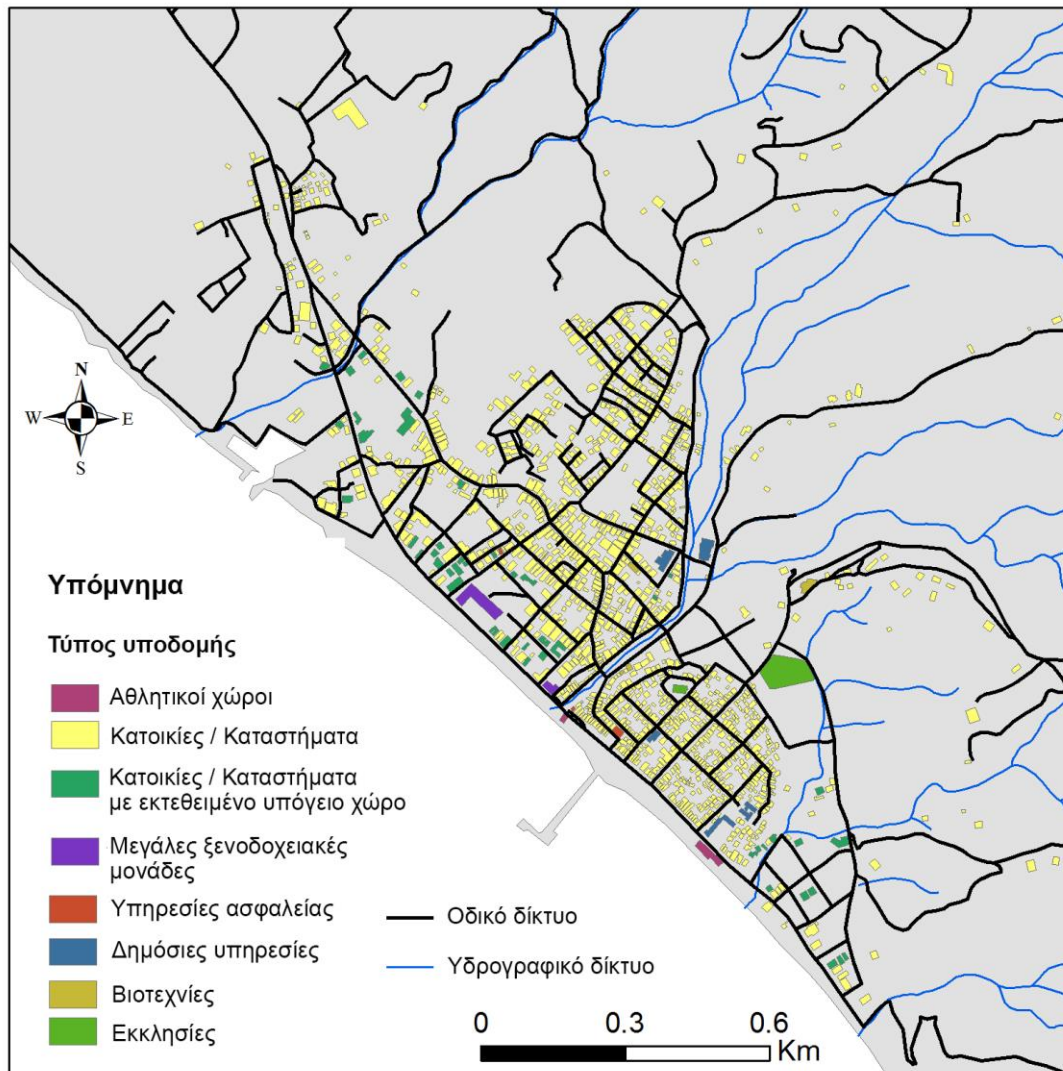


Εικόνα 2.8. Χάρτης απεικόνισης των χρήσεων γης της πυρόπληκτης περιοχής (Λέκκας et. al., 2015).

Αξίζει να πούμε ακόμα ότι οι χρήσεις γης που επικρατούν μέσα στην πόλη της Νεάπολης είναι η κατοικία, τα εμπορικά και τουριστικά καταστήματα και δευτερευόντως οι βιοτεχνικές μονάδες χαμηλής όχλησης. Κρίσιμες υποδομές της περιοχής της Νεάπολης είναι (Λέκκας et al., 2015):

- Οδικό δίκτυο (επαρχιακό δίκτυο, ιρλανδικές διαβάσεις, γέφυρες, υποδομές οδικού δικτύου π.χ. σήμανση, υποδομές ασφαλείας, φωτισμός κ.α.).
- Εγκαταστάσεις σωμάτων ασφαλείας (αστυνομικά τμήματα, πυροσβεστικοί σταθμοί, εγκαταστάσεις λιμενικού σώματος).
- Εγκαταστάσεις τοπικής αυτοδιοίκησης (Δημαρχείο, ΚΕΠ κ.α.).
- Εγκαταστάσεις υγείας (Κέντρο υγείας, ιατρείο).
- Εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνίας (κεραίες και δίκτυο).
- Εγκαταστάσεις ύδρευσης και αποχέτευσης.
- Χώροι εκπαίδευσης (Σχολεία, νηπιαγωγεία, παιδικοί σταθμοί, φροντιστήρια, κ.α.).
- Χώροι εμπορίου και εστίασης με αυξημένη συγκέντρωση πληθυσμού (Λαϊκή αγορά, Super market, εστιατόρια).

- Τερματικά μεταφορών (σταθμοί).
- Βιοτεχνικές εγκαταστάσεις καθώς και αποθήκες λιπασμάτων και άλλων υλικών αγροτικών χρήσεων.
- Εγκαταστάσεις εμπορίας και μεταφοράς καυσίμων (βενζινάδικα κ.α.).
- Χώροι διάθεσης απορριμμάτων.
- Χώροι επεξεργασίας λυμάτων (βιολογικός καθαρισμός).



Εικόνα 2.9. Χάρτης υποδομών της περιοχής Νεάπολης, Λακωνίας (Λέκκας et al., 2015).

2.5. Κλιματικές συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, με ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, σε μια μεταβατική περιοχή μεταξύ της εύκρατης κλιματικής ζώνης στο βορρά και της τροπικής στο νότο. Στην ευρύτερη περιοχή της Λακωνίας, είναι εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί σταθμοί και βροχόμετρα τα οποία έχουν καταγράψει κατά τα διαστήματα λειτουργίας τους τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής (Λέκκας et al., 2015).

Πίνακας 2.3. Χαρακτηριστικά μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Μονεμβασιάς (Λέκκας et al., 2015).

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΦΟΡΕΑΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Καβομαλιάς	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	161	2008-2015
Μονεμβασιά	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	4	2007-2015
Μολάοι	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	128	2009-2015
Ασωπός	Υπουργείο Γεωργίας	35	1974-2009
Άργα	ΥΠΑΠΕΝ	779	1956-1997
Πέτρινα	ΥΠΑΠΕΝ	240	1954-1997
Κύθηρα	ΕΜΥ	167	1974-2015
Έλος	Υπουργείο Γεωργίας	4.5	1972-2015

2.6. Η φωτιά στη Νεάπολη Λακωνίας

Η πυρκαγιά που σημειώθηκε στη Νεάπολη του δήμου Μονεμβασιάς, στο νομό Λακωνίας εκδηλώθηκε κοντά στις 4 π.μ., στις 17 Ιουλίου του 2015, ξέσπασε στο δυτικό τμήμα του χωριού Φαρακλό και άρχισε να εξαπλώνεται ανεξέλεγκτη φτάνοντας ως και στον αστικό ιστό του χωριού Νεάπολης, με αποτέλεσμα να καούν σπίτια και καταστήματα εκτός από τη μεγάλη καταστροφή που προκλήθηκε σε χλωρίδα και πανίδα. Ακόμα, η κυκλοφορία από και προς τη Νεάπολη είχε διακοπεί με συνέπεια η πρόσβαση στον οικισμό για διάσωση να γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη.

Από την πυρκαγιά που σημειώθηκε εκκενώθηκαν τα χωριά Μεσοχώρι, Φαρακλό, Λάχι, Άγιος Νικόλαος καθώς και δύο παιδικές κατασκηνώσεις στο Λάχι. Από το Εθνικό Κέντρο Επιχειρήσεων Υγείας δόθηκε εντολή να εκκενωθεί και το Κέντρο Υγείας Νεάπολης και οι ασθενείς μεταφέρθηκαν στο νοσοκομείο των Μολάων, σε ετοιμότητα ήταν ακόμα και το νοσοκομείο της Σπάρτης. Όλοι οι αρμόδιοι φορείς ήρθαν σε επαφή με την Περιφέρεια Πελοποννήσου, η οποία ζήτησε τη συνδρομή του στρατού στις υπεράνθρωπες προσπάθειες κατάσβεσης. Την κατάσταση επιδεινώναν οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες εφόσον οι άνεμοι έπνεαν ισχυροί, εντάσεως από 8 με 9 μποφόρ με αποτέλεσμα να ευνοείται η εξάπλωση της φωτιάς. Οι δυνάμεις της πυροσβεστικής ενισχύθηκαν έτσι συνέβαλλαν στην κατάρσβεση της φωτιάς 120 πυροσβέστες, 51 οχήματα, 40 άτομα πεζοπόρο, 5 υδροφόρες του δήμου, 2 ελικόπτερα και 5 αεροσκάφη (Ρέβη, 2015; “Υπό μερικό έλεγχο η φωτιά στη Νεάπολη Λακωνίας,” 2015; “Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015).

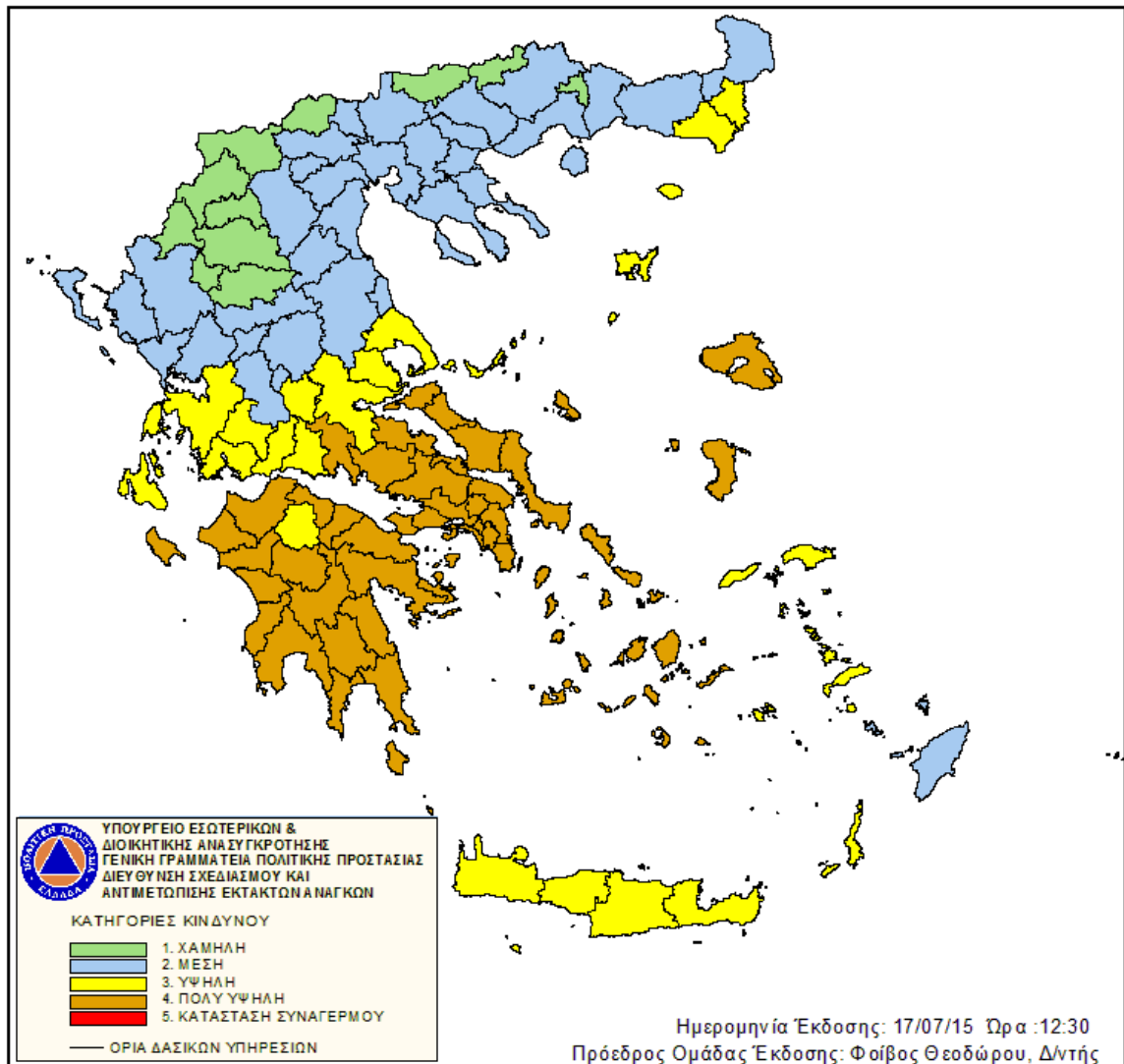
Στο χωριό Άγιος Νικόλας που εκκενώθηκε για την ασφάλεια των κατοίκων βρέθηκαν εγκλωβισμένοι άνθρωποι της πυροσβεστικής οι οποίοι έκαναν ανεκτίμητες προσπάθειες για την κατάσβεση της φωτιάς. Όσον αφορά το χωριό Προφήτης Ηλίας, πάνω από 300 άτομα που βρέθηκαν εγκλωβισμένα εκεί μεταφέρθηκαν με πλοίαρια στον λιμάνι της Νεάπολης, απ’ όπου οδηγήθηκαν με ασφάλεια στο δημοτικό σχολείο της περιοχής ώστε να τους δοθούν οι απαραίτητες βοήθειες.

Το συμβάν της πυρκαγιάς έχει δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα σε όλη την έκταση της Νεάπολης. Ζητήματα που απασχολούν τους κατοίκους και την πολιτεία είναι η αποκατάσταση των διωτικών περιουσιών που έχουν πληγεί από τη φωτιά καθώς και η μεταπυρική διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος. Η περιοχή μελέτης εμφάνιζε έντονο το φαινόμενο της διάβρωσης του εδάφους, ωστόσο το φαινόμενο αυτό εντείνεται μετά την φωτιά που προκλήθηκε, ακόμα έντονος είναι και ο κίνδυνος των κατολισθήσεων και των πλημμυρών.

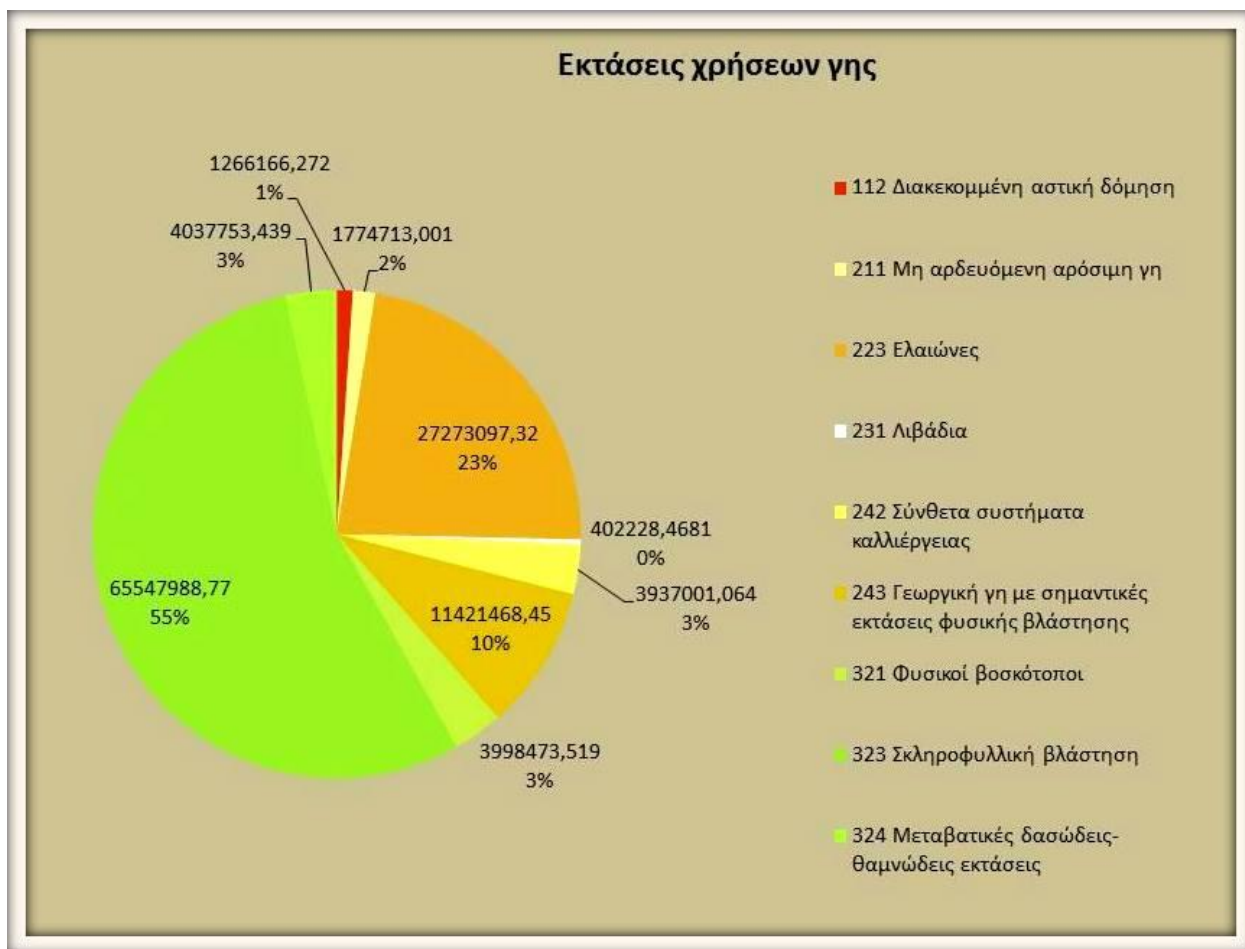
Οι αναβαθμίδες που υπάρχουν στην περιοχή εξυπηρετούν την καλλιέργεια σε επικλινή εδάφη καθώς επίσης συγκρατούν στα πρηνή μεγάλες ποσότητες εδάφους, διαφορετικά θα μπορούσαμε να μιλάμε για απώλεια εδάφους και συγκέντρωση του στα πεδινά. Επιπλέον η μεγάλη πυκνότητα θαμνώδης βλάστησης αποτρέπει τη διάβρωση και τέτοιου είδους φαινόμενα. Έτσι λοιπόν μετά την πυρκαγιά στην περιοχή μελέτης κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα κατά της διάβρωσης που λειτουργούν κατ’ επέκταση και ως αντιπλημμυρικά, καθώς και μέτρα

κατά των κατολισθήσεων. Είναι απαιτακτική η ανάγκη μετριασμού απόσπασης υλικού και αποκατάστασης της βλάστησης.

ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΠΟΥ ΙΣΧΥΕΙ ΓΙΑ Σάββατο 18/07/15



Εικόνα 2.10. Χάρτης εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς για το Σάββατο 18/7/2015 στον ελλαδικό χώρο από το Υπουργείο Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης .



Εικόνα 2.11. Οι εκτάσεις των χρήσεων γης που κήκαν από την πυρκαγιά.



Εικόνα 2.12. Προσπάθειες κατάσβεσης της φωτιάς από οχήματα του δήμου Μονεμβασιάς (“Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015): <http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias>).



Εικόνα 2.13. Εικόνα από την πυρκαγιά στη Νεάπολη Λακωνίας και η συμβολή της πυροσβεστικής (“Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015): <http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias>).



Εικόνα 2.14. Κάτοικοι της πυρόπληκτης περιοχής προσπαθούν να διαχειριστούν την κατάσταση μέσα στην αποπνικτική ατμόσφαιρα (“Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας,” 2015: <http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias>).



Εικόνα 2.15. Εξάπλωση της φωτιάς στον αστικό ιστό της περιοχής (Ρέβη, 2015: <http://www.protothema.gr/greece/article/493802/megali-fotia-sti-neapoli-lakonias-/>)

Κεφάλαιο 3.

Μεθοδολογία

3.1. Εφαρμογή των μεθόδων εκτίμησης απώλειας εδάφους USLE και RUSLE σε παρόμοιες έρευνες

Στην παρούσα εργασία για την εκτίμηση της απώλειας εδάφους που οφείλεται στην διάβρωση, εφαρμόζεται απλή εμπειρική μέθοδος η οποία είναι η Τροποποιημένη Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας, RUSLE. Επιλέγουμε αυτή την εξίσωση διότι έχει εφαρμοστεί σε έναν σημαντικό αριθμό παρόμοιων ερευνών και σε παρόμοια κλίματα, δίνοντας αξιόπιστα και έγκυρα αποτελέσματα, καθώς επίσης εξυπηρετεί στη λήψη των απαραίτητων δεδομένων που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε τις ανάγκες της εφαρμογής της. Στην προκειμένη περίπτωση της Νεάπολης χρησιμοποιήσαμε ως πρώτη ύλη χαρτογραφικό υλικό όπως τα όρια της πυρόπληκτης περιοχής, την τοπογραφία, την γεωλογία και τον χάρτη των χρήσεων γης (CORINE 2012) και δορυφορική εικόνα 'Worldview2' της πυρόπληκτης περιοχής. Επίσης έγινε χρήση της βιβλιογραφίας όπου κρίθηκε σκόπιμο προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης μας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εφαρμογές των USLE και RUSLE σε εργασίες με κοινά χαρακτηριστικά και κυρίως μεσογειακά κλίματα.

3.1.1. Εργασία 1: Εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης φερτών υλών σε τεχνητούς ταμειυτήρες- Μελέτη περίπτωσης λίμνη του Μαραθώνα

Ο σκοπός της μελέτης αυτής των Ξανθάκης et al., 2010 είναι η εκτίμηση των φερτών υλών στη λίμνη του Μαραθώνα με τη χρήση βυθομέτρου και η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στις λεκάνες απορροής των χειμάρρων που εκβάλουν στη λίμνη με τη χρήση της αναθεωρημένης εξίσωσης απώλειας εδάφους RUSLE, στο τέλος γίνεται σύγκριση των δύο αυτών αποτελεσμάτων ώστε να καταδειχθεί η απόδοση του μοντέλου εδαφικής διάβρωσης στην εκτίμηση των φερτών υλών που έχουν εισρεύσει στον ταμειυτήρα από την αρχή της λειτουργίας του ως τις μέρες μας. Ταυτόχρονα σημειώθηκε εκτίμηση της αύξησης του στερεοφορτίου ύστερα από την πυρκαγιά που εκδηλώθηκε το 2009 στη Βορειοανατολική Αττική. Για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων για ένα ολοκληρωμένο εργαλείο διαχείρισης του ταμειυτήρα μετά την πυρκαγιά γίνεται εφαρμογή της RUSLE με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι γεωγραφικά και υδρομετεωρολογικά. Στα γεωγραφικά περιλαμβάνονται η δημιουργία ψηφιακού αναγλύφου λεκάνης, οι χρήσεις γης (κατηγοριοποίηση με την χρήση του CORINE), η γεωλογία και η εδαφολογία της λεκάνης και το υδρογραφικό δίκτυο. Τα μετεωρολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν μηνιαίες τιμές κατακρήμνισης του μετεωρολογικού σταθμού Μαραθώνα της ΕΥΔΑΠ.

Για τη διεξαγωγή των χαρτών δόθηκαν τιμές για κάθε έναν από τους συντελεστές της εξίσωσης διάβρωσης. Έτσι λοιπόν για τον συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R είναι ανάλογος με έναν συντελεστή $EI(30)$, όπου E η κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης και $I(30)$ είναι η μέγιστη 30-λεπτη ένταση της βροχόπτωσης σε κάθε καταίγδα, για να υπολογιστεί ο παράγοντας αυτός με τέτοιο τρόπο χρειάζονται δεδομένα από τον βροχογράφο με βήμα 30 λεπτών. Εξαιτίας λοιπόν της έλλειψης δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των Renard and Freimund (1994) με την οποία

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$$

έτσι προκύπτει

$$R = 0,7397 * MF^{1,847} \text{ για } MF < 55mm$$

$$R = 95,77 - 6,081MF + 0,477MF^2 \text{ για } MF > 55mm$$

όπου MF είναι ο δείκτης Fournier, p_i (mm) η μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση, P (mm) η μέση ετήσια βροχόπτωση και R ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης.

Ο συντελεστής K που αφορά τη διαβρωσιμότητα του εδάφους υπολογίζεται από τη σχέση

$$K = \frac{2,1M^{1,14} 10^{-4} (12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)}{100 * 7,59}$$

όπου, M η παράμετρος του μεγέθους των τεμαχιδίων [(% ιλύς + % πολύ λεπτής άμμου)*(100 - % αργίλου), a το οργανικό ποσοστό (%), b ο κωδικός εδαφικής δομής, και c η τάξη εδαφικής διαπερατότητας. Στη παρούσα περίπτωση τα δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα, έτσι έγιναν δειγματοληψίες στην περιοχή μελέτης και εργαστηριακές αναλύσεις μηχανικής σύστασης, οργανικής ουσίας και κοκκομετρικής σύστασης που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του τύπου. Έτσι λοιπόν για κάθε γεωλογικό σχηματισμό δόθηκε μία τιμή του συντελεστή K .

Ο τοπογραφικός συντελεστής LS προέκυψε από τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με σάρωση των ισοϋψών στους χάρτες ΓΥΣ κλίμακας 1:50.000 και ακολούθησε μετατροπή των χαρτών αυτών σε εικόνα. Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS) γεωαναφέρθηκαν οι χάρτες με το ελληνικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87 και με το κατάλληλο πρόγραμμα υπολογίστηκε αυτόματα το LS .

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης C υπολογίστηκε από τη χρήση του CORINE, που σε κάθε κωδικοποιημένη χρήση γης δόθηκε μία τιμή του συντελεστή C που προέκυψε από δειγματοληψίες βλάστησης που περιελάμβανε μετρήσεις επιφανειακής κάλυψης, κάλυψης κόμης, ύψους φυτών, εδαφικής τραχύτητας. Για όσες χρήσεις γης δεν μπόρεσαν να γίνουν

μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία προσαρμοσμένες στις συγκεκριμένες χρήσεις γης.

Τέλος στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης ο συντελεστής αντιδιαβρωτικών μέτρων P είναι ίσος με τη μονάδα διότι δεν έχουν ακόμα εφαρμοστεί σχετικά μέτρα.

3.1.2. Εργασία 2: Εκτίμηση διάβρωσης στη νήσο Ζάκυνθο με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών

Στην εργασία των Μπαθρέλος et al., 2010 η ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Ζάκυνθο έγινε με την εφαρμογή της παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας USLE και με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η μορφολογία, η λιθολογία, η βροχόπτωση και η χρήσεις γης. Ο κάθε παράγοντας της σχέσης που δίνει την εδαφική διάβρωση με τη χρήση της USLE ποσοτικοποιήθηκε και βαθμονομήθηκε ανάλογα με το πόσο επηρεάζει τις εργασίες της διάβρωσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χάρτη της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης της περιοχής μελέτης.

Κατά τη διεξαγωγή της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 της γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, γεωλογικός χάρτης 1:50.000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), δεδομένα χρήσεων γης από της χρήση του προγράμματος CORINE και δεδομένα βροχόπτωσης της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ).

Ο συντελεστής R που έχει να κάνει με τη διαβρωτική ικανότητα της βροχόπτωσης, εκφράζεται από το συνολικό ετήσιο μέσο άθροισμα των δεικτών $EI(30)$ της κινητικής ενέργειας της κάθε καταιγίδας E , με μέγιστο τριαντάλεπτη ένταση της βροχόπτωσης της καταιγίδας $I(30)$. Όπως και στην παραπάνω περίπτωση και εδώ σημειώθηκε έλλειψη δεδομένων, έτσι ο υπολογισμός του συντελεστής R αποδόθηκε από την παρακάτω εξίσωση που αποτελεί μία γραμμική σχέση σε συνάρτηση με τη βροχόπτωση

$$R = aP_i$$

όπου P_i είναι η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) και $a = 1,22$ (MJ/ha hour year) ο συντελεστής αναλογίας και προτάθηκε από τον Φλαμπούρη 2008.

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων του εδάφους. Οι ιδιότητες του εδάφους που μπορεί να επηρεάσουν τον συντελεστή K είναι η υφή (που έχει να κάνει με το ποσοστό άμμου, ιλύος και αργίλου που περιλαμβάνει), τη δομή του εδάφους και τη διαπερατότητα του. Στην προκειμένη περίπτωση λόγω έλλειψης δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικοί σχηματισμοί από τον γεωλογικό χάρτη που είχαν στη διάθεση τους οι ερευνητές-επιστήμονες από το Ι.Γ.Μ.Ε. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με την συνεκτικότητά τους, την αντοχή τους, τη διαπερατότητα τους

και την διηθητικότητα τους. Σε κάθε έναν λοιπόν από αυτούς δόθηκε μία αριθμητική τιμή K και παρουσιάστηκε σε σχετικό πίνακα.

Ο τοπογραφικός συντελεστής LS εκφράζει την επίδραση της τοπογραφίας στη διάβρωση του εδάφους και προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των συντελεστών αυτών, δηλαδή από μήκος της κλιτύος και την κλίση της. Στην παρούσα εργασία το LS υπολογίστηκε από τη σχέση που προτάθηκε από τον Morgan (1986) και έχει ως εξής

$$LS = (L/22)^{0,5} * (0,065 + 0,045S + 0,0065S^2)$$

όπου L το μήκος της κλιτύος (m) και χρησιμοποιήθηκε το μέγεθος κυψελίδας 50 μέτρων και S η % κλίση. Η κλίση υπολογίστηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής με τη βοήθεια των ΓΣΠ.

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης C που έχει να κάνει με την επίδραση των καλλιεργειών και τις πρακτικές διαχείρισης τους στην εδαφική διάβρωση στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε από δεδομένα χρήσεων γης που αντλήθηκαν από το CORINE. Σε κάθε χρήση γης δόθηκε μία αριθμητική τιμή στον συντελεστή K σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και προσαρμοσμένη στις ανάγκες της εργασίας αυτής. Τα δεδομένα και οι τιμές τους παρουσιάστηκαν σε σχετικό πίνακα.

Τέλος, όσον αφορά τον συντελεστή διαχείρισης εδαφών κατά της διάβρωσης P λαμβάνει την τιμή 1 διότι δεν έχουν εφαρμοστεί σχετικά μέτρα.

3.1.3. Εργασία 3: Soil erosion and degradation in a rapidly expanding industrial area of Eastern Mediterranean basin (Thrasio plain Greece)

Στην έρευνα των Sigalos et al., 2016 μελετάται η διάβρωση του εδάφους σε μία ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανική περιοχή, στο Θριάσιο πεδίο, στην Ελλάδα. Παρακολουθείται λοιπόν πως η διάβρωση του εδάφους επηρεάζεται από τη γεωμορφολογία, τη φυτοκάλυψη, την τοπογραφία και τις ιδιότητες του εδάφους. Από τα δεδομένα των ερευνητών προκύπτει πως η δεδομένη περιοχή παρουσιάζει μέτρα ως και χαμηλής τάξης ευπάθεια εδάφους σε πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι στην εργασία αυτή γίνεται η εκτίμηση της διάβρωσης του εδάφους σύμφωνα με το σενάριο των ακραίων συνθηκών.

Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την εδαφική διάβρωση από το νερό είναι η διαπερατότητα, η διήθηση, η υφή, η κλίση και η φυτοκάλυψη. Κατά την διεξαγωγή της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες 1:50.000 από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), καθώς και πληροφορίες κάλυψης που διεξάχθηκαν από το CORINE.

Για τον υπολογισμό της εξίσωσης διάβρωσης εδάφους με τη μέθοδο RUSLE ο συντελεστής διάβρωσης R υπολογίζεται από τον τύπο

$$R = 4,17 \sum_i^{12} \left(\frac{p^2}{P} \right) - 152$$

όπου p η μηνιαία βροχόπτωση και P η ετήσια.

Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους K επηρεάζεται από την υφή, τη δομή του εδάφους την οργανική ύλη και την διαπερατότητα. Τα πετρώματα και οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τους Κουτσογιάννη και Τάρλα 1987) (1) βράχια της υψηλής διαβρωσιμότητας (ιλύος) με $K = 1$, (2) βράχια της μέτριας διαβρωσιμότητας (μάργες, ψαμμίτες, σχιστόλιθος) με $K = 0.5$ και (3) πετρώματα χαμηλής διαβρωσιμότητας (ασβεστόλιθο, δολομίτη, μεταμορφωμένα πετρώματα) με $K = 0,1$.

Ο συντελεστής της τοπογραφίας LS λαμβάνει υπόψη την κλίση της γης και προέρχεται από μια χωρική ανάλυση ψηφιακού μοντέλου εδάφους 30 m.

Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας της φυτοκάλυψης C υπολογίστηκε από τη χρήση δεδομένων μέσω του CORINE, που δόθηκε μία κωδικοποιημένη τιμή του C ανάλογα με τον τύπο κάλυψης γης.

Τέλος όσον αφορά το P , τον συντελεστή αντιδιαβρωτικών μέτρων παίρνει μία σταθερή τιμή λόγω της έλλειψής μέτρων στην περιοχή μελέτης.

3.1.4. Εργασία 4: Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model

Ο σκοπός της εργασίας αυτής από τους Gitas et al., 2009 είναι να δοκιμάσει μια τροποποιημένη έκδοση της Παγκόσμιας Εξίσωσης Απώλειας Εδάφους USLE για την αξιολόγηση των κινδύνων διάβρωσης στη βόρεια Χαλκιδική. Η USLE εκτιμά τον μέγεθος του κινδύνου διάβρωσης, βοηθώντας έτσι τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την επιλογή των μέτρων για τον έλεγχο της κατάστασης. Παρά το γεγονός ότι USLE έχει αρκετούς περιορισμούς, επιλέχθηκε επειδή αποτελεί την απλούστερη προσέγγιση, ενώ παραμένει ισχυρή, και λύνει εν μέρει το πρόβλημα της διαθεσιμότητας των δεδομένων. Οι τροποποιήσεις που γίνονται στην εφαρμογή αυτής της εξίσωσης την εκτίμηση των παραγόντων C και K που αντιπροσωπεύουν τη διαχείριση της γης και την ευπάθεια του εδάφους, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας C εκτιμήθηκε με τη χρήση πολλαπλών χρονικών στρώματα NDVI που προέρχονται από εικόνες Landsat, ενώ ο συντελεστής K υπολογίστηκε με βάση τον διαθέσιμο γεωλογικό χάρτη. Όλοι οι παράγοντες USLE υπολογίστηκαν ως στρώσεις πλέγματος μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, έπειτα πολλαπλασιάστηκαν μαζί (σύμφωνα με την USLE) προκειμένου να προκύψει ο τελικός χάρτης κίνδυνου για τρεις διαφορετικές εποχές.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τρεις δορυφορικές εικόνες LANDSAT-7, η αναπαράσταση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DTM) από το ελληνικό Υπουργείο Γεωργίας, σε κλίμακα 1:50.000, ένας γεωλογικός χάρτης από το Ελληνικό Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών (IGME), σε κλίμακα 1:50.000, ένας χάρτης κάλυψης γης με

βάση την ονοματολογία του CORINE και οι μηνιαίες κλιματικές συνθήκες που παρατηρήθηκαν από τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς του Ελληνικού Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών.

Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R προκύπτει από την εξίσωση

$$\log R = 1,93 \log \sum \frac{p_i^2}{P} - 1,52$$

όπου p η μηνιαία βροχόπτωση και P η ετήσια βροχόπτωση. Σε αυτή την περίπτωση, η έλλειψη πυκνού δικτύου μέτρησης μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή μελέτης οδήγησε στην εφαρμογή γραμμικής εξίσωσης μεταξύ καθίζησης και υψόμετρου για τον υπολογισμό και την εκτίμηση του παράγοντα R . Οι εξισώσεις που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις από τρεις σταθμούς.

Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους K εξαρτάται από έναν συνδυασμό παραμέτρων του εδάφους από το ποσοστό της λάσπης, την ψιλή άμμο, την άργιλο και τις οργανικές ουσίες. Επιπλέον από την δομή του εδάφους που κωδικοποιείται σε ομάδες ανάλογα με κάποια κοινά χαρακτηριστικά και την αποστράγγιση του εδάφους που χωρίζεται σε τάξεις ανάλογα με τον ταχύ ή τον αργό ρυθμό αποστράγγισης. Η εξίσωση που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία για τον συντελεστή K είναι

$$K = 2,8 * 10^{-7} * M^{1,14}(1,2 - a) + 4,3 * 10^{-3}(b - 2) + 3,3(c - 3)$$

όπου M το μέγεθος των σωματιδίων του εδάφους, a το ποσοστό της οργανικής ύλης, b ο κωδικός που καθορίζει τη δομή του εδάφους και c το μέγεθος της τάξης αποστράγγισης του εδάφους. Τα παραπάνω υπολογίζονται σε χάρτη εδάφους κλίμακας 1:50.000 και 1:10.000, στην προκειμένη περίπτωση όμως λόγω έλλειψης εδαφολογικών χαρτών για την περιοχή μελέτης ο συντελεστής K προέκυψε από την χρήση γεωλογικού χάρτη.

Ο τοπογραφικός συντελεστής LS προκύπτει από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM για τον υπολογισμό του μήκους της κλίσης του εδάφους L και της κλίσης αυτού S . Οι ερευνητές-επιστήμονες στην εργασία αυτή βασίστηκαν στη θεωρία των Moore et al. ώστε να εξάγουν αποτελέσματα για αυτούς τους συντελεστές, ακολουθώντας τους παρακάτω τύπους

$$L = 1,4 \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^{0,4}$$

$$S = \left(\frac{\sin \beta}{0,0896} \right)^{1,3}$$

όπου A_s συγκεκριμένη περιοχή λεκάνης απορροής (m^2/m) και β η γωνία της κλίση σε μοίρες.

Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας της φυτοκάλυψης C εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης, το στάδιο ανάπτυξης και το ποσοστό κάλυψης. Για εφαρμογές σε εθνική κλίμακα μπορεί να εκτιμηθεί από μέσα ανάλυσης δορυφορικών εικόνων (π.χ., Landsat TM)

εφαρμόζοντας τον ομαλοποιημένο δείκτη βλάστησης Normalised Difference Vegetation Index (NDVI). Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι εύλογη είναι η χρήση του CORINE για αναζήτηση πίνακα χρήσεων γης. Σε αυτήν την περίπτωση ακολουθήθηκε μια εναλλακτική προσέγγιση εδώ με την αντικατάσταση του παράγοντα C με τον NDVI ώστε να παραχθεί η απαραίτητη πληροφορία κάλυψης γης ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Ο NDVI δημιουργήθηκε από δορυφορικές εικόνες (Landsat-7 ETM+) και το μέγεθος των κελιών ορίστηκε στα 100*100 m (κλίμακα 1: 100.000). Η τιμή NDVI υπολογίστηκε με την ακόλουθη εξίσωση

$$NDVI = \frac{NIR - IR}{NIR + IR}$$

όπου NIR η αντανάκλαση του κοντινού υπέρυθρου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και IR η αντανάκλαση στο ανώτερο ορατό φάσμα. Δεδομένου ότι ο παράγοντας C στη USLE κυμαίνεται από 0 (πλήρης κάλυψη) έως 1 (γυμνή γης) και οι τιμές NDVI κυμαίνεται από 1 (πλήρης κάλυψη) σε 0 (γυμνή γης), οι υπολογιζόμενες τιμές NDVI αντιστρέφονται. Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό του C για κάθε μήνα χρησιμοποιείται η ακόλουθη εκθετική εξίσωση

$$C = \exp\left(-a \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right)$$

όπου α , β οι παράμετροι που καθορίζουν τη μορφή της καμπύλης NDVI-C. Μια α -τιμή 2 και μια β -τιμή 1 δίνουν λογικά αποτελέσματα παρουσιάζοντας τα και σε σχετικό διάγραμμα με μία εκθετική γραμμή.

Τέλος ο παράγοντας P σε αυτό το έργο δεν ελήφθη υπόψη, διότι δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν στοιχεία σχετικά με τις γεωργικές πρακτικές υποστήριξης σε κλίμακα 1:100.000.

3.2. Δεδομένα και εφαρμογή της μεθόδου RUSLE στην περιοχή μελέτης

Για την εφαρμογή της τροποποιημένης εξίσωσης εδαφικής απώλειας RUSLE και την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης πριν και μετά την πυρκαγιά που σημειώθηκε τον Ιούνιο του 2015 στην περιοχή της Νεάπολης, Λακωνίας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και χαρτογραφικό υλικό από το ερευνητικό πρόγραμμα του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Τομέα Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας για την εκτέλεση ερευνητικού έργου με τίτλο «Σχέδιο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Γεωπεριβαλλοντικών Επιπτώσεων και Άμεσων Επεμβάσεων στις Πυρόπληκτες Περιοχές του Δήμου Μονεμβασιάς». Τέτοια είναι τα όρια της πυρόπληκτης περιοχής όπως επίσης, η τοπογραφία με ισούψεις ανά 20m και ο γεωλογικός χάρτης 1:50000 της περιοχής μελέτης (τροποποιημένος από ΓΕΡΟΥΛΑΤΟΣ & ΚΩΒΑΛΤΣΥΚ, 1999).

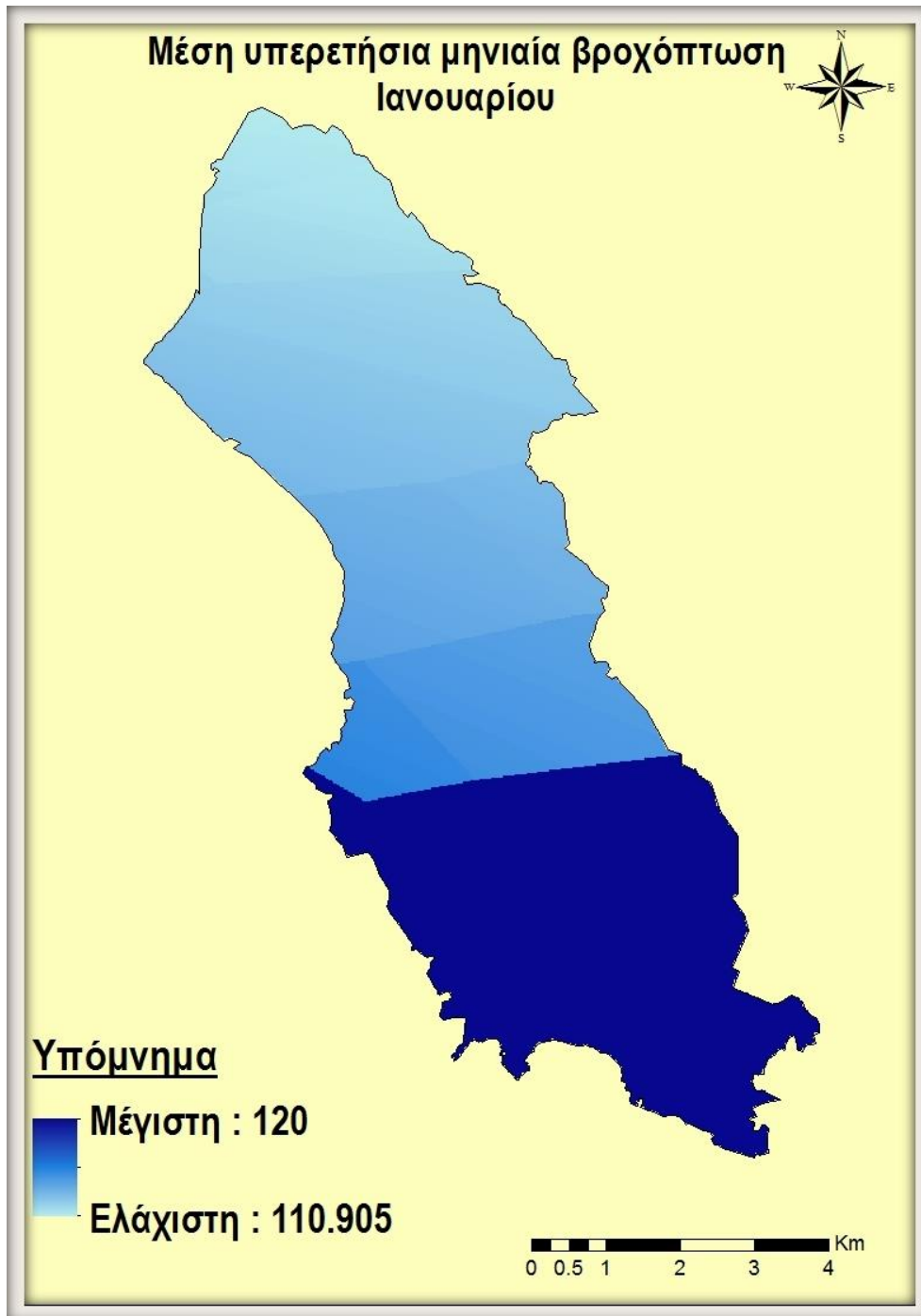
3.2.1. Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R

Ο συντελεστής R όπως έχουμε ήδη αναφέρει παραπάνω αφορά την διαβρωτική ικανότητα της βροχόπτωσης σε μία περιοχή. Στην παρούσα μελέτη για τον υπολογισμό του έγινε χρήση της τεχνικής των Renard & Freimund, 1994 σύμφωνα με την οποία έχουμε

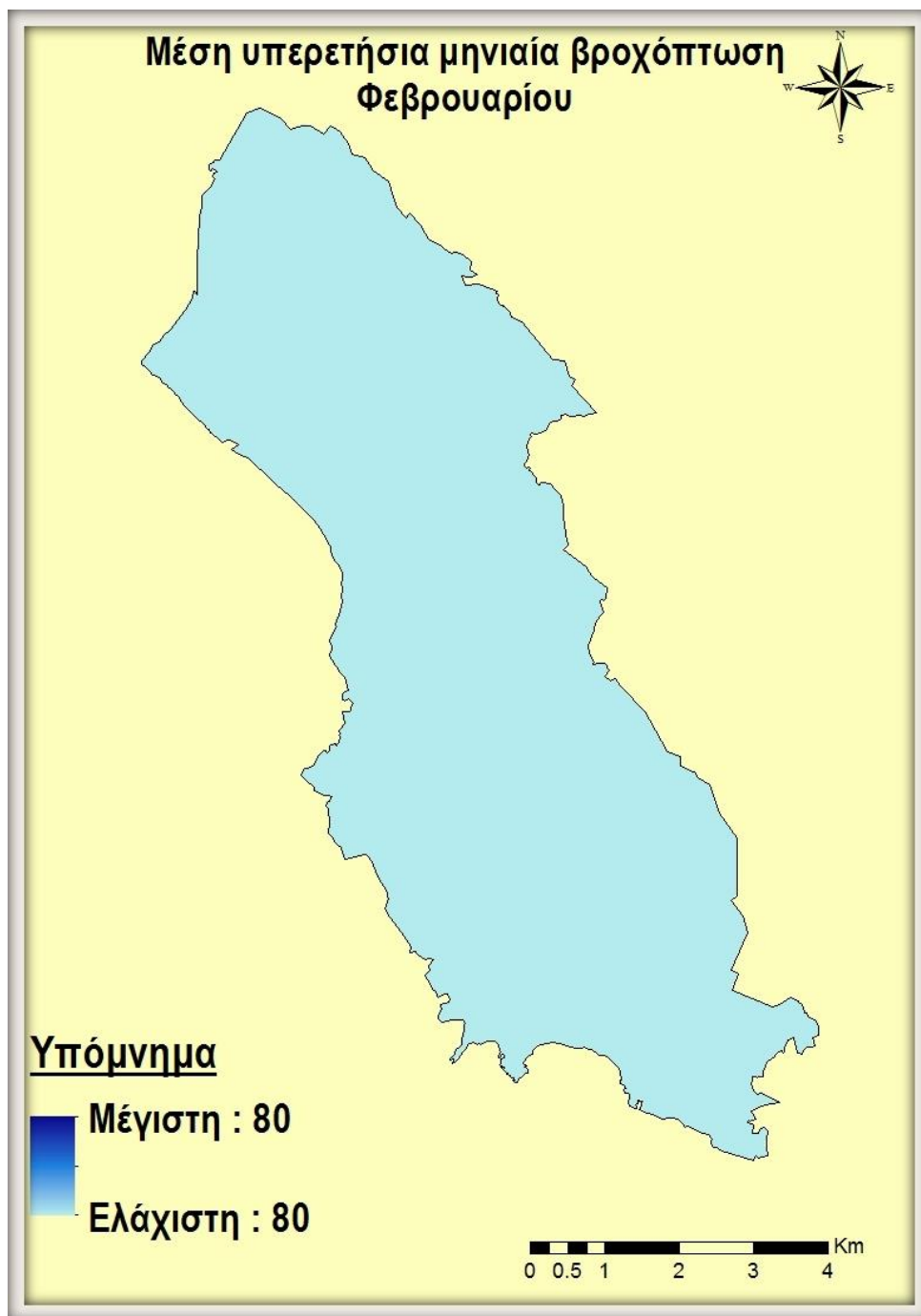
$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P}$$

όπου, p_i (mm) η μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση και P (mm) η μέση ετήσια βροχόπτωση.

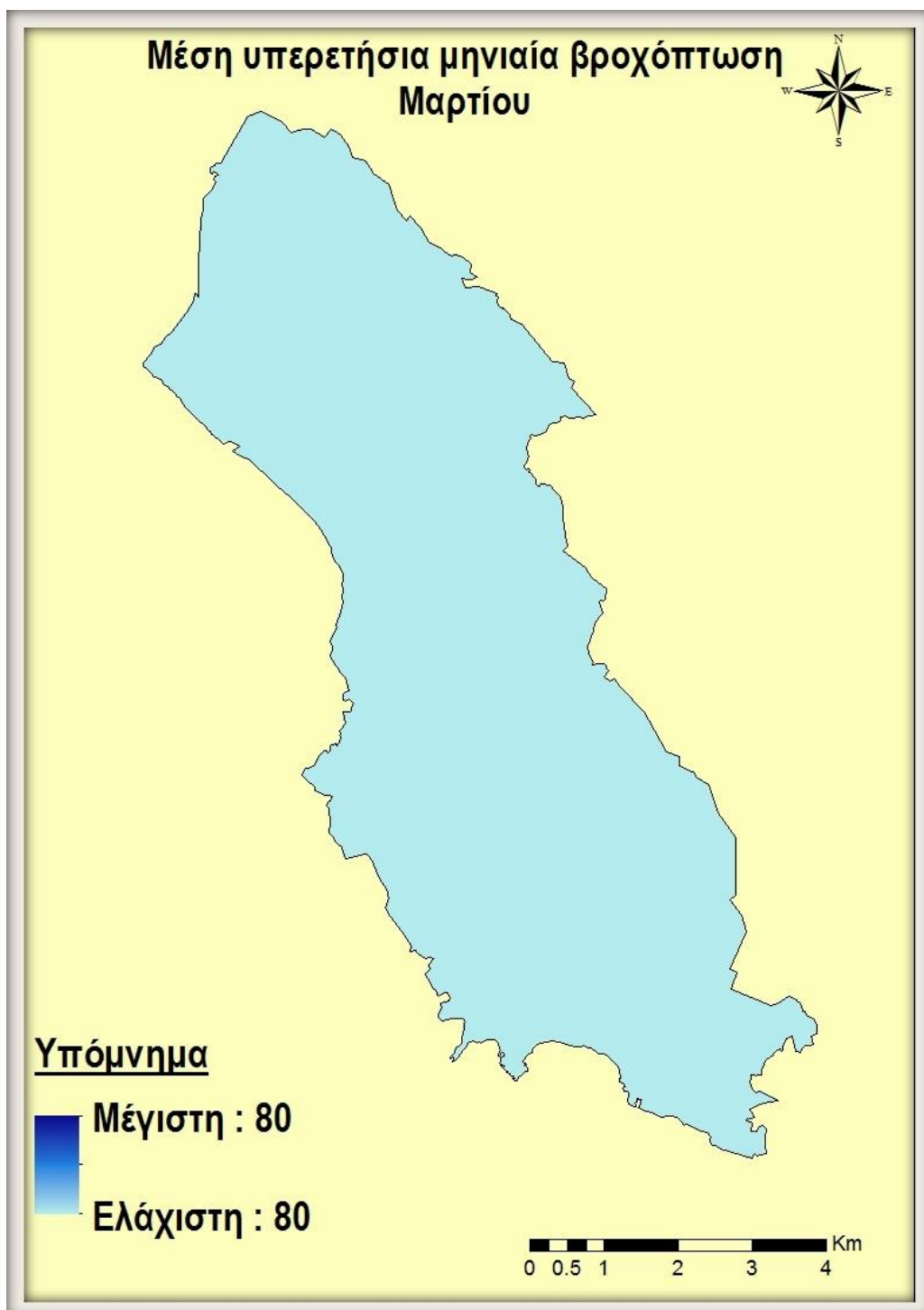
Έτσι λοιπόν για την εφαρμογή του παραπάνω τύπου για την έρευνα μας χρησιμοποιήσαμε δεδομένα της βροχόπτωσης με το μέσο ύψος υετού για τους δώδεκα μήνες του χρόνου καθώς και το μέσο ετήσιο ύψος υετού (Γκουβά, Σακελλαρίου, & Ξυστράκη, 2007), απομονώνοντας την περιοχή της Πελοποννήσου. Αφού λοιπόν ψηφιοποιήθηκαν οι ισουέτιες η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος Kriging ώστε να προκύψει η απαραίτητη πληροφορία για τη διακύμανση της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης.



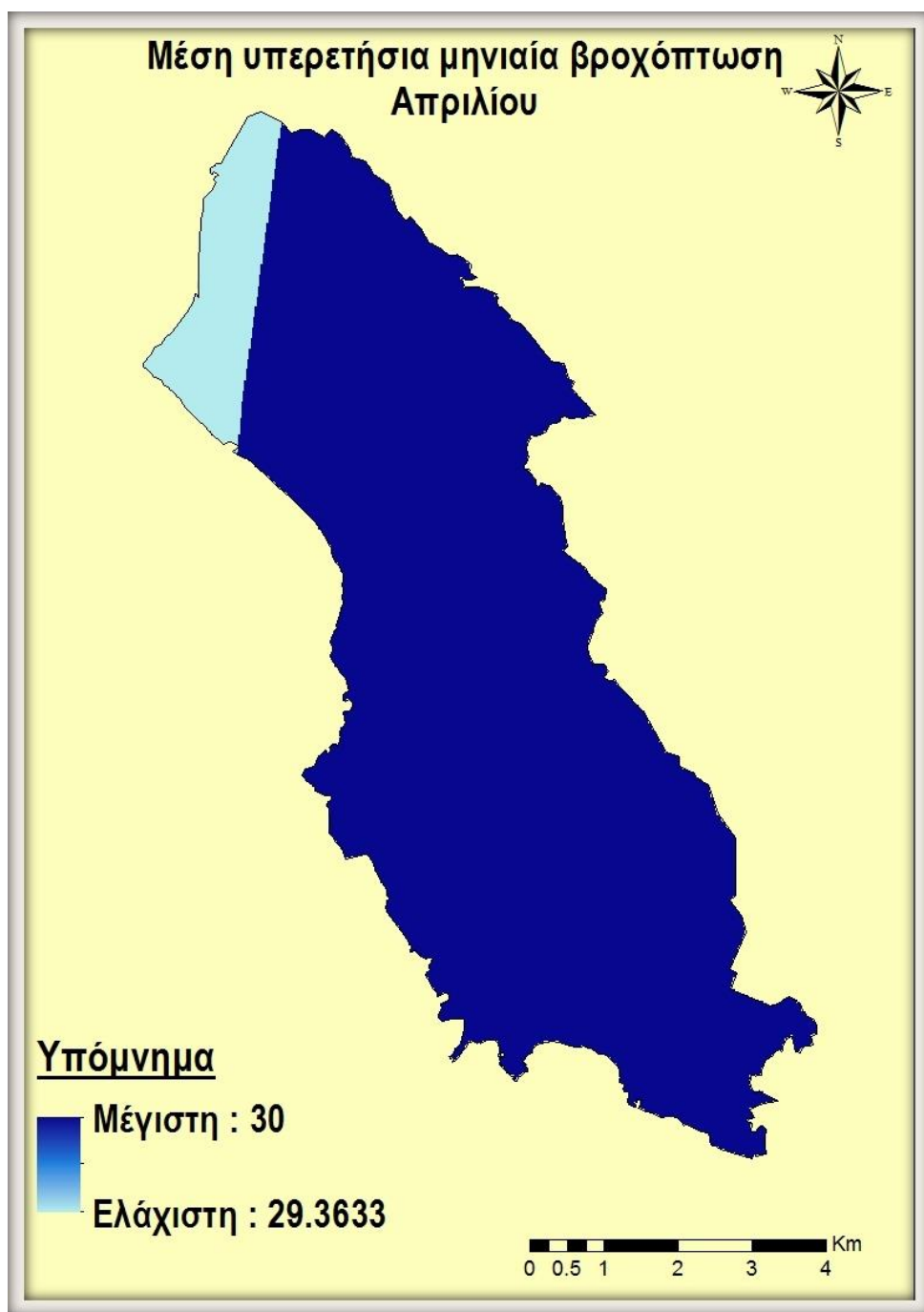
Εικόνα 3.1. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Ιανουαρίου (ρ_2).



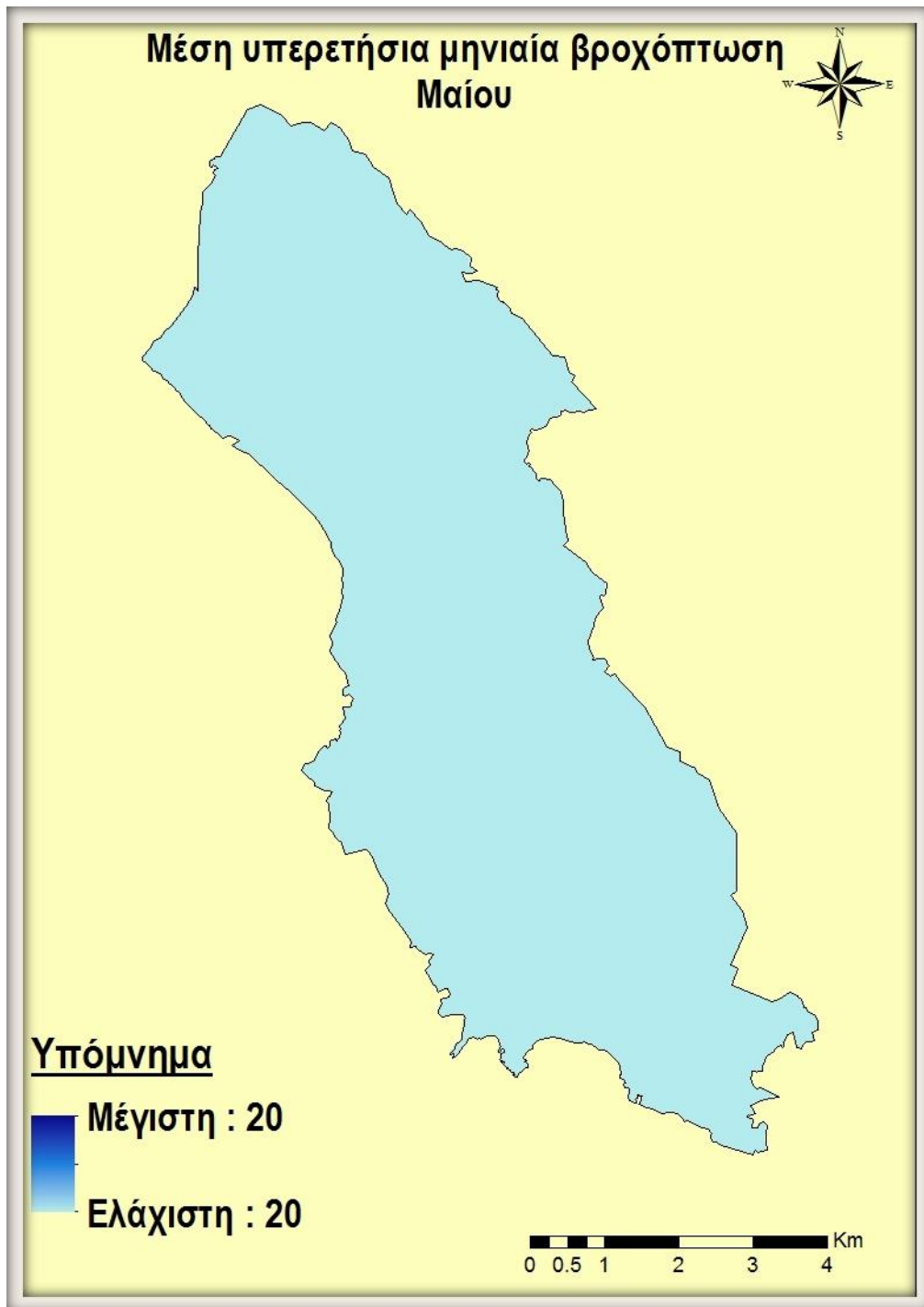
Εικόνα 3.2. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Φεβρουαρίου (ρ_2).



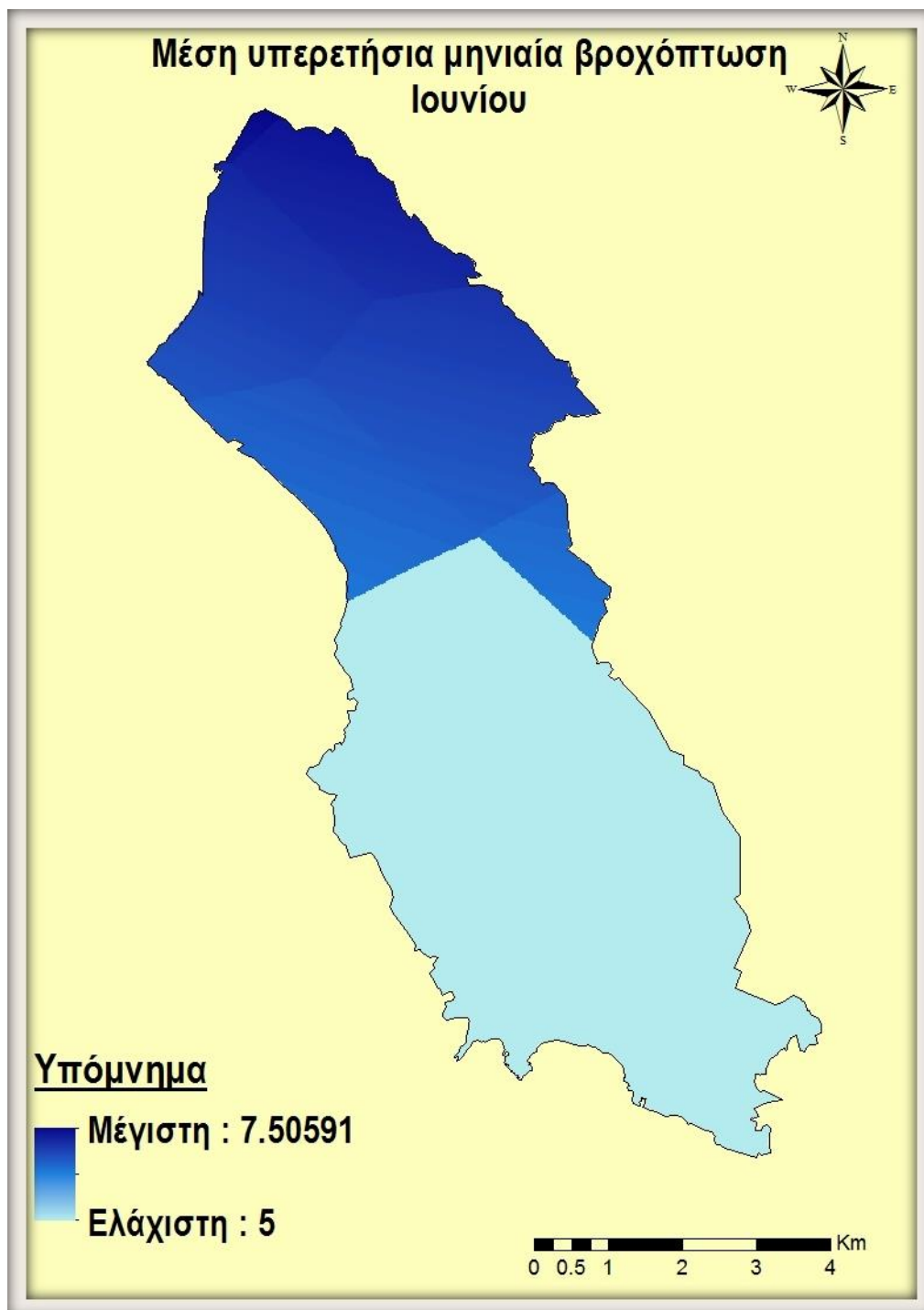
Εικόνα 3.3. Εικόνα 12: Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Μαρτίου, (ρ_3).



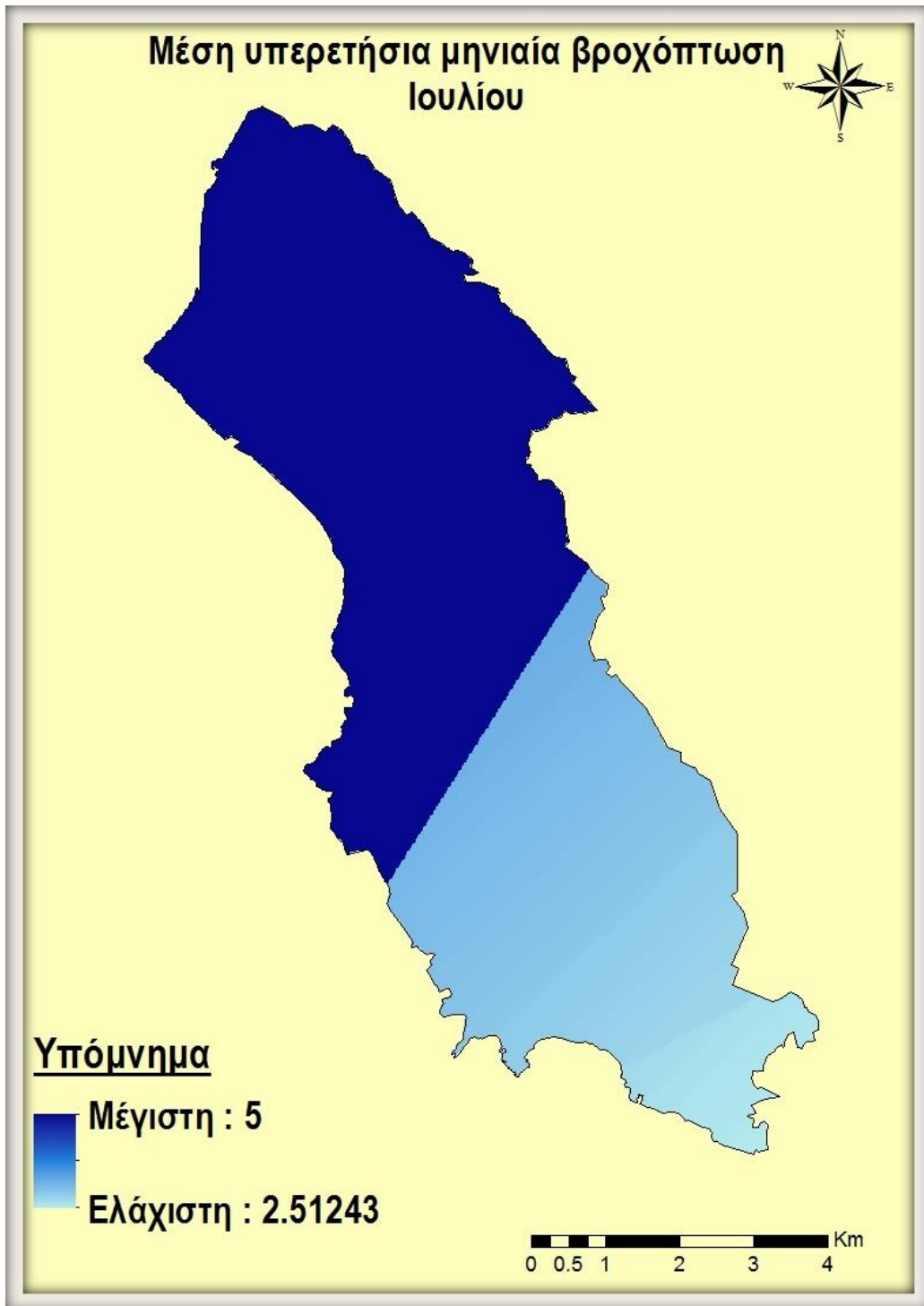
Εικόνα 3.4. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Απριλίου, (ρ_4).



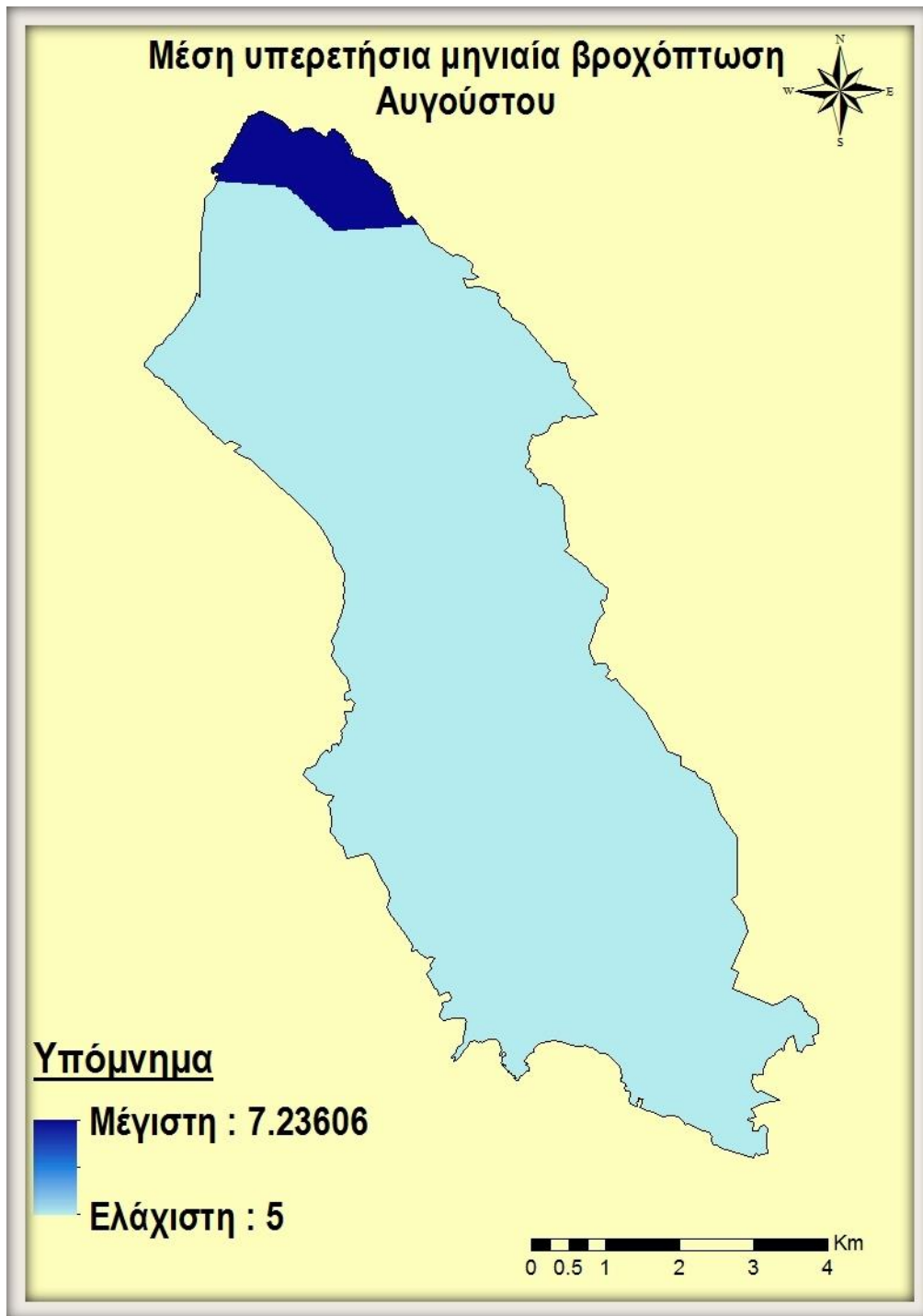
Εικόνα 3.5. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Μαΐου, (ρ_5).



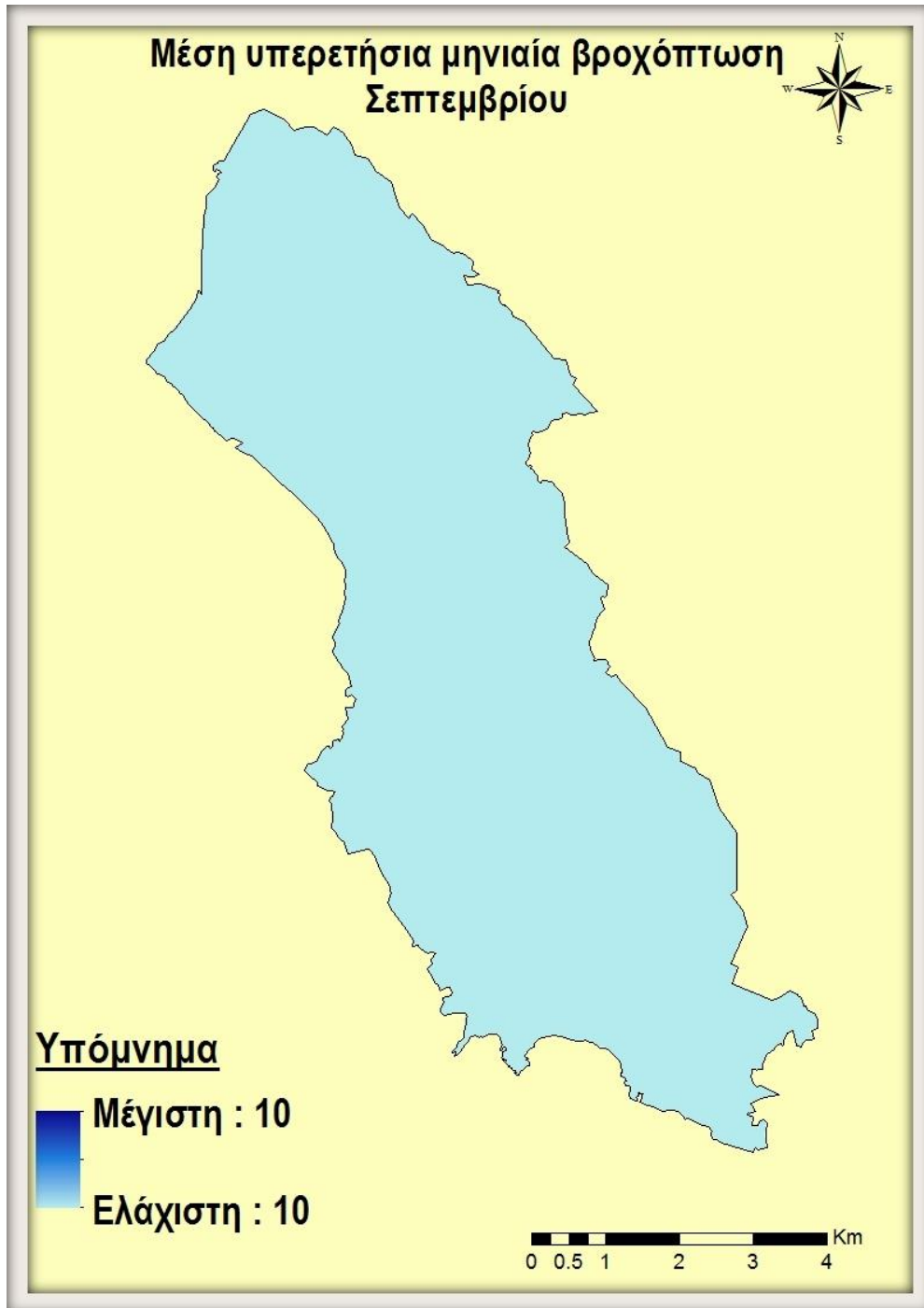
Εικόνα 3.6. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Ιουνίου (ρ_6).



Εικόνα 3.7. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Ιουλίου (ρ_7).



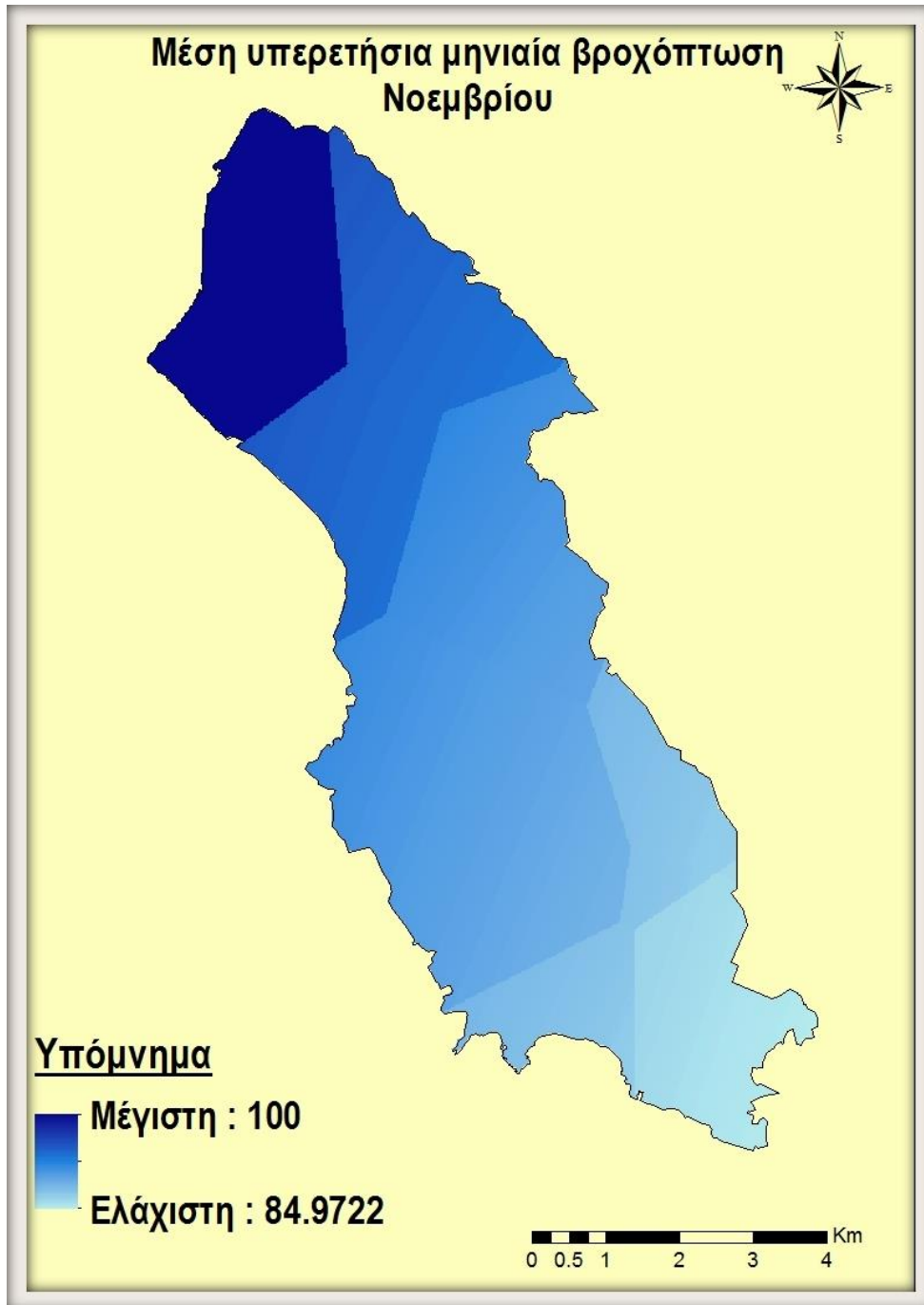
Εικόνα 3.8. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Αυγούστου (ρ_{δ}).



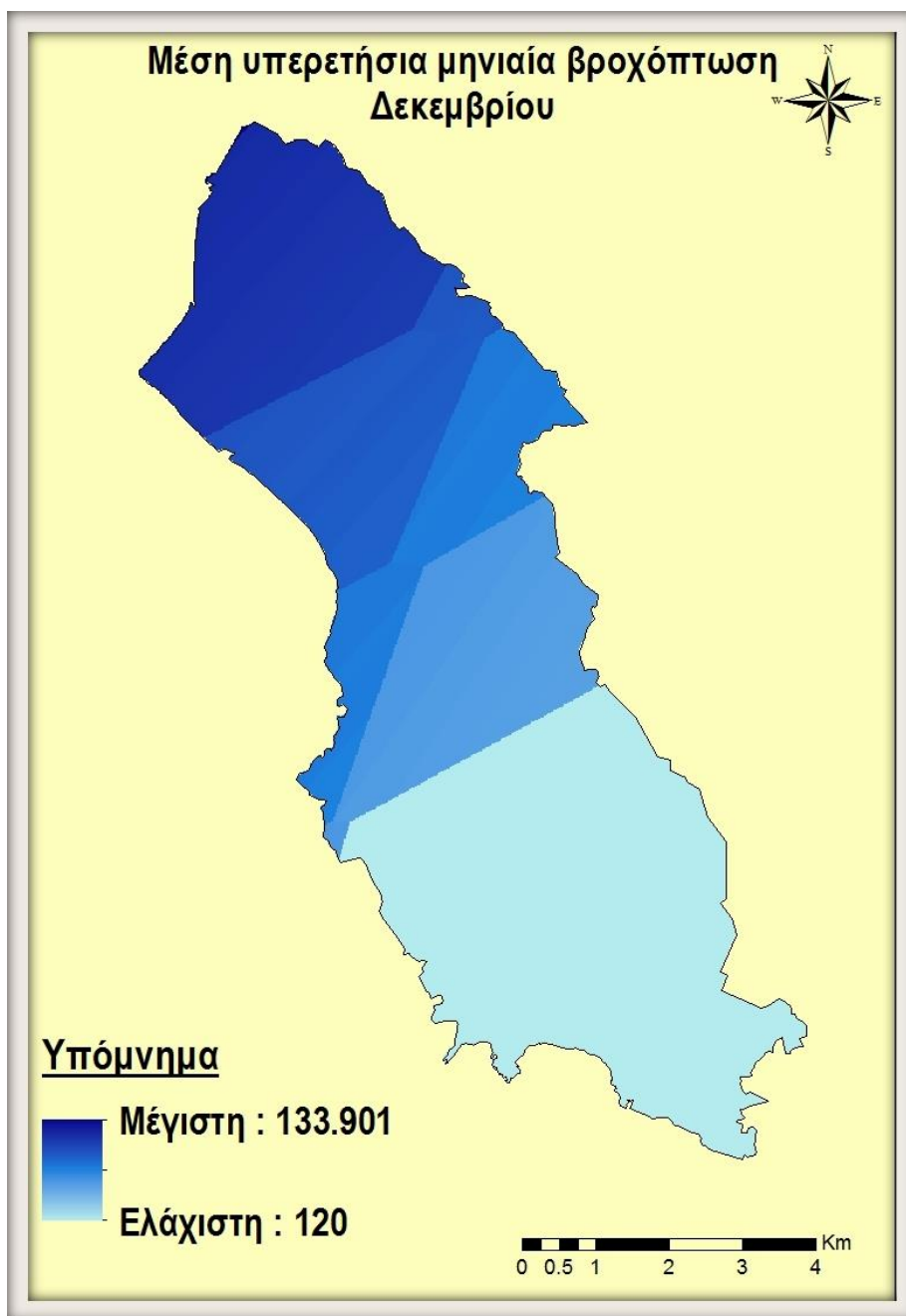
Εικόνα 3.9. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Σεπτεμβρίου (ρ_9).



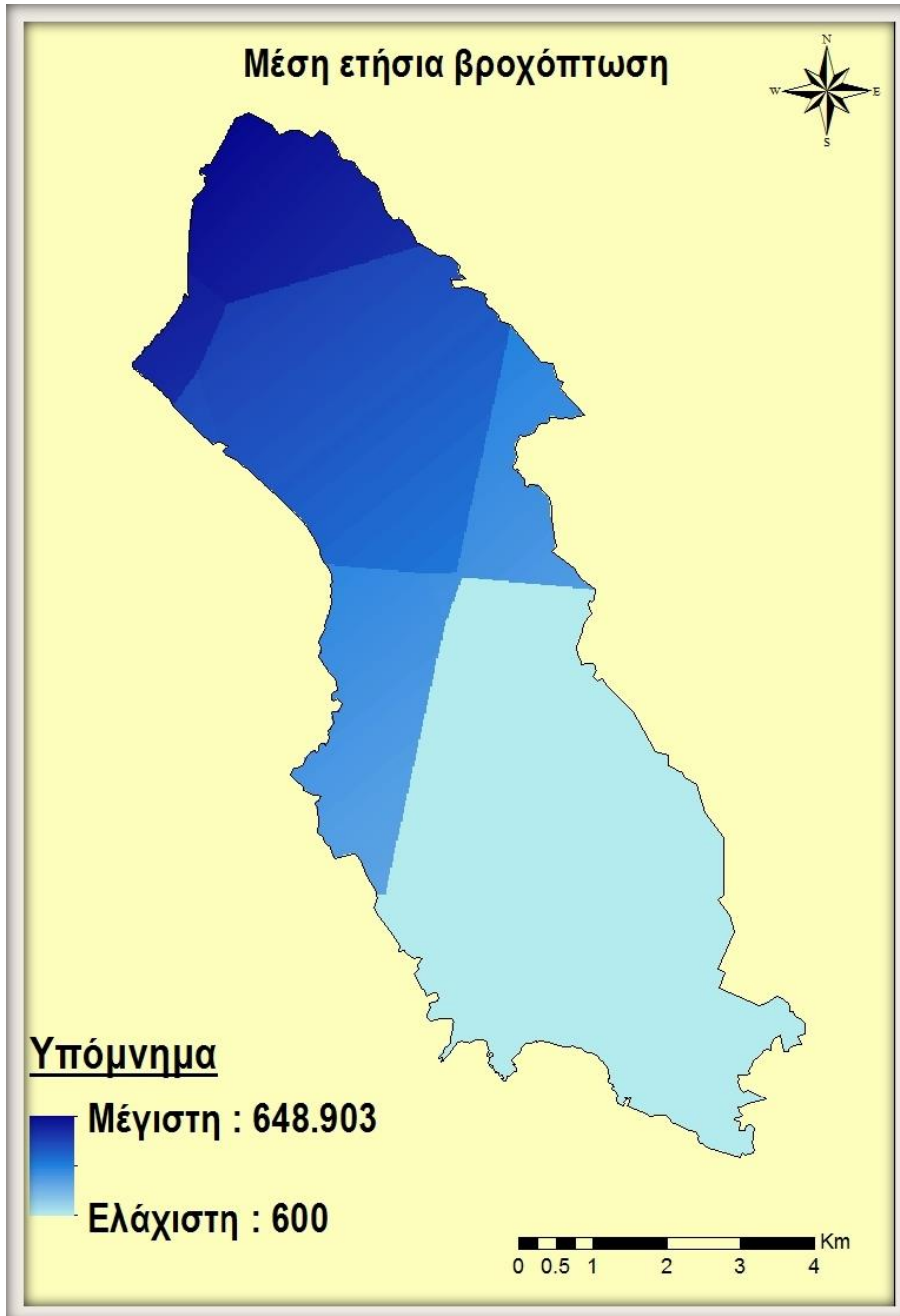
Εικόνα 3.10. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Οκτωβρίου (ρ_{10}).



Εικόνα 3.11. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Νοεμβρίου (ρ_{11}).

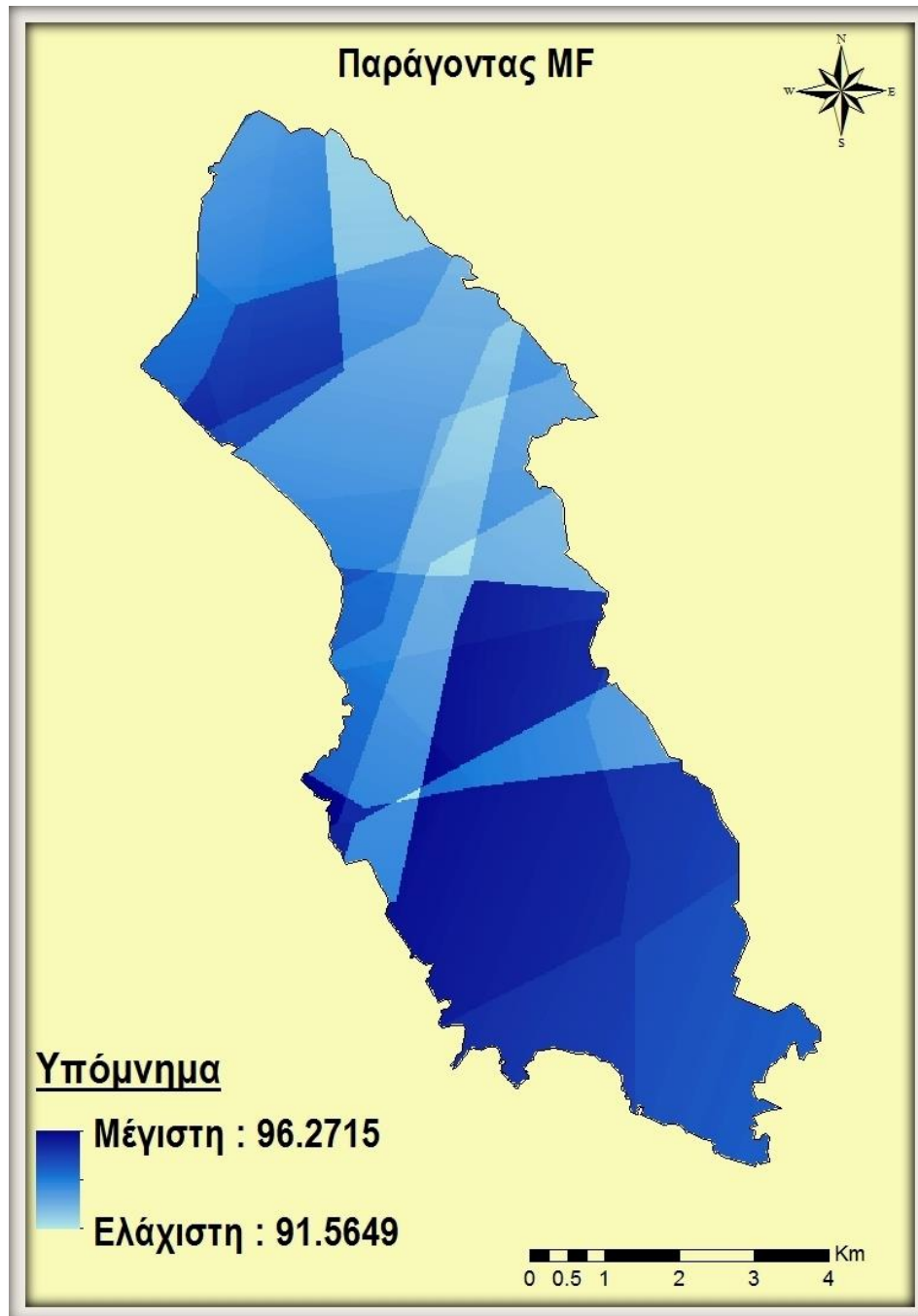


Εικόνα 3.12. Μέση υπερετήσια μηνιαία βροχόπτωση Δεκεμβρίου (ρ_{12}).



Εικόνα 3.13. Χάρτης με την μέση ετήσια βροχόπτωση (ρ_{13}).

Με την χρήση των παραπάνω στοιχείων υπολογίσαμε το MF, καθώς επίσης παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών σημειώνονται ελάχιστες βροχοπτώσεις καθώς επίσης και ίδια ποσότητα βροχόπτωσης σε χιλιοστά κάποιους από τους μήνες του χρόνου λόγο του ότι η περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί μικρής έκτασης με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πάντα μεγάλες διαφοροποιήσεις.

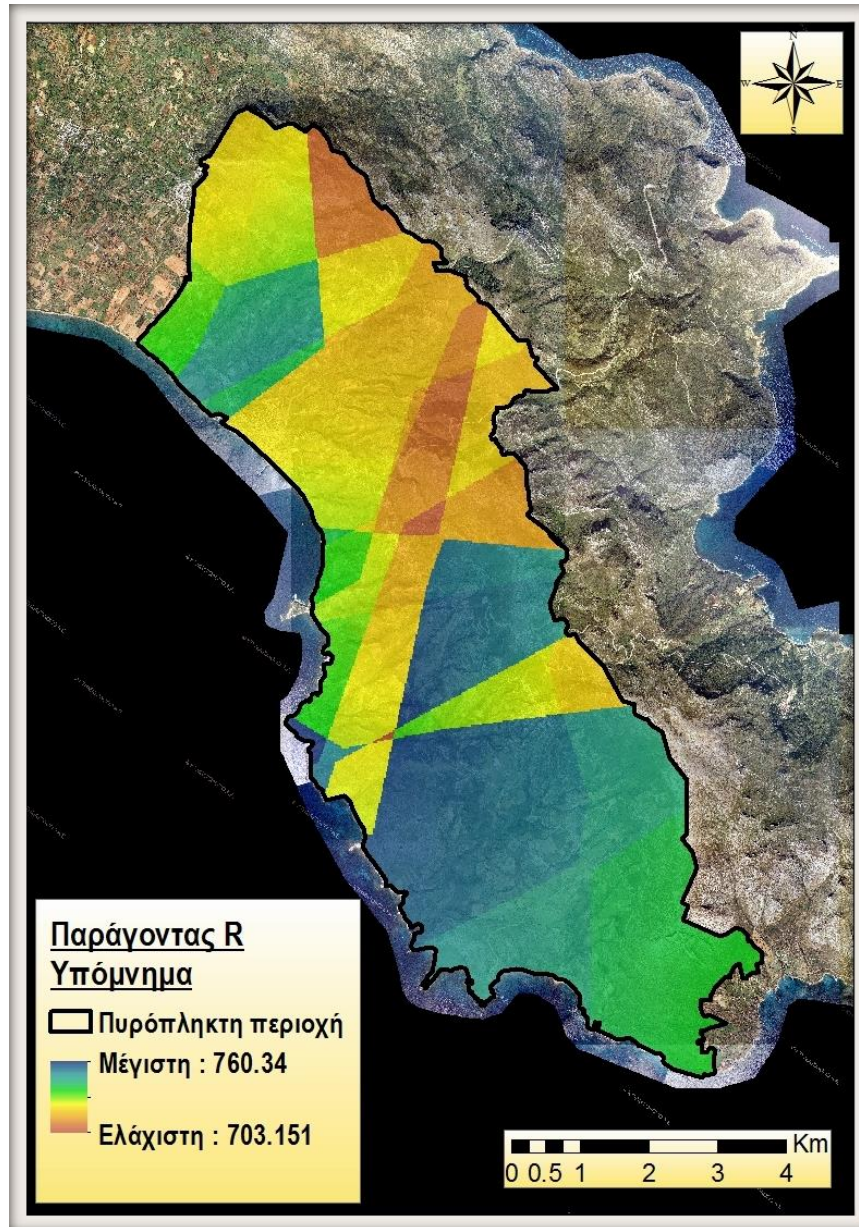


Εικόνα 3.14. Χάρτης απεικόνισης του παράγοντα MF.

Επομένως το R προκύπτει από τη σχέση των Ferro et al, 1991 ακολουθώντας την παρακάτω εξίσωση

$$R = 1,6120MF^{1,56}$$

όπου, R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (Alexakis, Hadjimitsis, & Agariou, 2013).



Εικόνα 3.15. Χάρτης του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)

Έπειτα από την εφαρμογή της εξίσωσης R παρατηρούμε ότι η ελάχιστη τιμή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης είναι $703.151 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ και η μέγιστη είναι $760.34 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$. Οι πιο υψηλές τιμές προσβάλουν το βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής καθώς

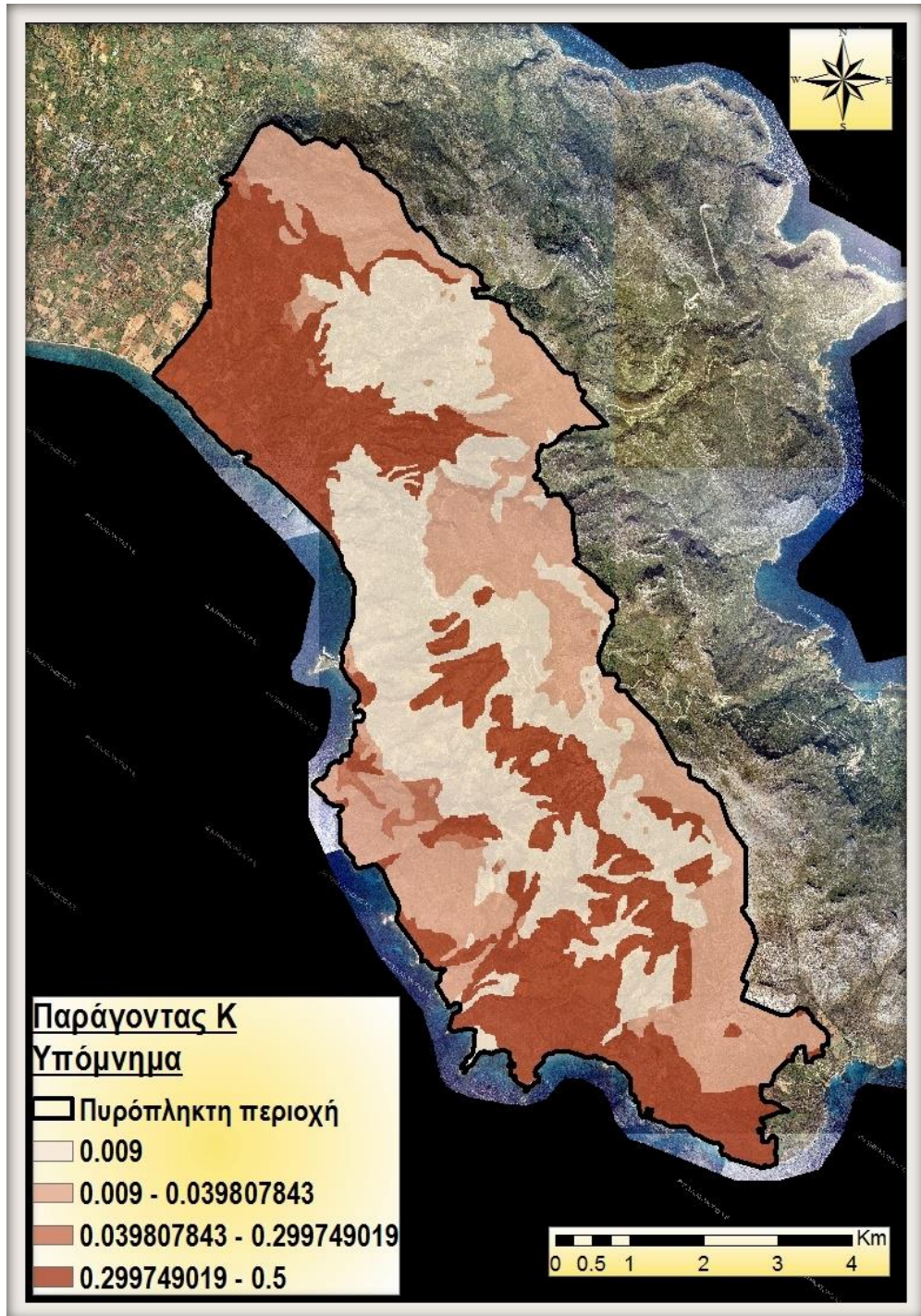
επίσης το κεντρικό και το νότιο. Από την άλλη χαμηλότερες τιμές διακρίνονται στο βορειοανατολικό μέρος της περιοχής μελέτης

3.2.2. Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K αφορά στις ιδιότητες του εδάφους που τον επηρεάζουν και αυτές είναι κυρίως η υφή, η οργανική ύλη, η δομή του και η διαπερατότητα του. Για να υπολογίσουμε τον συντελεστή K έγινε χρήση του γεωλογικού χάρτη της περιοχής 1:50000. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης σημειώνονται αναλυτικά στον πίνακα 3.1., καθώς και οι αντίστοιχες τιμές του παράγοντα K. Οι τιμές που του αποδόθηκαν, προέκυψαν έπειτα από τη χρήση βιβλιογραφίας που αφορά παρόμοιες έρευνες σε μεσογειακά κλίματα και είναι κατάλληλα προσαρμοσμένες στην περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μας (Μπαθρέλος et al., 2010; Ξανθάκης et al., 2010).

Πίνακας 3.1. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή διαβρωσιμότητας K.

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Συντελεστής K
Αλλουβιακές αποθέσεις	0.5
Αργιλούχα κλαστικά πετρώματα	0.1
Ασβεστόλιθοι- Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι- Δολομίτες	0.03
Ασβεστόλιθοι- Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι	0.02
Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι- Δολομίτες	0.01
Λιμναία κλαστικά- θαλάσσια- βιογενή ιζήματα	0.3
Κλασικά και ανθρακικά πετρώματα	0.04
Κώννοι κορημάτων	0.5
Μετακλαστίτες	0.009
Πλευρικά κορήματα	0.5
Ποταμοχερσαίες αποθέσεις	0.3
Υπολείμματα της ενότητας Πίνδου	0.04



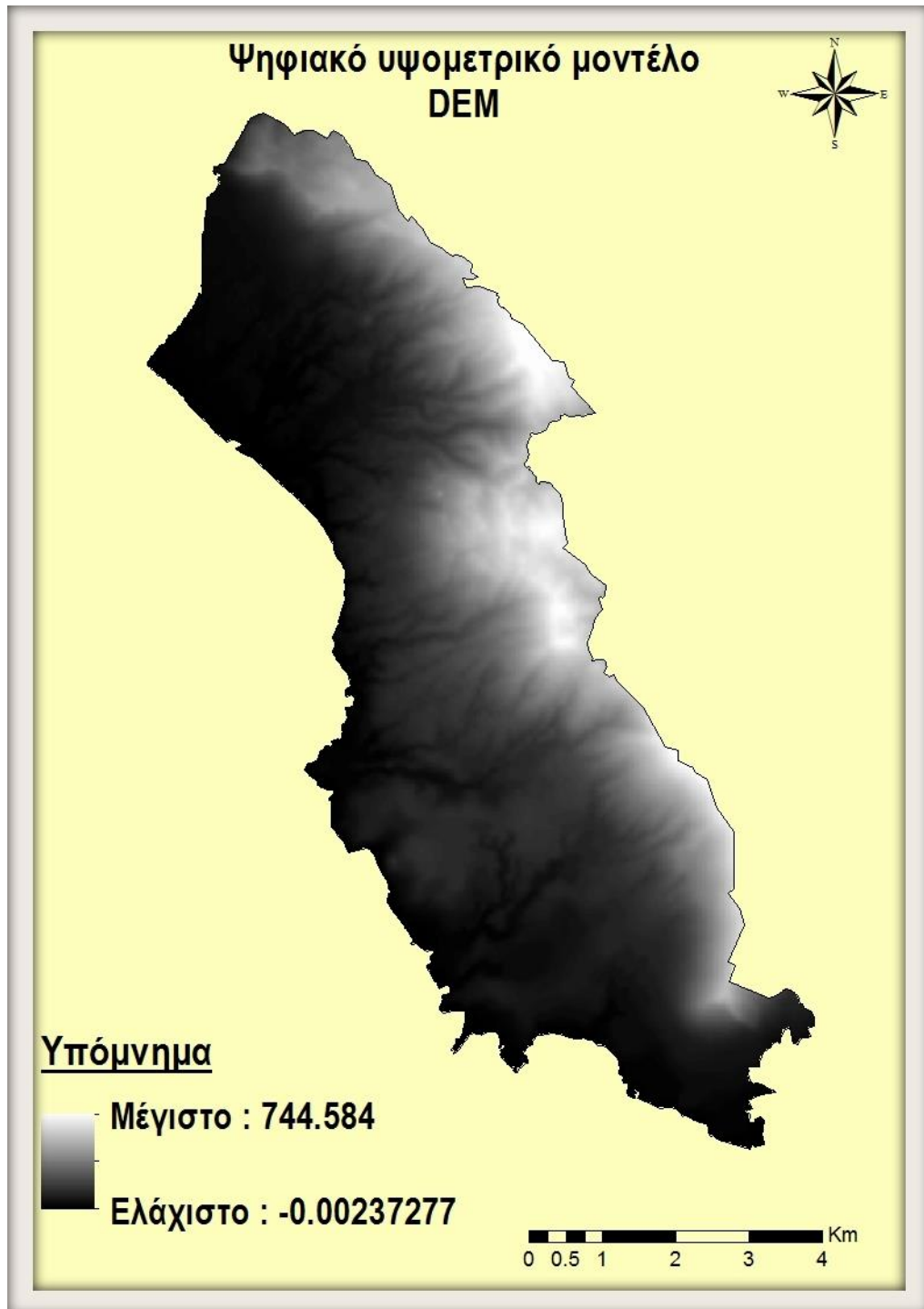
Εικόνα 3.16. Χάρτης του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K ($t h MJ^{-1} mm^{-1}$).

Από την εικόνα 3.16. του συντελεστή διαβρωσιμότητας K παρατηρούμε ότι η ελάχιστη τιμή είναι $0.009 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ και η μέγιστη $0.5 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Η διάβρωση που προκαλείται στην περιοχή από τον παράγοντα του εδάφους δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική αν κρίνουμε από τις ακραίες τιμές που προκύπτουν.

Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής καταλαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές, ωστόσο μεγαλύτερη εδαφική απώλεια σημειώνεται στις περιοχές που το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από πλευρικά κορήματα και αλλουβιακές αποθέσεις, των οποίων η ηλικία χρονολογείται στην γεωλογική περίοδο που αφορά το Ολόκαινο και η καταλληλότητα εδάφους χαρακτηρίζεται ως μη συνεκτική. Από την άλλη η μικρότερη απώλεια παρατηρείται σε εδάφη που αποτελούνται από υπολείμματα της ενότητας Πίνδου, μετακλαστίτες, ασβεστόλιθους-δολομιτικούς ασβεστόλιθους- δολομίτες, ασβεστόλιθους-δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες-δολομιτικούς ασβεστόλιθους που χρονολογούνται αντίστοιχα στο Τριαδικό-Ηώκαινο, Πέρμιο-Τριαδικό, Ιουρασικό, Ανώτερο Τριαδικό και Κριτιδικό-Ηώκαινο και η καταλληλότητα εδάφους τους χαρακτηρίζεται ως ημίβραχος ή βράχος. Τέλος, ως μέτρια μπορούμε να αξιολογήσουμε την εδαφική διαβρωσιμότητα σε περιοχές που έχουν να κάνουν με θαλάσσια και λιμναία κλαστικά και βιογενή ιζήματα και ποταμοχερσαίες αποθέσεις, που η ηλικία τους χρονολογείται στο Κατώτερο Πλειστόκαινο και η καταλληλότητα του εδάφους κρίνεται ως συνεκτική και μη συνεκτική αντίστοιχα.

3.2.3. Συντελεστής αναγλύφου LS

Για να υπολογίσουμε τον τοπογραφικό συντελεστή LS που διαιρείται στους συντελεστές L και S που αντιπροσωπεύουν το μήκος της κλυτίος και την κλίση αντίστοιχα, έγινε χρήση του τοπογραφικού χάρτη 1:50000 της περιοχής, από τον οποίο υπόλογισαμε το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) της πυρόπληκτης περιοχής με μέγεθος κελιού 20m και η κλίση του εδάφους σε μοίρες, έπειτα ακολουθήσαμε μία συγκεκριμένη διαδικασία που παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω (“Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial-Computing RUSLE using GIS-ArcGIS 8.1, ArcMap,”).

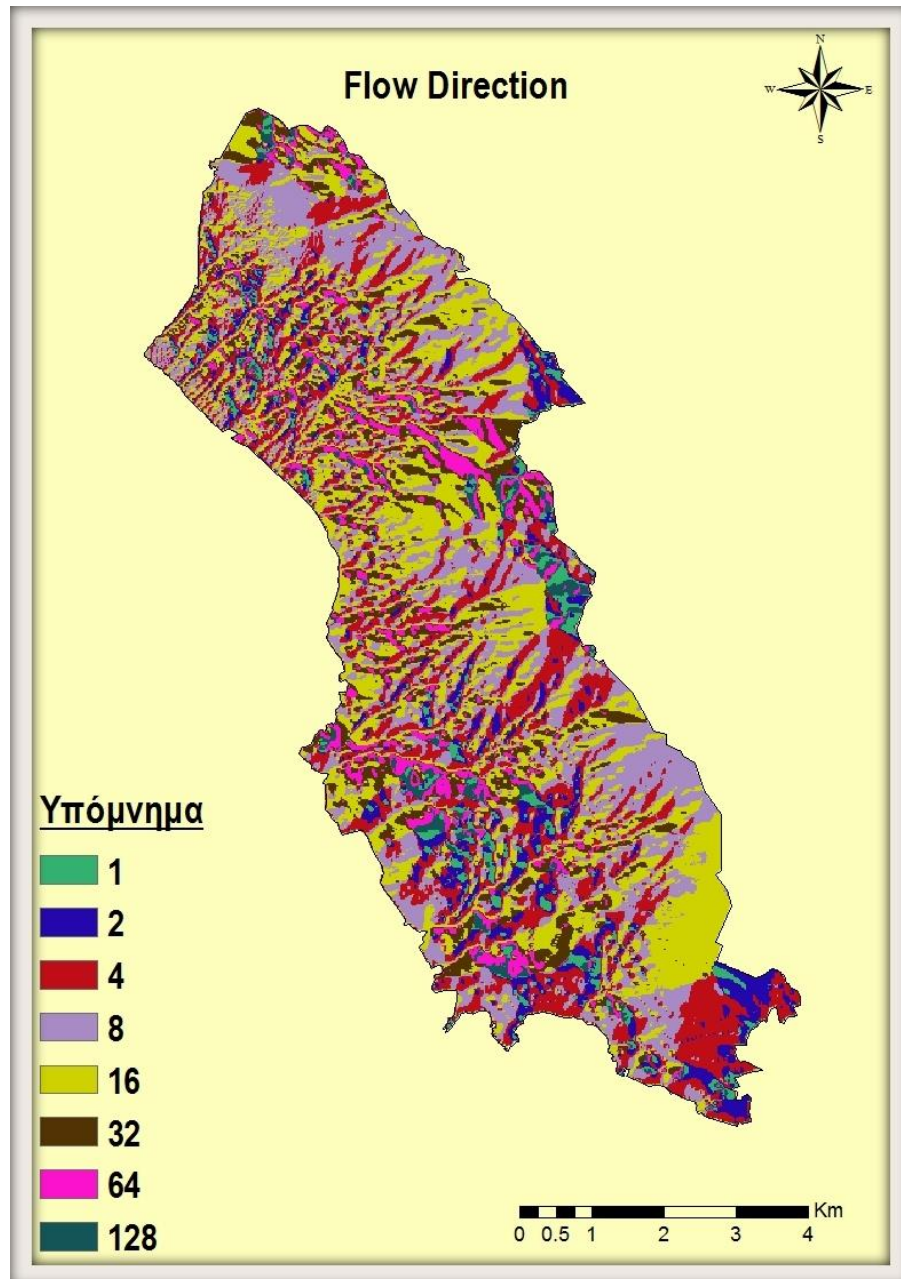


Εικόνα 3.17. Χάρτης του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου της περιοχής DEM



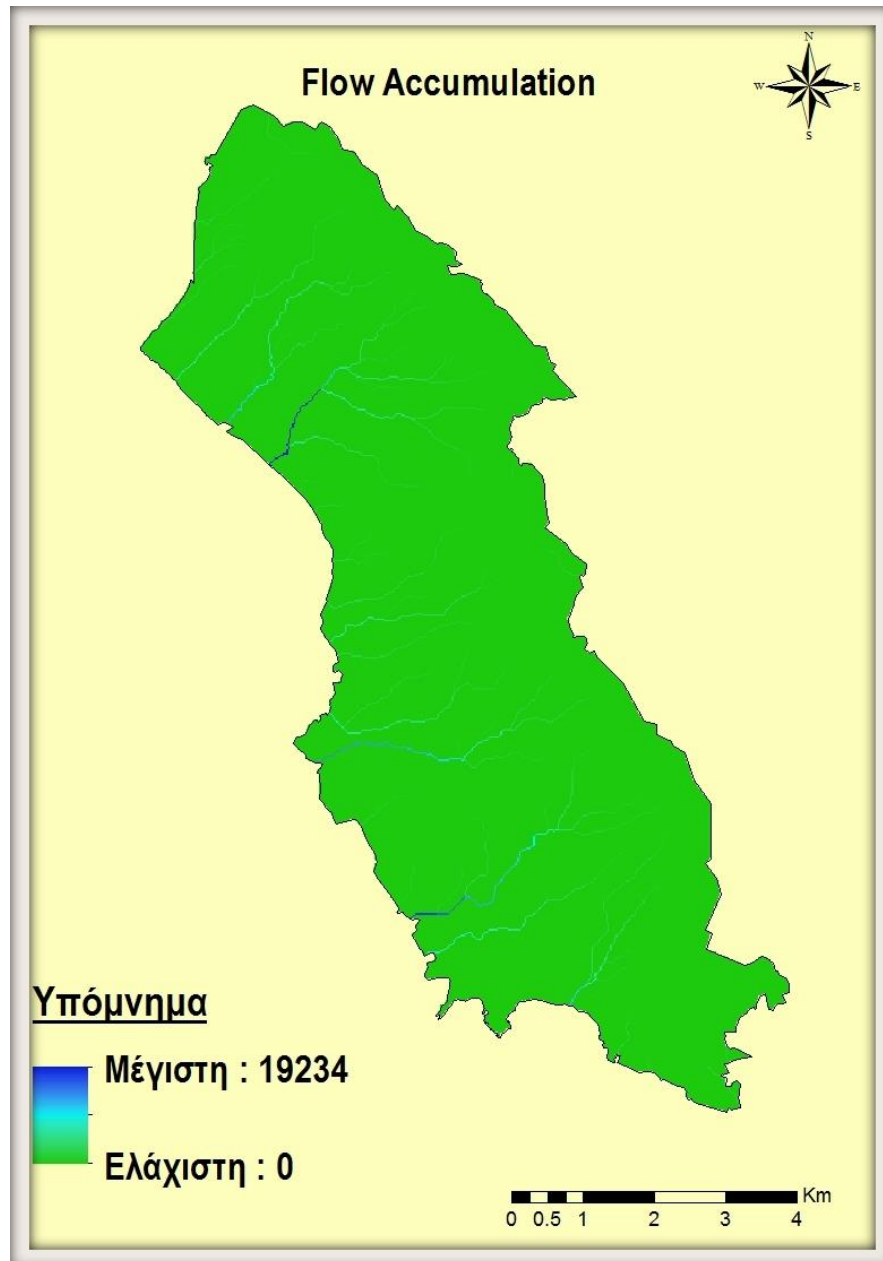
Εικόνα 3.18. : Απεικόνιση της κλίσης του εδάφους της πυρόπληκτης περιοχής υπολογισμένη σε μοίρες από τη χρήση του DEM.

Στη συνέχεια αφού ολοκληρώθηκε η ενέργεια “Fill” του ArcMap με τη χρήση του DEM της περιοχής ώστε να γεμίσουν όλα τα κενά του εδαφικού αναγλύφου, υπολογίστηκε το Flow Direction δηλαδή η διεύθυνση της ροής του νερού στην περιοχή.



Εικόνα 3.19. Χάρτης απεικόνισης του Flow Direction στην πυρόπληκτη περιοχή μελέτης.

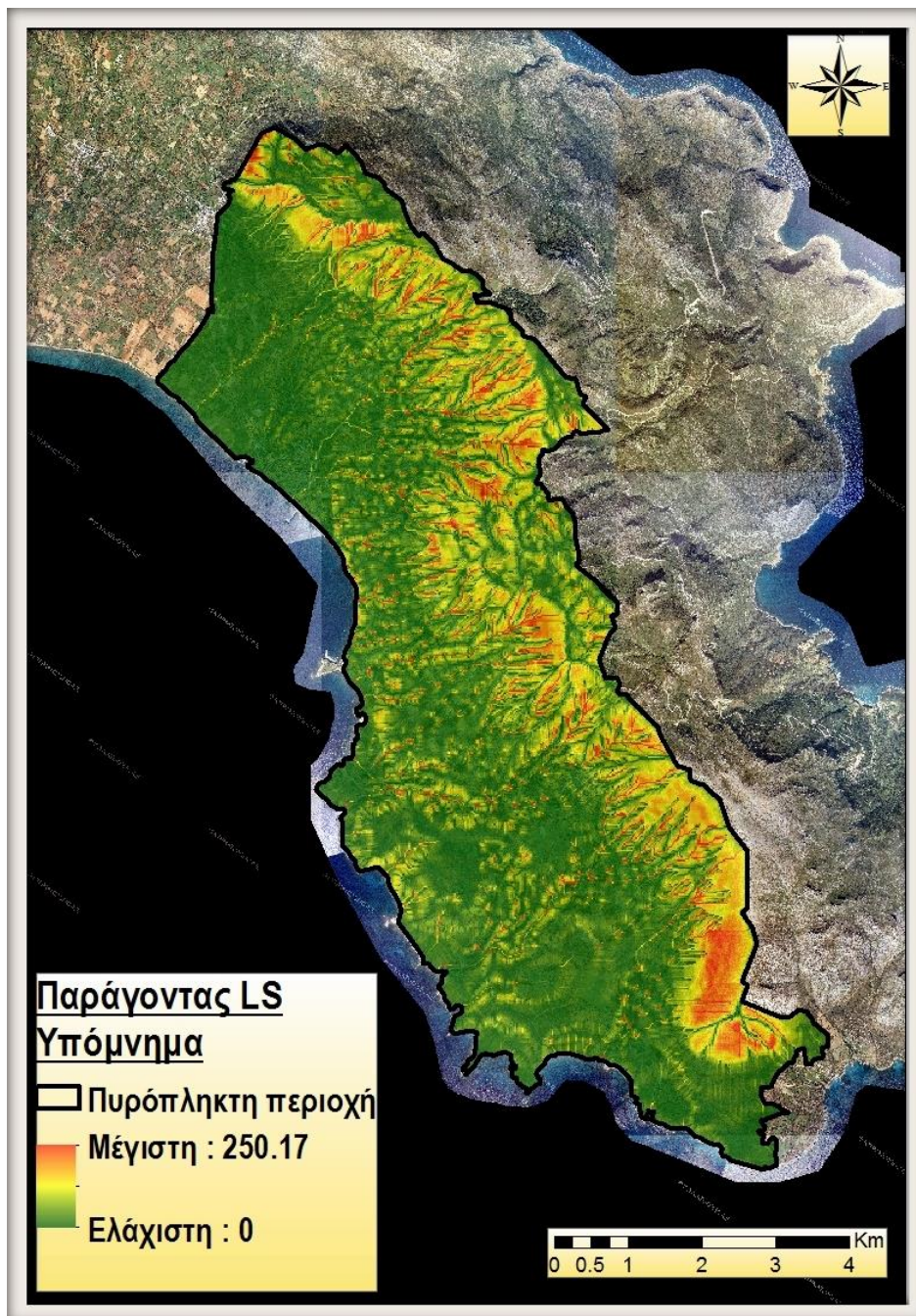
Ακόμα υπολογίσαμε το FlowAccumulation που προκύπτει από το Flow Direction, από τη σχέση $\text{FlowAccumulation}(\text{FlowDirection}(\text{Elevation}))$ και αφορά στο που γίνεται η συγκέντρωση του νερού που ρέει στην περιοχή.



Εικόνα 3.20. Χάρτης απεικόνισης του Flow Accumulation στην πυρόπληκτη περιο

Τέλος ο τοπογραφικός συντελεστής LS προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$\text{Pow}_1((\text{Flowacc}) * \text{resolution} / 22.1, 0.4) * \text{Pow}_2((\text{Sin}(\text{slope}) * 0.01745) / 0.09, 1.4) * 1.4$$



Εικόνα 3.21. Χάρτης του τοπογραφικού συντελεστή LS.

Από την εικόνα 3.18 του τοπογραφικού συντελεστή LS φαίνεται χαρακτηριστικά πως επηρεάζει η κλίση τη διάβρωση του εδάφους. Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι ακραίες τιμές διαβωσιμότητας του παράγοντα αυτού είναι από το 0 έως το 250.17. Στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης παρατηρείται χαμηλός κίνδυνος απώλειας εδάφους έως και μηδενικός, κυρίως σε εκτάσεις με χαμηλό υψόμετρο και επίπεδο ανάγλυφο. Από την άλλη μεγαλύτερες

τιμές έως και 250.17 σημειώνονται σε περιοχές με μεγαλύτερη και πιο απότομη κλίση όπως κοντά στα όρη Λάκκα, Προφήτη Ηλεία και Κρίθινα

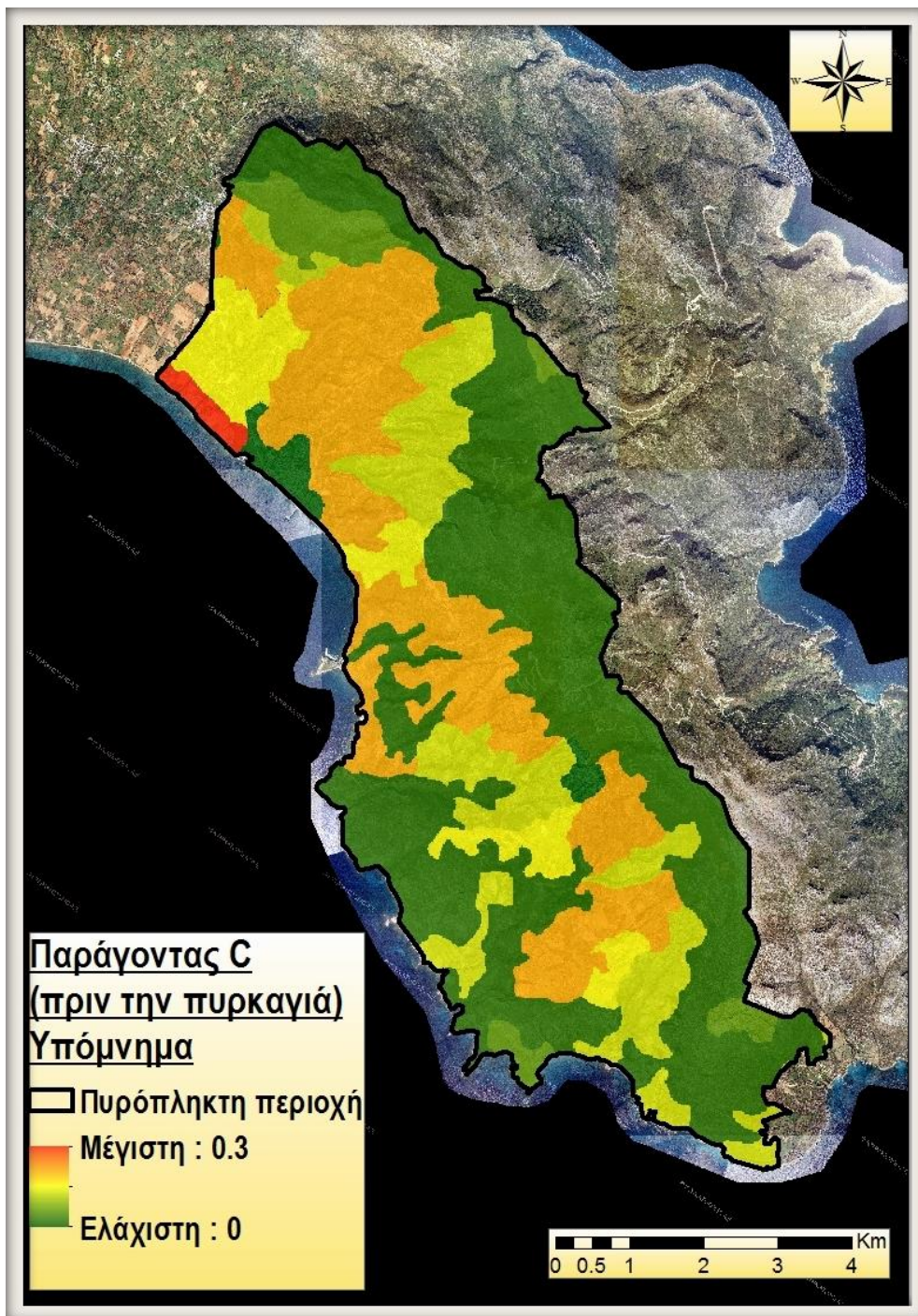
3.2.4. Συντελεστής φυτοκάλυψης C

Συντελεστής φυτοκάλυψης C πριν την πυρκαγιά

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης C έχει να κάνει με την επίδραση των καλλιεργειών και τις πρακτικές διαχείρισης τους στην εδαφική διάβρωση. Στην παρούσα μελέτη προέκυψε από τον χάρτη των χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE 2012 στην περιοχή μελέτης. Σε κάθε κωδικοποιημένη χρήση γης δόθηκε μία τιμή του συντελεστή C, λόγο του ότι δεν ήταν εφικτό να γίνουν οι μετρήσεις δια ζώσης παρουσίας στην περιοχή, αξιοποιήθηκαν τιμές από τη βιβλιογραφία που αφορά μελέτες σε παρόμοιες συνθήκες. Σαφώς οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι προσαρμοσμένες στα δεδομένα και στην περιγραφή των συγκεκριμένων χρήσεων γης και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα (Panagos, Borrelli, Meusburger, Alewell, et al., 2015; Ξανθάκης et al., 2010).

Πίνακας 3.2. Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή φυτοκάλυψης C για διαφορετικές χρήσεις γης της περιοχής μελέτης.

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C
<i>Διακεκομμένη αστική δόμηση</i>	0.001
<i>Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη</i>	0.3
<i>Ελαιώνες</i>	0.209
<i>Λιβάδια</i>	0.113
<i>Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας</i>	0.148
<i>Γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης</i>	0.131
<i>Φυσικοί βοσκότοποι</i>	0.052
<i>Σκληροφυλλική βλάστηση</i>	0.02
<i>Μεταβατικές δασικές-θαμνώδεις εκτάσεις</i>	0.026



Εικόνα 3.22. Χάρτης του συντελεστής φυτοκάλυψης C πριν την πυρκαγιά.

Παρατηρούμε από την εικόνα 3.19 ότι ο συντελεστής της φυτοκάλυψης C πριν την πυρκαγιά δεν επηρεάζει σημαντικά τη διάβρωση της περιοχής μελέτης, εφόσον παρουσιάζει ακραίες τιμές από 0 έως 0.3. Μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος απώλειας εδάφους σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως ελαιώνες και μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, ενώ μικρότερος έως και μηδενικός

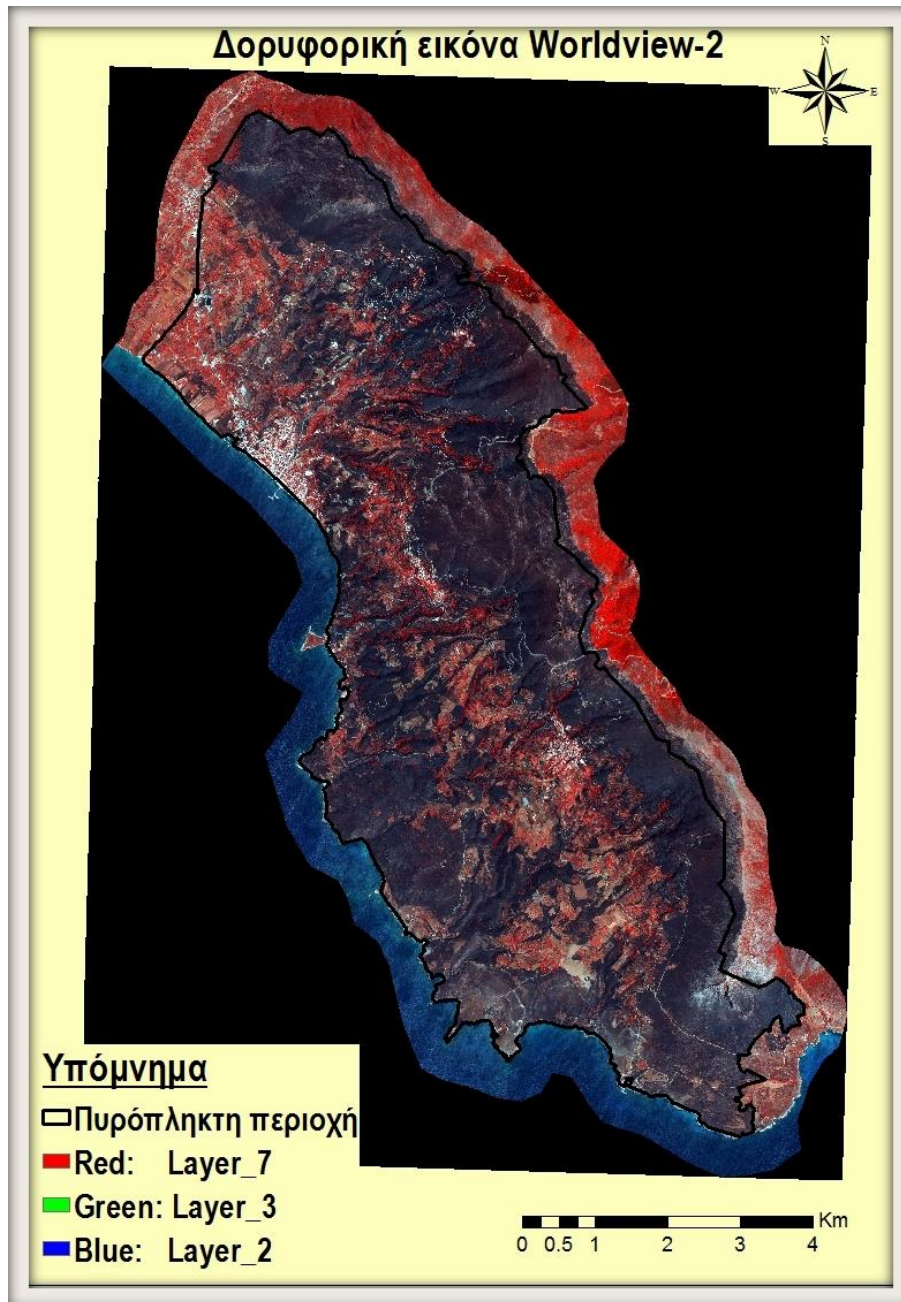
σε περιοχές με σκληροφυλλική βλάστηση, διακεκομμένη αστική δόμηση, μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις και φυσικούς βοσκότοπους. Ακόμα με μέτριο κίνδυνο διάβρωσης μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τις περιοχές με σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, την γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και τα λιβάδια.

Συντελεστής φυτοκάλυψης C μετά την πυρκαγιά

Για τη διεξαγωγή της έρευνας μας και τις ανάγκες της εργασίας μας υπολογίσαμε τον συντελεστή φυτοκάλυψης και μετά την πυρκαγιά. Έτσι λοιπόν για να έχουμε όσο το δυνατό πιο αξιόπιστο και ακριβές αποτέλεσμα χρησιμοποιήθηκε δορυφορική εικόνα “Worldview-2” της περιοχής μελέτης. Έτσι λοιπόν ακολουθήσαμε μία συγκεκριμένη διαδικασία με την χρήση του ομαλοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) που προκύπτει από τον παρακάτω σύμφωνα με τους Barron et al., 2007 και Kniiff, Jones, & Montanarella, 2000

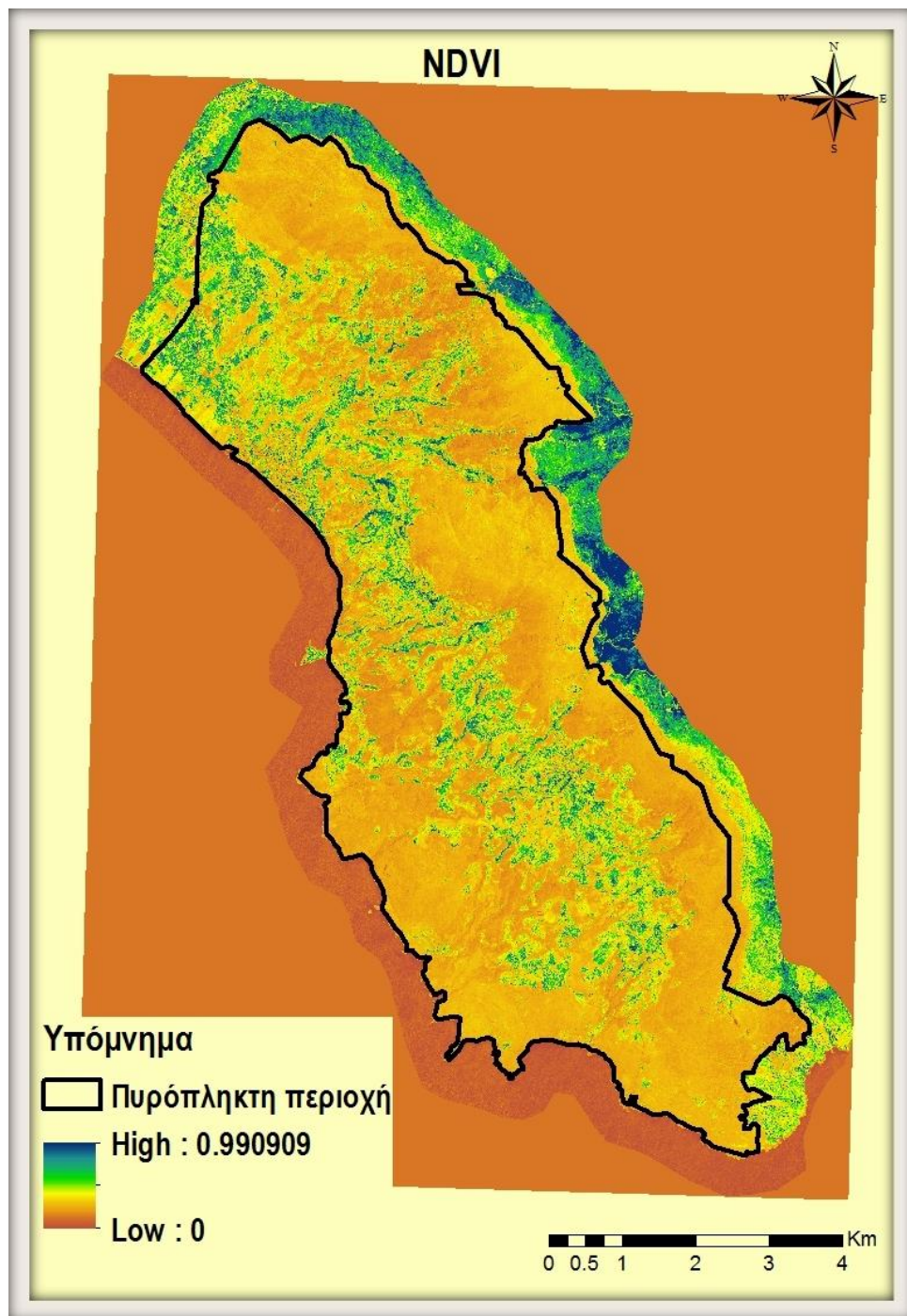
$$NDVI = \frac{(AVHRR2 - AVHRR1)}{(AVHRR2 + AVHRR1)}$$

όπου για την δορυφορική εικόνα που χρησιμοποιήσαμε AVHRR1= Chanel 5 (red) και AVHRR2= Chanel 7 (near infra red).



Εικόνα 3.23. Απεικόνιση της κατάστασης της περιοχής μελέτης μετά την πυρκαγιά από την δορυφορική εικόνα "Worldview2".

Στην εικόνα 3.20. διακρίνουμε με ακρίβεια τις εκτάσεις που έχουν καεί από την πυρκαγιά του 2015. Το κόκκινο χρώμα απεικονίζει την χλωροφύλλη, έτσι όσο πιο έντονο το κόκκινο χρώμα τόσο πιο πυκνή και η βλάστηση. Οι καμένες εκτάσεις καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα σε ολόκληρο το μήκος και πλάτος της περιοχής ενώ ακόμα είναι προφανής η διαφορά της κατάστασης πέρα από τα όρια της περιοχής μελέτης, όπου παρατηρούμε ότι η βλάστηση δεν έχει προσβληθεί από την φωτιά.

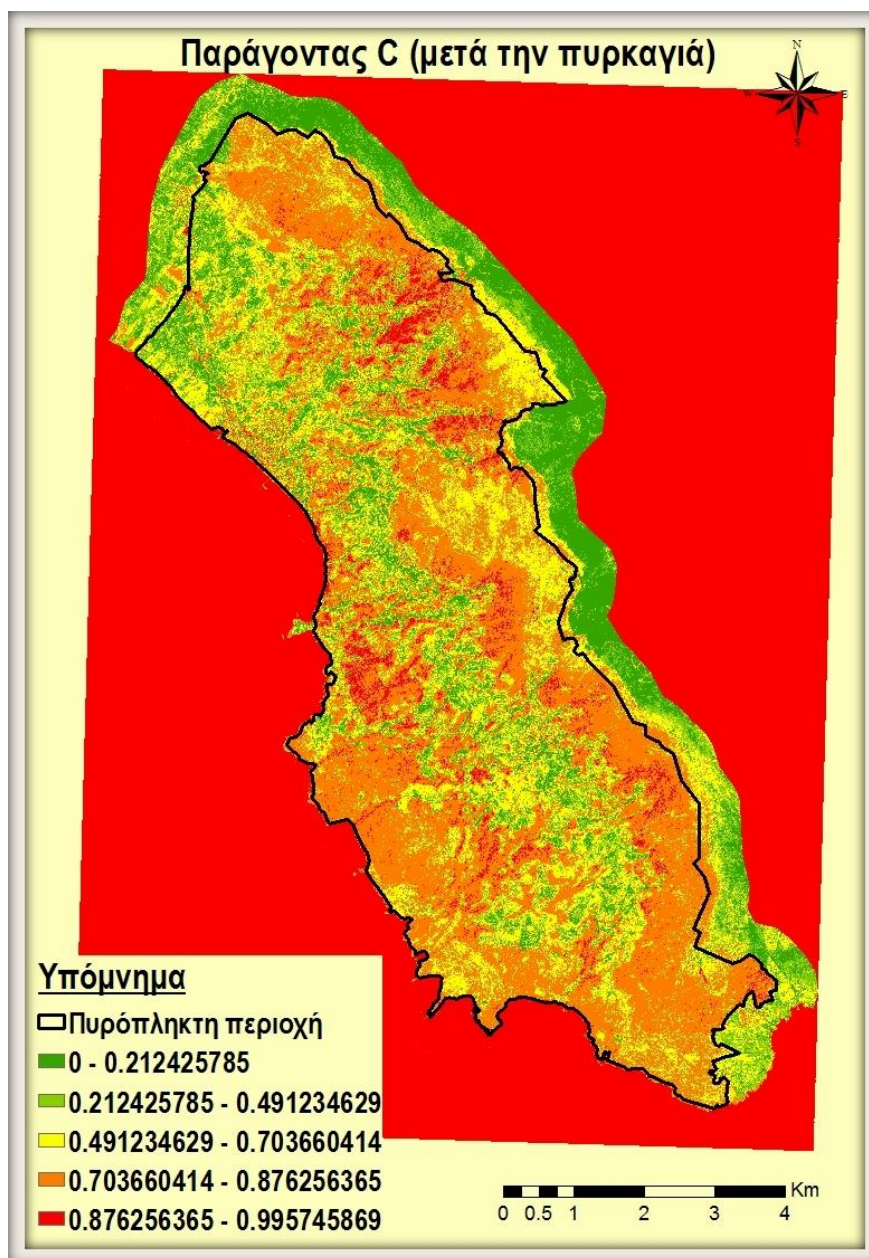


Εικόνα 3.24. Χάρτης του NDVI στην περιοχή μελέτης μετά την πυρκαγιά.

Έπειτα υπολογίσαμε τον συντελεστή φυτοκάλυψης C από την εξίσωση που ακολουθεί

$$C = \exp\left(-a \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}\right)$$

όπου οι παράμετροι που καθορίζουν το σχήμα της καμπύλης NDVI-C είναι $\alpha=2.4$ σύμφωνα με τους Barron et al., 2007 και $\beta=1$ σύμφωνα με τους Kniiff, Jones, & Montanarella, 2000.



Εικόνα 3.25. Συντελεστής φυτοκάλυψης C μετά την πυρκαγιά.

Στην εικόνα 3.21. του συντελεστή φυτοκάλυψης C μετά την πυρκαγιά σημειώνονται ακραίες τιμές από 0 έως 1. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος απώλειας εδάφους εξαιτίας αυτού του παράγοντα στην μεγαλύτερη έκταση της πυρόπληκτης περιοχής. Ωστόσο παρατηρείται ότι πέρα από τα όρια της περιοχής μελέτης δεν υπάρχει ο ίδιος κίνδυνος εφόσον η φωτιά δεν έχει προσβάλει τη βλάστηση σε σημεία εκτός αυτής. Είναι προφανές λοιπόν πως η παρουσία πυρκαγιάς σε μία περιοχή και η έλλειψη φυτοκάλυψης επηρεάζουν σημαντικά τη διάβρωση και την υποβάθμιση του εδάφους.

3.2.5. Συντελεστής μέτρων κατά της διάβρωσης P

Ο συντελεστής μέτρων κατά της διάβρωσης του εδάφους P στην πυρόπληκτη περιοχή προκύπτει από την εφαρμογή συγκεκριμένης μεθόδου σύμφωνα με τους Panagos, Borrelli, Meusburger, Zanden, et al., 2015 ακολουθώντας την παρακάτω εξίσωση

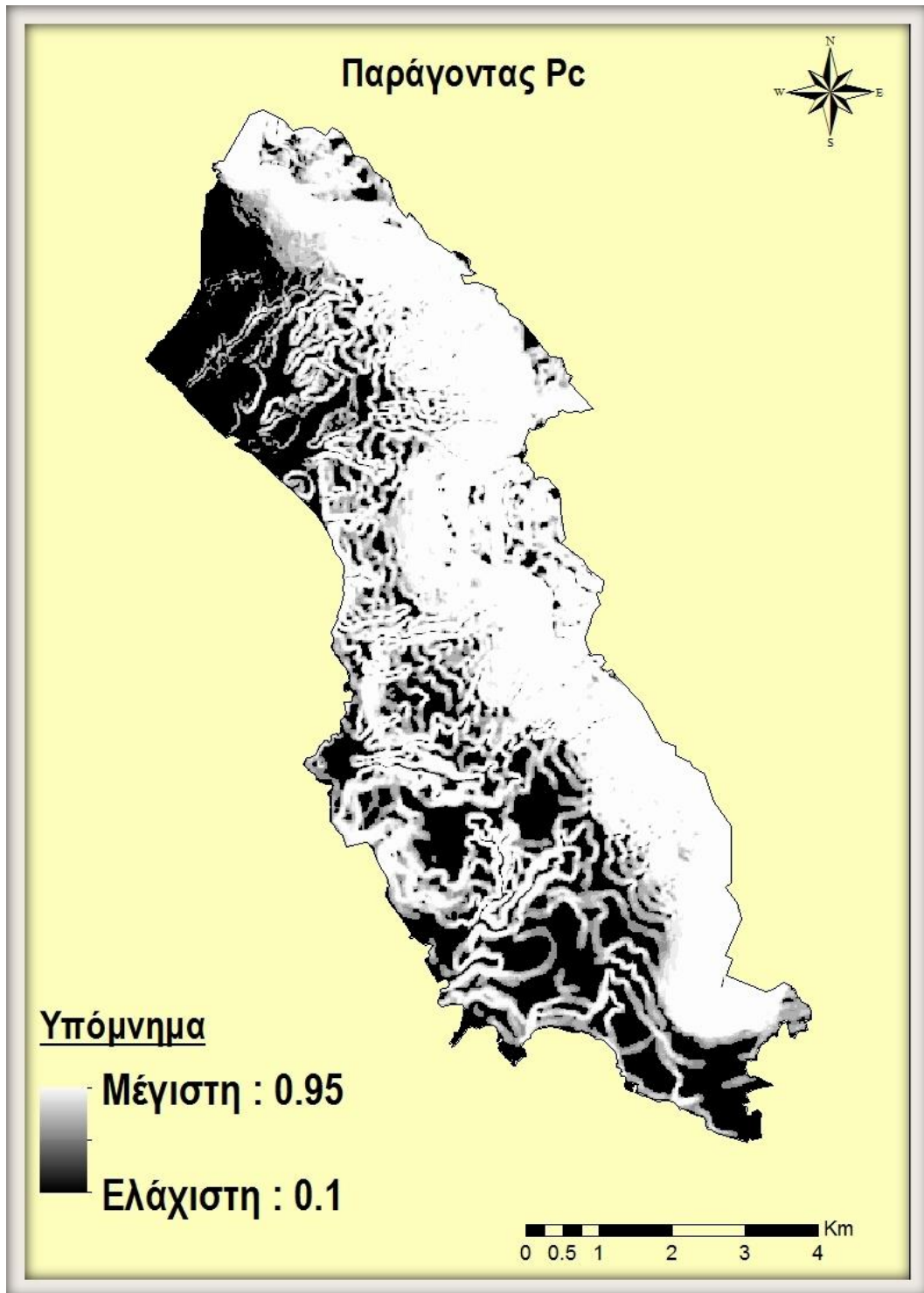
$$P = P_c * P_{sw} * P_{gm}$$

όπου P_c (Support practice factor for contouring) αφορά στην κλίση του εδάφους, P_{sw} (the stone walls sedimentation sub-factor) αφορά στις αναβαθμίδες που υπάρχουν στην περιοχή ως αντιδιαβρωτικά μέτρα και P_{gm} (grass margins sub-factor) που αφορά στις τεχνικές ύπαρξης γρασιδιού. Στην περιοχή μελέτης της εργασίας μας δεν παρουσιάζεται ο συντελεστής P_{gm} άρα έχουμε $P_{gm}=1$.

Για τον παράγοντα P_c από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου DEM υπολογίσαμε την % κλίση του εδάφους και εφόσον την κατηγοριοποιήσαμε σε κλάσεις δώσαμε για κάθε μια από αυτές τις αντίστοιχες τιμές P_c .

Πίνακας 3.3. Πίνακας των πρακτικών υποστήριξης κατά της διάβρωσης του εδάφους P_c σε διαφορετικές κλίσεις.

Παράγοντας P για πρακτικές υποστήριξης σε διαφορετικές κλίσεις	
<i>Κλίση %</i>	P_c
9-12	0.6
12-16	0.7
17-20	0.8
21-25	0.9
>25	0.95

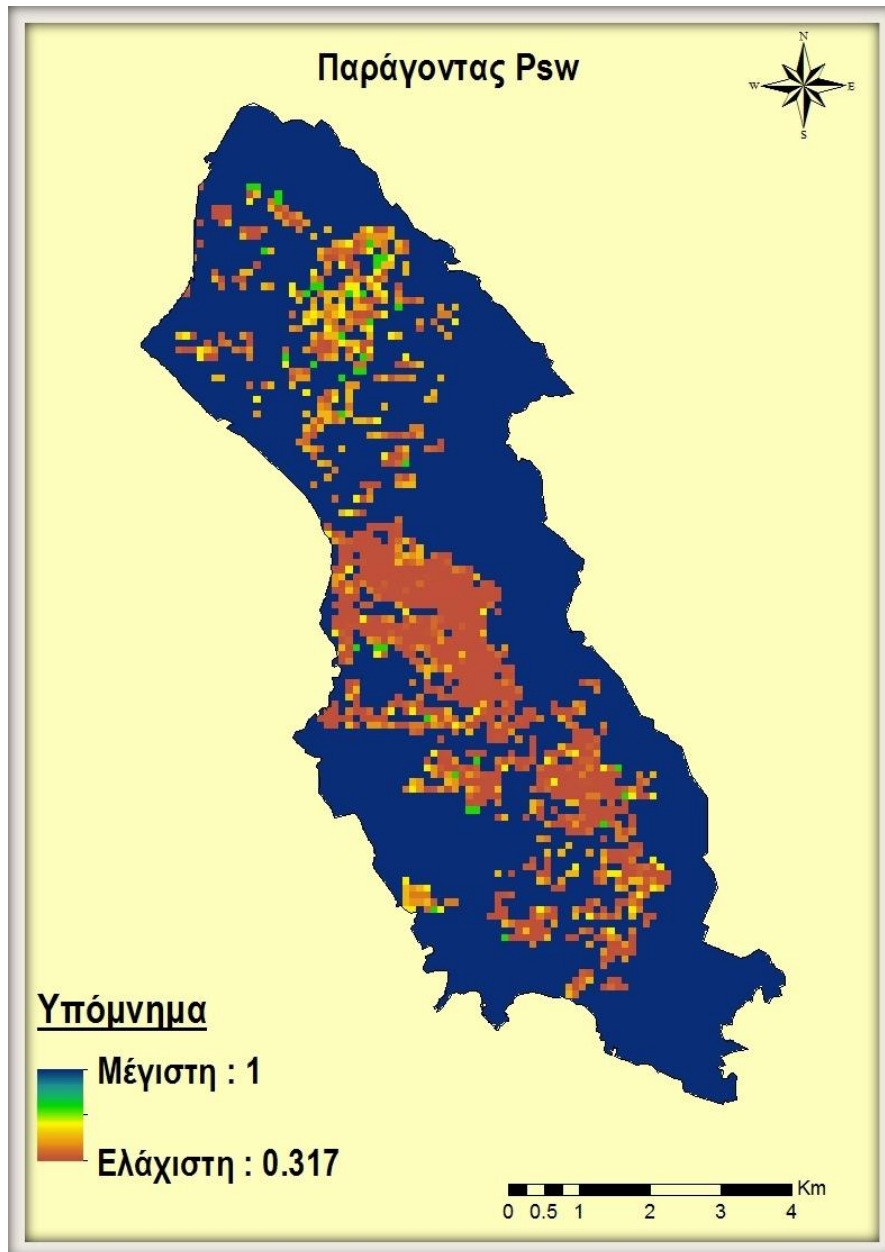


Εικόνα 3.26. Χάρτης του συντελεστή P_c .

Εν συνεχεία καταμετρήθηκαν οι αναβαθμίδες ανά 100*100 τ.μ. στα όρια της περιοχής μελέτης ως μέτρα κατά την διάβρωση του εδάφους και αποδόθηκαν οι αντίστοιχες τιμές P_{sw} όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 3.4. έτσι λοιπόν προκύπτει ο παράγοντας P_{sw} . Οι αναβαθμίδες που καταμετρήθηκαν ήταν κυρίως σε εκτάσεις με ελαιώνες, γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και φυσικούς βοσκότοπους.

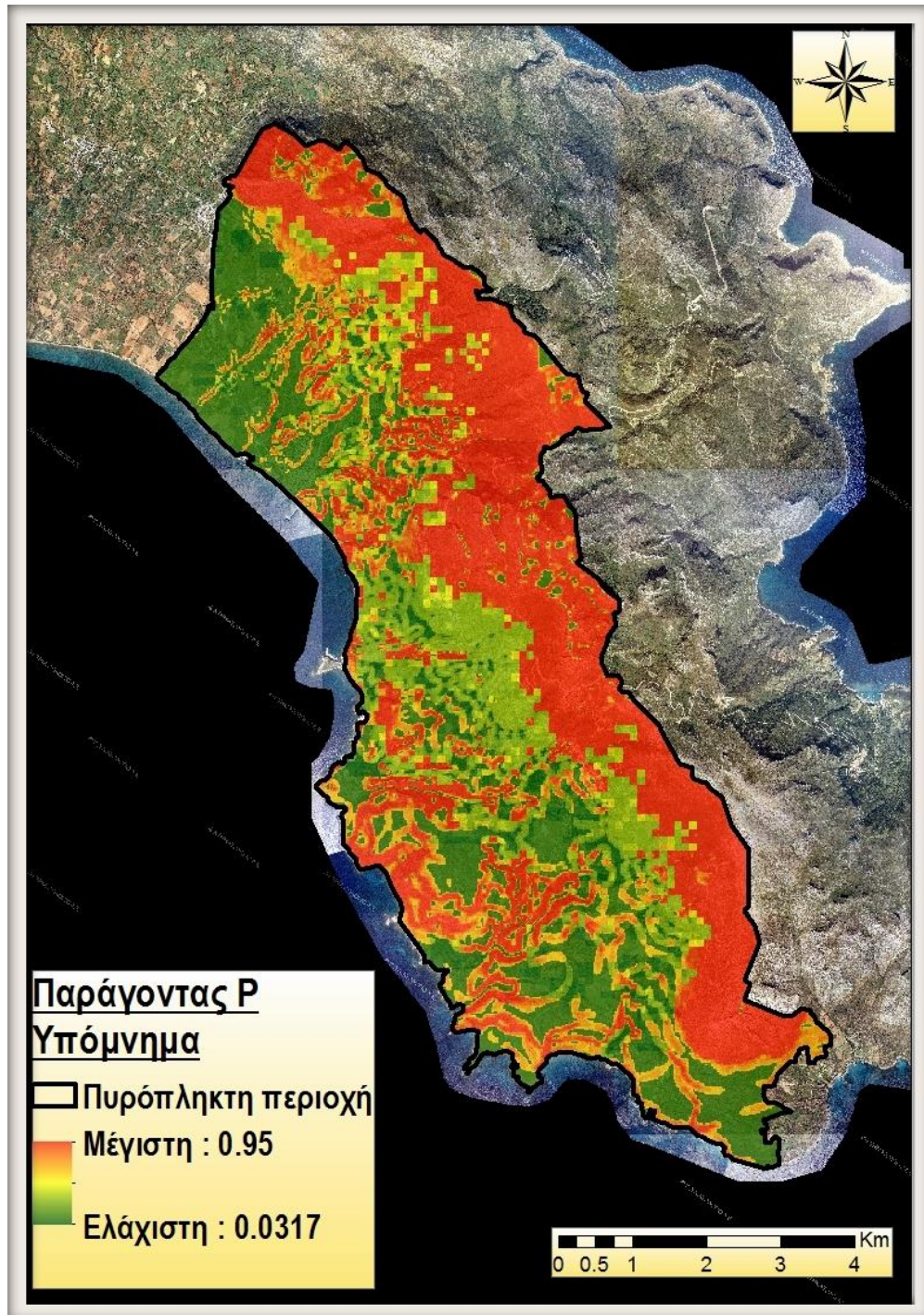
Πίνακας 3.4. Καταγραφή των αναβαθμίδων και αντίστοιχες τιμές P_{sw} .

Αριθμός αναβαθμίδων και οι αντίστοιχες τιμές P_{sw}	
<i>Αναβαθμίδες</i>	<i>P_{sw}</i>
0	1
1	0.707
2	0.577
3	0.500
4	0.448
5	0.408
6	0.378
7	0.354
8	0.334
>8	0.317



Εικόνα 3.27. Χάρτης του παράγοντα P_{sw} στην πυρόπληκτη περιοχή.

Συνεπώς ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία συμπεριλαμβάνοντας τα αντιδιαβρωτικά μέτρα της περιοχής υπολογίσαμε τον παράγοντα P από την παραπάνω εξίσωση.



Εικόνα 3.28. Χάρτης του συντελεστή μέτρων κατά της διάβρωσης P.

Από εικόνα 3.24. του παράγοντα των μέτρων κατά της διάβρωσης του εδάφους P , σημειώνονται ακραίες τιμές, με ελάχιστη 0.0317 και μέγιστη 0.95. Συμπεραίνουμε λοιπόν από το χάρτη ότι ο μεγαλύτερος κίνδυνος απώλειας εδάφους παρατηρείται στις περιοχές που δεν υπάρχουν τα αντιδιαβρωτικά μέτρα των αναβαθμίδων σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από σκληροφυλλική βλάστηση, μεταβατικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης και διακεκομμένη αστική δόμηση. Οι αναβαθμίδες στην περιοχή μας είναι κυρίως χτισμένες σε περιοχές που υπάρχει έντονη κλίση του εδάφους, σε λοφώδεις εκτάσεις παράλληλα με τις ισοϋψείς ώστε να μειώνεται η ταχύτητα της ροής του νερού, να αποτρέπεται η διάβρωση και να ευνοείται η γονιμότητα του εδάφους. Αξίζει ακόμα να σημειώσουμε πως οι παλιές αναβαθμίδες που μπορεί πλέον εν μέρει να είναι υποβαθμισμένες συνεχίζουν όμως ακόμα να παρέχουν προστασία κατά της διάβρωσης του εδάφους. Έχει παρατηρηθεί ότι στην Ευρώπη και στην Μεσόγειο οι αναβαθμίδες ευνοούν στη συγκράτηση του εδάφους σε ιδιαίτερα σημαντικό βαθμό.

Στις παρακάτω εικόνες της περιοχής της Νεάπολης μετά την πυρκαγιά διακρίνεται χαρακτηριστικά η διαφορά της υποβάθμισης και της απώλειας του εδάφους σε εκτάσεις που δεν καλύπτονται από αντιδιαβρωτικά μέτρα όπως εδώ συγκεκριμένα από αναβαθμίδες, σε σχέση με τις εκτάσεις που καλύπτονται από αυτές.



Εικόνα 3.29. Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι της ενότητας της Τρίπολης που υπέρκεινται τεκτονικά της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Απεικόνιση έκτασης με αναβαθμίδες που συγκρατούν το έδαφος (Λέκκας et al., 2015).



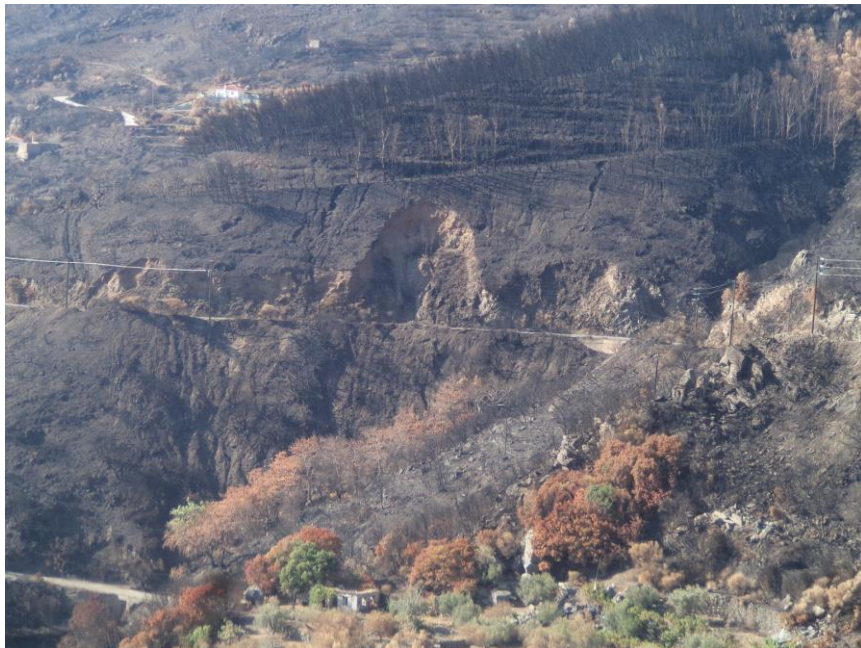
Εικόνα 3.30. Άποψη του Μεσοχωρίου, η κεντρική περιοχή είναι καλυμμένη από αναβαθμούς που προστατεύουν την περιοχή από την διάβρωση του εδάφους. Η περιοχή αυτή έχει προταθεί για συντήρηση των αναβαθμίδων ως αντιδιαβρωτικό μέτρο (Λέκκας et al., 2015).



Εικόνα 3.31. Άποψη καμένης έκτασης διαφορετικών ζωνών βλάστησης. Η ύπαρξη αναβαθμίδων και οι περιοχές με πυκνή βλάστηση που έχουν διατηρήσει υπέργειους σκελετούς και ρίζες ευνοούν τη συγκράτηση του εδάφους (Λέκκας et al., 2015).



Εικόνα 3.32. Απουσία αναβαθμών στην βόρεια είσοδο του Αγίου Νικολάου. Η περιοχή δομείται από τεταρτογενείς κλάστικους σχηματισμούς που είναι από την φύση τους πιο ευδιάβρωτοι, μετά την πυρκαγιά το έδαφος αποσπάται εύκολα, ειδικά σε περιοχές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις (Λέκκας et al., 2015)



Εικόνα 3.33. Δημιουργία αυλακώσεων από την αύξηση του ρυθμού διάβρωσης μετά την πυρκαγιά στην περιοχή κατόντη του Μεσοχωρίου, διακρίνονται και κατολισθήσεις σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο με παρεμβολές χαλαζιτών (Λέκκας et al., 2015)



Εικόνα 3.34. Δημιουργία αυλακώσεων και μικροκατολισθήσεων από τη διάβρωση στη νοτιοανατολική έξοδο του Μεσοχωρίου (Λέκκας et al., 2015).



Εικόνα 3.35. Ασταθείς μάζες αποσαθρωμένου σχιστόλιθου, κορημάτων και εδάφους. Έντονη διάβρωση του εδάφους και καταστροφή των αναβαθμίδων ανάντη του Φαρακλού (Λέκκας et al., 2015)



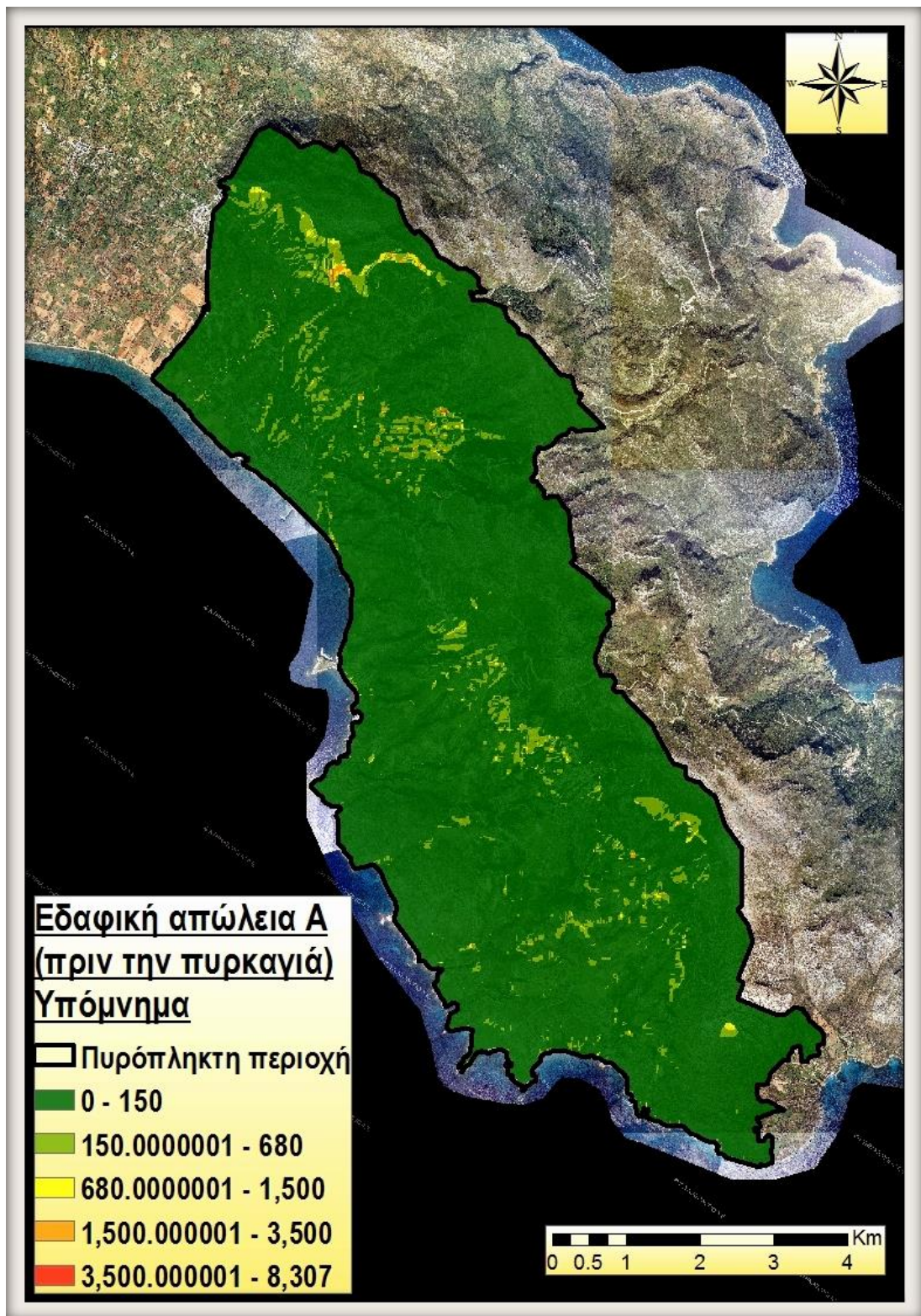
Εικόνα 3.36. Στην περιοχή κατάντη του Φαρακλού καταλήγουν απορροές από τον οικισμό και των ομβρίων του δόμου προς Καστανιά. Παρατηρείται διάβρωση του εδάφους που εντείνεται μετά την πυρκαγιά εφόσον αποσπάται πιο εύκολα ο εδαφικός μανδύας (Λέκκας et al., 2015).

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα

Η εφαρμογή της αναθεωρημένης εξίσωσης απώλειας εδάφους RUSLE σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS 10.1) έγινε από τον πολλαπλασιασμό των προαναφερθέντων παραγόντων. Η περιοχή μελέτης μας αφορά σε πυρόπληκτη περιοχή, δεδομένης λοιπόν αυτής της κατάστασης υπολογίζουμε την μέση ετήσια εδαφική απώλεια για πριν και μετά την πυρκαγιά. Επιπλέον στην έρευνα μας έχουμε υπολογίσει τον παράγοντα των μέτρων κατά της διάβρωσης P που υπάρχουν στον δήμο Μονεμβασιάς, ωστόσο εξάγουμε το A και στην περίπτωση απουσίας τους με $P=1$ για κάθε μια από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις

4.1. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A πριν την πυρκαγιά

Οι ακραίες τιμές της μέσης ετήσιας διάβρωσης του εδάφους A πριν την πυρκαγιά που υπολογίστηκε με την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1. είναι από 0 έως και 8.307 t/ha, οι ακραίες τιμές του A στην περίπτωση που δεν έχουν συμπεριληφθεί τα αντιδιαβρωτικά μέτρα από την εικόνα 4.2. είναι 0 έως και 8.308 t/ha. Και στις δύο παραπάνω εκδοχές ο κίνδυνος απώλειας εδάφους δεν χαρακτηρίζεται ως μεγάλος από τις τιμές που προκύπτουν, εφόσον στη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής έχουμε πολύ χαμηλές απώλειες από μηδενικές έως και 150 t/ha ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται σε λίγες και μικρές εκτάσεις. Ωστόσο αξίζει να σημειώσουμε ότι από την εικόνα 4.1. με την ύπαρξη των μέτρων κατά της υποβάθμισης του εδάφους η μέση ετήσια διάβρωση είναι μικρότερη σε σχέση με την εικόνα 4.2. που έχουμε $P=1$.



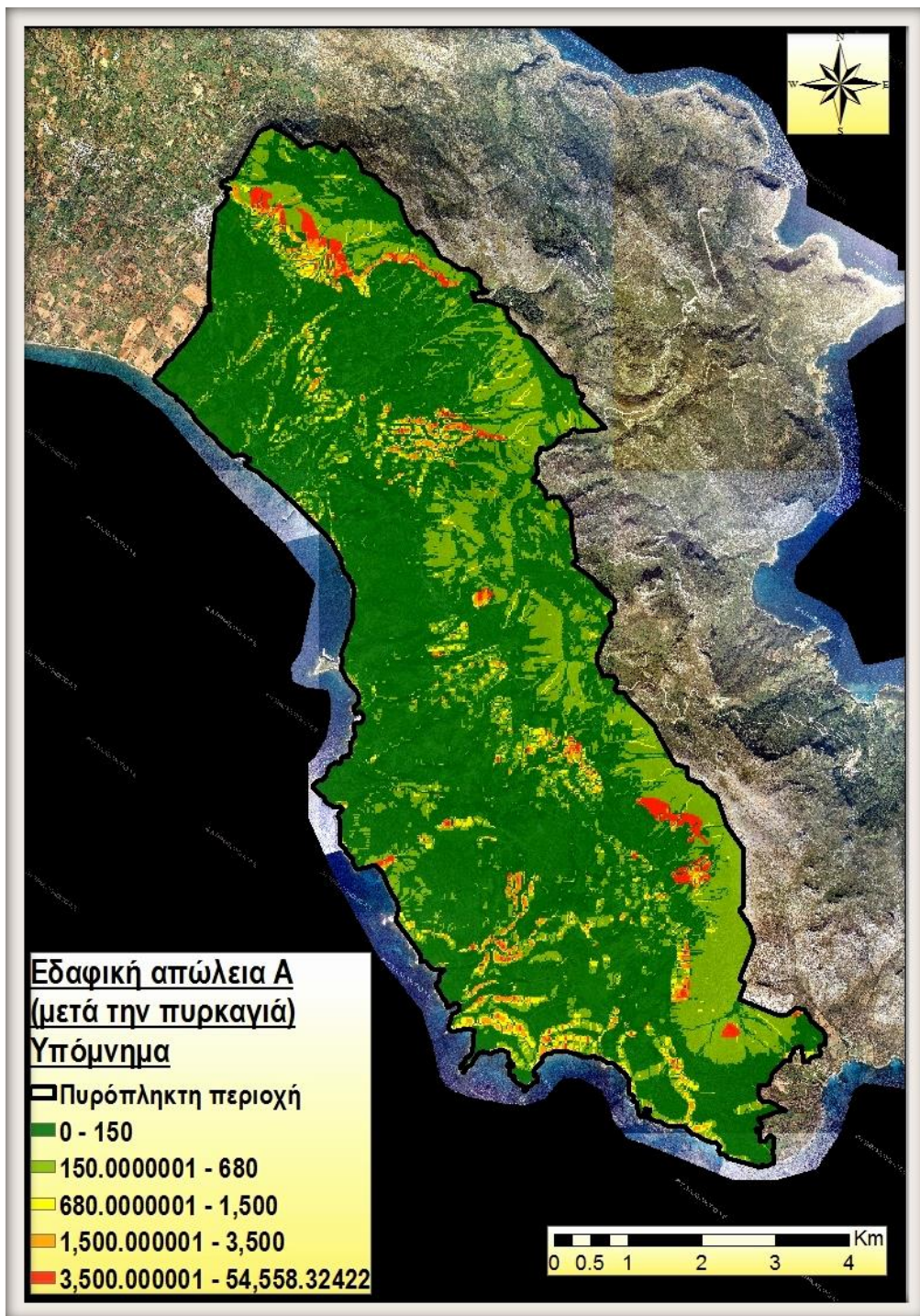
Εικόνα 4.1. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A (t/ha) πριν την πυρκαγιά με την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων.



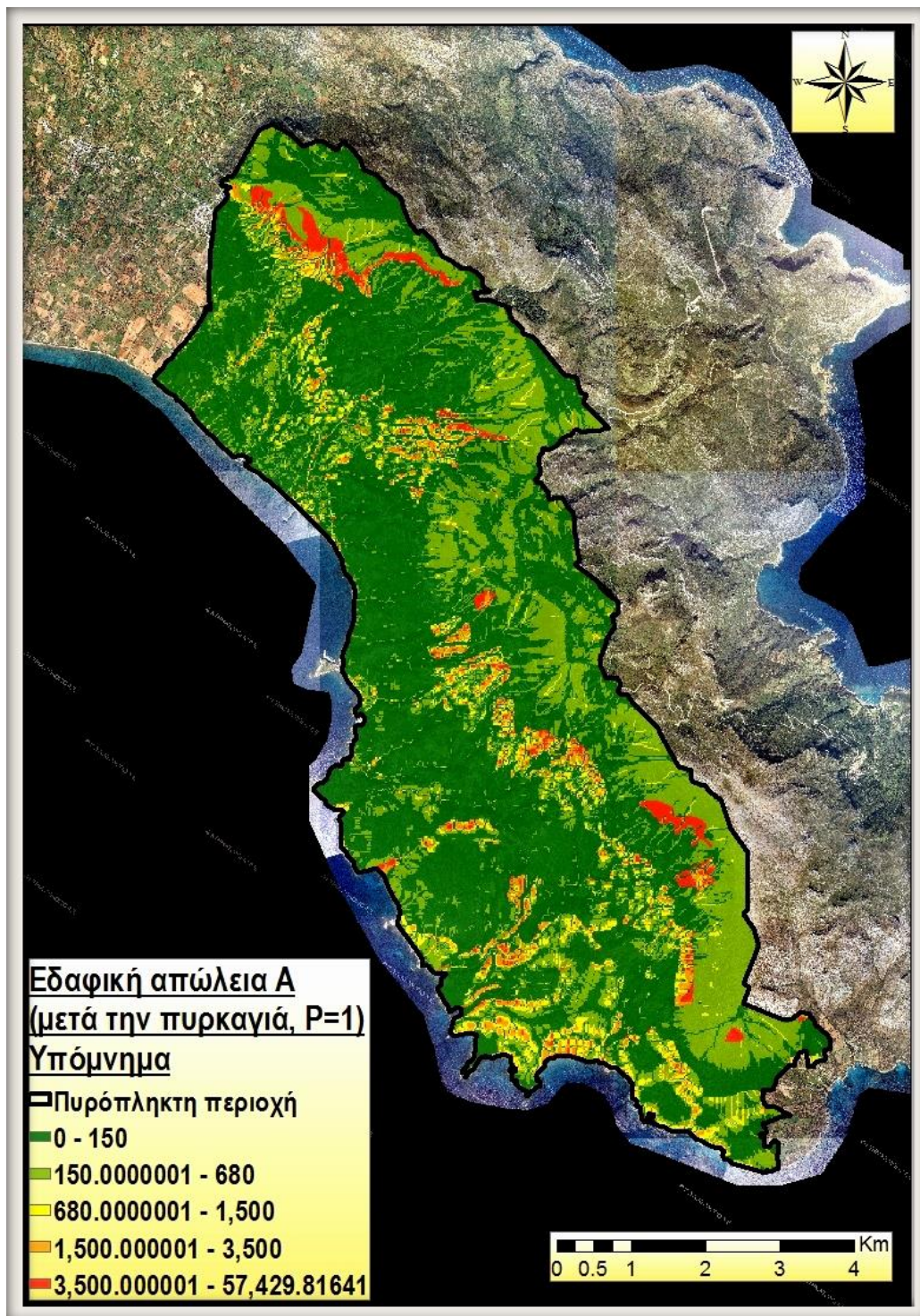
Εικόνα 4.2. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A (t/ha) πριν την πυρκαγιά χωρίς την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων (P=1).

4.2. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A μετά την πυρκαγιά

Οι ακραίες τιμές της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης A μετά την πυρκαγιά που υπολογίστηκε με την παρουσία μέτρων κατά της διάβρωσης όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3. είναι από 0 έως και 54.558 t/ha, οι ακραίες τιμές του A στην περίπτωση που δεν έχουμε λάβει υπόψη μας τα αντιδιαβρωτικά μέτρα της περιοχής από την εικόνα 4.4 είναι από 0 έως και 57.429 t/ha. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή στον αντιδιαβρωτικών μέτρων στην πυρόπληκτη περιοχή, εφόσον συγκρατούν το έδαφος και αποτρέπουν την υποβάθμιση του. Μετά την πυρκαγιά και στις δύο περιπτώσεις ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους είναι εμφανώς κατά πολύ μεγαλύτερος. Στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής σημειώνονται απώλειες εδάφους έως και 680 t/ha, ενώ υψηλότερες τιμές εμφανίζονται σε μικρότερα τμήματα της περιοχής κεντρικά κατά μήκος της καμένης έκτασης καθώς και στο νοτιοδυτικό άκρο της. Πρόκειται για υψηλότερα υψόμετρα της περιοχής με πιο έντονη κλίση σε συνδιασμό με τις υψηλότερες τιμές του K με την εμφάνιση σχηματισμών μετακλαστικών αποθέσεων, όπως πλευρικών κορημάτων, αλλουβιακών αποθέσεων, θαλάσσιων και λιμναίων κλαστικών και βιογενών ιζημάτων, καθώς και ποταμοχερσαίων αποθέσεων, όπως και με τις υψηλές τιμές του C μετά την πυρκαγιά στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής που ευνοούν την εμφάνιση των υψηλών τιμών απώλειας εδάφους.

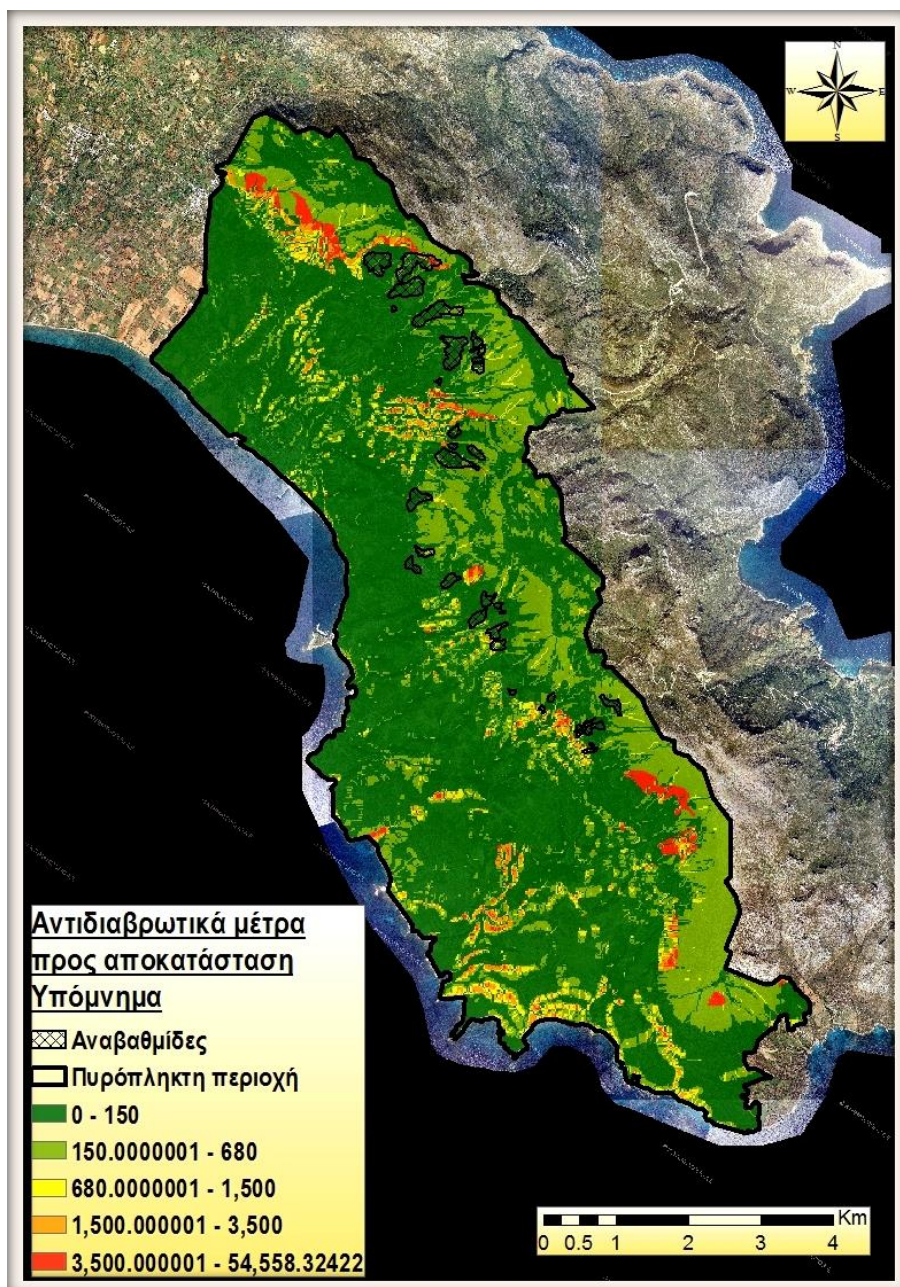


Εικόνα 4.3. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση Α μετά την πυρκαγιά με την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων.



Εικόνα 4.4. Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση A μετά την πυρκαγιά χωρίς την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων (P=1)

Στην εικόνα 4.5. απεικονίζεται η απώλεια του εδάφους A ton/ha μετά την πυρκαγιά έχοντας λάβει υπόψη μας τα αντιδιαβρωτικά μέτρα της περιοχής και οι εκτάσεις στις οποίες οι αναβαθμίδες έχουν υποστεί ζημιά από την φωτιά. Οι αναβαθμίδες που πρέπει να αποκατασταθούν ώστε να ευνοηθεί η συγκράτηση του εδάφους βρίσκονται κοντα στους οικισμούς Μεσοχώρι και Λάχι που η βλάστηση αποτελείται από ελαιώνες, Φαρακλό με τη βλάστηση να χαρακτηρίζεται από γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, και τέλος Παραδείσι και Άγιος Νικόλαος με φυτοκάλυψη από μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις.



Εικόνα 4.5. Χάρτης των αναβαθμίδων που χρήζουν αποκατάστασης έπειτα από τις ζημιές που υπέστησαν μετά την πυρκαγιά.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκε η Αναθεωρημένη Εξίσωση Εδαφικής Διάβρωσης RUSLE σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS, έκδοση 10.1) για την χωρική και ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στην Νεάπολη του δήμου Μονεμβασιάς, στον νομό Λακωνίας. Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R, ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K, ο τοπογραφικός συντελεστής LS, ο συντελεστής φυτοκάλυψης C που υπολογίστηκε για δύο διαφορετικές περιπτώσεις πριν και μετά την πυρκαγιά που σημειώθηκε στην περιοχή μελέτης τον Ιούλιο του 2015 και τέλος ο συντελεστής διαχείρισης εδαφών P. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς ποσοτικοποιήθηκε και βαθμονομήθηκε ανάλογα με την επίδραση του στις διαβρωσιγενείς διεργασίες.

Ο κίνδυνος της εδαφικής απώλειας πριν την πυρκαγιά και με την ύπαρξη αντιδιαβρωτικών μέτρων στην περιοχή μελέτης κρίνεται σχετικά μικρός στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής. Μεγαλύτερες τιμές μπορούμε να πούμε πως σημειώνονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής κοντά στους οικισμούς Μεσοχώρι και Αγίου Κωνσταντίνου καθώς και στον νότιο τμήμα κοντά στον οικισμό Παναγιά. Επίσης αξίζει να σημειώσουμε ότι σημαντικό ρόλο έχουν τα μέτρα που εφαρμόζονται στην περιοχή κατά την διάβρωση και της υποβάθμισης του εδάφους εφόσον παρατηρούμε ότι το A στην περίπτωση της μη ύπαρξης μέτρων είναι αυξημένο.

Όσον αφορά τον κίνδυνο εδαφικής διάβρωσης μετά την πυρκαγιά είναι εμφανώς μεγαλύτερος και παρατηρείται σε περισσότερες εκτάσεις στην περιοχή μελέτης όπως στο βόρειο τμήμα της κοντά στους οικισμούς Μεσοχώρι και Άγιος Κωνσταντίνος, στο βορειοανατολικό τμήμα της κοντά στον οικισμό Παραδείσι, νότιο-ανατολικά της περιοχής κοντά στον οικισμό Παναγιά, νότιο-δυτικά πλησίον του οικισμού Κόρακος καθώς και κεντρικά της περιοχής ανάμεσα στους οικισμούς Λάχι και Άγιος Νικόλαος. Επίσης κατά την διεξαγωγή της έρευνας μας συμπεραίνουμε πως ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή των αντιδιαβρωτικών μέτρων στην περιοχή, εφόσον ευνοούν τη συγκράτηση του εδάφους ιδιαίτερα έπειτα από την πυρκαγιά

Η συμβολή της βλάστησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την προστασία του εδάφους ενάντια στη διάβρωση, διότι τα φυτά αναγκάζουν το νερό της βροχής και του χιονιού να απορρέει αργά και διαμέσου του εδάφους και να περιορίζεται στο ελάχιστο ή να εξαλείφεται εντελώς η απόσταση των πετρωμάτων και του εδάφους. Επιπλέον η πυκνή διακλάδωση του ριζικού συστήματος λειτουργεί σαν φυσικός σπλισμός και αυξάνει την αντοχή του, καθώς επίσης η κάλυψη της επιφάνειας με στρώμα φύλλων περιορίζει την άμεση επαφή του νερού της βροχής με το έδαφος ώστε να αποτρέπεται η απόπλυση του εδάφους. Στην πυρόπληκτη περιοχή που διεξάχθηκε η έρευνα μας ο συντελεστής φυτοκάλυψης C πριν την πυρκαγιά δεν κρίνεται ιδιαίτερα υψηλός, ωστόσο μετά την εκδήλωση της πυρκαγιάς οι τιμές του C είναι υψηλότερες σε μεγάλο μέρος της έκτασης. Ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους λόγω της

έλλειψης βλάστησης είναι μεγάλος γι' αυτό είναι σκόπιμο να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την αποκατάσταση της φυτοκάλυψης μετά την πυρκαγιά και κυρίως η προστασία της φυσικής αναγέννησης.

Τέλος, στα πλαίσια της εργασίας μας υπολογίσαμε τον συντελεστή μέτρων κατά της διάβρωσης P έτσι ώστε να μπορούμε να αξιολογήσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη συμβολή τους στην διάβρωση του εδάφους πριν και μετά την πυρκαγιά. Στην καμένη έκταση καταμετρήθηκε μεγάλος αριθμός αναβαθμίδων κυρίως σε περιοχές με ελαιώνες, γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και φυσικούς βοσκότοπους, μιας και πρόκειται για μία γεωργική περιοχή. Τέτοιου είδους έργα λοιπόν κατασκευάζονται για την εξομάλυνση των κλίσεων του εδάφους ώστε στο επίπεδο τμήμα των αναβαθμίδων να γίνεται η φύτευση, σε πολλές περιπτώσεις εγκαθίσταται και σύστημα άρδευσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως τα αντιδιαβρωτικά μέτρα της περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντικά αφού μειώνουν χαρακτηριστικά τον όγκο απώλειας εδάφους. Έτσι λοιπόν μετά την πυρκαγιά κρίνεται σκόπιμο να δημιουργηθούν νέες αναβαθμίδες, και σαφώς να γίνει η απαραίτητη συντήρηση και προστασία των ήδη υπάρχοντων αναβαθμών.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, Μ. (2015). Οικολογία και διαχείριση βιοποικιλότητας. M.Sc
Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων, Τμήμα Γεωλογίας και
Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- Βορίσης, Δ. (n.d.). ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ. Retrieved from
http://www.ethelontismos.gr/attachments/070_%CE%94%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82_%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%B1%CE%B3%CE%B9%CE%AD%CF%82.pdf
- Βώκου, Δ. (2009). *Γενική οικολογία* (1st ed.). Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Γκουβά, Μ., Σακελλαρίου, Ν., & Ξυστράκη, Φ. (2007). Εκτίμηση του μέσου ετήσιου και ηνιαίου
ύψους υετού στον ελλαδικό χώρο. *Τεχνική Βιβλιοθήκη, Ινστιτούτο Ερευνών, Περιβάλλοντος
Και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών*.
- Γκόφας, Α. (1995). *Εγχειρίδιο Δασοπυρόσβεσης*. Θεσσαλονίκη: Υπουργείο Γεωργίας-Γενική
Γραμματεία Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος.
- Γκόφας, Α. (2001). *Εγχειρίδιο Δασοπροστασίας*. Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Διαχείριση Φυσικών Πόρων. (n.d.). Retrieved from <http://www.seos-project.eu/modules/resources/resources-c01-s02.gr.html>
- Επιλογή μοντέλου για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης στο καλλιεργούμενο τμήμα της
λεκάνης απορροής του π. Ανθεμούντα. (2011). Retrieved from
http://79.129.78.202/lifesos/images/stories/pdf/deliverables/06_03.pdf
- Θανασούλας, Δ. (2011). Χωροθέτηση Επίγειων Πυροσβεστικών Οχημάτων για Άμεση
Κατάσβεση Δασικών Πυρκαγιών. *Διπλωματική Εργασία, MSc MBA, Τμήμα Διοίκησης
Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πατρών*. Retrieved from
[http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5208/3/Nimertis_Thanasoulas\(de\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5208/3/Nimertis_Thanasoulas(de).pdf)
- Καϊλίδης, Δ. (1993). *Δασικές Πυρκαγιές*. Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Καλαμποκίδης, Κ. (2002). *Διαστάσεις του προβλήματος δασικών πυρκαγιών*. Πυροσβεστική
Επιθεώρηση.
- Κουτσογιάννης, Δ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία* (3rd ed.).
- Κουτσογιάννης, Δ., Ζαρρής, Δ., Λυκούδη, Ε., Ζησόπουλος, Θ., Κώτσης, Ι., Ραππάκης, Κ., ...

- Συνετός, Δ. (1998). Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Retrieved from <https://www.itia.ntua.gr/getfile/488/1/documents/2001FertaFinalRep.pdf>
- Κουτσογιάννης, Δ., & Ξανθόπουλος, Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία* (3rd ed.). Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κράνης, Χ., Σκούρτσος, Ε., & Σούκης, Κ. (2015). *Ο πλανήτης γη*. Αθήνα: Σημειώσεις μαθήματος “Ο πλανήτης γη”, Msc Στρατηγικές διαχείρισης περιβάλλοντος καταστροφών και κρίσεων, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- Κράνης, Χ., Σκούρτσος, Ε., & Σούκης, Κ. (2015). *Συστήματα του γήινου περιβάλλοντος και φυσικοί πόροι*. Σημειώσεις μαθήματος “Συστήματα του γήινου περιβάλλοντος και φυσικοί πόροι”, Msc Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- Κωνσταντινίδης, Π. (2003). *Μαθαίνοντας να ζούμε με τις δασικές πυρκαγιές*. Χριστοδουλίδη.
- Λαζαρίδου-Αθανασιάδου, Μ. (n.d.). ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ. Retrieved December 3, 2016, from http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes_idiotites_edafous.pdf
- Λέκκας, Ε., Μηλιός, Δ., Διακάκης, Μ., Καραμέλας, Ν., Σκούρτσος, Ε., Αλεξούδη, Β., ... Παπασπυρόπουλος, Κ. (2015). Σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης γεω-περιβαλλοντικών επιπτώσεων και άμεσων επεμβάσεων στις υρόπληκτες περιοχές του δήμου Μονεμβασιάς. Μολάι-Αθήνα: Τομέας δυναμικής τεκτονικής και εφαρμοσμένης γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.
- Μάργαρης, Ν. Σ. (2001). *Οδοιπορικό στο Ελληνικό Περιβάλλον*. Ελληνικά Γράμματα.
- Μάρης, Φ. (n.d.). Δαβρώσεις και προσχώσεις. Μάθημα Διευθετήσεις Χειμάρρων, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Δασικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Retrieved from https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/OPE02167/3o %CE%9A%CE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF_%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82 %CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%87%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.pdf
- Μιμίκου, Α. Μ. (1994). *Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων*. Παπασωτηρίου.
- Μπαθρέλος, Γ., Σκυλοδήμου, Χ., & Χουσιανίτης, Κ. (2010). Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Ζάκυνθο με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. *9ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Αθήνα*.
- Μυρωνίδης, Δ. (2006). Ορθολογική διαχείριση ορεινών λεκανών απορροής με την ανάπτυξη γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών. Θεσσαλονίκη: Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.
- Μυρωνίδης, Δ. (2012). Αποτίμηση του κινδύνου διάβρωσης των εδαφών της Ελλάδας

- εργαλείο για τη διαχείριση των λεκανών απορροής. *Σχολή Δασολογίας Και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*. Retrieved from http://geographies.gr/wp-content/uploads/2013/05/GEO19-059-069_new.pdf
- Νεάπολη-Λακωνία: Καίγονται σπίτια, καταστήματα και το Κέντρο Υγείας. (2015). Retrieved from <http://www.thetoc.gr/koinwnia/article/megali-fwtia-sti-neapoli-lakwnias>
- Ντάφης, Α. Σ. (1986). *Δασική Οικολογία*. Γιαχούδη.
- 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. *9ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Αθήνα*.
- Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα. (n.d.). Retrieved from http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esta/T1/030/10031.pdf
- Παπάζογλου, Π. (2009). Εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης στη λεκάνη του Ανθεμούντα. Retrieved from http://79.129.78.202/lifesos/images/stories/pdf/deliverables/03_01.pdf
- Παπαθεοδοσίου, Μ., & Χριστοδούλου, Δ. (2009). Επιπτώσεις των πυρκαγιών στην υδρολογία και τη διάβρωση, η περίπτωση της Πάρνηθας. Αθήνα.
- Παπαιωάννου, & Τάντος, Β. (2006). *Δασική Εδαφολογία*. Παπασωτηρίου.
- Παπαμίχος, Ν. (1990). Επίδραση Δασικών Πυρκαγιών στη Διάβρωση των Δασικών Εδαφών της Ελλάδας. Αθήνα: Πρακτικά 3 Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου με Θέμα: Προστασία Εδαφών- Ποιότητα Ζωής.
- Παπανικολάου, Δ., & Σίδερης, Χ. (2007). *Γεωλογία η επιστήμη της γης*. Αθήνα: Πατάκη.
- Ρέβη, Ε. (2015). Απίστευτη τραγωδία: Όλη η Νεάπολη στις φλόγες. Retrieved from <http://www.protothema.gr/greece/article/493802/megali-fotia-sti-neapoli-lakonias/>
- Συλλαίος, Ν., Μπίλας, Γ., & Καραπέτσας, Ν. (2007). Χαρτογράφηση γεωργικών εδαφών με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και τηλεπισκοπησης. Retrieved December 9, 2016, from <http://labrsgis.web.auth.gr/images/chartografisi.pdf>
- Τύποι εδαφών - GAIApedia. (n.d.). Retrieved from http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%A4%CF%8D%CF%80%CE%BF%CE%B9_%CE%B5%CE%B4%CE%B1%CF%86%CF%8E%CE%BD
- Υδρολογικές απώλειες εδάφους*. (n.d.). Retrieved from <https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/PEY132/DIHTHISH.pdf>
- Υπό μερικό έλεγχο η φωτιά στη Νεάπολη Λακωνίας. (2015). Retrieved from <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=723028>
- Χατζηνικολάου, Ν. (2011). Εκτίμηση κινδύνου διάβρωσης στην περιοχή της “Χαραμίδας.”

Ξένη Βιβλιογραφία

- Alexakis, D., Hadjimitsis, D., & Agapiou, A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *Elsevier*.
- Baker, M. B. (1990). Hydrologic and Water Quality Effects of Fire. USDA Forest Service.
- Ballais, J. L., & Bosc, M. C. (1994). The ignifractions of the Sainte-Victoire Mountain (Lower Provence, France). In S. M., J. L. Rubio, & Eds (Eds.), *Soil Erosion and Degradation as a Consequence of Forest Fires*. Logrono, Spain: Geoforma Ediciones.
- Barron, O., Bautista, S., Alloza, J. A., Leeuwen, J. D., Casady, G., Davison, J., ... Neary, D. (2007). Satellite-derived Vegetation Dynamics Applied to Post-fire Vulnerability Assessment in Eastern Spain. *Wildfire 2007*.
- Batalla, R. J., & Sala, M. (1998). Changes on sediment and dissolved load after wildland fire in a Mediterranean river basin. In *XXIII General Assembly of the European Geophysical Society*.
- Blinkov, I., & Stanimir, K. (2010). Applicability of various erosion risk assessment methods for engineering purposes. Retrieved from http://www.academia.edu/14897255/Applicability_of_various_erosion_risk_assessment_methods_for_engineering_purposes
- Boardman, J., & Poesen, J. (2006). *Soil erosion in Europe*. England: John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from [https://books.google.gr/books?id=vvOFRskFunwC&pg=PA672&lpg=PA672&dq=PESERA+erosion+method&source=bl&ots=inrWwQQC-J&sig=eL56_h8zQyKldhlgFb8xhxWSH0o&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwi_xo-334DRAhVHSR0KHfSZD94Q6AEILjAC#v=onepage&q=PESERA erosion method&f=false](https://books.google.gr/books?id=vvOFRskFunwC&pg=PA672&lpg=PA672&dq=PESERA+erosion+method&source=bl&ots=inrWwQQC-J&sig=eL56_h8zQyKldhlgFb8xhxWSH0o&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwi_xo-334DRAhVHSR0KHfSZD94Q6AEILjAC#v=onepage&q=PESERA%20erosion%20method&f=false)
- Bosch, J. ., & Hewlett, J. D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*.
- Brown, J. A. H. (1972). Hydrologic effects of a bushfire in a catchment in south-eastern new South Wales. *Journal of Hydrology*.
- Candela, A., Aronica, G., & Santoro, M. (2005). Effects of Forest Fires on Flood Frequency Curves in a Mediterranean Catchment/Effets d'incendies de forêt sur les courbes de fréquence de crue dans un bassin versant Méditerranéen. *Hydrological Sciences Journal*. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1623/hysj.50.2.193.61795>
- De Roo, A. P. J., Hazelhoff, L., & Burrough, P. A. (1989). Soil erosion modeling using

ANSWERS and geographical information systems. In *Earth Surface Processes and Landforms*.

- DeBano, L. F., Daniel, G. L., & Ffolliot, P. F. (1998). *Fire's Effects on Ecosystem*. John Wiley & Sons.
- DeBano, L. F., Osborn, J. F., Krammes, J. F., & Letey, J. (1967). Soil wettability and wetting agents. Our current knowledge of the problem.
- Dorn, R. (2003). Boulder weathering and erosion associated with a wildfire, Sierra Ancha Mountains, Arizona. *Elsevier*, (Geomorphology). Retrieved from <http://alliance.la.asu.edu/dorn/DornGeomorphv55FireWx.pdf>
- Elliot, W., Hall, D., & Scheele, D. (1999). Forest service interfaces for the water erosion prediction project computer model. U.S.D.A. Forest Service Rocky Mountain Research Station and San Dimas Technology and Development Center October 1999. Retrieved from <http://forest.moscowfs.l.wsu.edu/fswapp/docs/fswappdoc.html>
- Gitas, I., Douros, K., Minakou, C., Silleos, G., & Karydas, G. (2009). Multi-Temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL*.
- Govers, G., Gobin, A., Cerdan, O., van Rompaey, A., Kirkby, M., Irvine, B., ... Mantel, S. (n.d.). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment for Europe: the PESERA Map. Retrieved from http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_cd/pdf/ThePeseraMap.pdf
- Imeson, A., & Curfs, M. (n.d.). Land Care In Desertification Affected Areas From Science Towards Application. *Lucinda*. Retrieved from http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/Leaflets/B1_Leaflet_GR.pdf
- Jetten, V., & De Roo, A. P. J. (2001). Spatial analysis of erosion conservation measures with LISEM. In *Landscape Erosion and Evolution Modelling*. Kluwer Academic Press.
- Jetten, V. G., De Roo, A. P. J., & Guerif, J. (1998). Sensitivity of the model LISEM to variables related to agriculture. In *Boardman, J., Favis-Mortlock, D. (Eds.), Modelling Soil Erosion by Water, NATO ASI Series I, Global Environmental Change*.
- Johnson, E. A., & Miyanishi, K. (2001). *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*. Academic Press.
- Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in Europe. *European Commission*.
- Lal, R., & Elliot, W. (1994). *Erodibility and Erosivity. Soil Erosion Research Methods* (2nd ed.). U.S.A: St. Lucie Press.
- Legleiter, C. J., Lawrence, R. L., Fonstad, M. A., Marcus, W. A., & Aspinall, R. (2003). Fluvial response a decade after wildfire in the northern Yellowstone ecosystem: a spatially explicit analysis. *Elsevier*, (Geomorphology).

- Leon, J., Badia, D., & Echeverria, M. T. (2015). Comparison of different methods to measure soil erosion in the central Ebro Valley. Retrieved from https://zaguan.unizar.es/record/36757/files/texto_completo.pdf
- Marshall, T. J., Holmes, J. W., & Rose, C. W. (1996). *Soil Physics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- McCool, D. K., Weesies, G. A., Renard, K. G., & Foster, G. R. (1994). Developing databases for national application of RUSLE. Presented at the 8th annual ISCO Conference: Soil and Water Conservatin Challenges and Opportunities, December 4-8, 1994, New Delhi, India.
- McLaren, R. G., & Cameron, K. C. (1996). *Soil Science*. Oxford University Press.
- Meixner, T., & Wohlgemuth, P. M. (2003). Climate Variability, Fire, Vegetation Recovery, and Watershed Hydrology. In *First Interagency Conference on Research in the Watersheds*.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., ... Folly, A. J. V. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide. United Kingdom: Silsoe College Cranfield University. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/70066.pdf>
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerwalt, K., Styczem, M. E. (1998). The european soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sedimentn transport from fields and small cachments. *Earth Surface Processes and Landforms*. Retrieved from [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199806\)23:6%3C527::AID-ESP868%3E3.0.CO;2-5/epdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1096-9837(199806)23:6%3C527::AID-ESP868%3E3.0.CO;2-5/epdf)
- National Geographic Society. (n.d.). National Geographic Science: Erosion and Weathering. In *National Geographic Encyclopedic Entry*. Retrieved from <http://nationalgeographic.org/media/reference/assets/erosion-1.pdf>
- Nearing, M. A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernadez, M., ... Oost, K. van. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Elsevier*.
- 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.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusbürger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Elsevier*.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusbürger, K., Zanden, E., Poesen, J., & Alewell, C. (2015). Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Elsevier*.
- Pricop, C., & Blidaru, T. (n.d.). No TitleKINEROS model implementation for the analysis of the representative watershed Ciurea – Tinoasa, IAȘI County. Timisoara: Politechnic University. Retrieved from <http://www.ct.upt.ro/buletinhidro/Files/05-Articol Kinero Eng.pdf>

- 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*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook.
- Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology, Elsevier*.
- Roxo, M. J., Asimiro, P. C., & Sousa, T. (2004). Τι σημαίνει ερημοποίηση; Retrieved from https://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/downloads/deliverables/Deliverable_1.2b_gr.pdf
- Sigalos, G., Loukaidi, V., Dasaklis, S., Drakopoulou, P., Salvati, L., Serra Ruiz, P., & Mavrikis, A. (2016). Soil erosion and degradation in a rapidly expanding industrial area of Eastern Mediterranean basin (Thrasio plain, Greece). *Springer*.
- Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial- Computing RUSLE using GIS-ArcGIS 8.1, ArcMap. (n.d.). Retrieved from D:\Literature\RUSLE\ArcMAP Commands for Computing RUSLE.html
- Weischmeir, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Prediction rainfall erosion losses-A guide to conservation planning*. U.S.A: Handbook.
- Wind erosion. (2011). *Department of Environment and Resoure Mangement, Queensland Government*. Retrieved from <https://www.qld.gov.au/dsiti/assets/soil/wind-erosion.pdf>
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Technical Report Agri. Handbook No. 537, Science and Education Administration, USDA.
- Woolhiser, D. A., Roger, E., Smith, R., Goodrich, D. C., & Unkrich, C. (n.d.). KINEROS2 Kinematic simulation of catchment runoff and erosion processes. United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. Retrieved from <https://www.ars.usda.gov/plains-area/fort-collins-co/center-for-agricultural-resources-research/water-management-systems-research/docs/kineros2/>
- Yoder, D. C., Foster, G. R., Weesies, G. A., Renard, K. G., McCool, D. K., & Lown, J. B. (n.d.). Evaluation of the RUSLE Soil Erosion Model1. Southern Cooperative Series Bulletin.

