



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Π.Μ.Σ. « Γεωπεριβάλλον, Φυσικοί Πόροι & Γεωργική Μηχανική »

Κατεύθυνση «Γεωπεριβάλλον & Εφαρμογές Νέων Τεχνολογιών για τα Έργα Υποδομής»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

« ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ & GIS »



Γεώργιος Χ. Αθανασάκης

Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

ΑΘΗΝΑ 2018



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Π.Μ.Σ. « Γεωπεριβάλλον, Φυσικοί Πόροι & Γεωργική Μηχανική »

Κατεύθυνση «Γεωπεριβάλλον & Εφαρμογές Νέων Τεχνολογιών για τα Έργα Υποδομής»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**« ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ & GIS »**



Γεώργιος Χ. Αθανασάκης

Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

ΑΘΗΝΑ 2018

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**« ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΧΙΟ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ & GIS »**

Γεώργιος Χ. Αθανασάκης

Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής ΓΠΑ

Εμμανουήλ Ψωμιάδης, ΕΔΙΠ ΓΠΑ

Περίληψη

Οι Δασικές πυρκαγιές είναι από τις πιο επικίνδυνες φυσικές καταστροφές, που επηρεάζουν σημαντικά το οικοσύστημα και έχουν αρνητικές συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον του πλανήτη μας.

Τα Γεωχωρικά δεδομένα αποτελούν αξιόπιστα και αποτελεσματικά εργαλεία για την αποτύπωση, καταγραφή και παρακολούθηση των αλλαγών της γήινης επιφάνειας. Η συνεργασία της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων έχει καταστεί πολύ χρήσιμη για την ακριβή ανάδειξη μιας καμένης έκτασης, την καταγραφή των επιπτώσεων μετά από μια πυρκαγιά, αλλά και την διερεύνηση των αλλαγών στη χρήση - κάλυψη γης πριν και μετά από μια πυρκαγιά.

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Νήσος Χίος και συγκεκριμένα η περιοχή που κάηκε από την πυρκαγιά που ξέσπασε το καλοκαίρι του 2016, στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού, στην περιοχή της Βέσσας, όπου κατέκαψε 45.931 στρέμματα πευκοδάσους, βοσκότοπων και καλλιεργειών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στην περιοχή. Αρχικά εξετάστηκε ο βαθμός επίδρασης της πυρκαγιάς (δριμύτητα), καθώς και ο ρυθμός αναβλάστησης ένα χρόνο μετά, σε συνάρτηση και με την δριμύτητα της πυρκαγιάς. Κατά δεύτερον, διερευνήθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η πιθανότητα εκδήλωσης μεταπυρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, κατολισθήσεις με χρήση πολυκριτηριακών μοντέλων με σκοπό την δημιουργία θεματικών χαρτών πιθανών κινδύνων.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία στηρίχτηκε στην χρήση και επεξεργασία πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων που αποτελούν ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο και χρήσιμο εργαλείο για τη χαρτογράφηση των δασικών πυρκαγιών. Συγκεκριμένα, οι φασματικές ζώνες του κοντινού υπέρυθρου (near infrared και μέσου υπέρυθρου (mid-infrared), καθώς και του θερμικού υπέρυθρου (thermal infrared) είναι πολύ ευαίσθητες στις αλλαγές που επιφέρει μια πυρκαγιά, ανιχνεύοντας έτσι με μεγάλη αξιοπιστία τις καμένες περιοχές. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα των δορυφόρου παρατήρησης της Γης Landsat 8 (OLI). Με το λογισμικό ENVI υπολογίστηκαν φασματικοί δείκτες, όπως ο δείκτης καμένης περιοχής (BAI) και ο κανονικοποιημένος δείκτης καμένης περιοχής (NBR) των εικόνων πριν και μετά την πυρκαγιά, όπου χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη Differenced Normalized Burn Ratio (DNBR) δηλαδή του δείκτη διαφοροποίησης της βλάστησης της περιοχής πριν και μετά την πυρκαγιά. Επίσης υπολογίστηκε και ο φασματικός δείκτης βλάστησης NDVI για διερεύνηση του ρυθμού ανάπτυξης, αναγέννησης νέας βλάστησης στην καμένη έκταση μετά την πυρκαγιά και 1 χρόνο αργότερα. Τέλος δημιουργήθηκαν χάρτες πιθανής εκδήλωσης μεταπυρικών φαινομένων (Κατολίσθησης, Πλημμύρας) μέσα από την χρήση μοντελοποίησης γεωδεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων

Πληροφοριών με σκοπό να αναδειχτεί ο βαθμός ευαισθησίας της πληγείσας περιοχής απέναντι σε ενδεχόμενους μεταπυρικούς κινδύνους, καθώς και χαρτογράφηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκλήθηκαν από την πυρκαγιά εντός της πληγείσας περιοχής.

***Λέξεις Κλειδιά:** Δορυφορικά Δεδομένα Παρατήρησης της Γης, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Δριμύτητα πυρκαγιάς (DNBR), Δείκτες βλάστησης και πυρκαγιάς, Αποκατάσταση βλάστησης, Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, Μεταπυρικά φαινόμενα*

Abstract

Forest fires are regarded as one of the most threatening natural hazards for the property, infrastructure as well as ecosystems. The present study has analyzed spectral information products derived from the Landsat-8 OLI sensor together with spectral indices in order to evaluate their ability for mapping burned area and burning severity. In particular the study objectives were: (1) to identify the capability of OLI to burnt area mapping and burn severity, (2) to evaluate the contribution of several spectral indices to the overall accuracy (3) to assess post-fire effects such as flood and landslide risk and, (4) to investigate the vegetation re-growth in relation to the burn severity. As a case study, Chios Island was selected due to the recent fire event in the south-western part of the island (25/07/2016). Three multispectral Landsat-8 OLI images, acquired on 13/07/2016 (pre-fire), 15/09/2016 (post-fire) and 18/09/2017 (one year after the fire), were utilized. Several spectral indices were implemented to detect the burnt areas and assess the burn severity (Burn Area Index – BAI, Normalized Burn Ratio - NBR, Normalized Burn Ratio + Thermal - NBRT), as well as to evaluate the vegetation conditions and re-growth six months after the fire event (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI and the Normalized Difference Moisture Index - NDMI). Additionally, NBR index of pre- and post-fire images was calculated in a difference change detection procedure which estimates the Differenced Normalized Burn Ratio DNBR. Overall, a total burned area of 45,9 km² was delineated, and both burned severity map and vegetation recovery map were created and evaluated. During the last years, multispectral data has been proven to be an efficient tool for wildfires monitoring, detecting and damage assessment.

Keywords: *Earth Observation, Geographical Information Systems, burn severity, NBR, NBRT, DNBR, Landsat-8 OLI, Chios Island*

Ευχαριστίες

Το Σεπτέμβριο του 2015 έγινα δεκτός στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Θα ήθελα σε αυτό το σημείο, να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ολοκλήρωση του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών της κατεύθυνσης «Γεωπεριβάλλον και Εφαρμογές Νέων Τεχνολογιών για τα Έργα Υποδομής».

Κατ'αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διευθυντή του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών και Διευθυντή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας – Γεωλογίας Καθηγητή κ. Γεώργιο Σταμάτη. Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας – Γεωλογίας και Επιβλέποντα καθηγητή της Μεταπτυχιακής μου διατριβής Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ιωάννη Παπανικολάου, όπου μου προσέφερε πολλές μορφές γνώσης κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Κυρίως με βοήθησε να κατανοήσω σε βάθος πόσο σημαντική είναι η επιστήμη της Γεωλογίας και πόσο άμεσα συνδέεται με την Επιστήμη της Δασολογίας, καθώς και το πως αλληλεπιδρούν μέσα στο χώρο του φυσικού περιβάλλοντος. Το σημαντικότερο είναι ότι με έκανε να σκέφτομαι υπεύθυνα και με όρους πρόληψης και τον ευχαριστώ πολύ γι' αυτό. Έπειτα θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Εταιρία INFOREST RESEARCH για την πολύτιμή βοήθειά τους επάνω στα λογισμικά επεξεργασίας Τηλεπισκοπικών δεδομένων και την WWF που μου παρείχε αρκετά χρήσιμα γεωδεδομένα. Για το τέλος, επέλεξα να αφήσω και να ευχαριστήσω έναν πολύ σημαντικό άνθρωπο για μένα, τον κ. Εμμανουήλ Ψωμιάδη, ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας – Γεωλογίας. Έναν άνθρωπο που πραγματικά με δέχτηκε από το μηδέν και με εκπαίδευσε με υπομονή και επιμονή μαθαίνοντάς μου αρκετά πράγματα όλον αυτό τον καιρό. Τις γνώσεις που έλαβα στην Επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων πραγματικά τις οφείλω σε αυτόν και τον ευχαριστώ μέσα από τα βάθη της καρδιάς μου.

Γεώργιος Αθανασάκης

Αθήνα, 2018

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Ευχαριστίες	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	14
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της πτυχιακής μελέτης	14
1.2 Μεθοδολογία της διπλωματικής μελέτης.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιοχή μελέτης.....	17
2.1 Περιοχή ερεύνας.....	17
2.2 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής	19
2.3 Κλιματικές - Μετεωρολογικές συνθήκες.....	21
2.4 Γεωμορφολογία	28
2.5 Γεωλογία.....	35
2.6 Λιθοστρωματογραφία	37
2.7 Χρήσεις Γης Νήσου Χίου	43
2.8 Οικολογική ποικιλότητα Χίου και ανάλυση των ειδών που καταγράφονται σε διάφορες περιοχές του νησιού.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Δασικές πυρκαγιές – Η περίπτωση της Νήσου Χίου	46
3.1 Δασικά οικοσυστήματα και δασικές πυρκαγιές.....	46
3.2 Παράγοντες εξέλιξης των δασικών πυρκαγιών.....	49
3.3 Είδη δασικών πυρκαγιών	53
3.4 Οι πυρκαγιές στο δασικό οικοσύστημα της Χίου	54
3.5 Το ιστορικό της πυρκαγιάς στα Μαστιχοχώρια στις 25/07/2016.....	56
3.6 Συνέπειες των δασικών πυρκαγιών	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στις Δασικές Πυρκαγιές	59
4.1 Γενικά για την Τηλεπισκόπηση.....	59
4.2 Χρήση/Κάλυψη γης	61
4.3 Τηλεπισκόπηση και ΓΠΣ στην ανίχνευση μεταβολών	62
4.4 Η χρήση της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στις πυρκαγιές.....	64
4.5 Το δορυφορικό σύστημα Landsat 8	66
4.6 Δείκτες εκτίμησης των επιφανειακών αλλαγών μετά από μια πυρκαγιά	69
4.7 Η ένταση της πυρκαγιάς (Fire Intensity)	70
4.8 Κανονικοποιημένος δείκτης δριμύτητας πυρκαγιάς (NBR).....	71
4.9 Δριμύτητα της πυρκαγιάς (Burn Severity)	72
4.10 Συλλογή δεδομένων και μέθοδοι	73
4.11 Μεθοδολογία και επεξεργασία δεδομένων.....	76

4.12 Αποτελέσματα	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Εξέταση πιθανών μεταπυρικών φαινομένων (κατολισθήσεις -πλημμύρες) από την πυρκαγιά του 2016 στην Νήσο Χίο με εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)	90
5.1 Κίνδυνος κατολισθήσεων και πλημμυρών μετά από δασικές πυρκαγιές.....	90
5.2 Μοντέλο πιθανού κατολισθητικού κινδύνου στην πληγείσα περιοχή	95
5.2.2 Δημιουργία χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LSI).....	97
5.4 Αποτελέσματα	102
5.5 Πλημμυρικά Φαινόμενα Μετά από Πυρκαγιές.....	103
5.6 Πιθανά Πλημμυρικά Φαινόμενα Μετά την Πυρκαγιά του 2016 στην Νότια Χίο	103
5.7 Μοντέλο πιθανού πλημμυρικού κινδύνου στην πληγείσα περιοχή.....	104
5.8 Μεθοδολογία	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Διερεύνηση αναγέννησης της βλάστησης με εφαρμογές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και GIS	112
6.1 Οι προσαρμοστικοί παράγοντες των φυτών απέναντι στις πυρκαγιές των Μεσογειακών Οικοσυστημάτων	112
6.2 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ..	114
6.3 Διερεύνηση του ρυθμού αναγέννησης της βλάστησης στην πληγείσα περιοχή	118
6.4 Δείκτης NDVI σε τρία χρονικά σημεία.....	118
6.5 Διαμόρφωση του δείκτη NDVI σε τρία χρονικά σημεία σε σχέση με τον διαφοροποιημένο δέκτη δριμύτητας της πυρκαγιάς DNBR	134
6.6 Αποτελέσματα	145
6.7 Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI σε τρία χρονικά σημεία σε σχέση με Γεωλογικό υπόβαθρο της πληγείσας περιοχής.	146
6.7.1 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στα Αλλουβιακά εδάφη	147
6.7.2 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στα ανθρακικά εδάφη.....	150
6.7.3 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στις εναλλαγές κλαστικών και ανθρακικών πετρωμάτων	156
6.7.4 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στα κλαστικά πετρώματα	159
6.7.5 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στους κώνους κορημάτων – πλευρικά κορήματα	162
6.8 Αποτελέσματα	165
6.8.1 Κοινή περιοχή που επλήγη 2 φορές από τις πυρκαγιές του 2012 & 2016	166
6.9 Αποτελέσματα	174
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα.....	175
Βιβλιογραφία	176

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ο Νομός Χίου στο σύνολο της Ελλάδας.....	17
Εικόνα 2. Η περιοχή μελέτης στη νήσο Χίο, όπου απεικονίζεται και ο καπνός από την πληγείσα περιοχή, όπως καταγράφηκε τον Ιούλιο του 2016 από δορυφόρο της NASA. (Πηγή NASA)	18
Εικόνα 3. Τοπογραφικός χάρτης Νήσου Χίου.....	20
Εικόνα 4. Χάρτης απεικόνισης ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου της Νήσου Χίου.....	30
Εικόνα 5. Χάρτης απεικόνισης υδρογραφικού δικτύου της Νήσου Χίου.	31
Εικόνα 6. Χάρτης απεικόνισης υδρολογικών λεκανών της Νήσου Χίου.....	32
Εικόνα 7. Χάρτης απεικόνισης τοπογραφικών κλίσεων Νήσου Χίου.....	33
Εικόνα 8. Χάρτης απεικόνισης προσανατολισμού πρανών της Νήσου Χίου.....	34
Εικόνα 9. Λιθολογικός Χάρτης Νήσου Χίου.....	36
Εικόνα 10. Γεωτεκτονικός Χάρτης Νήσου Χίου	41
Εικόνα 11. Υδρογεωλογικός Χάρτης Νήσου Χίου.....	42
Εικόνα 12. Χάρτης απεικόνισης χρήσεων γης της Νήσου Χίου (Corine 2012).....	44
Εικόνα 13. Εικονογράφιση της έντασης ενάντια στη σοβαρότητα της καύσης	70
Εικόνα 14. Δορυφορική Εικόνα Landsat 8 πριν την πυρκαγιά στις 13/07/16.	74
Εικόνα 15. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/16	75
Εικόνα 16. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016, υπολογισμός του δείκτη καμένης περιοχής Burn Area Index (BAI).....	81
Εικόνα 17. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 πριν την πυρκαγιά στις 15/09/2016, υπολογισμός του Κανονικοποιημένου Δείκτης Καμένης περιοχής Normalised Burn Ratio (NBR) PreFire	82
Εικόνα 18. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016, υπολογισμός του Κανονικοποιημένου Δείκτης Καμένης περιοχής Normalised Burn Ratio (NBR) PostFire	83
Εικόνα 19. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016, υπολογισμός του Κανονικοποιημένου Δείκτη Καμένης περιοχής + το θερμικό κανάλι Normalised Burn Ratio + Thermal (NBRT) PostFire	84
Εικόνα 20. Δορυφορικές εικόνες Landsat 8 πριν την πυρκαγιά στις 13/07/16 και μετά την πυρκαγιά στις 15/09/16. Διαφορά των δεικτών Normalised Burn Ratio PreFireNBR και PostFireNBR για τον υπολογισμό του Differenced Normalized Burn Ratio (DNBR).....	85

Εικόνα 21. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016, δείκτης δριμύτητας πληγείσας περιοχής Differenced Normalized Burn Ratio (DNBR)	86
Εικόνα 22. Δείκτης Δριμύτητας Πυρκαγιάς DNBR	87
Εικόνα 23. Απεικόνιση ψηφιδωτού αρχείου του δείκτη DNBR σε αρχείο KML	88
Εικόνα 24. Χάρτες παραγόντων πολυκριτηριακού μοντέλου εκτίμησης πιθανού κινδύνου κατολίσθησης.....	100
Εικόνα 25. Χάρτης εκδήλωσης πιθανού κατολισθητικού κινδύνου.....	101
Εικόνα 26. Χάρτες παραγόντων πολυκριτηριακού μοντέλου εκτίμησης πιθανού κινδύνου πλημμύρας.....	108
Εικόνα 27. Χάρτης εκδήλωσης πιθανού πλημμυρικού κινδύνου	109
Εικόνα 28. Χάρτης της χρήσης/κάλυψης γης που επλήγη από την πυρκαγιά.....	110
Εικόνα 29. Χάρτης λεκανών απορροής της πληγείσας περιοχής	111
Εικόνα 30. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 πριν την πυρκαγιά στις 13/07/16 ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση (FLAASH), Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	116
Εικόνα 31. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/16 ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση (FLAASH), Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	117
Εικόνα 32. Απεικόνιση σημείων δειγματοληψίας σε αρχείο KML (Google EarthPro)	119
Εικόνα 33. Δείκτης NDVI στην πληγείσα περιοχή πριν την πυρκαγιά.....	120
Εικόνα 34. Δείκτης NDVI στην πληγείσα περιοχή πριν την πυρκαγιά, δειγματοληπτικός έλεγχος σε 500 σημεία	121
Εικόνα 35. Δείκτης NDVI στην πληγείσα περιοχή μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016...	122
Εικόνα 36. Δείκτης NDVI στην πληγείσα περιοχή μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016, δειγματοληπτικός έλεγχος σε 500 σημεία.....	123
Εικόνα 37. Δείκτης NDVI στην πληγείσα περιοχή 1 χρόνο μετά την πυρκαγιά στις 18/09/2017	124
Εικόνα 38. Δείκτης NDVI στην πληγείσα περιοχή 1 χρόνο μετά την πυρκαγιά στις 18/09/2017, δειγματοληπτικός έλεγχος σε 500 σημεία	125
Εικόνα 39. Δείκτης DNBR στην πληγείσα περιοχή	135
Εικόνα 40. Δείκτης DNBR, δειγματοληπτικός έλεγχος σε 500 σημεία	136
Εικόνα 41. Γεωλογικοί σχηματισμοί πληγείσας περιοχής.....	146
Εικόνα 42. Αλουβιακές αποθέσεις.....	147

Εικόνα 43. Σημεία ελέγχου στις αλουβιακές αποθέσεις.....	148
Εικόνα 44. Ανθρακικά εδάφη στην πληγείσα περιοχή	150
Εικόνα 45. Σημεία ελέγχου στα ανθρακικά εδάφη στην πληγείσα περιοχή.....	151
Εικόνα 46. Εναλλαγές κλαστικών -ανθρακικών πετρωμάτων στην πληγείσα περιοχή.....	156
Εικόνα 47. Σημεία ελέγχου στις εναλλαγές κλαστικών - ανθρακικών πετρωμάτων στην πληγείσα περιοχή	157
Εικόνα 48. Κλαστικά πετρώματα στην πληγείσα περιοχή	159
Εικόνα 49. Σημεία ελέγχου κλαστικών πετρωμάτων στην πληγείσα περιοχή	160
Εικόνα 50. Κώνοι κορημάτων – πλευρικά κορήματα πληγείσας περιοχής.....	162
Εικόνα 51. Σημεία ελέγχου κώνων κορημάτων - πλευρικών κορημάτων στην πληγείσα περιοχή.....	163
Εικόνα 52. Απεικόνιση καμένης έκτασης από την πυρκαγιά του 2012	167
Εικόνα 53. Α Απεικόνιση καμένης έκτασης από την πυρκαγιά του 2016.....	168
Εικόνα 54. Απεικόνιση της κοινής καμένης έκτασης από τις πυρκαγιές του 2012 & 2016.....	169
Εικόνα 55. Απεικόνιση καμένης περιοχής κοινών σημείων από τις πυρκαγιές 2012 – 2016 σε αρχείο KML	170
Εικόνα 56. Απεικόνιση της κοινής καμένης έκτασης.....	171
Εικόνα 57. Σημεία ελέγχου για το δείκτη NDVI πριν και 1 Χρόνο μετά.....	172

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Κάλυψη χρήσεων γης Νήσου Χίου	43
Πίνακας 2. Κύρια χαρακτηριστικά του δορυφορικού συστήματος Landsat 8	68
Πίνακας 3. Κανάλια του Landsat 8 (OLI)	68
Πίνακας 4. Επίπεδα βαρύτητας που προκύπτουν από τον υπολογισμό του DNBR.....	72
Πίνακας 5. Απεικόνιση καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8 για τον υπολογισμό φασματικών δεικτών	75
Πίνακας 6. Τιμές Δριμύτητας Πυρκαγιάς.....	80
Πίνακας 7. Ποσοστά καμένης έκτασης με βάση τον DNBR	89
Πίνακας 8. Ρυθμιστικοί παράγοντες και διαχρονικές επιπτώσεις των πυρκαγιών σε μια υδρολογική λεκάνη.	94

Πίνακας 9. Πολυκριτηριακή ανάλυση πιθανού κινδύνου κατολίσθησης.....	98
Πίνακας 10. Ποσοστά Κινδύνου Κατολίσθησης	102
Πίνακας 11. Ιστορικό Πλημμυρών στην Νήσο Χίο.....	105
Πίνακας 12. Μοντέλο Πιθανού Πλημμυρικού Κινδύνου	107
Πίνακας 13. Ποσοστά Χρήσεων Γης που Επηρεάστηκαν	112
Πίνακας 14. Ο παραπάνω πίνακας μας απεικονίζει τις τιμές που παίρνει ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης.....	115
Πίνακας 15. Επεξεργασία πινάκων σημείων δειγματοληψίας από την πληγείσα περιοχή στο Excel.....	126
Πίνακας 16. Επεξεργασία πινάκων σημείων δειγματοληψίας από την πληγείσα περιοχή στο Excel.....	127
Πίνακας 17. Επεξεργασία πινάκων σημείων δειγματοληψίας από την πληγείσα περιοχή στο Excel.....	128

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Σύγκριση της φασματικής απόκρισης της υγιούς βλάστησης και των καμένων περιοχών.....	71
Σχήμα 2. Διάγραμμα λήψης δεδομένων από τον δορυφόρο παρατήρησης Γης	73
Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής εργασιών που ακολουθήθηκε.....	78
Σχήμα 4. Επιπτώσεις Πυρκαγιάς	93
Σχήμα 5. Διαγράμματα απεικόνισής του δείκτη NDVI πριν, μετά και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά από δεδομένα Landsat – 8 μετά από δειγματοληψία 500 σημείων μέσα στην περιοχή ερευνάς μας.	133
Σχήμα 6. Διάγραμμα μέσου όρου του δείκτη βλάστησης NDVI σε 3 χρονικά σημεία.....	133
Σχήμα 7. Διάγραμμα σημείων δειγματοληψίας DNBR.....	137
Σχήμα 8. Διαγράμματα απεικόνισής του δείκτη NDVI σε σχέση με τον DNBR πριν, μετά και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά από δεδομένα Landsat – 8 μετά από δειγματοληψία 500 σημείων μέσα στην περιοχή ερευνάς μας.....	144
Σχήμα 9. Διάγραμμα Αποικόνησης Συσχέτισης Δεικτών NDVI 1 Year After / DNBR..	145
Σχήμα 10. Διάγραμμα του δείκτη NDVI στις Αλλουβιακές αποθέσεις.....	149

Σχήμα 11. Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στα ανθρακικά πετρώματα	155
Σχήμα 12. Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στις εναλλαγές κλαστικών – ανθρακικών πετρωμάτων στην πληγείσα περιοχή.....	158
Σχήμα 13. Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στα κλαστικά πετρώματα στην πληγείσα περιοχή	161
Σχήμα 14. Δ Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στους κώνους κορημάτων – πλευρικά κορήματα στην πληγείσα περιοχή.....	164
Σχήμα 15. ΜΟ του δείκτη NDVI 1 χρόνο μετά, σε κάθε Γεωλογικό σχηματισμό της πληγείσας περιοχής	165
Σχήμα 16. Μ.Ο τιμών NDVI στη μη κοινή καμένη έκταση	173
Σχήμα 17. Μ.Ο τιμών NDVI στη κοινή καμένη έκταση	173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της πτυχιακής μελέτης

Την καλοκαιρινή περίοδο στην Ελλάδα, πλήθος πυρκαγιών κατακαίουν τεράστιες δασικές εκτάσεις και επιφέρουν μεγάλη οικολογική καταστροφή και σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου, λόγω της ξηρής και θερμής καλοκαιρινής περιόδου ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς είναι πολύ υψηλός. Οι Δασικές πυρκαγιές εκτός του ότι αλλάζουν όλη την οικολογική ισορροπία του οικοσυστήματός στο χερσαίο περιβάλλον, είναι παράλληλα υπεύθυνες σε μεγάλο βαθμό και για πιθανές ανθρώπινες απώλειες, όπως συνέβη στα ακραία φαινόμενα του 2007 στην Ελλάδα και του 2017 στην Πορτογαλία.

Η παρατήρηση της γης από το διάστημα αποτελεί τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του φυσικού περιβάλλοντος και ιδιαίτερα η παρατήρηση, ανίχνευση, διαχείριση και μελέτη των φυσικών καταστροφών. Ο όρος Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) χρησιμοποιείται για την περιγραφή της διαδικασίας λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο ή μία περιοχή, με τη χρήση συσκευών που δεν βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης. Οι τεχνικές της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης παρέχουν αποτελεσματικά και οικονομικά αποδοτικά εργαλεία για την πρόληψη (ανίχνευση, διαχείριση της καύσιμης ύλης), παρακολούθηση και χαρτογράφηση της εξέλιξης των δασικών πυρκαγιών, δηλαδή την καταγραφή ζημιών μετά την πυρκαγιά και την αξιολόγηση της μετέπειτα αποκατάστασης του τοπίου. Ο βαθμός των αλλαγών μετά από μια πυρκαγιά ποικίλλει ανάλογα με το είδος της βλάστησης. Για το λόγο αυτό οι τεχνικές διαχρονικής σύγκρισης δορυφορικών δεδομένων, οι οποίες περιλαμβάνουν εικόνες πριν μετά την πυρκαγιά, είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς (White et al., 1996; Cocke et al., 2005; Hudak et al., 2005; Lentile et al., 2006).

Η παρατήρηση φασματικών αλλαγών που οφείλονται στη φωτιά έχει οδηγήσει στη χρήση διαφόρων φασματικών δεικτών (συνδυασμοί και μαθηματικές πράξεις διαφόρων φασματικών καναλιών), όπως για παράδειγμα του δείκτη NBR (Normalised Burn Ratio), του δείκτη ΔNBR (αποτελεί τη διαφορά μεταξύ του δείκτη NBR σε εικόνες πριν και μετά την πυρκαγιά) και τον δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Οι δύο πρώτοι δείκτες χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξέταση της δριμύτητας μιας πυρκαγιάς (Key and Benson, 2002).

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη Νήσο Χίο στο βορειοανατολικό Αιγαίο. Στο δυτικό τμήμα του νησιού έχουν λάβει χώρα αρκετά συμβάντα πυρκαγιών κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Το δασικό

οικοσύστημα της Χίου ανήκει στην κατηγορία των μεσογειακών οικοσυστημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από εύφλεκτη βλάστηση σε ένα περιβάλλον με πληθώρα φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών, έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιών. Το νησί σε μεγάλη έκταση αποτελείται από πευκοδάση και θαμνότοπους, δημιουργώντας ένα οικοσύστημα όπου ευνοεί αρκετά συχνά την εμφάνιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών (Καλαμποκίδης, 1995).

Το καλοκαίρι του 2016 στις 25 Ιουλίου, στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού ξέσπασε η πιο πρόσφατη καταστροφική πυρκαγιά η οποία ξεκίνησε από το χωριό Βέσσα. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της περιοχής που κάηκε, είχε καεί επίσης στο παρελθόν το καλοκαίρι του 2012.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του δορυφόρου παρατήρησης της Γης, Landsat-8 (OLI) της NASA. Η σειρά των δορυφόρων Landsat και ιδιαίτερα ο Landsat-8, αποτελεί ένα από τα πλέον δοκιμασμένα, μελετημένα και αξιόπιστα δορυφορικά συστήματα στις μελέτες περιβάλλοντος. Το σύστημα καταγραφής, όργανο OLI του Landsat-8, παρέχει καταγραφές στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) και στο μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR-2) φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού του δείκτη NBR, καθώς και του δείκτη NDVI.

Ο σκοπός της μελέτης είναι η επεξεργασία των παραπάνω δορυφορικών δεδομένων και του υπολογισμού διάφορων φασματικών δεικτών για την δημιουργία ενός χάρτη δριμύτητας της πυρκαγιάς ώστε να διερευνηθεί η κατάσταση της βλάστησής μετά την πυρκαγιά καθώς και να γίνει μια εκτίμηση του μελλοντικού ρυθμού ανάπτυξης νέας βλάστησης (αναβλάστησης) σε σχέση με την δριμύτητα που προκλήθηκε στην επιφάνεια τους εδάφους της πληγείσας περιοχής.

1.2 Μεθοδολογία της διπλωματικής μελέτης

Η καταγραφή των ζημιών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκλήθηκαν από την πυρκαγιά που ξέσπασε στις 25/07/2016 στην περιοχή Βέσσα Χίου στο νότιο τμήμα του νησιού πραγματοποιήθηκε με την χρήση γεωχωρικών και δορυφορικών δεδομένων.

Σε πρώτο στάδιο συλλέχθηκαν ελεύθερα γεωχωρικά δεδομένα από την διαδικτυακή υπηρεσία (<http://geodata.gov.gr/>) και από την WWF. Στη συνέχεια συλλέχθηκαν ελεύθερα δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης σε 3 χρονικά σημεία, πριν και μετά τη φωτιά στις 13 Ιουλίου και στις 15 Σεπτεμβρίου αντίστοιχα, καθώς και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά από το δορυφορικό σύστημα καταγραφής Landsat-8 της NASA.

Το όργανο (Σαρωτής) Operational Land Imager (OLI) του Landsat-8 (L8) καταγράφει σε μήκη κύματος του ορατού και υπέρυθρου (κοντινό, μέσο και θερμικό) τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με χωρική ανάλυση 30m, ενώ υπάρχει και παγχρωματική καταγραφή στα 500-680nm, με χωρική ανάλυση 15m. Κάθε σκηνή καλύπτει επιφάνεια 170x185km με ραδιομετρική ανάλυση 16 bit, σε μορφή GeoTIFF και λαμβάνονται μέσω της διαδικτυακής υπηρεσίας Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Τα δορυφορικά δεδομένα που συλλέχθηκαν πέρασαν από τα στάδια της προεπεξεργασίας και επεξεργασίας όπου πραγματοποιήθηκε η συγχώνευση των εικόνων ώστε να καθίσταται πιο εύκολη η επεξεργασία τους. Στη συνέχεια πέρασαν από τα στάδια της Γεωμετρικής, Ραδιομετρικής και Ατμοσφαιρικής διόρθωσης με σκοπό να βελτιωθεί ευκρίνειά τους. Στο επόμενο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η διαμόρφωση και ο υπολογισμός των φασματικών δεικτών ώστε να αποκτήσουμε τις πληροφορίες για την κατάσταση της βλάστησης μετά την πυρκαγιά καθώς και να αποτυπώσουμε την δριμύτητα του φαινομένου στον χώρο.

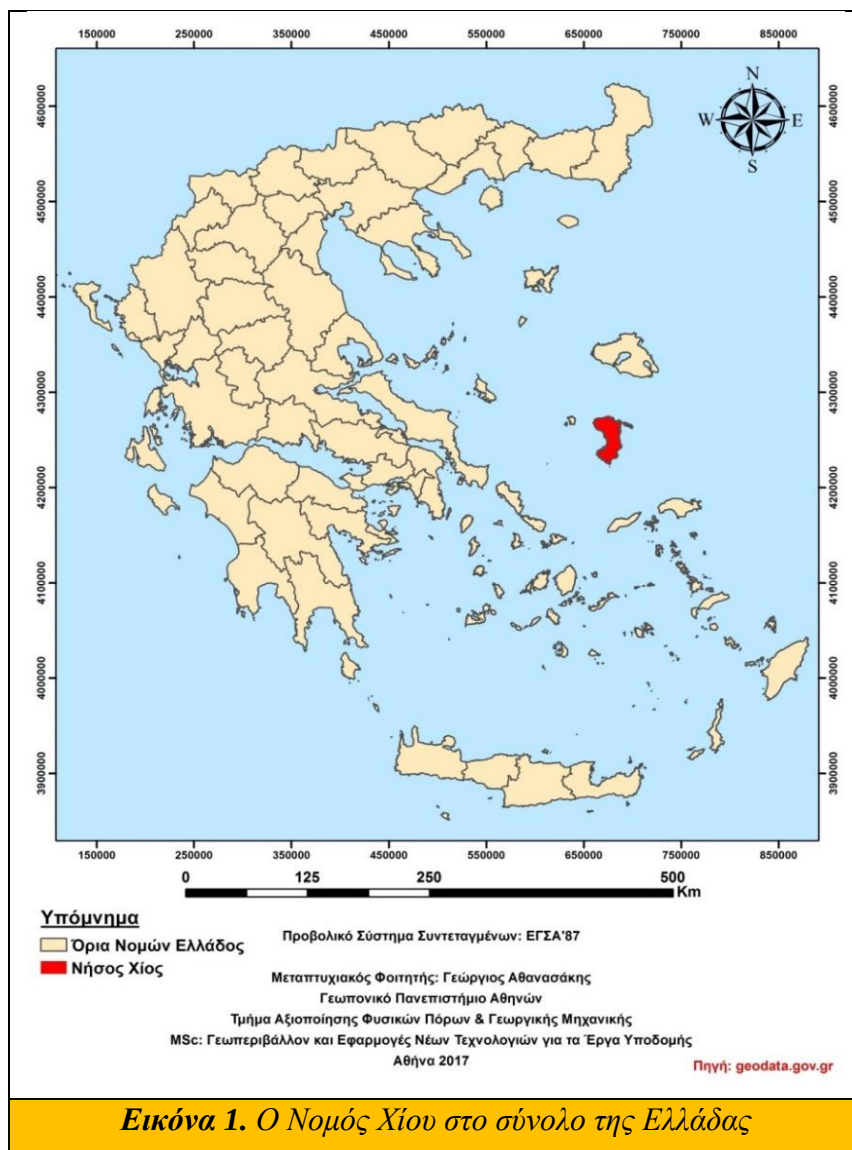
Έπειτα τα επεξεργασμένα δορυφορικά δεδομένα εισήχθησαν σε λογισμικό επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων ArcGIS 10.4 όπου πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση των καμένων εκτάσεων με σκοπό να αποτυπωθεί με μεγάλη ακρίβεια η αποτεφρωμένη έκταση και το μέγεθος των ζημιών από την πυρκαγιά, καθώς και ο βαθμός αναβλάστησης, σε συνάρτηση και με άλλους παράγοντες (γεωλογίας, γεωμορφολογίας και ανθρώπινων δραστηριοτήτων) της περιοχής ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά. Από τα γεωχωρικά δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες όπου απεικονίζουν τα μορφολογικά, γεωλογικά, υδρογεωλογικά, υδρολογικά και εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Τέλος κατασκευάστηκαν χάρτες πιθανών μεταπυρικών φαινομένων (εκδήλωση κινδύνου πλημμύρας, κατολισθήσεων) καθώς επίσης και χάρτες για την απεικόνιση και αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επέφερε η πυρκαγιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιοχή μελέτης

2.1 Περιοχή ερεύνας

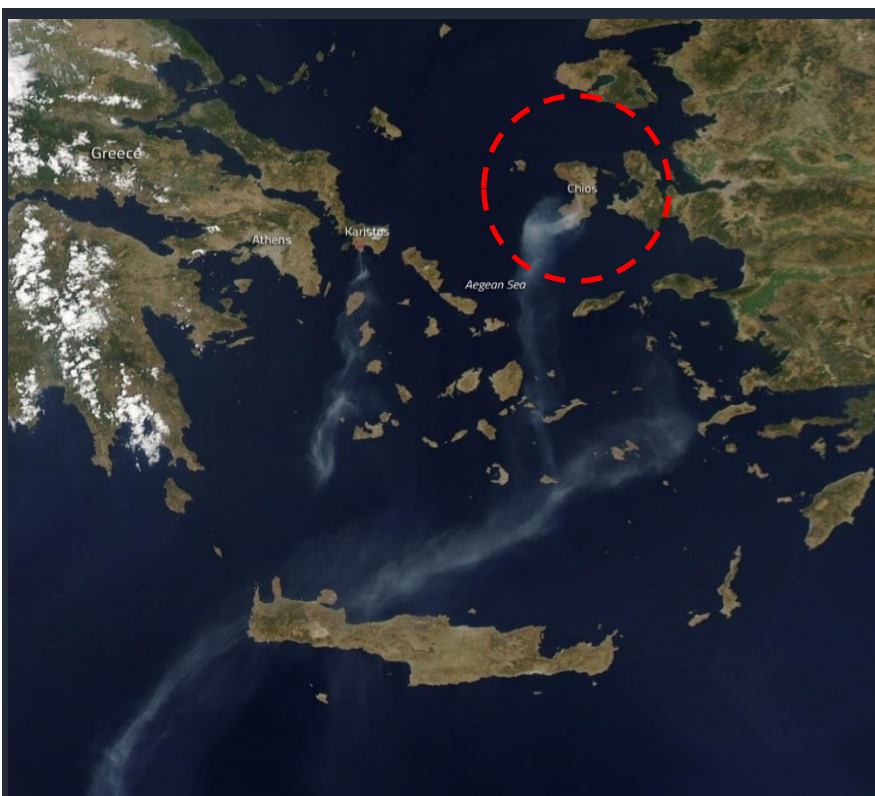
Η περιοχή μελέτης στην παρούσα διπλωματική διατριβή είναι η νήσος Χίος και συγκεκριμένα η ευρύτερη περιοχή της Βέσσας στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού όπου επλήγη από πυρκαγιά τον Ιούλιο του 2016. Η πυρκαγιά αυτή αποτέφρωσε μία μεγάλη έκταση όπου επικρατούσε κυρίως δασική κάλυψη, μόνιμες γεωργικές καλλιέργειες και βοσκοτόπια. Η νήσος Χίος ανήκει γεωγραφικά στο Βορειοανατολικό Αιγαίο και ανήκει στο σύμπλεγμα των νησιών όπου συμπεριλαμβάνεται η Λέσβος, η Λήμνος, η Σάμος, η Ικαρία και ο Αγ. Ευστράτιος (Εικόνες 1 & 2). Μόλις 3,5 ναυτικά μίλια τη χωρίζουν από το ακρωτήριο Πούντα ως τη χερσόνησο της Ερυθραίας στο ύψος του Τσεσμέ στα παράλια της Μικράς Ασίας.



Η νήσος Χίος είναι το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας με συνολική έκταση 842,54 km² και έχει πληθυσμό 51.390 κατοίκων σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η πόλη της Χίου όπου εκεί βρίσκεται και το κύριο λιμάνι του νησιού. Διοικητικά αποτελεί την Περιφερειακή Ενότητα Χίου που ανήκει στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου μαζί με τα νησιά Ψαρά, Αντίψαρα και Οινούσσες.

Η πληγείσα περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς περιλαμβάνει πολλά χωριά και κυρίως τα Μαστιχοχώρια, τα οποία είναι γνωστά για την παραγωγή της μαστίχας επίσης καταστράφηκε μεγάλο μέρος καλλιεργειών και μαστιχοκαλλιεργειών. Ένα τμήμα της περιοχής είχε ξανακαλεί στην μεγαλύτερη καταστροφική πυρκαγιά που υπέστη το νησί της Χίου το καλοκαίρι του 2012.

Το γεγονός ότι ένα μέρος της έχει καεί ξανά στο παρελθόν δημιουργεί προβληματισμό για το μέλλον και για την πιθανή εκδήλωση φαινομένων ερημοποίησης στην περιοχή και σε μια ανισορροπία του οικολογικού περιβάλλοντος της περιοχής.



Περιοχή	842,5 km ²
Ομάδα νησιών	Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου
Πληθυσμός	51.390 (2011)

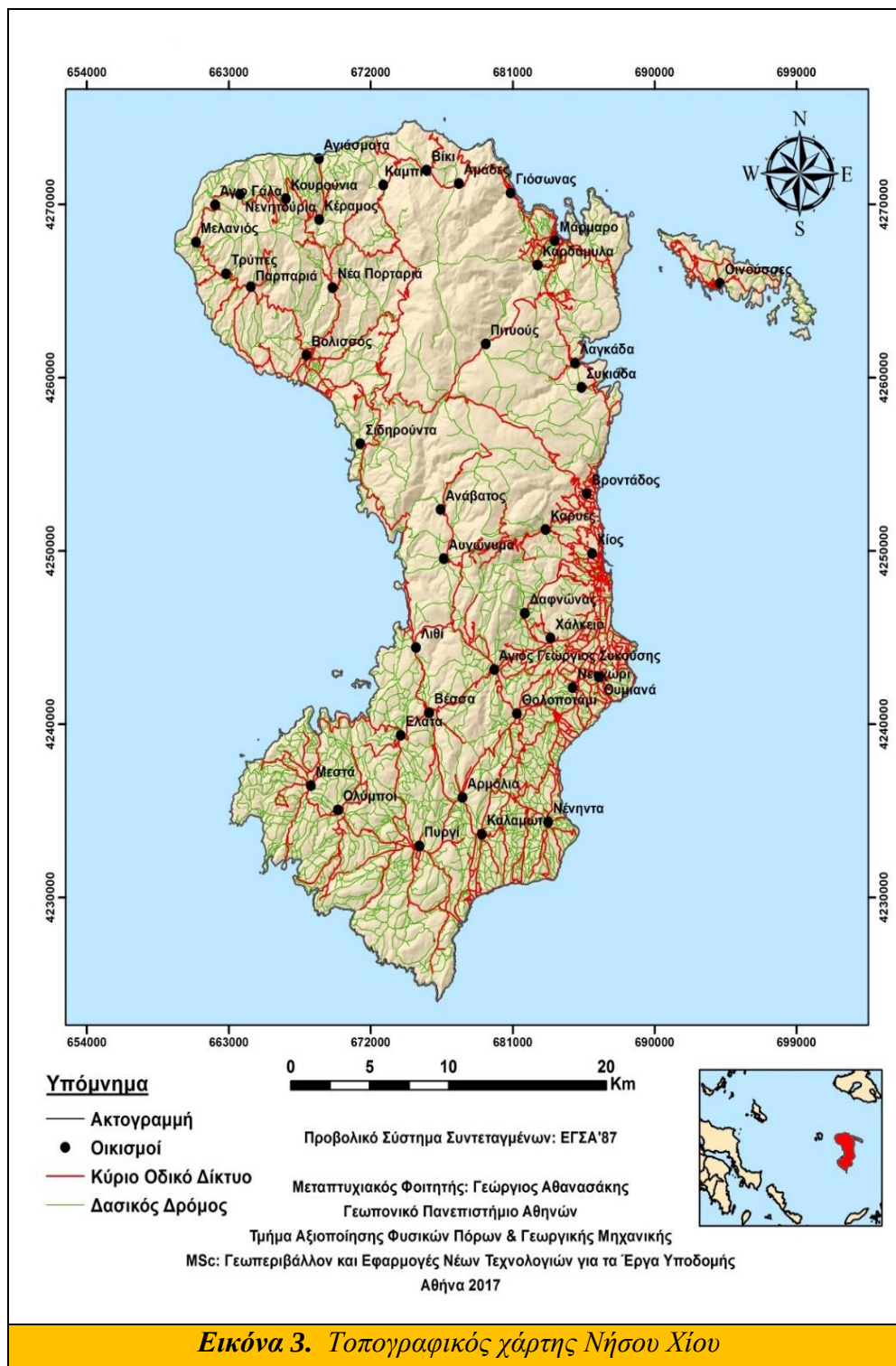
Εικόνα 2. Η περιοχή μελέτης στη νήσο Χίο, όπου απεικονίζεται και ο καπνός από την πληγείσα περιοχή, όπως καταγράφηκε τον Ιούλιο του 2016 από δορυφόρο MODIS της NASA. (Πηγή NASA)

2.2 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η Νήσος Χίος έχει μήκος περίπου 50 km από Βορρά προς Νότο και 29 km από Ανατολή προς Δύση στο φαρδύτερο τμήμα του και 12,5 km στο στενότερο, ενώ το μήκος των ακτών της φτάνει τα 213 Km. Τα εδάφη της Χίου είναι κυρίως ορεινά ενώ στα νότια και ανατολικά του νησιού σχηματίζονται μικρές πεδινές εκτάσεις. Το νότιο τμήμα του νησιού είναι γνωστό για την παραγωγή μαστίχας (*Pistacea lentiscus*) και τα γύρω χωριά που ασχολούνται με την καλλιέργεια των «μαστιχοδέντρων» (Σχίνος), ονομάζονται Μαστιχοχώρια. Στα βόρεια της Χίου βρίσκεται η οροσειρά Πελιναίο με ψηλότερη κορυφή τον Άγιο Ηλία (1.297 m), ενώ άλλες υψηλές κορυφές είναι το Όρος (1.126 m), η Αμανή (764 m), ο Προβατάς (773 m) και το Αίπος (448 m). Το νησί έχει εύκρατο μεσογειακό κλίμα, με ήπιους χειμώνες και με σπάνιες βροχές το καλοκαίρι. Οι άνεμοι συνήθως πνέουν βόρειοι - βορειοδυτικοί.

Το δασικό οικοσύστημα της Χίου κατά το παρελθόν εκτεινόταν σε πολύ μεγάλη έκταση. Δυστυχώς σήμερα δεν μπορεί να υπάρξει ένα ενιαίο δασικό οικοσύστημα αλλά βρίσκεται διάσπαρτο και σε μικρές εκτάσεις σε διάφορα σημεία του νησιού. Οι παράγοντες που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της εικόνας του σημερινού δασικού οικοσυστήματος που υπάρχει στο νησί ήταν η παράνομη υλοτόμηση των δέντρων για την παραγωγή ξυλείας και οι ανεξέλεγκτες πυρκαγιές.

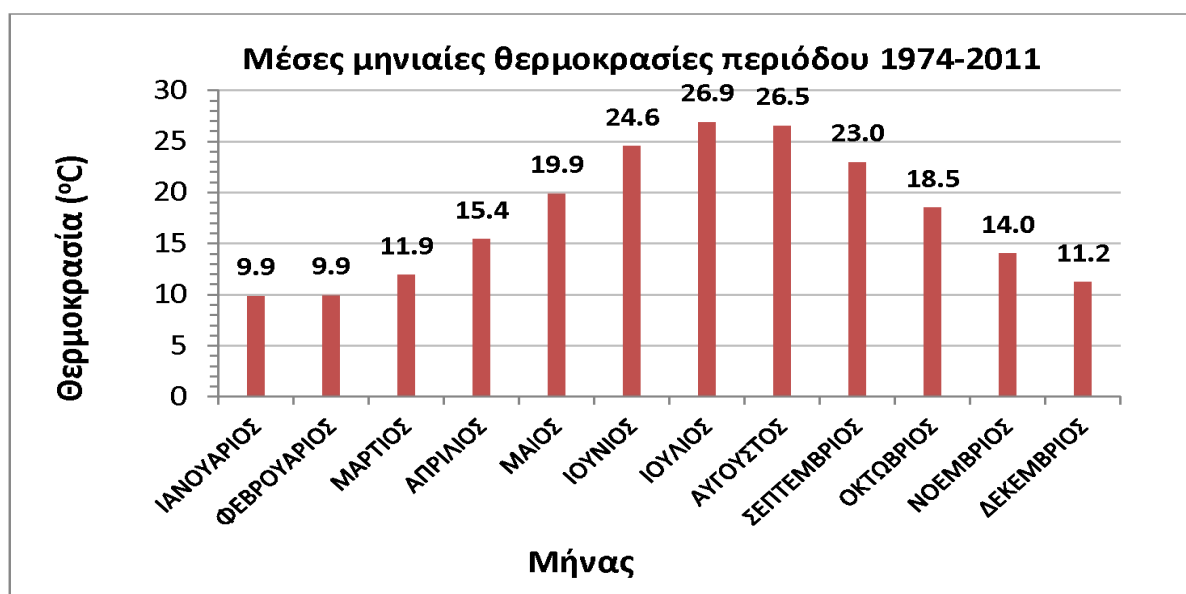
Παρακάτω παρουσιάζεται ο τοπογραφικός χάρτης της Νήσου Χίου (*Εικόνα 4*) όπου απεικονίζει το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς του νησιού, ο οποίος δημιουργήθηκε μετά από ψηφιοποίηση των αντίστοιχων τοπογραφικών χαρτών (φύλλα Βολισσός, Βροντάδος, Θυμιανά και Μεστά, κλίμακας 1:50.000).



2.3 Κλιματικές - Μετεωρολογικές συνθήκες

Οι κλιματικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ένταση του ανέμου κατέχουν σημαντικό ρόλο στον κίνδυνο εκδήλωσης αλλά και εξάπλωσης των πυρκαγιών. Στον Δήμο Χίου και γενικά στο νησί εντοπίζεται ένας μετεωρολογικός σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και βρίσκεται σε υψόμετρο 3,8 μ. με γεωγραφικές συντεταγμένες: Γεωγρ. Πλάτος: 38°20' και Γεωγρ. Μήκος: 26°08'. Πραγματοποιήθηκε λήψη δεδομένων της περιόδου 1974-2011 για θερμοκρασία, υετό, σχετική υγρασία, ένταση και διεύθυνση ανέμων. Η επεξεργασία των δεδομένων αφορούσε την στατιστική επεξεργασία στις τιμές εκείνες που συμπίπτουν με το χρονικό διάστημα της αντιπυρικής περιόδου, εξάγοντας τα παρακάτω συμπεράσματα:

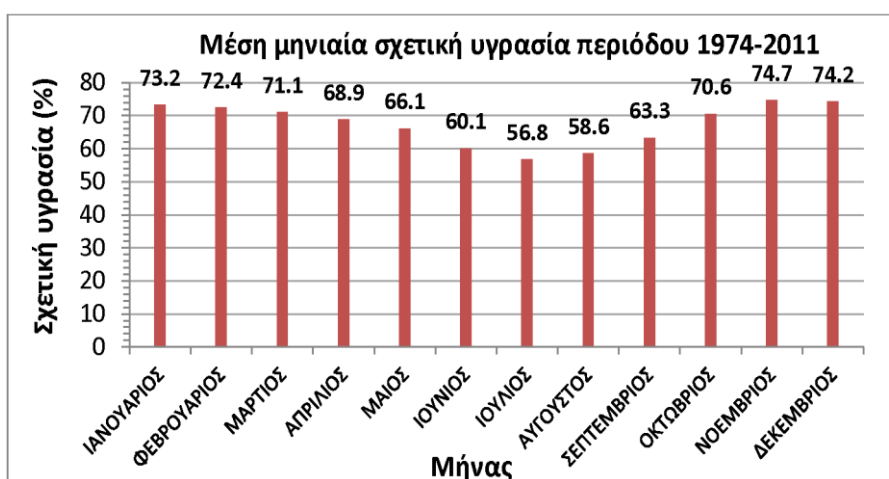
Γενικά το κλίμα της Νήσου Χίου χαρακτηρίζεται ως θερμό μεσογειακό, χαρακτηριστικό των νησιών του Ανατολικού Αιγαίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17,64 °C, η μέση σχετική υγρασία 67,51% και το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 666,3 mm. Η κύρια διεύθυνση ανέμων κατά μέσο όρο είναι Βόρειοι με μία μέση ένταση ανέμων στους 8,09 κόμβους (15 km/h). Στο παρακάτω διάγραμμα 1 απεικονίζονται οι διαφορές των μετρούμενων δεδομένων σε μηνιαίο διάστημα:



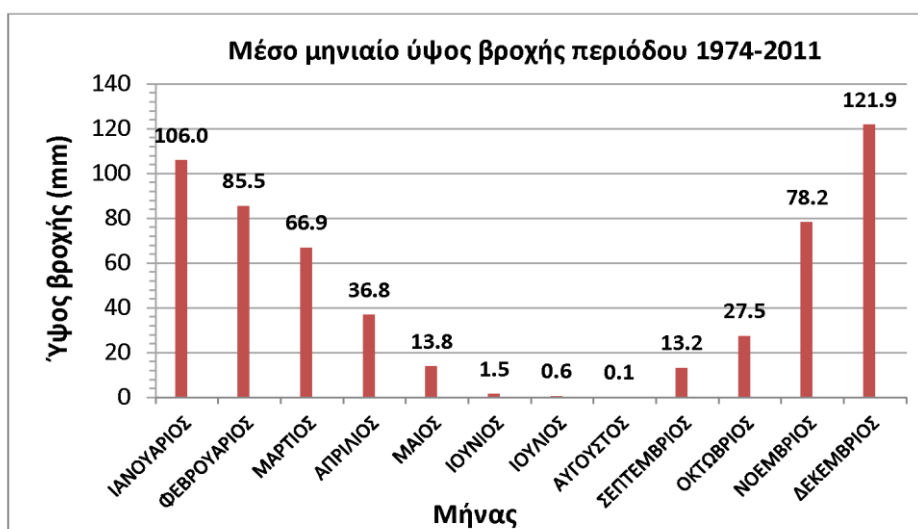
Διάγραμμα 1 (Πηγή: EMY)

Στο διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία τα τελευταία 40 χρόνια εμφανίζεται τον Ιούλιο (26,9 °C) και η μικρότερη τον Ιανουάριο (9,9 °C). Όπως παρατηρείται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2), η μέση σχετική υγρασία των τελευταίων 40 ετών είναι μεγαλύτερη κατά τον μήνα Νοέμβριο (74,7%) και μικρότερη κατά τον μήνα Ιούλιο (56,8%). Όσων

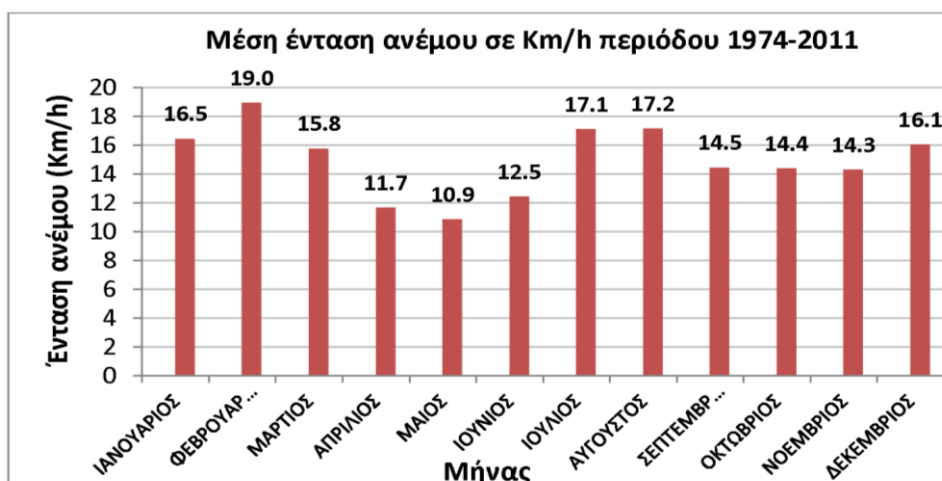
αφορά την βροχόπτωση, παρατηρείται (Διάγραμμα 3) ότι το μέσο ύψος βροχής της περιόδου 1974-2011 είναι μεγαλύτερο κατά τον μήνα Δεκέμβριο (121,9 mm) και μικρότερο τον Αύγουστο (0,11 mm). Τέλος, από τα δεδομένα των μετρούμενων εντάσεων ανέμων (Διάγραμμα 4) στην περιοχή παρατηρείται ότι η μέση ένταση ανέμου κυμαίνεται από 10,9 Km/h τον μήνα Μάιο έως 19 Km/h τον Φεβρουάριο που μαζί με τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με 17,1 Km/h και 17,2Km/h είναι οι μήνες με τις μεγαλύτερες τιμές μέσης έντασης ανέμου τα τελευταία 38 χρόνια.



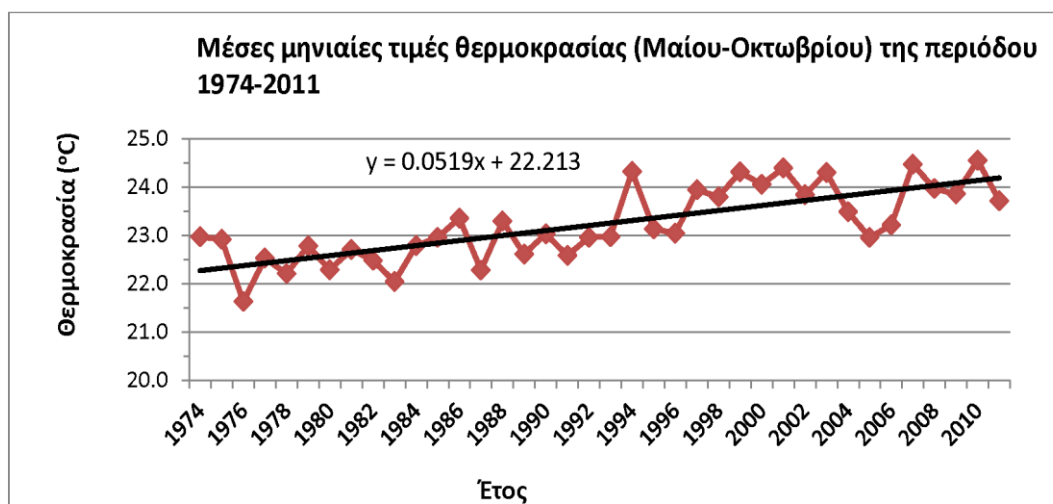
Διάγραμμα 2 (Πηγή: EMY)



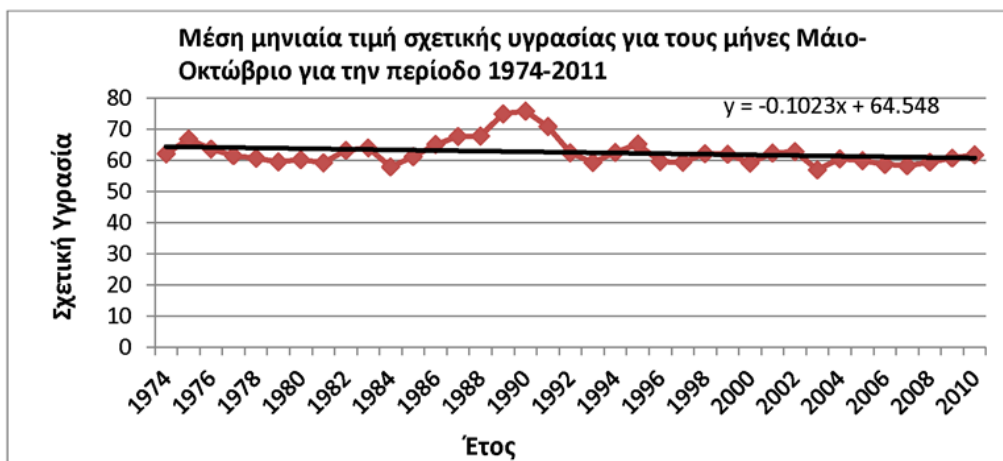
Διάγραμμα 3 (Πηγή: EMY)



Διάγραμμα 4 (Πηγή: EMY)



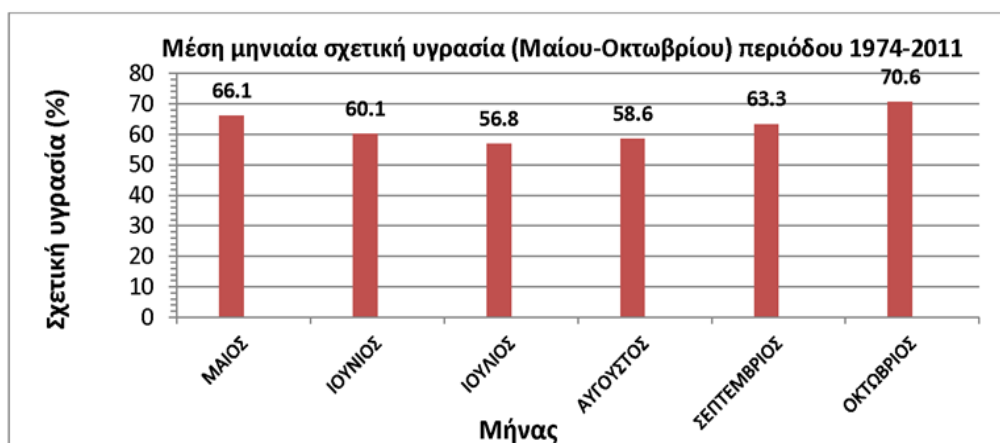
Διάγραμμα 5 (Πηγή: EMY)



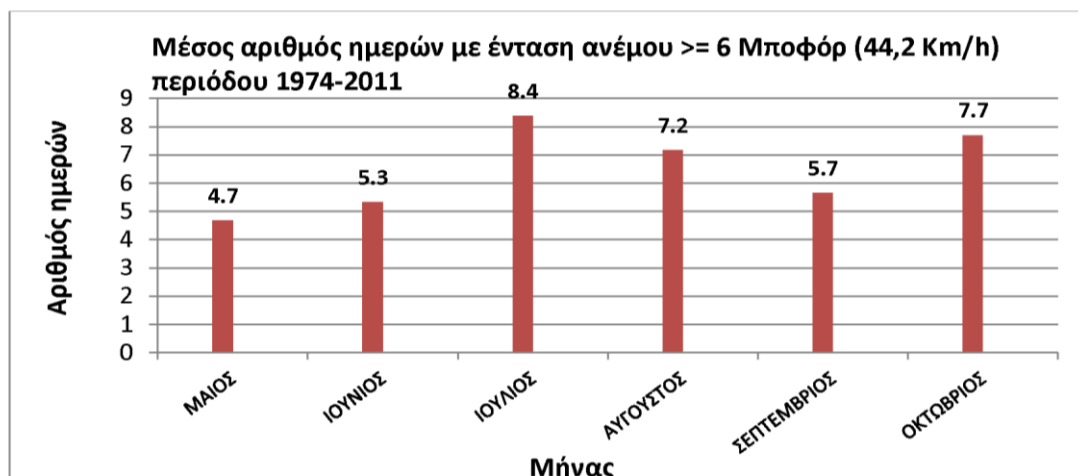
Διάγραμμα 6 (Πηγή: ΕΜΥ)



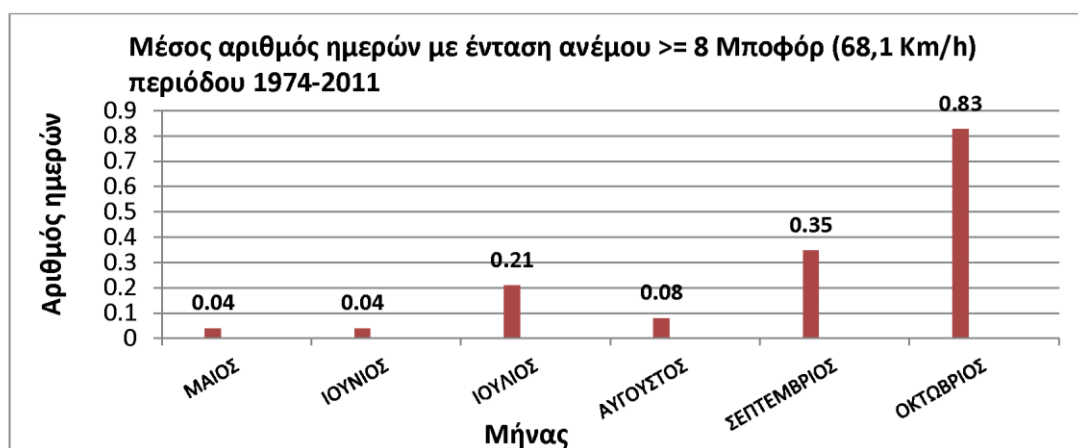
Διάγραμμα 7 (Πηγή: ΕΜΥ)



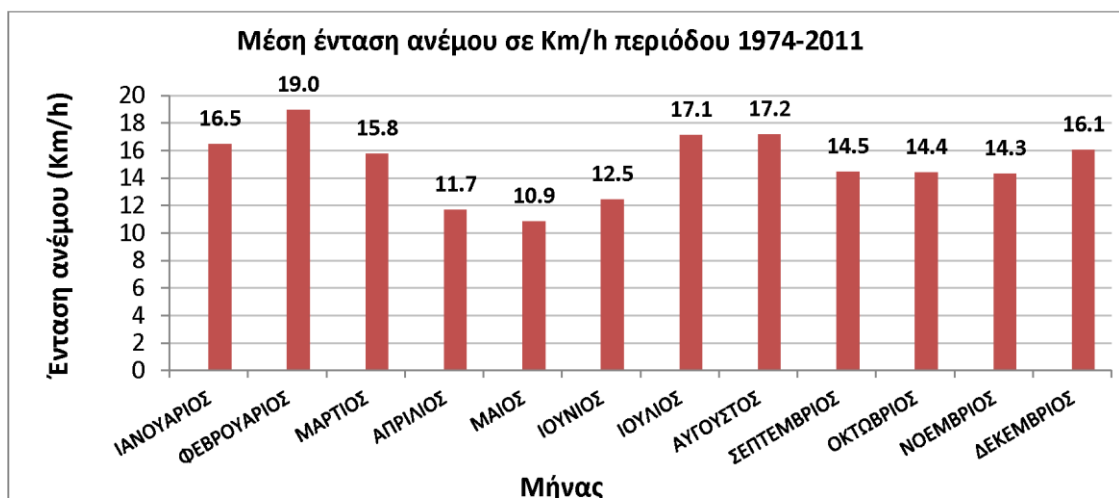
Διάγραμμα 8 (Πηγή: ΕΜΥ)



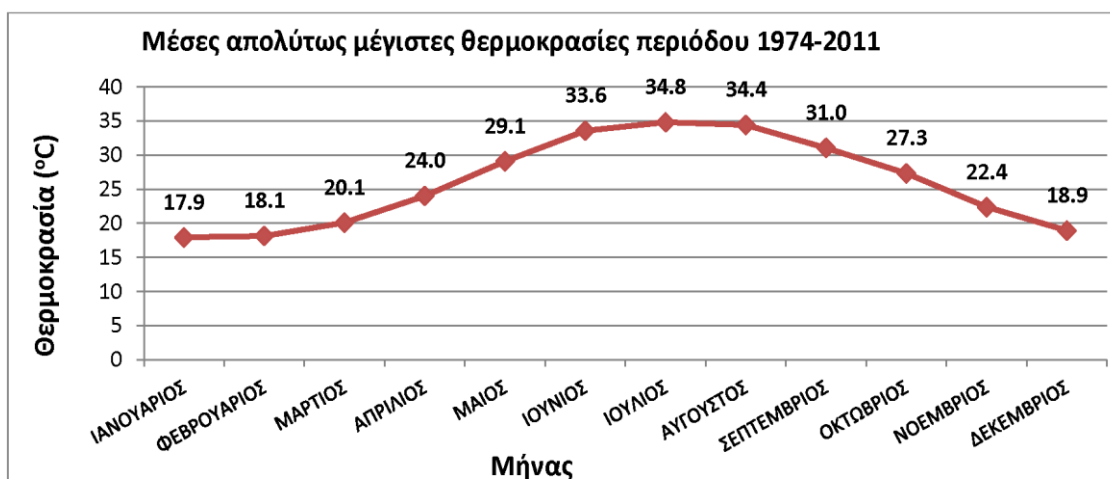
Διάγραμμα 9 (Πηγή: ΕΜΥ)



Διάγραμμα 10 (Πηγή: ΕΜΥ)



Διάγραμμα 11 (Πηγή: ΕΜΥ)

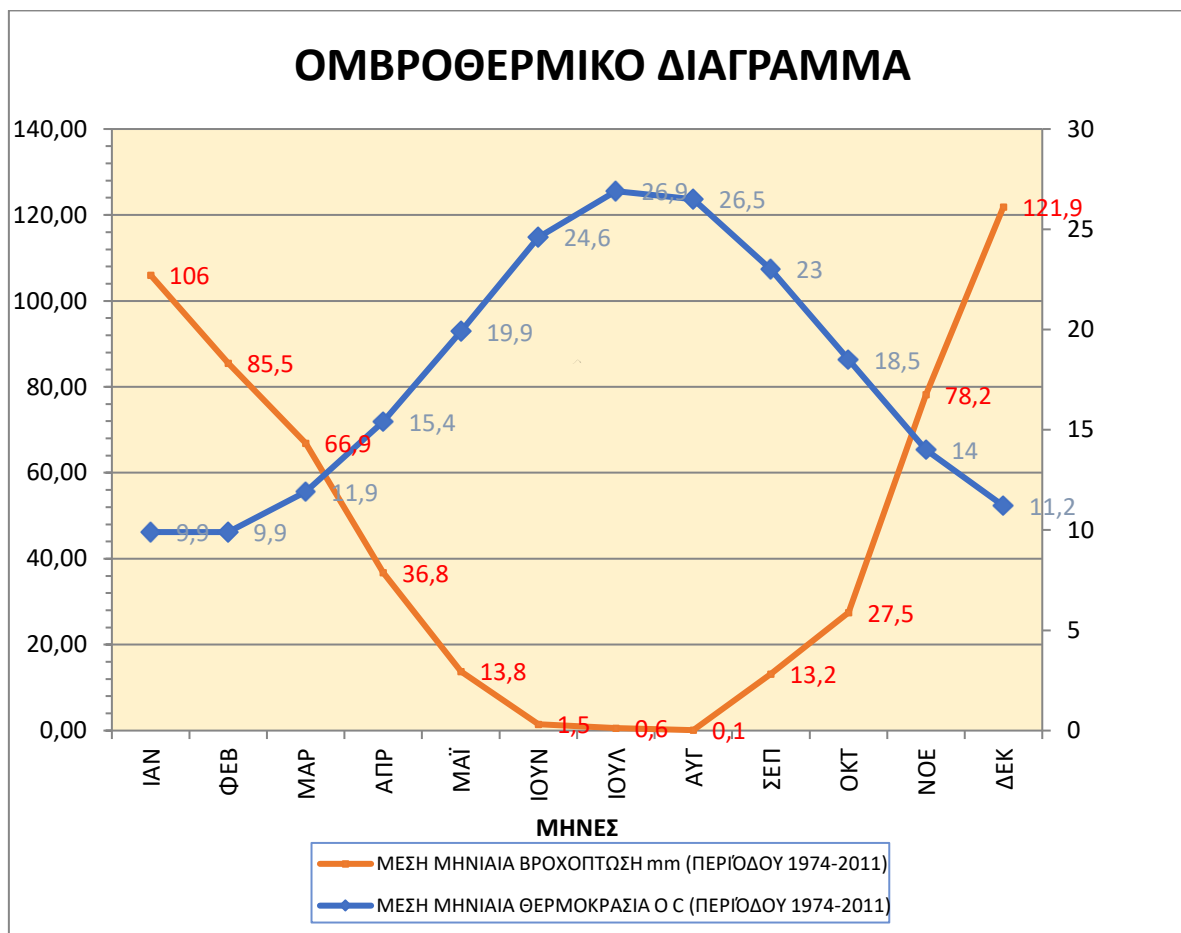


Διάγραμμα 12 (Πηγή: ΕΜΥ)



Διάγραμμα 13 (Πηγή: ΕΜΥ)

Το ομβροθερμικό διάγραμμα (Διάγραμμα 14) για την περιοχή του σταθμού και την ευρύτερη δείχνει ότι η ξηροθερμική περίοδος αρχίζει τον Απρίλιο και φθάνει μέχρι τον Οκτώβριο.6) Στην πράξη όμως η βιολογικά ξηρή περίοδος περιλαμβάνει τους μήνες Ιούνιο -Ιούλιο - Αύγουστο - Σεπτέμβριο.



Διάγραμμα 14 (Πηγή: EMY)

- Ο Ιούλιος είναι ο θερμότερος μήνας της περιόδου 1974-2001 με μέση θερμοκρασία 26,9 °C και συγκεντρώνει τα μικρότερα επίπεδα σχετικής υγρασίας με ποσοστό 56,8%.
- Κατά την αντιψυρική περίοδο (Μάιος – Οκτώβριος) ο Ιούλιος είναι ο μήνας με τον μεγαλύτερο μέσο αριθμό ημερών με ένταση ανέμου μεγαλύτερη ή ίση των 6 Beaufort (44,2 Km/h) (Διάγραμμα 9) και ο Οκτώβριος με την μεγαλύτερο μέσο αριθμό ημερών με εμφάνιση ανέμων έντασης μεγαλύτερης ή ίσης των 8 Beaufort (68,1 Km/h) (Διάγραμμα 10).
- Οι μήνες Αύγουστος-Ιούλιος είναι κατά αντιστοιχία στην δεύτερη και τρίτη θέση των μηνών με την υψηλότερη μέση ένταση ανέμου σε ετήσιο επίπεδο (Διάγραμμα 11).

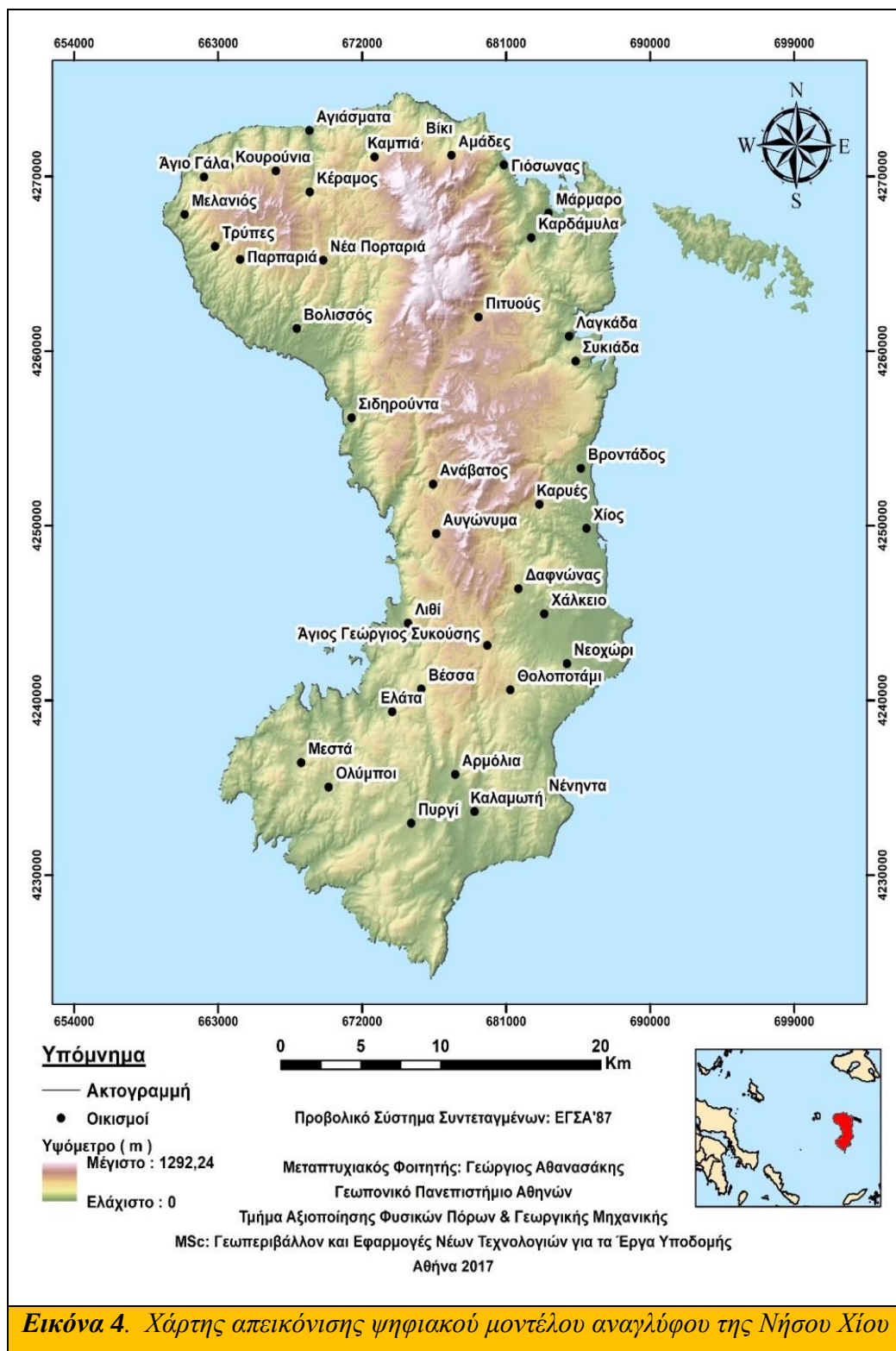
- Η μεγαλύτερη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί κατά την περίοδο 1973-2011 καταγράφεται το μήνα Αύγουστο με 40,6 °C, ενώ ακολουθούν Ιούνιος και Ιούλιος με 40,4 °C και 39,0 °C αντίστοιχα (Διάγραμμα 12).
- Ο Ιούλιος είναι ο μήνας με τις μεγαλύτερες μέσες απόλυτες μέγιστες θερμοκρασίες δηλαδή εμφανίζει πολύ συχνά τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες της περιόδου 1973-2011 (Διάγραμμα 13)

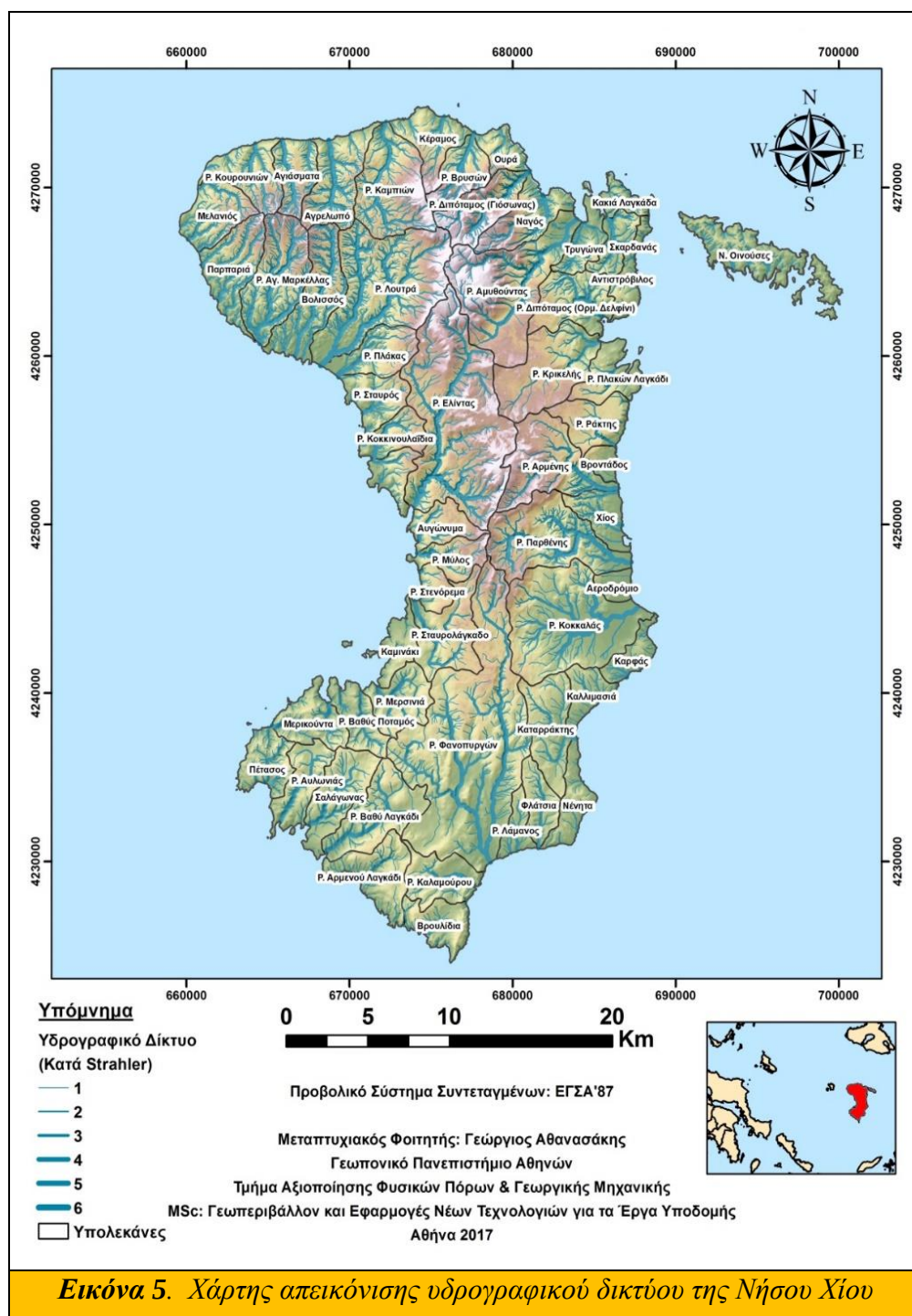
2.4 Γεωμορφολογία

Ξεκινώντας μια μορφολογική ανάλυση του νησιού η νήσος Χίος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ένα ημιορεινό νησί όπου στο κεντρικό και βορειοανατολικό τμήμα του νησιού κυριαρχεί ένα εκτεταμένο οροπέδιο, μεγάλα υψόμετρα και λοφώδεις περιοχές στο βόρειο τμήμα και ημιορεινό ανάγλυφο στο νότιο τμήμα του νησιού. Το μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειας του νησιού είναι ορεινό με μέσο υψόμετρο τα 400m. Παρατηρούμε πως από το βόρειο μέχρι το κεντρικό τμήμα του νησιού το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονο, με απότομες κλίσεις. Στο νότιο τμήμα του νησιού το ανάγλυφο εξελίσσεται ηπιότερο με εμφάνιση περισσότερων λοφωδών περιοχών χαμηλότερου υψόμετρου με πλαγιές ομαλών χαμηλότερων κλίσεων καθώς και αβαθή ρέματα. Το υψηλότερο και σημαντικότερό όρος του νησιού είναι το Πελληναίο όρος με το υψόμετρο στα 1297m στο κέντρο του βόρειου τμήματος του νησιού με πολύ απότομες κλίσεις των πλαγιών και αρκετές χαράδρες. Στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού εκτείνεται μια μικρή οροσειρά η οροσειρά της Αμάνης με υψόμετρο 809m, προς νοτιότερα βρίσκεται το Όρος στα 1186m, ο Κοχλιάς στα 926m, η Κακή Ράχη στα 525m ο Τράχωνας στα 377m και ο Κορακάρης στα 309m. Στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού εμφανίζεται ηπιότερο τοπογραφικό ανάγλυφο ενώ στο βορειοδυτικό τμήμα επικρατούν τα πετρώματα ψαμμίτες και σχιστόλιθοι του Παλαιοζωικού. Στο νοτιοανατολικό παράκτιο τμήμα του νησιού επικρατούν μικρές κοιλάδες και στις ορεινές περιοχές μικρά οροπέδια. Το σύνολο των πεδινών τμημάτων που επικρατούν στο νησί είναι πολύ λίγα, με το κυριότερο εξ αυτών να είναι ο Κάμπος, 5km νότια της πόλης της Χίου και η μικρή πεδιάδα της Βολισσού 40km βορειοδυτικά της πόλης.

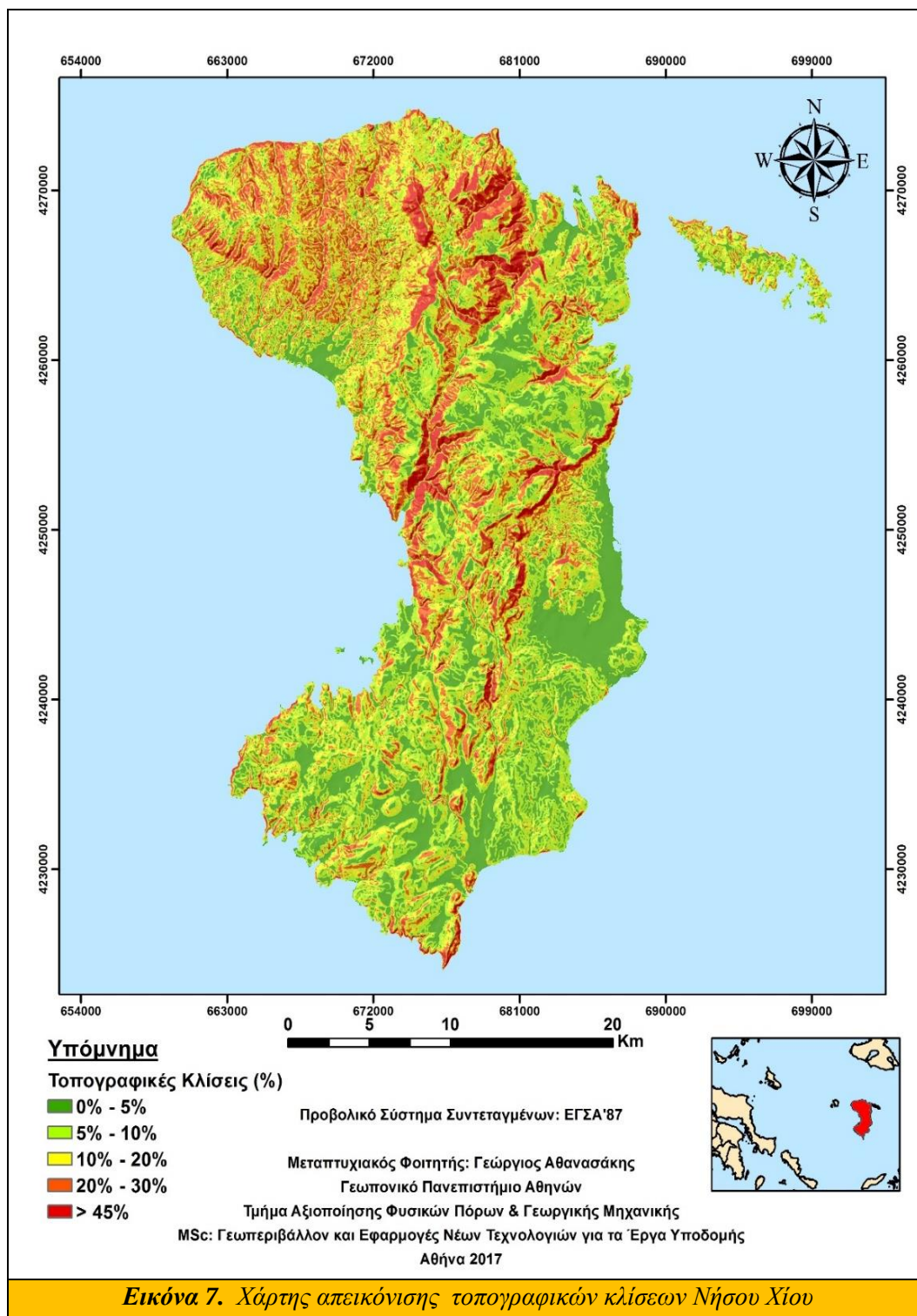
Η νήσος Χίος παρουσιάζει ένα πολύ καλά αναπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο σε όλη την έκταση της. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι άμεσο αποτέλεσμα του ελέγχου της από τη γεωλογική δομή της. Όλες σχεδόν οι λεκάνες απορροής του νησιού κατέχουν μια πολύ σημαντική έκταση, με τον κεντρικό υδροκρίτη του νησιού να έχει μια γενική διεύθυνση σχεδόν B-N, διατρέχοντας σχεδόν το μισό του νησιού. Στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού επικρατεί ένα εθιμικές δενδριτικής μορφής υδρογραφικό δίκτυο με αυξημένα μήκη κλάδων 1ης και 2ης τάξης κατά Strahler και μέτριας

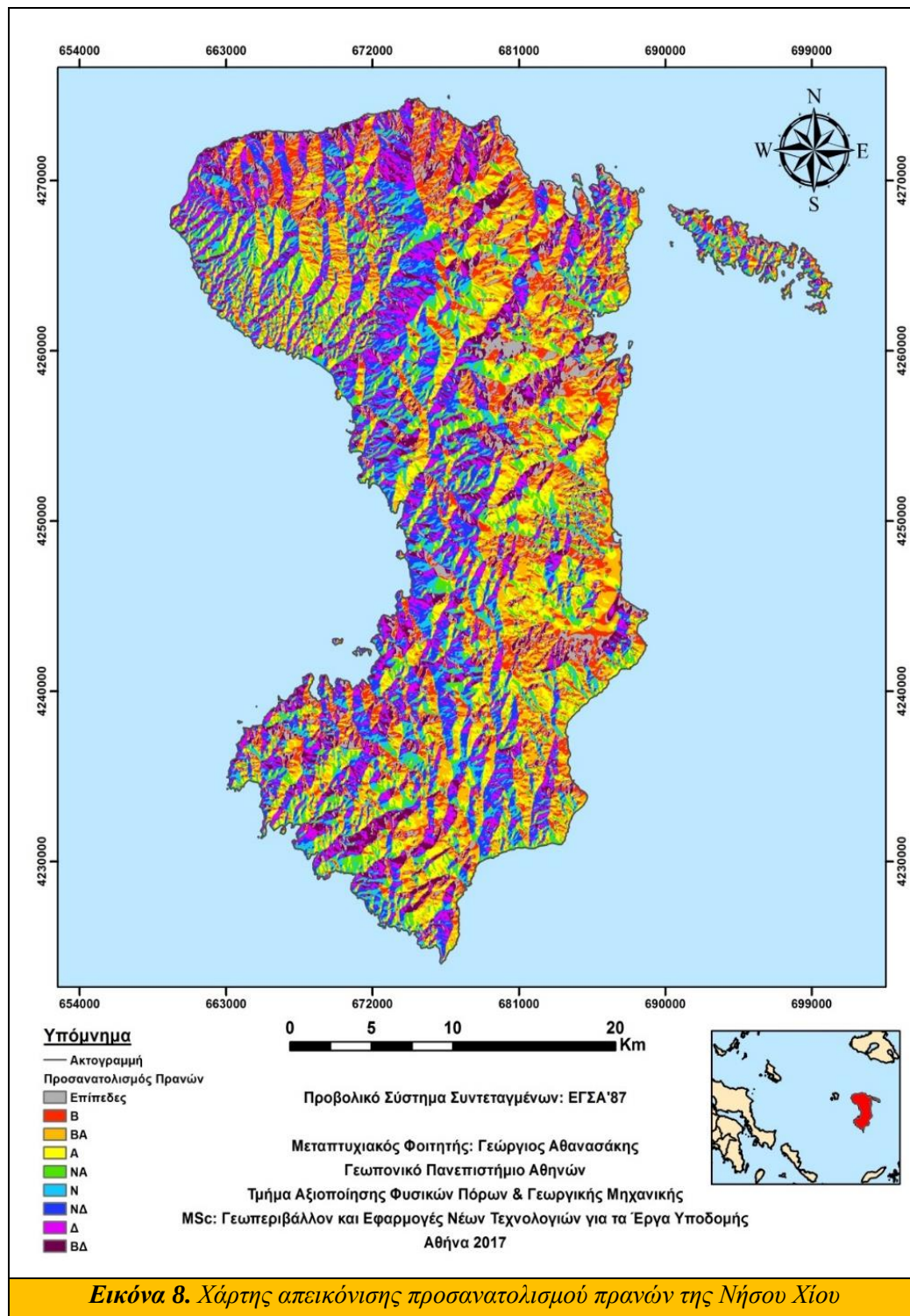
πυκνότητας. Στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού μεγάλης πυκνότητας υδρογραφικό δίκτυο με καλά ανεπτυγμένο δενδριτικής μορφής υδρογραφικό δίκτυο με μεγάλα μήκη κλάδων ανώτερης τάξης. Αντιθέτως στο κεντρικό και κεντροανατολικό τμήμα του νησιού παρουσιάζεται υδρογραφικό δίκτυο χαμηλής πυκνότητας και συχνότητας, επίσης σε αυτό το τμήμα εντοπίζονται ορισμένα από τα μεγαλύτερα ρέματα του νησιού όπως τα ρέματα Ελίντα, Κρικέλης και Ανήλιο. Αυτή η αντίθεση αυτή αντανακλά και τον έλεγχο του υδρογραφικού δικτύου από τη γεωλογική δομή, διότι στο κεντρικό-κεντροανατολικό τμήμα επικρατούν οι μακροπερατοί ανθρακικοί σχηματισμοί του Μεσοζωικού, ενώ στο βορειοδυτικό τα ημιπερατά έως αδιαπέρατα κλαστικά πετρώματα του Παλαιοζωικού. Το ρέμα Ανήλιο, που εκβάλλει νότια του Βροντάδου και το ρέμα Κρικέλης, που εκβάλλει στον όρμο της Λαγκάδας, έχουν εκτεταμένες λεκάνες απορροής, με χαμηλή όμως πυκνότητα και συχνότητα κλάδων, καθώς και κλάδους 1ης και 2^{ης} τάξης αυξημένου μήκους, γεγονός που οφείλεται στη λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών που διατρέχουν. Το μοναδικό ρεύμα 6ης τάξης κατά Strahler σε ολόκληρο το νησί εντοπίζεται σε αυτήν την περιοχή και πρόκειται για το ρέμα Αχυρώνα-Λουτρά, που εκβάλλει νότια της Βολισσού. Ρέματά 5ης τάξης εμφανίζονται και στο κεντρικό τμήμα του νησιού. Πρόκειται για το χείμαρρο Ελίντα, όπου εκβάλλει στον ομώνυμο όρμο στα δυτικά και τον Παρθένη και τον Κοκκαλά, που αναπτύσσονται ανατολικά του κεντρικού υδροκρίτη του νησιού, στην πεδινή περιοχή της Χίου – Θυμιανών και εκβάλλουν στα ανατολικά. Επίσης στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, το ρέμα Φανόπυργων και το ρέμα Κατράρης, συμβάλλουν σε μικρή απόσταση από την ακτή, ώστε να δημιουργήσουν έναν μικρού μήκους κλάδο 5ης τάξης, όπου εκβάλλει στον όρμο της Καλαμωτής.





Στο βόρειο τμήμα του Νησιού παρουσιάζεται πυκνό υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής λόγω αδιαπέρατου σχηματισμού και αραιό υδρογραφικό δίκτυο στο νότιο τμήμα.





2.5 Γεωλογία

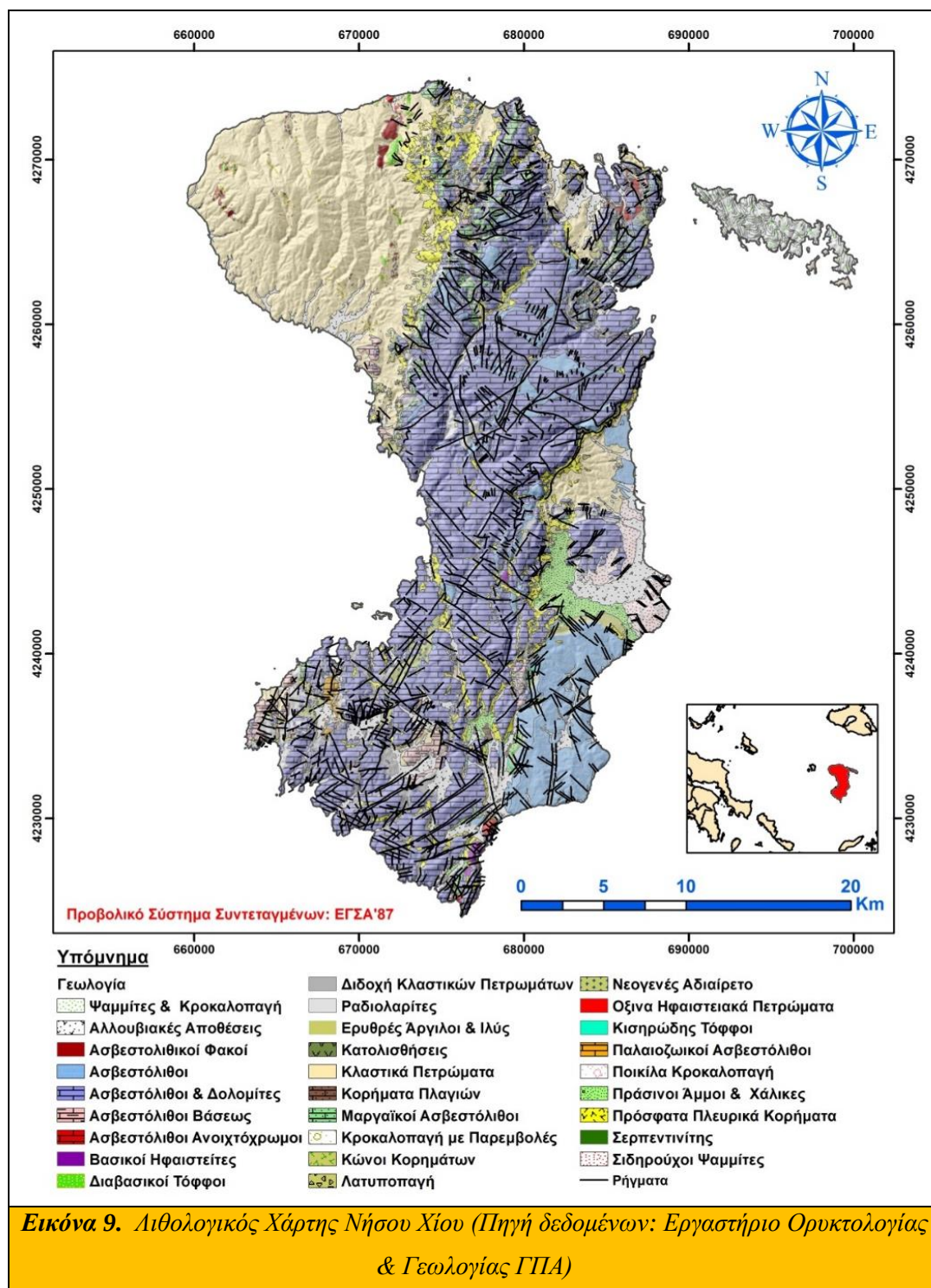
Η αποτύπωση των γεωλογικών δομών της νήσου Χίου πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 1962-1967 με την τελική έκδοση του γεωλογικού χάρτη το 1971 (Besenecker, et al., 1971). Ωστόσο πολλές μελέτες και έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στο νησί (Papanikolaou and Sideris, 1983, Tselepidis and Rondoyanni, 2010 Tselepidis, 2007 Zachi, et al., 2003, Assereto, et al., 1979 Meinhold, et al., 2007). Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού καλύπτεται από μία αυτόχθονη ενότητα στο βορειοδυτικό τμήμα, που αποτελεί το ένα τέταρτο της συνολικής του έκτασης. Εκεί εντοπίζεται το κατώτερο παλαιοζωικό αυτόχθονο, αποτελούμενο κυρίως από κλαστικά πετρώματα γραουβάκων με εναλλαγές πυριτολίθων και σχιστόλιθων, με εμφανίσεις μικρών ασβεστολιθικών ολισθολίθων (Robertson, et al., 2000). Μικρές εμφανίσεις του παραπάνω σχηματισμού εντοπίζονται και στην νοτιοδυτική και κεντρική Χίο .

Πάνω από το παλαιοζωικό αυτόχθονο, σε ασυμφωνία και παρουσία κροκαλοπαγών εντοπίζεται μία ενδιάμεση μεσοζωική αυτόχθονη ενότητα ηλικίας κατώτερου Τριαδικού - Λιάσιου. Η ενότητα αυτή αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του νησιού. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να ερμηνεύσουν την προέλευση της αυτόχθονης ενότητας (Groves, et al., 2003). Οι Robertson and Pickett (2000) ερμηνεύουν το καθεστώς δημιουργίας ως ένα rift σχηματίζοντας μια βαθιά θαλάσσια λεκάνη με επακόλουθο την απόθεση υλικών. Επωθημένη στην αυτόχθονη ενότητα εμφανίζεται το αλλόχθονο τμήμα της Χίου που εντοπίζεται στα βορειοανατολικά, στην περιοχή των Καρδαμύλων και αποτελείται από ασβεστολιθικά πετρώματα νηριτικής προέλευσης και από έναν σχηματισμό κόκκινων αργιλικών σχιστολίθων με εναλλαγές ψαμιτών και κροκαλοπαγών. Ο σχηματισμός αυτός κατά την περίοδο του ανώτερου Κρητιδικού προέρχεται από την χώρο μεταξύ Λέσβου και Χίου επωθήθηκε πάνω στα πτυχωμένα αυτόχθονα στρώματα (Zanchi, et al., 2003). Το νότιο-ανατολικό τμήμα του νησιού καλύπτεται από κροκαλοπαγή, αργίλους και ψαμιτίτες ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου - Κατώτερου Πλειοκαίνου.

Τέλος, χαρακτηριστική είναι η παρουσία των λόφων Προφήτη Ηλία και Ψαρώνα στην περιοχή της νότιας Χίου στο Εμπορείο, οι οποίοι καταδεικνύουν την παλαιά ηφαιστειακή δράση κατά το μέσο Μειόκαινο (Pe-Piper, et al., 1994). Ο Προφήτης Ηλίας αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα όξινης σύστασης (ρυολίθους), ενώ ο Ψαρώνας από βασικά έως υποβασικά πετρώματα (βασάλτης, ανδεσίτης). Όσον αφορά την πληγείσα περιοχή, παρατηρείται ότι στην Δ.Ε. Μαστιχοχωρίων η μεγαλύτερη εμφάνιση είναι εκείνη των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού), σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%. Στην Δ.Ε. Ιωνίας παρατηρείται μεγάλη εμφάνιση

μαργαϊκών ασβεστόλιθων (ποσοστό μεγαλύτερο 80%) με εναλλαγές αργίλων, ενώ τέλος στην Δ.Ε. Καμποχώρων εμφανίζονται ασβεστολιθικά πετρώματα και μειοκαινικοί άργιλοι και ιλύς σε ποσοστά 60% και 30%, αντίστοιχα (Papanikolaou & Soukis, 2000).

Παρακάτω παρουσιάζονται ο λιθολογικός χάρτης του νησιού.



2.6 Λιθοστρωματογραφία

Σύμφωνα με τις νεότερες απόψεις των ερευνητών, τα πετρώματα της νήσου Χίου χωρίζονται σε δύο ενότητες: τη σχετικά **αυτόχθονη** και την **αλλόχθονη** ενότητα (Besenecker, et al., 1968).

Αυτόχθονη ενότητα

Καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της νήσου και περιλαμβάνει μία συνεχή ακολουθία στρωμάτων από το άνω Λιθανθρακοφόρο κατώτερο Πέρμιο μέχρι και το άνω Ιουρασικό ενώ μετά παρεμβάλλεται η ασυμφωνία των εσωτερικών Ελληνίδων, του άνω Ιουρασικού-κάτω Κρητιδικού, η οποία όμως στην Χίο περιλαμβάνει και το ανώτερο Κρητιδικό. Η ενότητα κλείνει στο Παλαιογενές με έναν κλαστικό σχηματισμό που δεν έχει τα χαρακτηριστικά τυπικού φλύσχη. Οι σχηματισμοί που εντάσσονται στη σχετικά αυτόχθονη ενότητα είναι οι εξής: Σχηματισμός των Οινουσσών: Ελαφρά μεταμορφωμένα κλαστικά πετρώματα (PPz) πιθανότατα παλαιοζωικής ηλικίας. Εμφανίζονται στις Οινούσσες και σε μία πολύ μικρή εμφάνιση στο ΒΑ άκρο της Χίου. Πρόκειται πιθανότατα για το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της σχετικά αυτόχθονης ενότητας του οποίου η ηλικία θεωρείται παλαιότερη του άνω Λιθανθρακοφόρου. Κλαστικός σχηματισμός του Περμίου (S-C): εμφανίζεται κυρίως στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού και σε μικρότερες εμφανίσεις στο βορειοανατολικό και κεντρικό τμήμα περιφερειακά των υπερκείμενων τριαδικοϊουρασικών ανθρακικών σχηματισμών. Η κύρια λιθολογία είναι οι συμπαγείς ψαμμίτες στους οποίους εγκλείονται ολισθοστρώματα που ποικίλλουν ως προς τις διαστάσεις (από μερικά εκατοστά έως δεκάδες μέτρα), τις ηλικίες (Σιλούριο έως Λιθανθρακοφόρο), τις λιθολογίες (ηφαιστειακά Vδ, νηρητικοί ασβεστόλιθοι C-D-S, σχίστες και 35 λυδίτες κ.ά.), και τον τύπο της παραμόρφωσης (τεμάχη σχιστολίθων και έντονα πτυχωμένων ασβεστολίθων μέσα στους εμφανώς λιγότερο παραμορφωμένους ψαμμίτες). Ιδιαίτερα οι εμφανίσεις των ασβεστολιθικών πετρωμάτων έχουν αξιοσημείωτη επιφανειακή εξάπλωση και έχουν χαρτογραφηθεί αυτόνομα (Pz). Μέσω της ηλικίας των ολισθοστρωμάτων και των υπερκείμενων τριαδικών ανθρακικών εξάγεται ότι η ηλικία του κλαστικού σχηματισμού είναι εν μέρει Περμική. Το πάχος του σχηματισμού ξεπερνά τα 3km. Ανθρακικοί σχηματισμοί: καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού και βρίσκονται στον πυρήνα μίας συγκλινικής δομής. Η επαφή με τον υποκείμενο κλαστικό σχηματισμό είναι συχνά καλυμμένη ή έχει λάβει χώρα τεκτονική αποκόλληση. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ενδείξεις βαθμιαίας μετάβασης προς τη νηριτική τράπεζα. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας ξεκινούν στο Σκύθιο με λιθολογίες που έχουν χαρακτηριστικά επίκλυσης: στη βάση απαντούν κροκαλοπαγή πλούσια σε πυριτικά υλικά και υπερκείμενοι αυτών έχουν αποτεθεί καστανοί - φαιοί ψαμμίτες (TRis).

Η μετάβαση από το Σκύθιο στο Ανίσιο οριοθετεί μία περίοδο έντονης δραστηριότητας κατά την οποία, συνιζηματογενής, ρηγματογόνος τεκτονισμός οδηγεί στην δημιουργία κεράτων και τάφρων. Στην πρώτη περίπτωση, επικρατεί νηριτικός χαρακτήρας με ασβεστολιθικά πετρώματα που ξεκινούν με τους ασβεστόλιθους της βάσης οι οποίοι περιέχουν άμμους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και στρωματώδεις ασβεστόλιθους (TRi1), οι οποίοι μεταβαίνουν πλευρικά και κατακόρυφα στους ασβεστόλιθους και δολομίτες του Σκυθίου (TRi). Στην δεύτερη περίπτωση έχουμε έντονη λιθολογική ποικιλία με χαρακτήρα βαθυπελαγικό: ψαμμίτες, πυριτόλιθοι, ραδιολαρίτες, τεφροί και ερυθροί ασβεστόλιθοι της φάσης Hallstatt και κροκαλοπαγή, οι οποίοι εναλλάσσονται με μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και παρεμβολές τοφφωτών (TR m1). Στο ανώτερο τμήμα (Πολύχρωμη σειρά) εμφανίζονται σκουρόχρωμοι, κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι, με κίτρινες κηλίδες και παρεμβολές μαργών (TR m2). Στη συνέχεια ακολουθεί σε γενικές γραμμές νηριτική ανθρακική ιζηματογένεση με ασβεστόλιθους και δολομίτες του Λαδίνιο (TR m), που σε ορισμένες περιπτώσεις συνεχίζουν ενιαίοι μέχρι και το Κάρνιο (TRm-S) ή ακόμη μέχρι ολόκληρο το Ιουρασικό με ορίζοντες ανάδυσης (TRm-J). Ενίοτε μέσα στους Τριαδικοϊουρασικούς ασβεστόλιθους παρατηρούνται στο Κάρνιο τουλάχιστον 3 ορίζοντες ανάδυσης, οι οποίοι συνοδεύονται από αργιλικούς σχίστες, ψαμμίτες και χαλαζιακά κροκαλοπαγήπου παρεμβάλλονται στην ακολουθία των ανθρακικών πετρωμάτων (TRs-J). Η ανθρακική ιζηματογένεση συνεχίζεται στο Μάλμιο με διάφορες φάσεις δολομιτών και νηριτικών ασβεστόλιθων, (ανοιχτόχρωμους, σκουρόχρωμους, ωολιθικούς, μικριτικούς), μεταξύ των οποίων παρατηρούνται πλευρικές και κατακόρυφες μεταβάσεις (Js). Μετά την απόθεση των ιουρασικών ασβεστόλιθων παρατηρείται μία μεγάλη ασυμφωνία μέχρι το Καινοζωικό στο οποίο αποτίθενται τα Κροκαλοπαγή του Παλαιογενούς (Pg), τα οποία είναι μικρές εμφανίσεις στο νότιο άκρο του νησιού, αποτελούμενες κυρίως από συμπαγή κροκαλοπαγή μεκροκάλες προερχόμενες κυρίως από τα πετρώματα της σχετικά αυτόχθονης ενότητας υπάρχουν όμως και κάποιες κροκάλες Μαιστρίχιου ηλικίας, προερχόμενες πιθανότατα, από πετρώματα της αλλόχθονης ενότητας. Οφιολιθικά πετρώματα (Vo): παρατηρούνται στη ΝΑ Χίο, νότια από το Θολοποτάμι. Πρόκειται για σχετικά μικρή εμφάνιση εξαλλοιωμένων pillow-λαβών και σερπεντινιτών που έχουν υποστεί κατάκλαση (Besenecker, et al., 1968).

Αλλόχθονη ενότητα

Εμφανίζεται υπό μορφή τεκτονικών ρακών στο ΒΑ, κεντρικό και νότιο τμήμα της Χίου. Η στρωματογραφική της στήλη δε μοιάζει με καμία από τις ενότητες του ελληνικού χώρου αλλά έχουν εμπλακεί στην Κιμμέρια ορογένεση. Ξεκινά από το κατώτερο-μέσο Λιθανθρακοφόρο με μία κλαστική ακολουθία φλυσχικού τύπου (Ci γραουβακες, φαιοπράσινοι ψαμμίτες και αργιλικοί σχίστες

και κατά θέσεις ορίζοντες κροκαλοπαγών και λατυποπαγών), που αποτελεί τη βάση του καλύμματος. Εν συνεχεία, περνάμε σε μία ανθρακική πλατφόρμα με συμπαγείς έως εστρωμένους, εν μέρει κονδυλώδεις ασβεστόλιθους (C-Pi μέσο-άνωτερο Λιθανθρακοφόρο -κάτω Πέρμιο) που εξελίσσονται αρχικά σε μεσοπλακώδεις ασβεστόλιθους και μάργες και εν συνεχεία σε φαιούς βιττουμενιούχους ασβεστόλιθους και δολομίτες (Pm μέσο Πέρμιο). Πάνω σε αυτά τα πετρώματα κάθονται επικλυσιογενώς ασύμφωνα νηρητικοί ανθρακικοί σχηματισμοί του Λιασίου, με ένα σημαντικό στρωματογραφικό κενό που περιλαμβάνει όλο το Τριαδικό. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συσχετισμό αυτής της ενότητας με το σύστημα της Κιμμέριας ορογένεσης. Στη βάση εμφανίζονται ερυθροί ψαμμίτες, εν μέρει κροκαλοπαγείς, σε εναλλαγές με αμμώδεις αργίλους (Jis) και εν συνεχεία, η κύρια ανθρακική πλατφόρμα του Λιασίου με παχυστρωματώδεις, ωλιθικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες, πλούσιους σε φύκη (Ji). Πάνω στα Λιάσια ανθρακικά πετρώματα έχει αποτεθεί ασύμφωνα το άνω Κρητιδικό με στρωματώδεις μικριτικούς ασβεστόλιθους, ερυθρότεφρες μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους (Ks) (Besenecker, et al., 1968).

Μεταλπικοί σχηματισμοί

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί που απαντώνται στη νήσο Χίο περιλαμβάνουν ηφαιστειακά και ιζηματογενή πετρώματα. Τα ηφαιστειακά πετρώματα αντιστοιχούν σε μικρές εμφανίσεις που απαντούν στο βόρειο, κεντρικό και νοτιοανατολικό τμήμα της νήσου. Με βάση τη σύσταση διακρίνονται σε

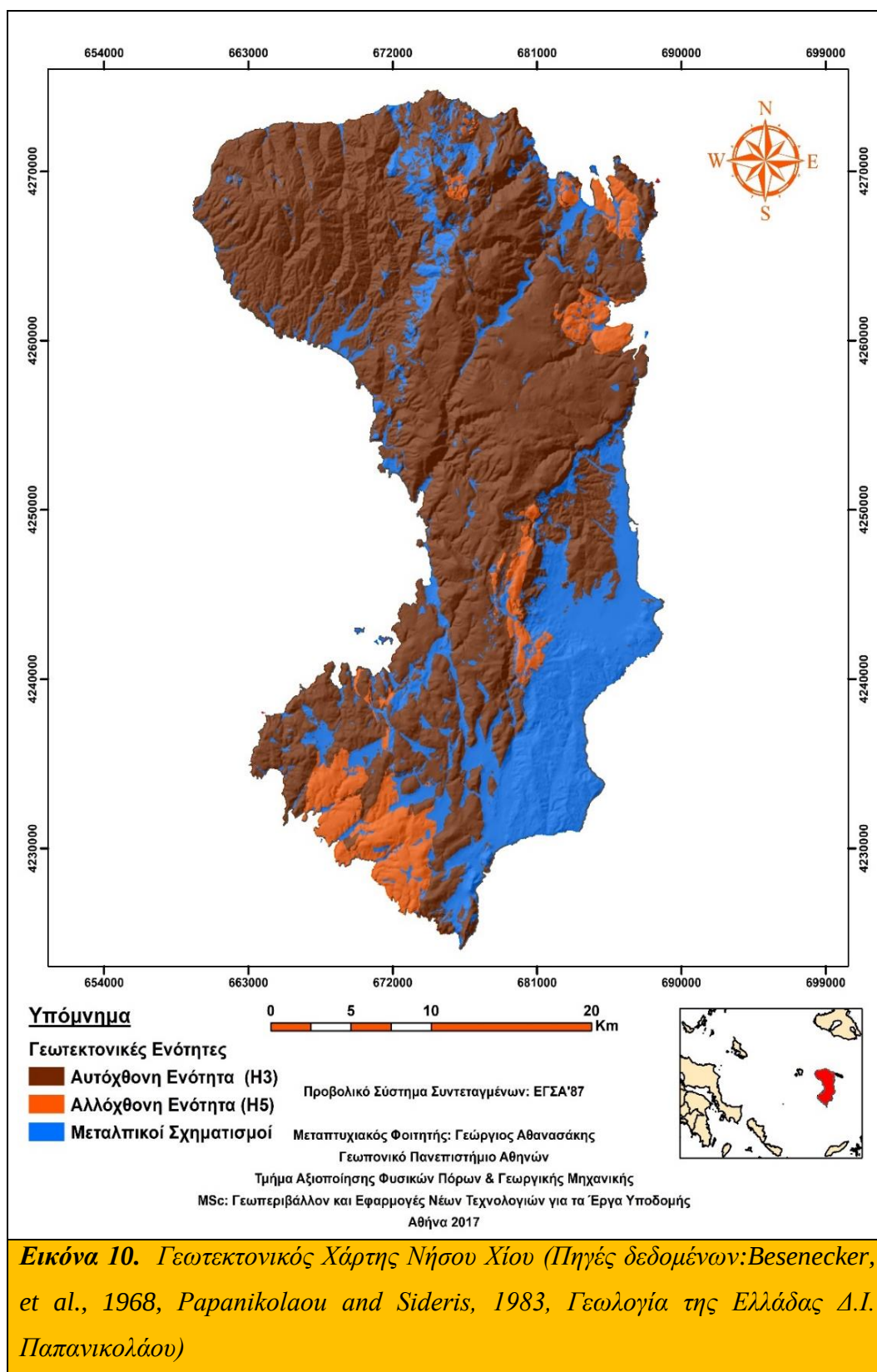
- όξινα ηφαιστειακά (Vac αλκαλικοί ρυόλιθοι και λιπαρίτες) τα οποία έχουν μέσο-άνω Μειοκαινική ηλικία και
- βασικά ηφαιστειακά (Vb λαβραδορίτης ανδεσίτης βασάλτης) τα οποία είναι Πλειοκαινικά. Τα ιζηματογενή πετρώματα μπορούν να διακριθούν σε αποθέσεις του Νεογενούς και αποθέσεις του Τεταρτογενούς.

Οι αποθέσεις του Νεογενούς περιλαμβάνουν ποικιλία σχηματισμών και φάσεις που αντιστοιχούν σε ηπειρωτικά (ποτάμια λιμναία και υφάλμυρα) αλλά και σε θαλάσσια περιβάλλοντα ιζηματογένεσης. Η ηλικία τους είναι κυρίως Μειοκαινική και σε μικρότερο βαθμό Πλειοκαινική.

- Οι παλαιότεροι μεταλπικοί σχηματισμοί (Ne) παρατηρούνται στο ΒΑ και ΝΔ τμήμα κυρίως κατά μήκος κοιλάδων και έχουν χαρακτήρα ηπειρωτικό.
- Ακολουθούν οι αποθέσεις του άνω Μειοκαίνου με ποικιλία λιθολογιών και φάσεων και συχνές πλευρικές μεταβάσεις, οι οποίες αναπτύσσονται κυρίως στο ΝΑ τμήμα και σε μικρότερες εμφανίσεις στο νότιο άκρο του νησιού. Στη βάση παρατηρούνται συμπαγή κροκαλολατυποπαγή (Msc), τα οποία

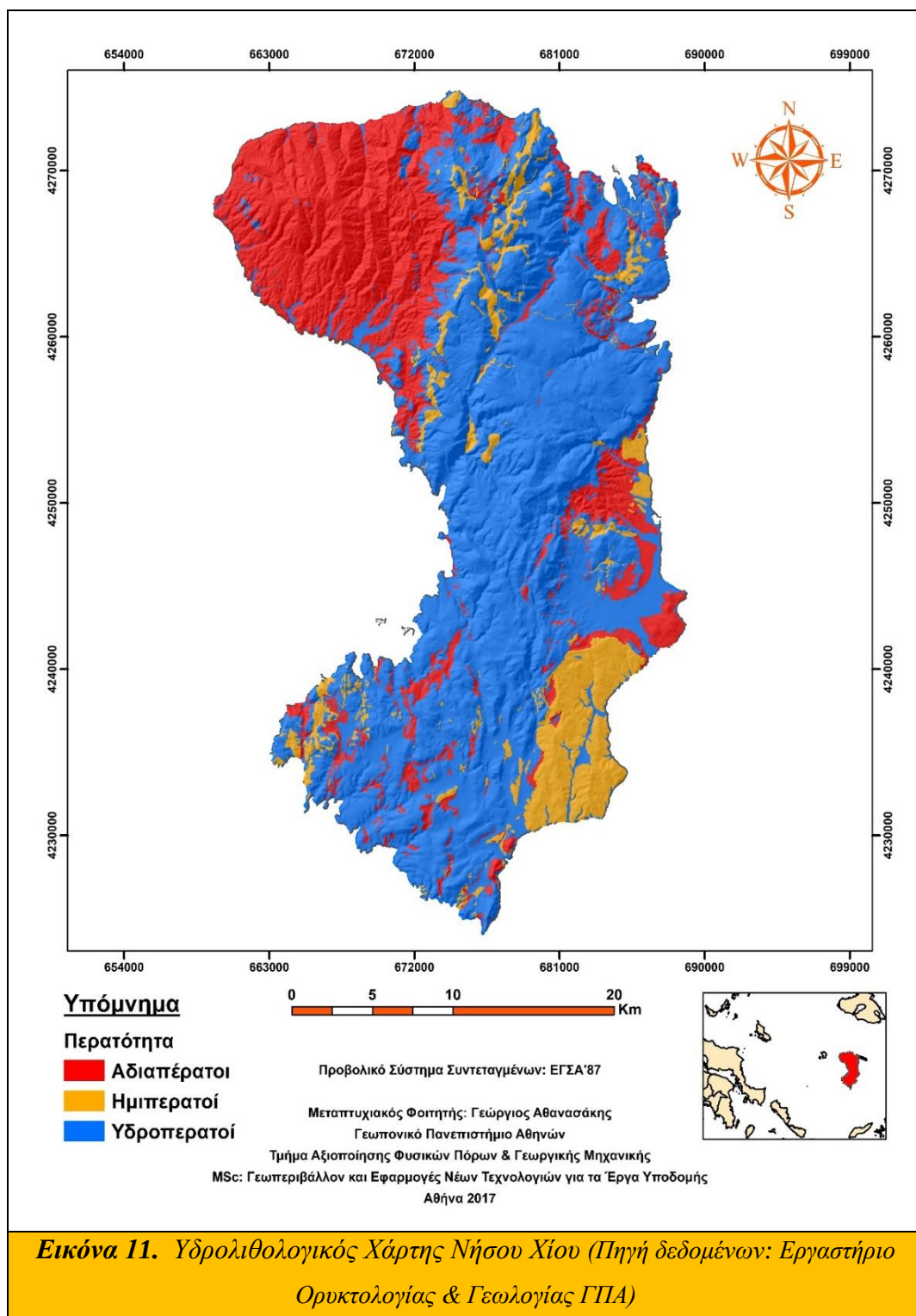
δίνουν τη θέση τους σε σημαντικές εμφανίσεις σιδηρούχων φαιών-ερυθρών ψαμμιτών (Mss) με ενδιαστρώσεις ιλύος και ορίζοντες κροκαλοπαγούς και υποκίτρινων-ερυθρών, ιλυωδών μαργών. Κατά θέσεις, παρατηρούνται πράσινες άμμοι και χάλικες με απολιθωμένους φυτικούς οργανισμούς που υποδηλώνουν ελώδες περιβάλλον (Msi). Πάνω από αυτές έχει αποτεθεί ορίζοντας κισσηρώδους τόφφου (Mst) και εν συνεχεία ερυθρές άργιλοι και ιλύς με φακούς πράσινης άμμου (Ms). Στο νότιο τμήμα του νησιού οι φάσεις αυτές καταλαμβάνουν πολύ μικρότερη έκταση ενώ παρατηρούνται και παρεμβολές οριζόντων κροκαλοπαγούς.

- Υπερκείμενες των ερυθρών αργίλων ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων με παρεμβολές μαργών και πράσινων αργίλων (Ms-Pl) του άνω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου(;) με πάχος που ξεπερνά τα 250μ. Μέσα στο σχηματισμό αυτό παρατηρούνται ορίζοντες λιγνίτη καθώς επίσης και δύο ορίζοντες τόφφων. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις περιλαμβάνουν Πλειο(;-)Πλειστοκαινικές ποτάμιες αποθέσεις και ερυθρογή (Pl-Ps) που εντοπίζονται κατά μήκος ορισμένων κοιλάδων στο νότιο τμήμα, λατυποπαγή (Qb) κατολισθήσεις (Qls) πλευρικά κορήματα (Qs) και κώνους κορημάτων (Qc) καθώς επίσης και αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις (Qal). Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στα πλευρικά κορήματα, τα οποία απαντούν κατά κανόνα κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της νήσου. Σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζουν σημαντική επιφανειακή εξάπλωση και πάχος που ξεπερνά τα 50m (Besenecker, et al., 1968, Papanikolaou and Sideris, 1983, Γεωλογία της Ελλάδας Δ.Ι. Παπανικολάου).



Υδρολιθολογικός χάρτης

Σύμφωνα με τις υδρογεωλογικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τις λιθολογικές ενότητες που απαρτίζουν την περιοχή, δημιουργήθηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης ο οποίος δείχνει την περατότητα τους. Έτσι, οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς έως και αδιαπέρατους στο νερό.

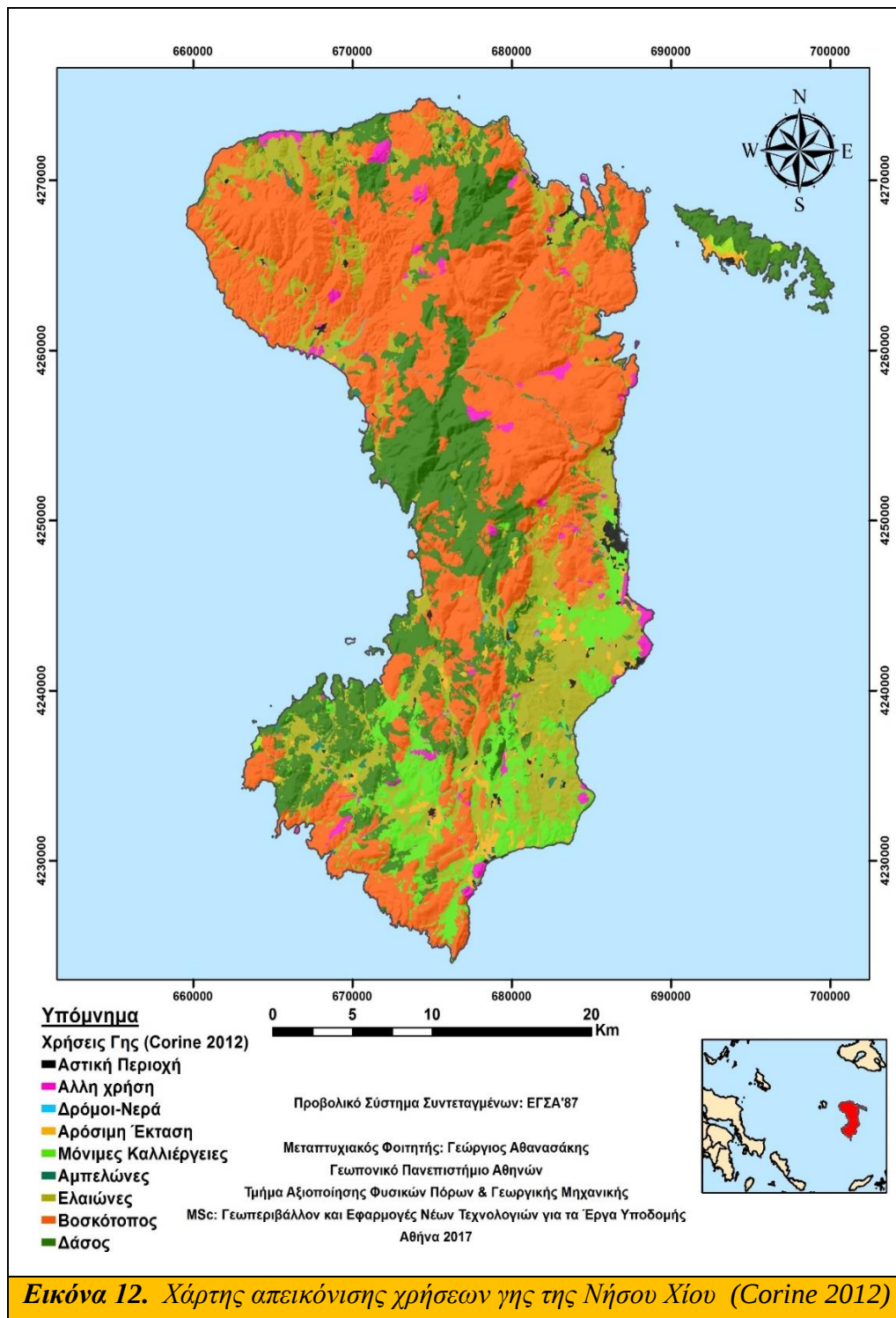


2.7 Χρήσεις Γης Νήσου Χίου

Η έκταση της νήσου Χίου κατά το παρελθόν καλυπτόταν κατά ένα πολύ μεγάλο μέρος της από πευκοδάση. Σήμερα, η χρήση/ κάλυψη γης έχει υποστεί μεγάλες αλλαγές, με τα δάση πλέον να περιορίζονται κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του προγράμματος Corine Land Cover 2012, η Χίος καλύπτεται κυρίως από γεωργικές καλλιέργειες, βοσκότοπους, δάση αείφυλλων πλατύφυλλων (θαμνώνες), δάση τραχείας πεύκης και εκτάσεις με χαμηλή βλάστηση. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις καλύπτουν περί το 32% της συνολικής έκτασης του νησιού. Η γεωργική δραστηριότητα αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή του Κάμπου, στο ανατολικοκεντρικό τμήμα του νησιού όπου χαρακτηρίζεται από την παρουσία εκτεταμένων καλλιεργειών και στη νοτιοανατολική περιοχή, στους λόφους της οποίας καλλιεργείται η *Pistacia lentiscus* var. *chia*, από την οποία παράγεται η φημισμένη χιώτικη μαστίχα. Στη νήσο Χίο η καλλιέργεια μαστίχας καλύπτει σχεδόν το 1/3 των καλλιεργούμενων εκτάσεων του νησιού, λόγω κυρίως των επικρατούντων κλιματικών και εδαφικών συνθηκών. Η Χίος έχει την καλλιέργεια των μαστιχόδεντρων ως μοναδικό προνόμιο σε όλο τον κόσμο. Δασικές εκτάσεις εμφανίζονται στην Κεντρική Χίο στην περιοχή Αυγώνυμα – Ανάβατος – Νέα Μονή και στην Βόρεια Χίο, βορειοανατολικά του Όρους Αμανή. Ακόμη μικρές δασικές εκτάσεις εμφανίζονται στη βόρεια και βορειοανατολική Χίο κοντά στις κοινότητες Λιθί και Βέσσα και πάνω από τον Βροντάδο, στους πρόποδες του όρους Αίπος. Η κατανομή των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε με δεδομένα Corine 2012, τα οποία επεξεργάστηκαν με σκοπό την ομαδοποίηση των χρήσεων γης στο λογισμικό ArcGIS 10.4 (Εικόνα 12). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατηγορία κάλυψης γης, η κωδικοποίηση της, η έκταση και το ποσοστό που καταλαμβάνει στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 1. Κάλυψη χρήσεων γης Νήσου Χίου

Κάλυψη γης	Κωδικός Corine 2012	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Δάσος	311, 312, 313	178,6	21,2
Αστική κάλυψη	111	4,9	0,58
Βοσκότοπος	321	396,6	47,1
Αρόσιμη έκταση	211	10,4	1,24
Μόνιμη καλλιέργεια	241, 242	66,13	7,86
Ελαιοκαλλιέργεια	223	158	18,8
Αμπελοκαλλιέργεια	221	3,6	0,43
Άλλη χρήση	-	20,1	2,4
Δρόμοι-νερά	122, 511	1,7	0,2
Αρόσιμες επιφάνειες σε εγκατάλειψη	332	1,3	0,15
Συνολική έκταση νησιού		842,5	100



2.8 Οικολογική ποικιλότητα Χίου και ανάλυση των ειδών που καταγράφονται σε διάφορες περιοχές του νησιού

Η Χίος παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον από οικολογικής άποψης, ένα μέρος με ιδιαίτερη και πλούσια οικολογική ποικιλότητα καθώς στο νησί αναπτύσσονται φυτά που προέρχονται από την Ευρώπη και από την Ασία. Τα κυρίαρχα είδη είναι η Χαλέπιος Πεύκη (*Pinus halepensis*), ο μαστιχοφόρος σχίνος (*Pistacia lentiscus* var. *Chia*) και τα εσπεριδοειδή που καλλιεργούνται στον κάμπο του νησιού. Οι παράγοντες όπως το πολύπλοκο γεωλογικό υπόβαθρο, η γεωμορφολογία, το ήπιο εύκρατο μεσογειακό κλίμα και η γεωγραφική του θέση είναι οι κύριοι μοχλοί για την εμφάνιση και διαμόρφωση της πλούσιας αυτής ιδιαίτερης χλωρίδας. Η χλωριδική ποικιλότητα του νησιού είναι περισσότερο εμφανής στην παρουσία αγριολούλουδων. Η Χίος είναι ιδιαίτερος γνωστή για τις ορχιδέες αλλά και τις τουλίπες που συναντά κανείς σε διάφορα τμήματα του νησιού. Έχουν καταγραφεί από τους βοτανολόγους 80 είδη ορχιδέων και ιδιαίτερα στους χαμηλούς λόφους της νότιας Χίου έχουν εντοπιστεί ακόμη και μερικά σπάνια είδη όπως η *Ophrys homeri*, *Ophrys omegaifera*, *Ophrys regis-ferdinandii*, *Ophrys sancta*, *Ophrys anthropophora*, κ.α. Είδη στην περιοχή των Ολύμπων έχουν καταγραφεί 24 είδη ορχιδέας, 15 από τα οποία θεωρούνται σπάνια (Κορακάκη, 2012).

Τα δάση της Χίου αποτελούνται κυρίως από τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*) συμπεριλαμβανομένων και των δασών χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*), αλλά δυστυχώς ελάχιστα από αυτά έχουν διασωθεί εξαιτίας της συχνότητάς των μεγάλων πυρκαγιών, των εκχερσώσεων, της έντονης βόσκησης και της λαθροϋλοτομίας. Τα είδη που καταγράφονται στα δασικά οικοσυστήματα της Χίου είναι η δρύς (*Quercus pubescens*), ο σφένδαμος (*Acer monspessulanum*), ο πρίνος (*Quercus coccifera*), η τσικουδιά (*Pistacia terebinthus*), η δάφνη (*Laurus nobilis*), η αγριελιά (*Olea europea* var. *Sylvestris*), το κυπαρίσσι (*Cypressus sempervirens*), ο κέδρος (*Juniperus phoenicea*), ο ατσιδόκεδρος (*Juniperus oxycedrus*) και η καστανιά (*Castanea sativa*).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Δασικές πυρκαγιές – Η περίπτωση της Νήσου Χίου

3.1 Δασικά οικοσυστήματα και δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μέρος της οικολογίας των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (Trabaud, 1981; Whelan, 1995) και γι' αυτό το λόγο θεωρούνται ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή και τη σύσταση του εδάφους σε αυτές τις περιοχές (Naveh, 1974, 1994, Piussi, 1992). Όμως ο αριθμός και ειδικά η καμένη έκταση από τις δασικές πυρκαγιές έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον ένα περίπλοκο και συγγενικό νέο φαινόμενο έχει προκύψει, αυτό των πολλών εστιών σε μια περιοχή (Pinol et al., 1998 Pausas and Vallejo, 1999). Η πλήρης εξάλειψη των δασικών πυρκαγιών είναι αδύνατη και αποτελεί ουτοπία έστω και αν υπήρχε ο πιο τέλειος αντιπυρικός σχεδιασμός. Η φωτιά σαν παράγοντας κλειδί στη διατήρηση της δομής και της σύστασης των Μεσογειακών οικοσυστημάτων χρησιμοποιήθηκε από τους γεωργούς και τους βοσκούς. Οι παραδοσιακές αυτές φωτιές που έμπαιναν σε χορτολιβαδικές εκτάσεις από του βοσκούς και τους γεωργούς έκαιγαν μικρές εκτάσεις και είχαν μικρή ένταση, καθώς η περισσότερη φυτική βιομάζα αποτελούνταν από λιβαδικά και φρυγανικά είδη χαμηλής ανάπτυξης αφού τα αιγοπρόβατα με τη βόσκηση δεν επέτρεπαν την ανάπτυξη τους (Naveh, 1974). Όμως οι κοινωνικό-οικονομικές αλλαγές που έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες με την μετακίνηση του πληθυσμού από τις αγροτικές περιοχές στις μεγάλες πόλεις οδήγησε στην εγκατάλειψη της καλλιέργειας της γης. Αυτό συνέβαλε στην επέκταση των θαμνότοπων και των χορτολιβαδικών οικοσυστημάτων. Η επέκταση αυτών των οικοσυστημάτων συνδέεται με την αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών στη Μεσογειακή λεκάνη (Moreno et al. 1998, Pausas and Vallejo, 1999). Τα δασικά οικοσυστήματα των νησιών του Αιγαίου ανήκουν στην κατηγορία των Μεσογειακών οικοσυστημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από εύφλεκτη βλάστηση σε ένα περιβάλλον με πληθώρα φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών έναρξης και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών (κλιματο - γεωγραφικά, φυσικό - χωροταξικά, θεσμικά και κοινωνικό - οικονομικά αίτια) (Καλαμποκίδης, 2000).

Στις παραμεσόγειες περιοχές, υπάρχει κάποια "φυσιολογική" συχνότητα στην εμφάνιση των πυρκαγιών (κάθε 80-100 χρόνια για τα πευκοδάση, κάθε 20-30 χρόνια για τους θαμνότοπους). Τα μεσογειακά φυτά έχουν αναπτύξει προσαρμοστικές στρατηγικές έτσι ανακάμπτουν επιτυχώς μετά από τη φωτιά. Τα ποώδη φυτά εμφανίζονται την πρώτη χρονιά μετά την φωτιά σε μεγάλους αριθμούς. Τούτο οφείλεται στην ενεργοποίηση της φύτευσης των σπερμάτων τους τα οποία

υπάρχουν στην "τράπεζα σπερμάτων" του εδάφους. Αυτή η αυξημένη παρουσία των ποωδών φυτών έχει δύο κύρια χαρακτηριστικά, κατ' αρχήν δρα περιορίζοντας τη διάβρωση των εδαφών και κατά δεύτερο λόγο με την αυξημένη φύτρωση ψυχανθών ατμοσφαιρικό άζωτο εμπλουτίζει το έδαφος μια και με τους καπνούς της φωτιάς το 95% του αζώτου το οποίο ήταν δεσμευμένο στα υπέργεια μέρη των φυτών χάθηκε. Παράλληλα παραβλαστάνουν τα υπόλοιπα ξυλώδη φυτά με εξαίρεση τα πεύκα που επανέρχονται με ενεργοποίηση από την φωτιά της φύτρωσης των σπερμάτων. Όμως οι βοσκοί γνωρίζουν ότι τα ποώδη φυτά, τα τρυφερά παραβλαστήματα των ξυλωδών και ιδιαίτερα τα ψυχανθή αφθονούν και είναι άριστη κτηνοτροφή. Για το λόγο αυτό προκαλούν οι ίδιοι φωτιές με συχνότητα καταστροφική που συχνά εμφανίζεται κάθε χρόνο. Επίσης η φωτιά χρησιμοποιείται από τους κτηνοτρόφους ως μέσο καταπολέμησης της αστοιβής, μεσογειακός θάμνος με αγκάθια που κυριαρχεί στα ερημοποιημένα μεσογειακά οικοσυστήματα, και δεν αποτελεί ζωοτροφή για τα ζώα. Η υπερβόσκηση που ακολουθεί μετά την φωτιά δρα καταστροφικά επειδή η προσφορά αζώτου στο σύστημα σταματά, με αποτέλεσμα η παραγωγικότητα των βοσκοτόπων να μειώνεται χρόνο με το χρόνο (Μάργαρης, 1991). Έχει διαπιστωθεί ότι οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να συμβάλουν θετικά στη φυσική ανανέωση και αύξηση της βιοποικιλότητας των δασικών οικοσυστημάτων και αρνητικά προκαλώντας την πλήρη υποβάθμιση τους όταν οι πυρκαγιές είναι επαναλαμβανόμενες σε μικρά σχετικά χρονικά διαστήματα στον ίδιο τόπο. Ο κύκλος υποβάθμισης των δασών ξεκινά με τις πρώτες πυρκαγιές που αρχικά οδηγούν στη μετατροπή τους σε θαμνότοπους και συνεχιζόμενος ανεξέλεγκτα, οδηγεί σύντομα στην τέλεια υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του τόπου, με τελική κατάληξη την ερημοποίηση. Είναι εύλογη λοιπόν η ανησυχία που υπάρχει και η σημασία που δίνεται στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών, με δεδομένο μάλιστα ότι περισσότερο από το 10% της έκτασης της χώρας μας καλύπτεται σήμερα από άγονες και βραχύδεις εκτάσεις, γεγονός οφειλόμενο κατά μεγάλο μέρος στην επανάληψη του κύκλου των πυρκαγιών.

Οι δασικές πυρκαγιές προκαλούν συνήθως τεράστιες καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον και στα δασικά οικοσυστήματα καταστρέφουν στο πέρασμά τους περιουσίες (σπίτια, αυτοκίνητα, εργοστάσια, αποθήκες καυσίμων, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, γεωργικές καλλιέργειες, κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, μελισσοκομεία, κλπ) και πολλές φορές χάνονται ακόμη και ανθρώπινες ζωές. Οι συνέπειες όμως των δασικών πυρκαγιών δεν είναι μόνο αυτές που καταγράφονται αμέσως μετά την κατάσβεση τους αλλά είναι και πολλές άλλες ίσως πολύ μεγαλύτερες. Γίνεται προφανώς εδώ αναφορά στη ψυχολογική και συναισθηματική απώλεια που

νοιώθουν οι κάτοικοι των γύρω περιοχών, στην απώλεια του εδάφους, που στην ουσία αποτελεί απώλεια εθνικού εδάφους, στο κόστος αποκατάστασης, στον χαμένο χρόνο (έως και 100 χρόνια) μέχρι την πλήρη αποκατάσταση, τις καταστροφές από πλημμύρες, που με μαθηματική ακρίβεια ακολουθούν τις πυρκαγιές, τις οικοπεδοποιήσεις κλπ. Η ποικιλία των ελληνικών δασών είναι σημαντική και σπάνια απαντάται σε άλλες χώρες παρόμοια κατανομή: στα βόρεια της Ελλάδας υπάρχουν εύκρατα δάση, από εκείνα που είναι κοινά της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης, ενώ στα νότια υπάρχουν μεμονωμένες συστάδες από τροπικά δάση (φοίνικες). Αυτή η ποικιλομορφία οικοσυστημάτων οφείλεται στο έντονο ανάγλυφο, στη γεωγραφική θέση της χώρας ανάμεσα σε τρεις ηπείρους και στο γεγονός ότι στη διάρκεια των τελευταίων παγετώνων η Ελλάδα δεν είχε καλυφτεί από πάγους. Έτσι αποτέλεσε «καταφύγιο» για πολλά βόρειο ευρωπαϊκά είδη δέντρων, των οποίων η ζώνη εξάπλωσης μεταφέρθηκε εδώ, όπου διασταυρώθηκαν με τα ντόπια είδη και προσαρμόστηκαν στις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες.

Τα περισσότερα ελληνικά δάση χαρακτηρίζονται ως μεσογειακά. Πρόκειται για οικοσυστήματα που είναι προσαρμοσμένα σε ξηρά, ζεστά καλοκαίρια και σε ήπιους χειμώνες. Η πατρίδα μας φημιζόταν για τα πλούσια και απέραντα δάση που είχε κατά την αρχαιότητα. Οι διάφορες όμως καταστροφές όπως οι ληστρικές υλοτομίες, η ανεξέλεγκτη βόσκηση, οι αλόγιστες εκχερσώσεις, η τουριστική ανάπτυξη, η ταχύτατη εξάπλωση των μεγάλων αστικών συγκροτημάτων αλλά ιδιαίτερα οι δασικές πυρκαγιές είναι μερικοί από τους καθοριστικούς παράγοντες που συντέλεσαν αποφασιστικά στη βαθμιαία καταστροφή και υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και ειδικότερα των δασικών εκτάσεων, ιδιαίτερα κατά τη μεταπολεμική περίοδο. Αποτέλεσμα αυτής της περιβαλλοντικής υποβάθμισης είναι να φθάσει το ποσοστό δασοκάλυψης στην Ελλάδα στο 19% από το 48% που κατείχε στο τέλος της τουρκοκρατίας, δηλ. μέσα σε 170 περίπου χρόνια το ποσοστό δασοκάλυψης της χώρας μας έχει μειωθεί κατά 29 ποσοστιαίες μονάδες (Παπασταύρου, 1990). Τα δάση στη χώρα μας αποτελούν σε ποσοστό 64% δημόσιες εκτάσεις από τα οποία το 3% είναι μοναστηριακές εκτάσεις, 12% ανήκουν σε Οργανισμούς Τοπικής αυτοδιοίκησης και το υπόλοιπο 24% ανήκει σε ιδιώτες από τα οποία το 6% είναι ιδιοκτησία τοπικών συνεταιρισμών. Εκτός από τα δάση υπάρχουν και οι επονομαζόμενες “δασικές εκτάσεις” με θάμνους και αραιή βλάστηση συνολικής έκτασης 5,2 εκατομμύρια Ha όπου αποτελούν το 40% της συνολικής επιφάνειας του Εθνικού χώρου.

3.2 Παράγοντες εξέλιξης των δασικών πυρκαγιών

Οι παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών περιγράφονται με συντομία παρακάτω:

α) Μετεωρολογικές συνθήκες που αποτελούν ένα από τους μεγαλύτερους και σπουδαιότερους παράγοντες στην ένταση και την ταχύτητα εξάπλωσης της φωτιάς. Σπουδαίος μετεωρολογικός παράγων είναι ο *άνεμος* ο οποίος κατευθύνει ή αλλάζει τη διεύθυνση της πυρκαγιάς και ο οποίος δεν είναι στατικός παράγων αλλά μεταβάλλεται συνεχώς. Καθορίζει την ένταση της φωτιάς και αποτελεί την αιτία για απότομες αλλαγές, δίνες, στροβιλισμούς κλπ. Άλλος ένας μετεωρολογικός παράγων είναι η *θερμοκρασία*, η οποία επηρεάζει τη σχετική υγρασία, την ατμοσφαιρική αστάθεια, τα κατακρημνίσματα (βροχές, χαλάζι κλπ), τους ανέμους.

Αναλυτικά:

Ισχυροί άνεμοι: Η επίδραση των ανέμων στις δασικές πυρκαγιές εξετάζεται ως διεύθυνση και ως ένταση του ανέμου. Τα δύο αυτά στοιχεία παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην έναρξη όσο και στην επέκταση της πυρκαγιάς. Ανάλογα με τη διεύθυνσή τους οι άνεμοι μπορεί να είναι ξηροί ή υγροί, οπότε να ευνοούν ή όχι την έναρξη της πυρκαγιάς αν σε αυτή τη διεύθυνση υπάρχει παράλληλα και καύσιμη ύλη. Η ένταση του ανέμου είναι καθοριστικός παράγοντας για την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η περιστροφική κίνηση της Γης γύρω από τον άξονα της, το ανάγλυφο και η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει ο αέρας τόσο από την ατμόσφαιρα όσο και από την επιφάνεια του εδάφους, είναι οι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν, έτσι ώστε ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει τη Γη να βρίσκεται σε κίνηση. Την κίνηση αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζουμε άνεμο. Οι άνεμοι διακρίνονται σε γενικούς και τοπικούς. Οι γενικοί άνεμοι οφείλονται στην κίνηση του αέρα μεταξύ υψηλών και χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων πίεσης.

Οι τοπικοί άνεμοι προκαλούνται από μεταφορά θερμότητας λόγω ημερήσιων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας. Επίσης, χαρακτηριστικοί άνεμοι μιας περιοχής ονομάζονται αυτοί που πνέουν σε ορισμένες μόνο περιοχές της γης και δημιουργούνται λόγω της τοπογραφικής διαμόρφωσης αυτών των περιοχών και ορισμένων καιρικών διαταραχών (Καλαμποκίδης 2013).

Σχετική υγρασία καύσιμης ύλης: Είναι γνωστό ότι η ξηρασία και κυρίως, η παρατεταμένη ξηρασία σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες (καύσωνες), κατεβάζει την περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής καύσιμης ύλης και ιδιαίτερα της νεκρής. Στην Ελλάδα, πολύ ξηρές χρονιές είχαμε πρακτικά κάθε τέσσερα χρόνια, οπότε διανύαμε και περίοδο πολλών δασικών πυρκαγιών. Η υγρασία που περιέχεται στην καιγόμενη δασική ύλη παίζει αποφασιστικό ρόλο στο άναμμα μιας φωτιάς, στη

διάδοση της πυρκαγιάς, όπως και στην εκλυόμενη ενέργεια, κυρίως όμως η περιεχόμενη υγρασία της νεκρής βλάστησης ή και του βελονοφυλλοτάπητα είναι εκείνη που επιτρέπει να ξεκινήσει μια πυρκαγιά ή όχι). Οι καιρικές συνθήκες (κατακρημνίσματα, σχετική υγρασία και θερμοκρασία αέρα, άνεμος) επιδρούν θετικά ή αρνητικά στην αύξηση της υγρασίας της καύσιμης ύλης και επομένως, στη δυνατότητα εκδήλωσης και επέκτασης των δασικών πυρκαγιών. Η ποσότητα της βροχής είναι πολύ σπουδαίος παράγοντας που επιδρά ανασχετικά στη δημιουργία και επέκταση των δασικών πυρκαγιών. Δυνατές βροχές που διαρκούν για πολύ χρονικό διάστημα αποθέτουν μεγάλες ποσότητες νερού, διαβρέχουν καλά την εύφλεκτη δασική ύλη και την κάνουν ανθεκτική στην έναρξη και επέκταση των πυρκαγιών. Σε αντίθεση, ελαφρές βροχές μικρής διάρκειας έχουν μικρότερη επίδραση. Η κόμη κρατάει μεγάλο μέρος ή ολόκληρη την ποσότητα μικρών βροχών. Όμως το ποσό και η διάρκεια δεν είναι τα μόνα που παίζουν ρόλο. Είναι σημαντικό η εποχή του έτους, ο καιρός που ακολουθεί ύστερα από την βροχή, η τοπογραφία και το είδος της καύσιμης ύλης. Επίσης όταν οι θερινές βροχές συνοδεύονται από κεραυνούς, δημιουργούνται σοβαροί κίνδυνοι πρόκλησης πυρκαγιάς (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004).

Η ατμοσφαιρική υγρασία είναι σπουδαίος παράγοντας για τη συχνότητα των δασικών πυρκαγιών, επειδή επιδρά στην περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης (Foster 1976). Ο υγρός αέρας δεν απορροφάει υγρασία από την καύσιμη ύλη (Γκόφας 1992, 2001). Έτσι, η υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία λειτουργεί ανασταλτικά στην έναρξη και τη διάδοση της πυρκαγιάς. Το λεπτό υλικό, όπως νεκρές βελόνες και φύλλα στο έδαφος, ξερά χόρτα, κλαδάκια αντιδρούν στην αλλαγή της υγρασίας της ατμόσφαιρας σε λιγότερο από μισή ώρα (Foster 1976). Η σχετική υγρασία του αέρα επιδρά στο μέγεθος των πυρκαγιών και ιδιαίτερα στη συχνότητα εμφάνισής τους. Ακόμα, είναι γνωστό στην πράξη ότι τη νύχτα με υψηλή σχετική υγρασία είναι πιο εύκολο να σβήσουμε πυρκαγιές και μάλιστα, όταν δεν φυσάει άνεμος, οι πυρκαγιές πρακτικά σβήνουν και μόνες τους (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004).

Υψηλές θερμοκρασίες: Η θερμοκρασία του αέρα, αντιστοιχεί κάθε φορά σε ορισμένη σχετική υγρασία του και επιδρά στην πορεία της ξήρανσης κυρίως της νεκρής καύσιμης δασικής ύλης, κατά τη διάρκεια όχι μόνο του χρόνου, αλλά και της ημέρας. Οι υψηλές θερμοκρασίες και ιδιαίτερα αυτές που διαρκούν πολύ σε συνδυασμό με την παρατεταμένη ανομβρία και ξηρασία κατά τη μακρά θερινή περίοδο, επιβραδύνουν ή αποτρέπουν οποιαδήποτε δραστηριότητα των μικροοργανισμών αποσύνθεσης της νεκρής φυτικής ύλης και αποτελούν μεγάλο κίνδυνο για την έναρξη και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να συσσωρεύετε σε παχιά στρώματα στην επιφάνεια του εδάφους, η εξαιρετικά εύφλεκτη ξηροφυλλάδα από τα φύλλα (βελόνες πεύκων και

φύλλα πλατύφυλλων) που τα κάθε είδους φυτά του δάσους αποβάλλουν με αυξανόμενο ρυθμό, όσο προχωρεί η ξηροθερμική θερινή περίοδος. Είναι αξιοσημείωτο, ότι σημαντικό ποσοστό των πευκοβελόνων διακρατείται από τις κόμες του υπορόφου του δάσους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μαζί με την ξερή φυτομάζα των θάμνων, ιδανικές συνθήκες δομής της καύσιμης ύλης για το εύκολο άναμμα και στη συνέχεια την επέκταση της φωτιάς

Βροχοπτώσεις: Η ποσότητα της βροχής επιδρά ανασταλτικά στην εκδήλωση και επέκταση των δασικών πυρκαγιών. Είναι γνωστό ότι κατά την περίοδο βροχοπτώσεων δεν έχουμε δασικές πυρκαγιές. Το ίδιο συμβαίνει όταν έχουμε υγρό ομιχλώδη καιρό ή αμέσως μετά από βροχή. Δυνατές βροχές, που διαρκούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, εναποθέτουν μεγάλες ποσότητες νερού στην εύφλεκτη δασική ύλη και την καθιστούν ανθεκτική, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση του κινδύνου έναρξης και εξάπλωσης της δασικής πυρκαγιάς. Στη χώρα μας σπουδαίο ρόλο παίζουν όχι μόνο η ποσότητα και η διάρκεια της βροχής αλλά και η εποχή του έτους, ο καιρός που ακολουθεί ύστερα από βροχή, η τοπογραφία, η ποσότητα και το είδος της καύσιμης ύλης.

β) Τοπογραφικές συνθήκες Λέγοντας τοπογραφικές συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς εννοούμε το ανάγλυφο μιας περιοχής, δηλαδή ανάλογα με την *έκθεση* ως προς τον ορίζοντα (διαφορετική συγκέντρωση καύσιμης ύλης, η δασική ύλη ξεραίνεται ταχύτερα στις νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές πλαγιές, οπότε οι νότιες εκθέσεις εμφανίζονται ξηρότερες από τις βόρειες.), την *κλίση* (εξαπλώνεται γρηγορότερα προς τα ανάντι παρά προς τα κατόντι), την *μορφολογία* του εδάφους (βαθείς ρεματιές, στενά φαράγγια, πλατιά φαράγγια, ράχες, διάσελα κλπ), το *υψόμετρο* (σύνθεση της βλάστησης, περιεκτικότητα σε υγρασία της καύσιμης ύλης κλπ), τη πυκνότητα του χορτοτάπητα(ύπαρξη αραιής ή πυκνής βλάστησης) και τη προσπελασιμότητα μιας περιοχής (ύπαρξη δρόμων, αντιπυρικών ζωνών). Αναλυτικότερα

Κλίση εδάφους: Η κλίση του εδάφους αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα στην επέκταση των δασικών πυρκαγιών. Έτσι η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς είναι μεγαλύτερη προς τα ανάντι, μικρότερη προς τα κατόντι και ακόμη λιγότερη σε επίπεδα εδάφη. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση μιας περιοχής τόσο αυξάνεται η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Επιπλέον, οοφείλουμε να αναφέρουμε ότι, σε εδάφη με μεγάλη κλίση, το νερό απορρέει γρηγορότερα από ότι σε αντίστοιχα εδάφη με ηπιότερη κλίση, με αποτέλεσμα την ελάττωση της υγρασίας. Η ταχύτητα εξάπλωσης είναι

μεγαλύτερη προς τα ανάντη, γιατί η υπερκείμενη καιγόμενη ύλη βρίσκεται πιο κοντά στις φλόγες και δέχεται μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολούμενης θερμότητας (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004).

Διεύθυνση πλαγιάς: Η διεύθυνση της πλαγιάς και το υψόμετρο και είναι σπουδαίοι παράγοντες για το κίνδυνο των πυρκαγιών, επειδή επιδρούν στην περιεχόμενη υγρασία των ελαφρότερων καύσιμων υλών. Νότιες εκθέσεις είναι ξηρότερες από τις βόρειες. Η δασική ύλη ξεραίνεται ταχύτερα στις νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές πλαγιές, παρά σε πλαγιές άλλων εκθέσεων. Όμως, στις βόρειες εκθέσεις λόγω της ύπαρξης του νερού υπάρχει έντονη υποβλάστηση που, όταν γίνει ξερή, μπορεί να δώσει μεγάλες σε ένταση πυρκαγιές. Όσο αυξάνεται το υψόμετρο, αυξάνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μεταβάλλεται η διαμόρφωση της βλάστησης, ο αέρας έχει λιγότερο οξυγόνο και επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, άρα και λιγότερη απώλεια υγρασίας στην καύσιμη ύλη, λιγότερη θέρμανση της καύσιμης ύλης και μεγαλύτερη βροχόπτωση (Καλαμποκίδης κ.ά. 2013). Τα δάση που προτιμούν κατ' εξοχήν οι πυρκαγιές είναι εκείνα από κωνοφόρα με δεύτερα κατά σειρά τα δάση από αείφυλλα πλατύφυλλα, ενώ τα δάση από φυλλοβόλα πλατύφυλλα είναι μάλλον πυρασφαλή. Η εισαγωγή στη ζώνη των φυλλοβόλων, αλλά και αείφυλλων πλατύφυλλων, των βελονόφυτων ειδών για ταχεία παραγωγή ξύλου, κατέστησε τα δάση αυτά ευπρόσβλητα στις πυρκαγιές ιδίως για την περιοχή της Μεσογείου. Η διαμόρφωση ομήλικων συστάδων κωνοφόρων (κυρίως χαλεπίου, τραχείας και κυπαρρισσιού), αγνοώντας κάθε άλλο δασοπονικό είδος, δημιουργεί δάση εξαιρετικά εύφλεκτα.

γ) Τα χαρακτηριστικά της καύσιμης δασικής ύλης, μπορούν να επηρεάσουν την συμπεριφορά της πυρκαγιάς ανάλογα με την υφή και το μέγεθός της (π.χ. ελαφριές καύσιμες ύλες καίγονται ευκολότερα και ταχύτερα και προκαλούν γρήγορη εξάπλωση), την συσσώρευση και την κατανομή της (π.χ. όσο πιο ομοιόμορφη και συνεχόμενη κατανομή καύσιμης ύλης έχουμε, τόσο μεγαλύτερη και γρηγορότερη ανάφλεξη και πλήρη καύση έχουμε, ενώ όσο πιο πολλές διακοπές της βλάστησης υπάρχουν τόσο περισσότερες είναι οι αλλαγές στην ταχύτητα εξάπλωσης και την ένταση της πυρκαγιάς. Από την άλλη πλευρά όσο μεγαλύτερες ποσότητες είναι συσσωρευμένες σε μια έκταση τόσο η ένταση και η ταχύτητα της πυρκαγιάς αυξάνει) καθώς και την υγρασία την οποία περιέχει (διαφορετικές συγκεντρώσεις υγρασίας στην ίδια καύσιμη ύλη έχουν σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς). Την καύσιμη ύλη στις δασικές πυρκαγιές αποτελούν οι νεκροί ή ζωντανοί ιστοί των φυτών (Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004).

3.3 Είδη δασικών πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές ανάλογα με τον τρόπο εξάπλωσής τους και τη θέση τους στην επιφάνεια του εδάφους μπορούν να διακριθούν σε (Καϊλίδης, 1993):

Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες: Οι πυρκαγιές αυτές καίνε την οργανική ύλη που συσσωρεύεται σε δάση βορείων χωρών. Ειδικότερα σε πολλούς δασικούς τόπους συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του εδάφους διάφορες ποσότητες οργανικής ύλης που βρίσκεται σε διαφορετικά στάδια αποσύνθεσης. Το στρώμα αυτό της οργανικής ύλης μπορεί να είναι καλά συμπιεσμένο, να έχει λεπτή υφή και να είναι αποκλεισμένο από τον ατμοσφαιρικό αέρα έτσι ώστε να μην τροφοδοτείται από οξυγόνο. Σε ορισμένες περιπτώσεις η οργανική ύλη φτάνει σε μεγάλο βάθος, όπως στις περιοχές που έχουν τύρφη. Τα στρώματα αυτά της οργανικής ύλης και ο φυλλοτάπητας όταν καίγονται αποτελούν τις πυρκαγιές εδάφους. Η πυρκαγιά αυτή μπορεί να διεισδύσει βαθύτερα, πάνω από 1 ή 2 μέτρα και να εξαπλωθεί υπόγεια. Σε μια πυρκαγιά εδάφους η παρουσία καπνού δεν είναι πάντα εφικτή, με αποτέλεσμα να την αναγνωρίζουμε δύσκολα. Οι πυρκαγιές εδάφους διαδίδονται αργά και καμιά φορά γίνονται από τις πιο επικίνδυνες πυρκαγιές.

Πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες: Πρόκειται για τις πυρκαγιές που καίνε τους χορτοβοσκότοπους, το βελονοτάπητα ή φυλλοτάπητα, τους κατακείμενους ξηρούς κλάδους, τις αναγεννήσεις, τα υπολείμματα των υλοτομιών ή και τους συνδυασμούς των προηγούμενων. Εδώ υπάγονται και οι πυρκαγιές των θαμνώνων της Ελλάδας, που είναι οι πιο συνηθισμένες και οι πιο επικίνδυνες. Από αυτές προέρχονται και οι πυρκαγιές κόμης. Στα δάση μαύρης πεύκης της Ελλάδας για παράδειγμα, όπου στο έδαφος υπάρχει άφθονος βελονοτάπητας χωρίς θάμνους και χόρτα, οι πυρκαγιές συνήθως καίνε το βελονοτάπητα, μαυρίζουν τη βάση του κορμού αλλά δεν προκαλούν νεκρώσεις στα δέντρα. Μερικές φορές όμως, σε απότομες πλαγιές και με άνεμο, νεκρώνουν την κόμη και όλο το δέντρο. Στα δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης, όπου υπάρχει άφθονος υπόροφος και χόρτα, όταν ανάψει μικρή πυρκαγιά καίγεται ο υπόροφος και μεταδίδει γενικά τη φλόγα και στην κόμη, οπότε παρουσιάζεται μικτή πυρκαγιά. Όταν, όμως, φυσάει ισχυρός άνεμος, στις μεγάλες δηλαδή πυρκαγιές, η φωτιά τρέχει υπό την κόμη και τα δέντρα οπωσδήποτε νεκρώνονται. Σε περιοχές με κλίση, οι πυρκαγιές γίνονται μικτές - έρπουσες και κόμης. Γενικά τα δέντρα πάντοτε νεκρώνονται. Για να διαπιστωθεί αν ένα δέντρο είναι νεκρό ή όχι, πληγώνεται με τσεκούρι ο φλοιός του και αν το κάμβιο (το μέρος του κορμού κάτω από το φλοιό) είναι άσπρο είναι ζωντανό, ενώ αν είναι καφετί το δέντρο είναι νεκρό.

Οι πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες διαδίδονται πολύ γρήγορα επειδή υπάρχει άφθονος αέρας και οξυγόνο, άφθονη φλόγα και θερμοκρασία. Ο καπνός των πυρκαγιών αυτών εξαπλώνεται σε μικρό ύψος, στα πλατύφυλλα και στα δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης μάλιστα, φθάνει σε μεγάλο ύψος και έχει χρώμα μαυρωπό-λευκωπό.

Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες: Σε αυτές τις πυρκαγιές καίγεται η κόμη των δέντρων. Τα δέντρα νεκρώνονται. Οι πυρκαγιές του είδους αυτού λαμβάνουν χώρα σε είδη που η κόμη είναι εύφλεκτη όπως τα κωνοφόρα και κυρίως η τραχεία και η χαλέπιος πεύκη. Στις πυρκαγιές του είδους αυτού, ο άνεμος παρασύρει σε αρκετή απόσταση καιγόμενα φύλλα, κλαδάκια και όχι κώνους όπως πιστεύεται, οπότε δημιουργούνται νέες εστίες πυρκαγιών. Η ταχύτητα της πυρκαγιάς είναι μεγαλύτερη αυτής της έρπουσας, ενώ ο καπνός υψώνεται πάνω από το δάσος σε σχήμα μανιταριού και το χρώμα του είναι σκοτεινότερο από τον καπνό της έρπουσας πυρκαγιάς.

3.4 Οι πυρκαγιές στο δασικό οικοσύστημα της Χίου

Το δασικό οικοσύστημα της Χίου ανήκει στην κατηγορία των Μεσογειακών οικοσυστημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από εύφλεκτη βλάστηση σε ένα περιβάλλον με πληθώρα φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιών. Το νησί σε μεγάλη έκταση αποτελείται από πευκοδάση και θαμνότοπους, δημιουργώντας ένα πυριγενές οικοσύστημα, που όχι μόνο στηρίζεται στη φωτιά για την αναγέννησή και εξέλιξή του, αλλά και ευνοεί τη συχνή εμφάνιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών (Καλαμποκίδης, 1995).

Τα νησιωτικά οικοσυστήματα του Αιγαίου, και κατά συνέπεια το οικοσύστημα της Χίου, ανήκουν στη ζώνη υψηλού κινδύνου από άποψη πυρκαγιών. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγει κανείς λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους περιβαλλοντικούς όσο και τους οικολογικούς και κοινωνικό-πολιτικούς παράγοντες αλλά και τις πυρκαγιές που έχουν ξεσπάσει στο παρελθόν στο νησί.

Τόσο στα δασικά οικοσυστήματα των νησιών του Αιγαίου όσο και συγκεκριμένα στο Νομό Χίου συναντά κανείς τις παρακάτω κατηγορίες βλάστησης, οι οποίες και έχουν διαφορετική συμπεριφορά απέναντι στην πυρκαγιά. Τα δασικά οικοσυστήματα αποτελούνται από τα παρακάτω είδη:

Τραχεία Πεύκη (Pinus brutia): Τα δάση τραχείας πεύκης παρουσιάζουν μεγάλη επικινδυνότητα στην πυρκαγιά, ωστόσο έχουν αναπτύξει μηχανισμούς άμυνας απέναντι στην πυρκαγιά. Η αντιμετώπιση της πυρκαγιάς σε δάση τραχείας πεύκης είναι πολύ δύσκολη, εξαιτίας της πολύ γρήγορης εξάπλωσής της μέσω καυτρών που βρίσκονται στην κόμη των δέντρων και πετάγονται στα γειτονικά δένδρα. Γι

αυτό το λόγο μόνο έμμεσοι τρόποι αντιμετώπισης (αεροπυρόσβεση σε σημεία μακριά από το κύριο μέτωπο της φωτιάς, ζώνες αποψίλωσης, κλπ) μπορούν να έχουν αποτελέσματα.

Μαύρη Πεύκη (Pinus nigra): Τα δασικά αυτά οικοσυστήματα δεν θεωρούνται υψηλού κινδύνου σε ότι αφορά την έναρξη και την διάδοση μιας πυρκαγιάς, ωστόσο κάτω από δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες (χαμηλή υγρασία, υψηλές θερμοκρασίες, ισχυροί άνεμοι), μπορούν να δημιουργηθούν σημαντικά προβλήματα αντιμετώπισης μιας πυρκαγιάς.

Δρύς και Πλατύφυλλα: Τα είδη αυτά δημιουργούν πρεμνοφυή δάση με υπόροφο από θάμνους, χόρτα και φυλλοτάπητα. Οι συστάδες αυτές παρουσιάζουν μέτριο ως υψηλό κίνδυνο φωτιάς που κάτω από ευνοϊκές πυρικές συνθήκες έχουν τη δυνατότητα να δώσουν σημαντικές πυρκαγιές (Καλαμποκίδης, 1995).

Αείφυλλα – Πλατύφυλλα: Στα είδη αυτά συμπεριλαμβάνονται κατά κύριο λόγο τα φυτά πουρνάρι, σχίνος (στη νήσο Χίο απαντάται κυρίως το είδος *Pistacea lentiscus* var *Chia*, το γνωστό σε όλους μαστιχόδενδρο), κουμαριά, φυλική και άλλοι θάμνοι περισσότερο ή λιγότερο ανθεκτικοί στην πυρκαγιά. Τα είδη αυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής στην φωτιά (π.χ. ριζοβλάστηση και ανθεκτικούς σπόρους) που καθιστούν τις συνέπειες μιας πυρκαγιάς θετικές για την εξέλιξή τους, εκτός από ευπαθή οικοσυστήματα σε απότομες κλίσεις και φτωχά εδάφη (Καλαμποκίδης, 1995).

Χορτολίβαδα και φρύγανα: Τα είδη αυτά καταλαμβάνουν ένα αρκετά σημαντικό μέρος των νησιών του Αιγαίου και χρησιμοποιούνται κυρίως ως βοσκότοποι. Οι πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα στους βοσκότοπους χαρακτηρίζονται ως έρπουσες μικρής ένταση αλλά μεγάλης ταχύτητας διάδοσης. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες οι πυρκαγιές αυτές μπορούν να γίνουν πολύ επικίνδυνες και να μεταδοθούν ταχύτητα και σε άλλα συστήματα. Στα νησιωτικά οικοσυστήματα και συνήθως κάτω από ακραίες γεωμορφολογικές συνθήκες, οι πυρκαγιές σε βοσκότοπους μπορούν να οδηγήσουν σε μη αναστρέψιμες οικολογικές ζημιές (π.χ. ερήμωση, εξαφάνιση ενδημικών φυτών και ζώων).

Από τα παραπάνω οικοσυστήματα τα πιο επικίνδυνα θεωρούνται τα δάση τραχείας πεύκης, οι θάμνοι αείφυλλων πλατύφυλλων και τα δρυοδάση και μικρότερης επικινδυνότητας τα χορτολίβαδα και τα δάση μαύρης πεύκης.

Τόσο τα είδη βλάστησης όσο και οι μετεωρολογικές συνθήκες συνθέτουν ένα πυριγενές σκηνικό. Η Χίος αποτελείται θα λέγαμε από δύο κατηγορίες ζωνών βλάστησης. Οι κατηγορίες αυτές μπορούν να χωρίσουν τη Χίο σε δυο τμήματα. Το μεγαλύτερο μέρος της βόρειας Χίου έχει καεί στο παρελθόν και σήμερα αποτελείται κυρίως από βοσκοτόπους. Δεν πραγματοποιείται καμία διαχείριση πέρα από κάποια μέτρα κατά των πυρκαγιών, όπως κλαδέματα, καθαρισμοί και διανοίξεις δρόμων και η επικινδυνότητα είναι περιορισμένη. Στο νότιο τμήμα που είναι το πιο ανεπτυγμένο, οι κίνδυνοι έκρηξης πυρκαγιών είναι μεγάλοι. Εκεί βρίσκονται και οι μεγαλύτερες εκτάσεις των

μαστιχοχώρων. Πολλά από αυτά έχουν εγκαταλειφτεί και επομένως δεν διενεργούνται καθαρισμοί των υπορόφων. Στις καθαρά δασικές εκτάσεις, η Δασική Υπηρεσία πραγματοποιεί κατά την καλοκαιρινή περίοδο περιπόλους δασοπροστασίας και πυρόσβεσης για την άμεση αντιμετώπιση περιστατικών πυρκαγιάς. Το πρόβλημα που δεν παύει να υφίσταται όμως είναι το θέμα της διαχείρισης των οικοσυστημάτων και της πρόληψης (Καλαμποκίδης, 1995).

Σύμφωνα με τις ίδιες μελέτες προκύπτει ότι το 2012 ήταν το έτος με τις μεγαλύτερες καμένες εκτάσεις (>148.000 στρ.) της τελευταίας τριακονταετίας. Τα αμέσως επόμενα καταστρεπτικά έτη ήταν το 1988 και το 1987, οπότε και οι καμένες εκτάσεις ανήλθαν σε 83.670 και 48.196 στρ. αντίστοιχα. Το 1987 συγκεκριμένα αποτεφρώθηκαν 30.700 στρ. πευκοδάσους τα οποία και κηρύχθηκαν αναδασωτέα. Η φωτιά του 2000 αποτέφρωσε 15.750 στρ. από τα οποία 9.890 στρ. αντιστοιχούσαν σε δασικές εκτάσεις, οι οποίες κηρύχθηκαν αναδασωτέες. Στο διάγραμμα 1 παρατίθενται οι καμένες εκτάσεις ανά έτος.

3.5 Το ιστορικό της πυρκαγιάς στα Μαστιχοχώρια στις 25/07/2016

Η φωτιά ξέσπασε το καλοκαίρι του 2016 στο νοτιοδυτικό τμήμα της νήσου Χίου συγκεκριμένα, η πυρκαγιά των Μαστιχοχωρίων όπου ξεκίνησε στις 25 Ιουλίου και κατέκαψε 45,9 km² έκτασης σύμφωνα με τα βιβλία συμβάντων της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας και ευθύνεται σε βραχυκύκλωμα ηλεκτρικών καλωδίων. Η φωτιά η οποία ήταν πολύ μεγάλη σε μέγεθος, ξεκίνησε δυτικά της επαρχιακής οδού Βέσσας-Λιθίου, κατά μήκος ρέματος και επεκτάθηκε γρήγορα λόγω των ισχυρών ανέμων. Κινήθηκε σε έναν άξονα βορρά- νότου και έφτασε μέχρι τους οικισμούς των Μεστών και του Λιθίου. Ο δείκτης επικινδυνότητας για εκδήλωση πυρκαγιάς της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας ήταν 3 (υψηλή) και διατηρήθηκε σε αυτό το επίπεδο μέχρι και τη λήξη της 3 μέρες μετά.

Το νησί έχει κηρυχθεί σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης, έπειτα από απόφαση της περιφέρειας, προκειμένου να ενεργοποιηθούν έκτακτες διαδικασίες μακριά από τις γραφειοκρατικές αγκυλώσεις. "Με δεδομένη τη δύσκολη κατάσταση που διαμορφώνεται λόγω της καταστροφικής πυρκαγιάς στη Χίο, η Περιφερειάρχης Βορείου Αιγαίου ζήτησε να κηρυχθούν οι περιοχές των Δημοτικών Διαμερισμάτων *Λιθίου, Βέσσας, Ελάτας, Μεστών, Ολύμπων, Πυργίου της νήσου Χίου* σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης", αναφέρεται στο σχετικό δελτίο Τύπου από την Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου. Για την κατάσβεση της πυρκαγιάς επιχείρησαν οι παρακάτω δυνάμεις: όλη η διαθέσιμη δύναμη της Π.Υ. Χίου, 41 επιπλέον πυροσβέστες ως πεζοπόρο τμήμα, 18 επιπλέον πυροσβεστικά οχήματα με 72 άτομα πλήρωμα από διάφορες Π.Υ. της χώρας, 72 άτομα του Ελληνικού Στρατού

(Ε.Σ.) και 30 άτομα της δύναμης Δευκαλίων του Ελληνικού Στρατού. Στα εναέρια μέσα αριθμούνται 2 ελικόπτερα μεσαίου τύπου, 1 ελικόπτερο Super Puma, 2 ελικόπτερα Cinook, 1 ελικόπτερο συντονισμού του ΠΣ και 2 αεροσκάφη CL-415. Σημαντική ήταν η βοήθεια των εθελοντών δασοπυροσβεστών εθελοντικών ομάδων της Χίου με 16 πυρ/κα οχήματα και περίπου 40 εθελοντές. Επίσης, συνέβαλαν ο Δήμος Χίου, η ΕΛ.ΑΣ., το ΕΚΑΒ, η Δ/ση Δασών το Λιμενικό Σώμα, ο Ε.Σ. με προσωπικό και μηχανήματα, όπως και πολίτες με ιδιωτικά μέσα.

3.6 Συνέπειες των δασικών πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούσαν, αποτελούν και θα συνεχίσουν να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του κύκλου της ζωής των δασικών οικοσυστημάτων και ιδιαίτερα των μεσογειακών δασικών οικοσυστημάτων. Συνεπώς, ο λόγος για τον οποίο γίνεται τα τελευταία χρόνια τόσο πολύς λόγος για τις συνέπειες των δασικών πυρκαγιών και για το πώς είναι δυνατόν να περιοριστούν αυτά τα φαινόμενα, έγκειται στην ανάμειξη του ανθρώπινου παράγοντα, που τα πολλαπλασιάζει. Οι συνέπειες μιας πυρκαγιάς καλύπτουν ένα ευρύτερο φάσμα προβλημάτων, κάποια από τα οποία μπορούν να αποτιμηθούν σε οικονομικές μονάδες, άλλα όμως, όπως η οικολογική καταστροφή και η προσβολή της ανθρώπινης υγείας, είναι δύσκολο να εκφραστούν σε μονάδες χρήματος.

Οι δασικές πυρκαγιές συνεπάγονται μια σωρεία επιπτώσεων που αφορούν την ατμόσφαιρα, τον υδροφόρο ορίζοντα και την ποιότητα του εδάφους. Οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις σχετίζονται με τα είδη της βλάστησης και της πανίδας που πλήγονται και με τον τρόπο που αυτά επηρεάζονται, και με τις πολύ άμεσες ανάγκες που δημιουργούν στις παραδασόβιες κοινότητες. Οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις σχετίζονται με την εκπομπή αερίων, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα και τα νιτρικά, τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν ακόμα και διαφοροποίηση στην ανάπτυξη κάποιων ειδών χλωρίδας ή τη διαφοροποίηση του τοπικού μικροκλίματος, με σύννητες χαρακτηριστικό την αύξηση της θερμοκρασίας και τη μείωση των επιπέδων υγρασίας (Στυλιανοπούλου, 2008).

Το πιο προφανές και άμεσο επακόλουθο μιας δασικής πυρκαγιάς είναι η καταστροφή της υπέργειας βιομάζας και η δραστική μείωση της ποσότητας οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους. Η φωτιά επηρεάζει τις εδαφικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, κάτι που συνεπάγεται την υποβάθμισή του. Οι υδρόφοβες ουσίες που συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους μετά το πέρας της φωτιάς, μειώνουν τη διαπερατότητα του εδάφους, ενισχύοντας τη διάβρωσή του από τον άνεμο και τα βρόχινα κατακρημνίσματα. Ως συνέπεια αυτών, προκύπτει η περισσότερη ξηρασία και μεγαλύτερη επιφανειακή απορροή και διάβρωση (Στυλιανοπούλου, 2008).

Η αμέσως επόμενη και αναμενόμενη συνέπεια είναι οι εδαφικές απώλειες από τα νερά της βροχής, τον αέρα και τα λοιπά κατακρημνίσματα. Ο χούμος του εδάφους έχει την ιδιότητα να συγκρατεί μέχρι και 300 φορές το βάρος του σε νερό. Το ενδεχόμενο, λοιπόν, να προκληθούν πλημμύρες κατά τους χειμερινούς μήνες, είναι μια μόνιμη απειλή για τους οικισμούς που βρίσκονται κοντά σε καμένα δάση, όχι μόνο για τη δεδομένη χρονιά, αλλά και για τα επόμενα έτη. Καθώς οι ορεινοί όγκοι απογυμνώνονται από τα θρεπτικά συστατικά, εμποδίζεται η ανάπτυξη οποιουδήποτε είδους νέας βλάστησης, ενώ οι ποσότητες χώματος που μεταφέρονται στις κοίτες των ποταμών, στις λίμνες και τις θάλασσες, οδηγούν σε επιπλέον περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως ο ευτροφισμός (Στυλιανοπούλου, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στις Δασικές Πυρκαγιές

4.1 Γενικά για την Τηλεπισκόπηση

Η Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) ορίζεται ως η τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια, μέσα από τη συλλογή δεδομένων από ειδικά όργανα, που φέρουν διάφορα αερομεταφερόμενα ή δορυφορικά μέσα και τα οποία δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα (Gupta 1991, Avery & Berlin 1992, Mather 1999, Lillesand και Kiefer 2000).

Τα συστήματα Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν ειδικά όργανα (αισθητήρες) που ανιχνεύουν επιλεκτικά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σε συγκεκριμένα τμήματα του φάσματος, στο ορατό τμήμα με μήκη κύματος από 0,4 έως 0,7 μm , στο υπέρυθρο τμήμα (IR – infrared) με μήκη κύματος από 0,7 μm έως 1000 μm , το οποίο διακρίνεται σε κοντινό (near IR, 0,7-1,5 μm), ενδιάμεσο (middle IR, 1,5-5,6 μm) και μακρινό (far IR, 5,6-1000 μm). Το υπέρυθρο χωρίζεται επίσης σε ανακλώμενο (reflected IR, από 0,7-3,0 μm) και θερμικό (thermal IR, 3-1000 μm ή 0,1 cm). Τέλος, χρησιμοποιεί το τμήμα των μικροκυμάτων, με μήκη κύματος από 0,1 cm έως 1 m, που περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά και η σύσταση κάθε αντικειμένου επηρεάζουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται, στα διάφορα μήκη κύματος, με το δικό του χαρακτηριστικό τρόπο. Η ποσότητα και η φασματική κατανομή της ανακλώμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο χρησιμοποιείται ως μέσο αναγνώρισης του αντικειμένου αυτού. Η ιδιότητα αυτή αναφέρεται ως φασματική ταυτότητα (spectral signature) ή φασματική απόκριση (spectral response) του αντικειμένου και καταγράφεται από τους δέκτες των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά παρατήρησης της Γης.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των μέσων Τηλεπισκόπησης περιγράφονται με την χωρική (spatial), φασματική (spectral), ραδιομετρική (radiometric) και χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση των εικόνων.

Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μία εικόνα εξαρτάται από την χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου καταγραφής και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί. Στις δορυφορικές ψηφιακές εικόνες που παράγονται από τους σαρωτές των οπτικών μέσων καταγραφής, η χωρική διακριτική ικανότητα ταυτίζεται με το "εικονοστοιχείο της εικόνας" (pixel), το οποίο είναι η "στοιχειώδης επιφάνεια" της Γης που καταγράφεται από τους δέκτες.

Συνεπώς, η χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας, αφορά την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων, στην οποία οι διαστάσεις τους φαίνονται χωριστά και καθαρά.

Η φασματική διακριτική ικανότητα σχετίζεται με τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί κάθε δορυφορικό σύστημα καταγραφής. Η θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το εύρος και ο αριθμός των φασματικών καναλιών, μπορούν να καθορίζουν την ικανότητα διάκρισης των διάφορων στόχων, ενώ και η χρήση των πολυφασματικών δεδομένων μπορεί να προσφέρει πολύ καλά αποτελέσματα διακριτικής ικανότητας σε σχέση με οποιοδήποτε μεμονωμένο φασματικό κανάλι. Πολυφασματικά ονομάζονται τα συστήματα που καταγράφουν σε περισσότερες από μία φασματική ζώνη και υπερφασματικά αυτά που καταγράφουν σε δεκάδες φασματικές ζώνες πολύ μικρού εύρους.

Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν το είδος της πληροφορίας που περιέχεται σε μία εικόνα. Κατά την αποτύπωσή της, η ευαισθησία στη ένταση της ανακλώμενης ενέργειας καθορίζει την ραδιομετρική ικανότητα. Τα δεδομένα μιας εικόνας αντιπροσωπεύονται από ψηφιακές τιμές που μεταβάλλονται από το 0 έως μία τιμή X παράγωγη στη δύναμη του 2 (2^X). Οι δορυφορικές εικόνες Landsat απεικονίζουν 256 διαβαθμίσεις του γκρι (ψηφιακές τιμές 0-255) επειδή τα όργανα καταγραφής του δορυφόρου λειτουργούν στα 8 bits. Αντίθετα, οι εικόνες του δορυφόρου ERS περιλαμβάνουν περισσότερες διαβαθμίσεις του γκρι λόγω της δυνατότητας λειτουργίας των οργάνων στα 16 bits (65.536 διαβαθμίσεις). Η αύξηση της ραδιομετρικής ικανότητας προκαλεί αντίστοιχη αύξηση των διαβαθμίσεων του γκρι στην εικόνα, και συνεπώς μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των στόχων.

Η χρονική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος σχετίζεται με την συχνότητα λήψης εικόνων από το δορυφόρο, για την ίδια περιοχή. Η περίοδος επαναληψιμότητας για ένα δορυφορικό σύστημα είναι συνήθως της τάξης μερικών ημερών (4-25), για να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης. Σε εφαρμογές που περιλαμβάνεται η διαχρονική ανάλυση και παρατήρηση, θα πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα προκειμένου τα αποτελέσματα της μελέτης να είναι όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα: (α) οι διαχρονικές εικόνες θα πρέπει να λαμβάνονται από τα συστήματα καταγραφής την ίδια περίπου ώρα της ημέρας, ώστε να εξαλείφονται οι ημερήσιες διαφορές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, διότι προκαλούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις ιδιότητες ανάκλασης των αντικειμένων και (β) οι εικόνες θα πρέπει να λαμβάνονται την ίδια περίοδο του έτους, ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι φαινολογικές διαφοροποιήσεις των διάφορων επιφανειακών χαρακτηριστικών (Ψωμιάδης 2010).

4.2 Χρήση/Κάλυψη γης

Η συστηματική παρατήρηση και η λεπτομερής καταγραφή των αλλαγών της χρήσης/κάλυψης γης που έχουν παρατηρηθεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, γίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη, κυρίως για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους, σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο στις ανθρώπινες επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες εκδηλώνονται με διάφορους τρόπους. Οι επεμβάσεις, ιδιαίτερα τις τελευταίες 2-3 δεκαετίες, έχουν αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό προκαλώντας, πολλές φορές με γρήγορο ρυθμό, σημαντικές αλλαγές στο φυσικό τοπίο, με επακόλουθο τις δυσμενείς επιπτώσεις που υφίσταται ο ίδιος ο άνθρωπος. Η αύξηση του πληθυσμού, η άναρχη αστική ανάπτυξη και η ολοένα μειωμένη ανθεκτικότητα και προσαρμοστικότητα του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με τις ανεπαρκείς και ανακριβείς βάσεις πληροφοριών σχετικά με την / χρήση/κάλυψη γης, επιδεινώνουν τις επιπτώσεις αυτές καθιστώντας έτσι τον άνθρωπο αρκετά ευάλωτο στο να τις αντιμετωπίσει (Ψωμιάδης 2000).

Η σημασία της χρήσης/κάλυψης γης στη διαχείριση των φυσικών πόρων και την μελέτη των περιβαλλοντικών αλλαγών είναι ιδιαίτερα σημαντική και τα τελευταία χρόνια καθίσταται ολοένα και πιο απαραίτητη η διαθεσιμότητά της.

Οι δύο όροι, αν και σχετίζονται άμεσα αφού η χρήση εξαρτάται έντονα από τα χαρακτηριστικά της γης (κάλυψη, μορφή, θέση, υπέδαφος κ.α.), παρουσιάζουν μία σαφή διάκριση μεταξύ τους και δεν ταυτίζονται. Η κάλυψη γης (land cover) σχετίζεται με τον τύπο των βιοφυσικών χαρακτηριστικών που παρατηρούνται στην επιφάνεια της γης. Οι δομημένες περιοχές, οι υδάτινες μάζες, η βλάστηση, οι παγετώνες είναι παραδείγματα διαφορετικών τύπων κάλυψης γης. Η χρήση γης (land use) σχετίζεται με τις κοινωνικό-οικονομικές και πολιτικές συνθήκες που επικρατούν, την ανθρώπινη δραστηριότητα που εκδηλώνεται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα γης και τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο. Ταυτόχρονα, οι περιβαλλοντικές συνθήκες περιορίζουν αρκετές φορές συγκεκριμένες χρήσεις γης, παρότι η επίδρασή τους δεν είναι πάντα αποφασιστικής σημασίας. Ουσιαστικά, η χρήση γης αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ της κάλυψης γης και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που εκμεταλλεύονται και μεταμορφώνουν το τοπίο (Barrett & Curtis 1992, Geist & Lambin 2002, Nagendra et al. 2004, Psomiadis et al. 2005).

Η διάκριση μεταξύ της κάλυψης και της χρήσης γης γίνεται όλο και πιο ευδιάκριτη, όσο η κλίμακα της μελέτης αυξάνεται και η λεπτομέρεια που απαιτείται είναι μεγαλύτερη. Μία κάλυψη γης είναι δυνατόν να περιλαμβάνει διαφορετικές χρήσεις γης (έναν βοσκοτόπος μπορεί να χρησιμοποιείται για τη βόσκηση οικόσιτων ζώων ή για δραστηριότητες αναψυχής), ενώ από την άλλη πλευρά, μία συγκεκριμένη χρήση γης δεν αφορά απαραίτητα μόνο μία κάλυψη γης. Για παράδειγμα, μια περιοχή

μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως προς την κάλυψη γης σαν φυλλοβόλο δάσος, ενώ ως προς την χρήση γης σαν περιοχή καταφυγίου άγριας πανίδας κλπ. (Ψωμιάδης 2000). Η χρήση/κάλυψη γης αποτελεί μία πολύ σημαντική πληροφορία, δεδομένου ότι η χρησιμοποίησή της στον αστικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό, την αειφορική διαχείριση των οικοσυστημάτων και γενικότερα των ευαίσθητων περιοχών, θεωρείται σήμερα επιτακτική ανάγκη. Είναι επίσης απαραίτητη πληροφορία για επιστημονικούς και πολιτικούς σκοπούς, στη διαχείριση των φυσικών πόρων, την εκτίμηση και πρόβλεψη των φυσικών κινδύνων (Πυρκαγιές, Πλημμύρες). Οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης αποτελούν σήμερα ένα από τα 3 κύρια παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα, μαζί με την βιοποικιλότητα, την ρύπανση της ατμόσφαιρας (Janssen & Di Gregorio 2003).

4.3 Τηλεπισκόπηση και ΓΠΣ στην ανίχνευση μεταβολών

Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης και τα ΓΠΣ αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας και την διερεύνηση και καταγραφή της χρήσης/κάλυψης γης (Ciavola et al. 1999, Yang et al. 1999, Gatsis et al. 2001, Psomiadis et al. 2005, Shalaby & Tateishi 2007). Επιπροσθέτως, η χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης με την χρήση διαχρονικών δορυφορικών δεδομένων έχει αποδείξει ότι αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο εξαγωγής δεδομένων, ιδιαίτερα όταν οι υφιστάμενοι χάρτες δεν είναι ακριβείς και όχι πρόσφατα ενημερωμένοι, γεγονός που μερικές φορές τους καθιστά μη χρηστικούς στην παρακολούθηση απότομων αλλαγών μιας περιοχής μελέτης (White & El Asmar 1999, Shaghude et al. 2003).

Οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τις μεταβολές που συμβαίνουν και τη δημιουργία ή συμπλήρωση - ενημέρωση των αντίστοιχων βάσεων δεδομένων (Baker et al. 1991, Johnsson 1994, Vinas & Baulies 1995, Ortiz et al. 1997, Foody & Boyd 1999). Επίσης, οι λεπτομερείς χαρτογραφήσεις ευαίσθητων και πολύπλοκων οικολογικά περιοχών μεγάλης έκτασης, με δύσκολη προσβασιμότητα, είναι πολλές φορές ανέφικτο να πραγματοποιηθούν με τις συμβατικές μεθόδους (εργασίες υπαίθρου) και ταυτόχρονα θεωρούνται πολυδάπανες. Τα δορυφορικά δεδομένα και οι αεροφωτογραφίες μπορούν να παρέχουν τις κατάλληλες πληροφορίες σε ψηφιακή μορφή, σε ένα ευρύ φάσμα χωρικής, φασματικής και χρονικής κλίμακας, με ταχύτερο ρυθμό και χαμηλότερο κόστος, συγκριτικά με άλλες συμβατικές μεθόδους.

Υπάρχουν αρκετοί σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της πληροφορίας που αφορά την καταγραφή των μεταβολών και είναι οι ακόλουθοι (Cihlar 2000): (α) ο σκοπός της χρήσης της πληροφορίας. Η πληροφορία των μεταβολών της χρήσης/κάλυψης γης

μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς (επιστημονικούς, πολιτικούς, σχεδιασμού ή διαχείρισης, πρόβλεψης, κ.α.), με τον καθένα από αυτούς να έχει διαφορετικές ανάγκες και να απαιτεί διαφορετικού τύπου πληροφορίες, (β) το θεματικό περιεχόμενο. Η απαιτούμενη πληροφορία μπορεί να αφορά έναν περιορισμένο αριθμό τύπων μεταβολών (π.χ. δασικές-καλλιεργούμενες εκτάσεις), ή έναν μεγαλύτερο αριθμό τύπων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, (γ) η κλίμακα. Η κλίμακα αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός θεματικού χάρτη μεταβολών, καθότι η λεπτομέρεια της πληροφορίας που περιέχει σχετίζεται άμεσα με αυτή. Η επιλογή της κατάλληλης κλίμακας στην καταγραφή της κάλυψης είναι ένας πολύ ουσιαστικός παράγοντας για την επιτυχή πραγματοποίησή της και αποτελεί συνάρτηση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, της απαιτούμενης πληροφορίας που επιζητείται, των μεθόδων ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν και της χωρικής δομής της εικόνας – τύπος περιβάλλοντος (Woodcock & Strahler 1987), (δ) τα δορυφορικά δεδομένα. Η ποιότητα (χωρική, φασματική, ραδιομετρική, χρονική ανάλυση) και η διαθεσιμότητα των δορυφορικών δεδομένων πολλές φορές περιορίζουν την ακρίβεια και τον τύπο της πληροφορίας που μπορεί να αποκτηθεί σχετικά με την ανίχνευση των αλλαγών, επηρεάζουν την επιλογή του καταλληλότερου τύπου δεδομένων, ενώ η κλίμακα παρατήρησης εξαρτάται άμεσα από τη χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων και (ε) η επεξεργασία δεδομένων και η χρήση αλγορίθμων. Τα χαρακτηριστικά των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα και ακρίβεια της πληροφορίας της μεταβολής που θα εμπεριέχεται στο τελικό προϊόν.

Η χρησιμότητα των δορυφορικών δεδομένων και των αεροφωτογραφιών για την γενικότερη χαρτογράφηση και ανίχνευση των μεταβολών της χρήσης/κάλυψης γης σε πραγματικό χρόνο (real-time), έχει απασχολήσει πλήθος ερευνητών και αποτελεί σήμερα την πιο συχνή και σημαντική εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης. Ένας σημαντικός αριθμός μελετών έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση της χρησιμότητας, τόσο των τηλεπισκοπικών δεδομένων (Sunar 1998, Li & Yeh 1998, Mas 1999, El-Gamily et al. 2001, El-Magd & Tanton 2003, Guerschman et al. 2003, Serra et al. 2003, Currit 2005, Gatsis et al. 2006, Kerkides et al. 2006, Mimides et al. 2007, Efthimiou & Psomiadis 2018), όσο και των μεθόδων προσέγγισης της καταγραφής των μεταβολών (Zaki et al. 1995, Metternicht 1999, Zhao et al. 2004, Rashed et al. 2005).

4.4 Η χρήση της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στις πυρκαγιές

Ένας ακόμα τομέας που η χρήση δορυφορικών εικόνων βρίσκει μεγάλη αποδοχή είναι αυτός της καταπολέμησης των πυρκαγιών. Η χρήση τους κρίνεται σκόπιμη στα δύο βασικά στάδια που αναφέραμε παραπάνω. Σε πρώτη φάση κατά το στάδιο της πρόβλεψης χρησιμοποιούνται ως πρωταρχικά δεδομένα για την σύνταξη των χαρτών επικινδυνότητας φωτιάς. Ενώ παράλληλα ορισμένοι δορυφόροι μας δίνουν σε μορφή δορυφορικών απεικονίσεων προϊόντα όπως υγρασία βλάστησης και αέρα, πυκνότητα βλάστησης ακόμα και καιρικές μεταβλητές που είναι απαραίτητες στην δημιουργία των μοντέλων πρόβλεψης. Βέβαια ο δορυφόρος που θα χρησιμοποιηθεί για λήψη, η κλίμακα των απεικονίσεων, τα κανάλια που θα συμμετέχουν αλλά και η πιθανή χρήση των προϊόντων που προαναφέραμε όλα αυτά εξαρτώνται από την μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την εξαγωγή του δείκτη επικινδυνότητας (Καρτέρης Μ. κ.ά., 2007).

Σε δεύτερη τώρα φάση (στο μετά της φωτιάς) η χρήση έγκειται σε δυο στάδια. Πρώτον η καταγραφή των περιοχών που επλήγησαν από τις δασικές πυρκαγιές, αναφορικά με την ακριβή θέση των σημείων έναρξης και της χαρτογράφησης και υπολογισμού της καμένης έκτασης. Δεύτερον η εκτίμηση των οικονομικών απωλειών, ο προσδιορισμός των οικολογικών διαταραχών, η χαρτογράφηση των αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης και τέλος η εκτίμηση μακροπρόθεσμων απωλειών. Γενικά, τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμεύουν ως μια γρήγορη και αξιόπιστη διαχειριστική πηγή συλλογής γενικών στατιστικών που αφορούν τις καμένες επιφάνειες. Ωστόσο το ποια δορυφορικά δεδομένα είναι τα πλέον κατάλληλα, εξαρτάται από την απαιτούμενη συχνότητα ή χρονικό διάστημα συλλογής δεδομένων, καθώς και από την κλίμακα του επιπέδου παρακολούθησης. Τα δεδομένα με χαμηλή διακριτική ικανότητα (εικόνες NOAA) παρέχουν ένα συγκεκριμένο βαθμό γενικότητας, η οποία περιορίζει την χρησιμότητα αυτών, ειδικά στις περιπτώσεις πυρκαγιών μικρού μεγέθους ή όταν απαιτήσει μεγάλη ακρίβεια χαρτογράφησης. Αντίθετα, αν απαιτείται ο εντοπισμός, παρακολούθηση και λεπτομερής εκτίμηση και χαρτογράφηση των καμένων επιφανειών καθώς και άλλων στατιστικών σε μηνιαία βάση ή στο τέλος της αντιπυρικής περιόδου, τότε οι διαθέσιμοι υψηλής διακριτικής ικανότητας δορυφόροι (Landsat) παρέχουν ικανοποιητική διαχρονική κάλυψη και χωρική λεπτομέρεια.

Η χαρτογράφηση της καμένης έκτασης γίνεται κυρίως με τις μετρήσεις των αλλαγών στην ανάκλαση των επίγειων αντικειμένων μετά τη φωτιά, που συμβαίνουν στο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (0,45 – 3μm). Αυτό συμβαίνει από την εναλλαγή των φασματικών χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας μετά από μια πυρκαγιά, με αποτέλεσμα την ισχυρή αντίθεση ανάμεσα στην καμένη έκταση και τη γύρω περιοχή. Τμήμα της φυτοκάλυψης, της πυκνότητας της χλωροφύλλης και της περιεκτικότητας σε νερό της βλάστησης μειώνεται από τη μερική ή ολική εκτόπιση τμήματος της

επιφάνειας της γης, μεταβάλλοντας ταυτόχρονα το χρώμα και τη φωτεινότητα του εδάφους. Στο σύνολό τους οι διάφορες μελέτες εκτίμησης καμένων περιοχών εξετάζουν τη μεταβολή στις φασματικές ή θερμικές ιδιότητες της γήινης επιφάνειας πριν και μετά από μια φωτιά (Petroopoulos et al. 2010; Lentile et al., 2006; Ξενούλης, 2011).

Πιο συγκεκριμένα όταν η βλάστηση καίγεται υπάρχει, στη χωρική διακριτική ικανότητα των περισσότερων δορυφορικών αισθητήρων (μέγεθος εικονοστοιχείου >30 m), μια δραστική μείωση στην ανακλαστική επιφάνεια του ορατού-κοντινού υπέρυθρου (0,4-1,3μm) που σχετίζεται με την απανθράκωση και την αφαίρεση της βλάστησης. Σε μεγαλύτερες αναλύσεις (μέγεθος εικονοστοιχείου <5m) η καύση μεγάλων ποσοτήτων ξύλου ή άλλων εύφλεκτων υλικών μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγήσει σε αύξηση της ανακλαστικής επιφάνειας λόγω της μεγάλης απόθεσης λευκής στάχτης (Eva and Lambin, 1998; Trigg and Flasse, 2000; Landmann, 2003, Roy and Landmann, 2005; Smith and Hudak 2005; Lentile et al, 2006).

Ο βαθμός των αλλαγών μετά την πυρκαγιά ποικίλλει ανάλογα με το είδος της βλάστησης και τις ετήσιες διαφορές της εποχικής ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό η στρωμάτωση μεταξύ ειδών βλάστησης, η σύγκριση εικόνων με ίδια βλάστηση και οι τεχνικές διαφοροποίησης εικόνων, οι οποίες περιλαμβάνουν εικόνες πριν και εικόνες ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά, είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς.

Η παρατήρηση ευρέων φασματικών αλλαγών που οφείλονται στη φωτιά έχει οδηγήσει στη χρήση διαφόρων φασματικών δεικτών (συνδυασμοί διαφόρων φασματικών καναλιών), που περιλαμβάνουν το δείκτη NBR (Normalised Burn Ratio), το δείκτη DNBR (αποτελεί τη διαφορά μεταξύ του δείκτη NBR σε εικόνες πριν και σε εικόνες μετά την πυρκαγιά) και το δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Οι δύο πρώτοι δείκτες χρησιμοποιούνται ευρέως για την εξέταση της δριμύτητας μιας πυρκαγιάς (Key and Benson, 2002, 2006, van Wagtendonk et al., 2004, Cocke et al., 2005, Smith et al., 2005, Roy et al., 2006, Lentile et al., 2006, Psomiadis & Athanasakis, 2017).

4.5 Το δορυφορικό σύστημα Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 από την αεροπορική βάση Vandenberg στην Καλιφόρνια, και αναπτύχθηκε από τη NASA σε συνεργασία με την γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS). Η NASA ανέλαβε τον σχεδιασμό, την κατασκευή, την εκτόξευση και τα εν τροχιά στάδια βαθμονόμησης του δορυφόρου, περίοδο κατά την οποία ο δορυφόρος ονομαζόταν Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Στις 30 Μαΐου του 2013 το USGS ανέλαβε τις διαδικασίες λειτουργίας του δορυφόρου και πλέον, οι διαδικασίες βαθμονόμησης, ο δορυφορικός χειρισμός, η παραγωγή και η αποθήκευση δεδομένων στο κέντρο Earth Resources Observation and Science (EROS) είναι αντικείμενο εργασίας του USGS. Μετά από τη μετάβαση αυτή ο δορυφόρος μετονομάστηκε σε Landsat 8.

Ο Landsat 8 μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής: i) το Operational Land Imager (OLI) και ii) το Thermal Infrared Sensor (TIRS). Αυτοί οι δύο αισθητήρες παρέχουν εποχική κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς σε χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυματικό υπέρυθρο 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι. Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυματικό υπέρυθρο καθώς και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τέλος, ο αισθητήρας OLI παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, μία προσαρμοσμένη ειδικά για την ανίχνευση νεφών (κανάλι 9) και μία για παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης (φασματικό κανάλι 1). Όσον αφορά τον αισθητήρα TIRS, συλλέγει δεδομένα σε 2 φασματικά κανάλια στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, σε αντίθεση με τους προηγούμενους δορυφόρους του προγράμματος Landsat στους οποίους υπήρχε μόνο 1 φασματικό κανάλι στο συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ο Landsat 8 αποστέλλει περίπου 400 λήψεις εικόνων ανά ημέρα στο αρχείο δεδομένων του USGS (150 παραπάνω από τον Landsat 7), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για λήψεις εικόνων χωρίς σύννεφα.

Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 8 έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Εικόνα 4.6):

Φασματικό Κανάλι 1: ανιχνεύει το βαθύ μπλε. Οι μπλε δέσμες ακτινοβολίας είναι δύσκολο να συλλεχθούν από το Διάστημα, επειδή αυτή διασκορπίζεται εύκολα από τα μικροσκοπικά κομμάτια σκόνης και νερού στον αέρα, ακόμα και από τα ίδια τα μόρια του αέρα. Αυτό εξηγεί γιατί τα πολύ μακρινά αντικείμενα (όπως τα βουνά ή ο ορίζοντας) εμφανίζονται γαλαζωπά και γιατί ο ουρανός είναι μπλε. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι δύσκολο να συλλεχθεί με αρκετή ευαισθησία ώστε να είναι χρήσιμο και έτσι το φασματικό κανάλι 1 είναι το μόνο όργανο του είδους του που παράγει ανοιχτά δεδομένα σε αυτήν την ανάλυση.

Επίσης ονομάζεται και κανάλι **coastal/aerosol**, λόγω των δύο κύριων χρήσεων του: απεικόνιση ρηχών υδάτων και παρακολούθηση των λεπτών σωματιδίων όπως η σκόνη και ο καπνός.

Φασματικά Κανάλια 2, 3, 4: είναι το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο του ορατού.

Φασματικό Κανάλι 5: μετράει το κοντινό υπέρυθρο. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την οικολογία γιατί τα υγιή φυτά το ανακλούν – η υγρασία στα φύλλα τους σκεδάζει τα κύματα πίσω στον ουρανό. Συγκρίνοντάς το με τα άλλα κανάλια, μπορούν να υπολογιστούν δείκτες όπως ο δείκτης βλάστησης (NDVI), τα οποία μας επιτρέπουν να μετρήσουμε τη βλάστηση με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό,τι αν ψάχναμε μόνο στο πράσινο του ορατού.

Φασματικά Κανάλια 6, 7: καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον διαχωρισμό υγρού και ξερού εδάφους και για τη γεωλογία (πετρώματα και εδάφη που φαίνονται παρόμοια σε άλλα φασματικά κανάλια έχουν ισχυρές αντιθέσεις στο μικροκυματικό υπέρυθρο).

Φασματικό Κανάλι 8: είναι το παγχρωματικό κανάλι. Λειτουργεί όπως το ασπρόμαυρο φιλμ. Αντί να συλλέγει τα ορατά χρώματα ξεχωριστά, τα συνδυάζει σε ένα κανάλι. Επειδή αυτός ο αισθητήρας μπορεί να «δει» πιο πολύ φως ταυτόχρονα, είναι το πιο ευκρινές κανάλι, με 15 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα.

Φασματικό Κανάλι 9: καταγράφει τη λιγότερη πληροφορία, παρ' όλα αυτά είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του Landsat 8. Καλύπτει ένα πολύ μικρό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος: μόνο στο διάστημα $1370 \pm 10\text{nm}$. Λίγα διαστημικά όργανα καταγραφής συλλέγουν αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, επειδή η ατμόσφαιρα το απορροφάει σχεδόν όλο. Ο Landsat 8 μετατρέπει αυτό σε πλεονέκτημα: ακριβώς επειδή το έδαφος είναι ελάχιστα ορατό στο κανάλι αυτό, οτιδήποτε εμφανίζεται σε αυτό καθαρά το αντανακλά πολύ φωτεινά και βρίσκεται πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας. Το κανάλι 9 είναι μόνο για να καταγράφει τα σύννεφα.

Φασματικά Κανάλια 10,11: βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφουν τη θερμότητα. Αντί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα, όπως οι μετεωρολογικοί σταθμοί, καταγράφεται η θερμοκρασία του εδάφους, το οποίο είναι συνήθως αρκετά θερμότερο. (Ψωμιάδης, Παρχαρίδης, 2015)

Πίνακας 2 . Κύρια χαρακτηριστικά του δορυφορικού συστήματος Landsat 8

Διαστάσεις εικόνας	185 X 185 Km
Επαναληψιμότητα	16 ημέρες
Ύψος τροχιάς	705 Km
Δυναμικό εύρος	8 bits
Τροχιά	Πολική, 98,2 ⁰
Ωρα περάσματος	10:00 π.μ.+/- 15'

Πίνακας 3. Κανάλια του Landsat 8 (OLI)

Spectral Band	Wavelength	Resolution
Band 1 - Coastal / Aerosol	0.433 - 0.453 μm	30 m
Band 2 - Blue	0.450 - 0.515 μm	30 m
Band 3 - Green	0.525 - 0.600 μm	30 m
Band 4 - Red	0.630 - 0.680 μm	30 m
Band 5 - Near Infrared	0.845 - 0.885 μm	30 m
Band 6 - Short Wavelength Infrared	1.560 - 1.660 μm	30 m
Band 7 - Short Wavelength Infrared	2.100 - 2.300 μm	30 m
Band 8 - Panchromatic	0.500 - 0.680 μm	15 m
Band 9 - Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m
Band 10 - Long Wavelength Infrared	10.30 - 11.30 μm	100 m
Band 11 - Long Wavelength Infrared	11.50 - 12.50 μm	100 m

4.6 Δείκτες εκτίμησης των επιφανειακών αλλαγών μετά από μια πυρκαγιά

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση μας δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης διάφορων αλλαγών στην επιφάνεια της γης που προκύπτουν μετά από μια πυρκαγιά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη συσχέτιση δορυφορικών δεδομένων με διαφορετικά εδαφικά στοιχεία που καταδεικνύουν τη δριμύτητα μιας πυρκαγιάς και που σχετίζονται με την καταστροφή (Milne, 1986; Miller and Yool, 2002) και τη θνησιμότητα της βλάστησης (Patterson and Yool, 1998).

Ο δείκτης **NDVI** έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εκτίμηση της υγείας του ρυθμού της κατάστασης της βλάστησης μετά από μια πυρκαγιά. Αυτός ο δείκτης εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που η κύρια οικολογική διαδικασία που εκτιμάται αφορά τις άμεσες αλλαγές στη βλάστηση. Πολλές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει τον δείκτη αυτόν αλλά και άλλους παρόμοιους φασματικούς δείκτες για να εκτιμήσουν αλλαγές μετά από μια πυρκαγιά (Fiorella and Ripple, 1993; Henry and Hope, 1998; Diaz-Delgado et al., 2003). Ο δείκτης παίρνει τιμές μεταξύ -1 και 1 και έχει χρησιμοποιηθεί και σε μελέτες κατανομής της δριμύτητας μιας πυρκαγιάς, τιμές κοντά στο -1 παίρνει σε περιοχές με πολύ χαμηλή έως και καθόλου βλάστηση και τιμές κοντά στο 1 σε περιοχές με υψηλή βλάστηση. Μάλιστα οι Diaz-Delgado et al., 2003, διαπίστωσαν μια θετική συσχέτιση μεταξύ της μείωσης των τιμών του δείκτη και της δριμύτητας της φωτιάς.

Η ανάπτυξη φασματικών δεικτών εκτίμησης επιφανειακών αλλαγών μετά από πυρκαγιά και μάλιστα του **NBR (Normalized Burn Ratio)** ενσωματώνει πληροφορία για τις φασματικές αλλαγές στην επιφάνεια προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τις επιπτώσεις των πυρκαγιών. Ο δείκτης NBR συνδυάζοντας πληροφορία στις περιοχές του κοντινού υπέρυθρου και του μέσου υπέρυθρου έχει χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση καμένων περιοχών της Μεσογείου χρησιμοποιώντας εικόνες πριν και μετά την πυρκαγιά (Lopez et al, 1991; Escuin et al., 2008). Εκτός όμως από τη μέτρηση των καμένων περιοχών ο NBR χρησιμοποιείται επίσης για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το βαθμό της οικολογικής αλλαγής μετά τη φωτιά. Ο δείκτης ορίζεται ως:

$$\text{NBR} = (b5 - b7) / (b5 + b7)$$

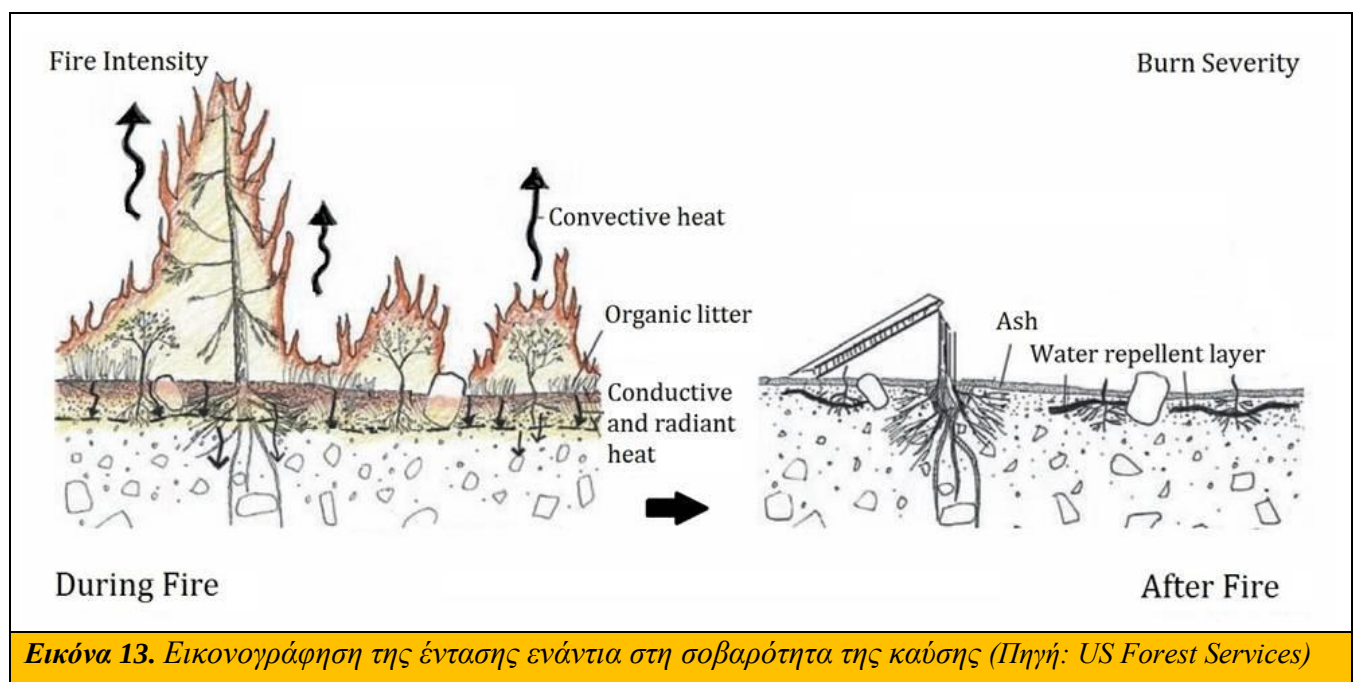
όπου b5 και b7 οι φασματικές ανακλάσεις της επιφάνειας όπως μετριοούνται στα κανάλια 5 (0,85 - 0,88μm) και 7 (2,11 – 2,29μm) του Operational Land Imager (OLI) του Landsat 8. Όπως και ο δείκτης NDVI, παίρνει τιμές από -1 έως 1.

Σε περιοχές με βλάστηση παίρνει θετικές τιμές κοντά στο 1, ενώ οι αρνητικές τιμές αναφέρονται σε γυμνό έδαφος με τιμές κοντά στο -1. Στις καμένες περιοχές οι τιμές του δείκτη μειώνονται ενώ η δριμύτητα της φωτιάς ανεβαίνει.

Άλλοι δείκτες που συναντά κανείς στη βιβλιογραφία, σαν δείκτες που καταδεικνύουν τη δριμύτητα μιας πυρκαγιάς, είναι ο δείκτης **ΔNBR** (δείκτης της διαφοράς μεταξύ του NBR πριν και μετά την πυρκαγιά), οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τις δασικές υπηρεσίες των δυτικών Η.Π.Α για να αποτυπωθεί η δριμύτητα της φωτιάς στην επιφάνεια του εδάφους (Wagtendonk et al., 2004; Cocke et al., 2005, Kokaly et al., 2006; Howard and Lacasse, 2004; Escuin et al., 2008).

4.7 Η ένταση της πυρκαγιάς (Fire Intensity)

Η ένταση φωτιάς αντιπροσωπεύει την ενέργεια που απελευθερώνεται από την οργανική ύλη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης. Αναφέρεται επίσης στην ένταση της φωτιάς ενώ είναι ενεργή. Η σοβαρότητα της καύσης, από την άλλη πλευρά, περιγράφει πώς η ένταση φωτιάς επηρεάζει τη λειτουργία του οικοσυστήματος στην περιοχή που έχει καεί. Τα φαινόμενα που παρατηρούνται συχνά ποικίλλουν εντός της περιοχής και μεταξύ των διαφόρων οικοσυστημάτων (Keeley, 2009). Η σοβαρότητα της καύσης μπορεί επίσης να περιγραφεί ως ο βαθμός στον οποίο μια περιοχή έχει αλλοιωθεί ή διαταραχθεί από τη φωτιά.

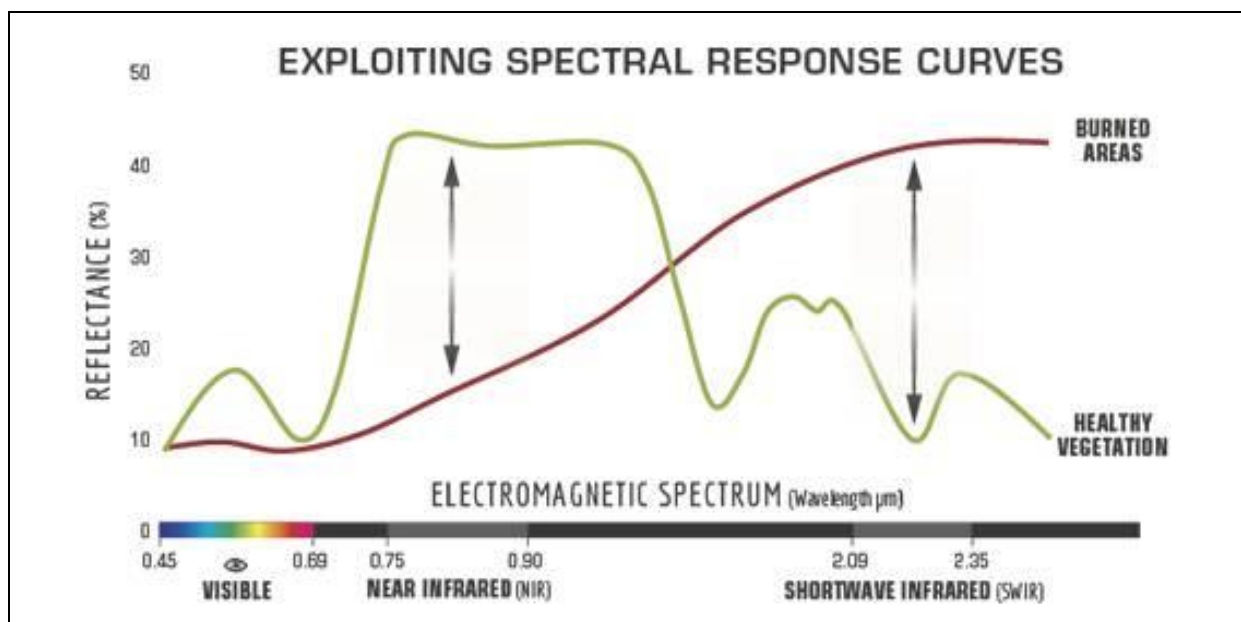


Εικόνα 13. Εικονογράφηση της έντασης ενάντια στη σοβαρότητα της καύσης (Πηγή: US Forest Services)

4.8 Κανονικοποιημένος δείκτης δριμύτητας πυρκαγιάς (NBR)

Ο Κανονικοποιημένος λόγος δριμύτητας πυρκαγιάς (NBR) είναι ένας δείκτης που έχει σχεδιαστεί για να επισημαίνει τις καμένες περιοχές σε μεγάλες περιοχές. Ο τύπος είναι παρόμοιος με τον NDVI, εκτός από το ότι ο τύπος συνδυάζει τη χρήση τόσο των υπέρυθρων ακτίνων (NIR) όσο και των μηκών κύματος υπέρυθρου (SWIR). Η υγιής βλάστηση παρουσιάζει πολύ υψηλή ανακλαστικότητα στο NIR και χαμηλή ανάκλαση στο τμήμα SWIR του φάσματος (Σχήμα 1) - το αντίθετο από αυτό που παρατηρείται στις περιοχές που καταστράφηκαν από τη φωτιά.

Οι πρόσφατα καμένες περιοχές δείχνουν χαμηλή ανακλαστικότητα στο NIR και υψηλή ανάκλαση στο SWIR, δηλαδή η διαφορά μεταξύ των φασματικών απαντήσεων της υγιούς βλάστησης και των καμένων περιοχών φτάνει στο αποκορύφωμά τους στις περιοχές NIR και SWIR του φάσματος.



Σχήμα 1. Σύγκριση της φασματικής απόκρισης της υγιούς βλάστησης και των καμένων περιοχών. (Πηγή: US Forest Service (Υπηρεσία δασών των ΗΠΑ))

Για να επωφεληθεί από το μέγεθος της φασματικής διαφοράς, ο δείκτης NBR χρησιμοποιεί τον λόγο μεταξύ των ζωνών NIR και SWIR, σύμφωνα με τον τύπο που φαίνεται παρακάτω. Μια υψηλή τιμή του NBR δείχνει υγιή βλάστηση, ενώ μια χαμηλή τιμή υποδηλώνει γυμνό έδαφος και πρόσφατα καμένα σημεία. Οι μη καμένες περιοχές συνήθως αποδίδονται με τιμές κοντά στο μηδέν.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$$

4.9 Δριμύτητα της πυρκαγιάς (Burn Severity)

Η διαφορά μεταξύ πριν την πυρκαγιά και μετά την πυρκαγιά του δείκτη NBR που λαμβάνεται από τις εικόνες χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ΔNBR, το οποίο στη συνέχεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την εκτίμηση της δριμύτητας της καύσης. Μια υψηλή τιμή του ΔNBR υποδεικνύει πολύ σοβαρή ζημιά στην βλάστηση, ενώ οι περιοχές με αρνητικές τιμές ΔNBR μπορεί να υποδηλώνουν αναγέννηση μετά από πυρκαγιά. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ΔNBR απεικονίζεται παρακάτω:

$$\text{DNBR} = \text{NBR}_{\text{prefire}} - \text{NBR}_{\text{postfire}}$$

Πίνακας 4. Επίπεδα βαρύτητας που προκύπτουν από τον υπολογισμό του DNBR, που προτείνεται από το USGS.

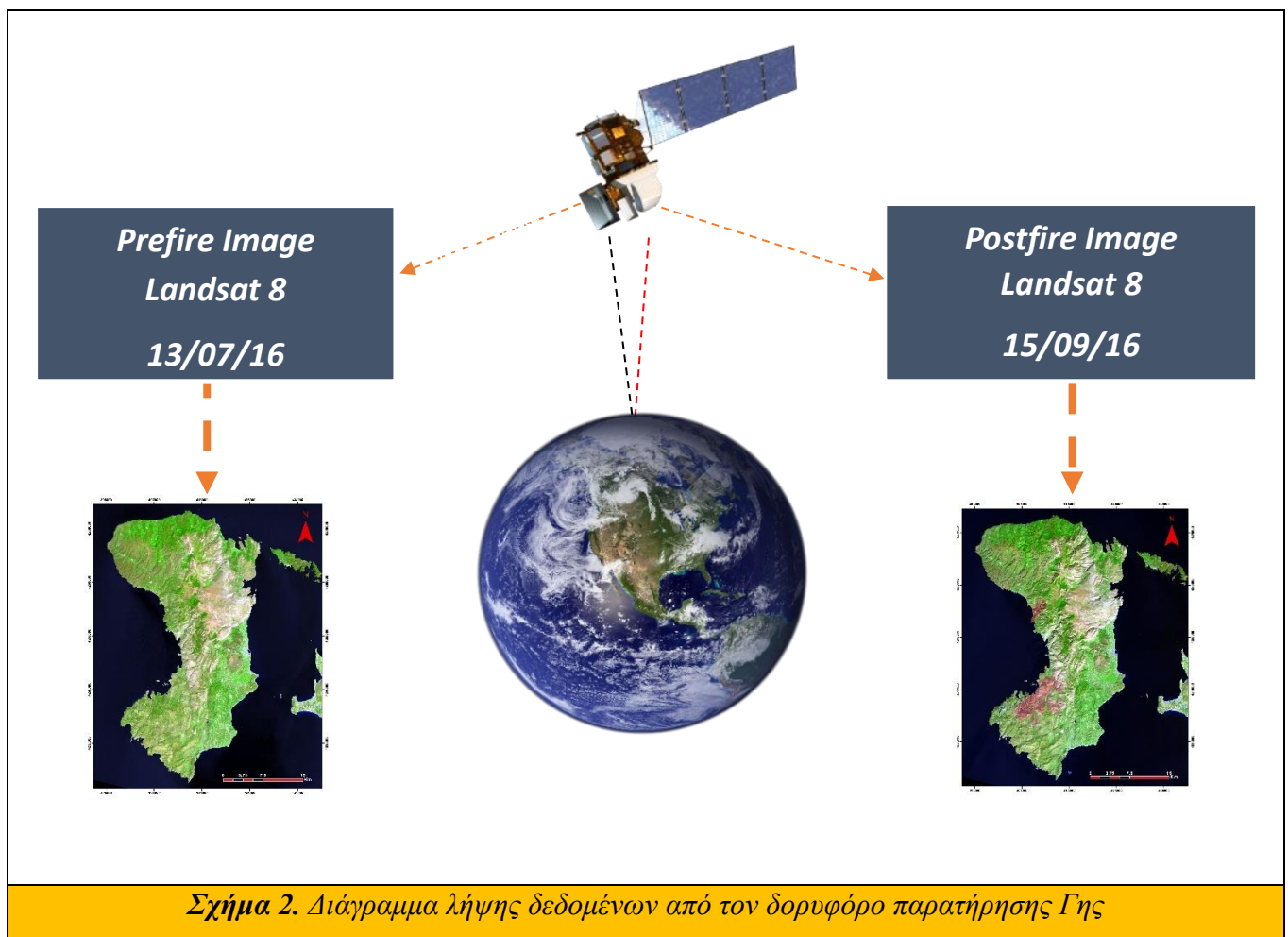
Severity Level	dNBR range (scaled by 10 ³)	dNBR range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.099
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Τα δεδομένα και οι χάρτες πυρκαγιάς μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη σχεδίων δράσης (χαρτών επικινδυνότητας έναρξης πυρκαγιάς) και αποκατάστασης έκτακτης ανάγκης - μετά την πυρκαγιά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί όχι μόνο η σοβαρότητα της καύσης του εδάφους, αλλά η πιθανότητα μελλοντικών μεταπυρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, κατολισθήσεις και διάβρωση του εδάφους. (Keeley 2009).

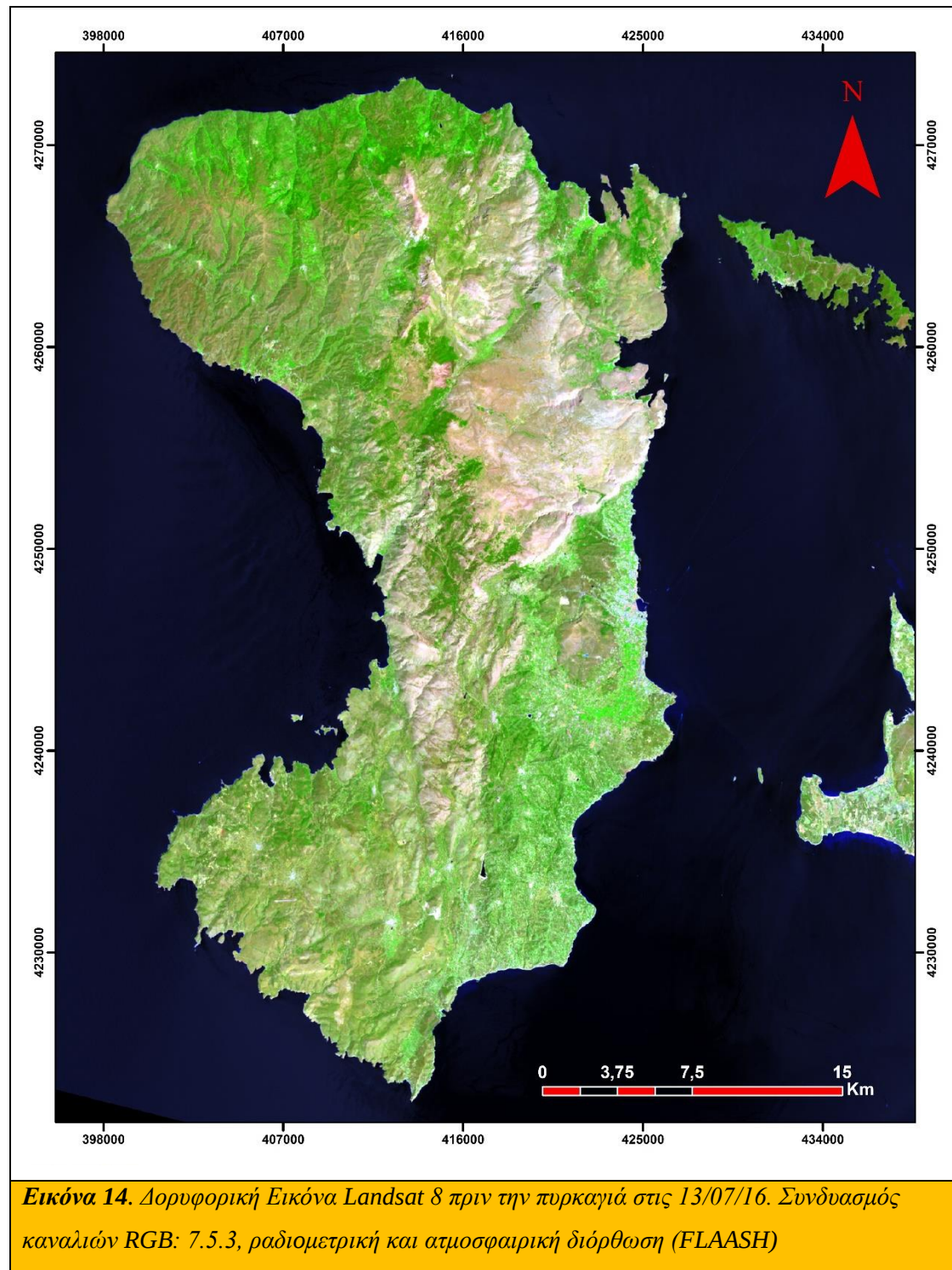
4.10 Συλλογή δεδομένων και μέθοδοι

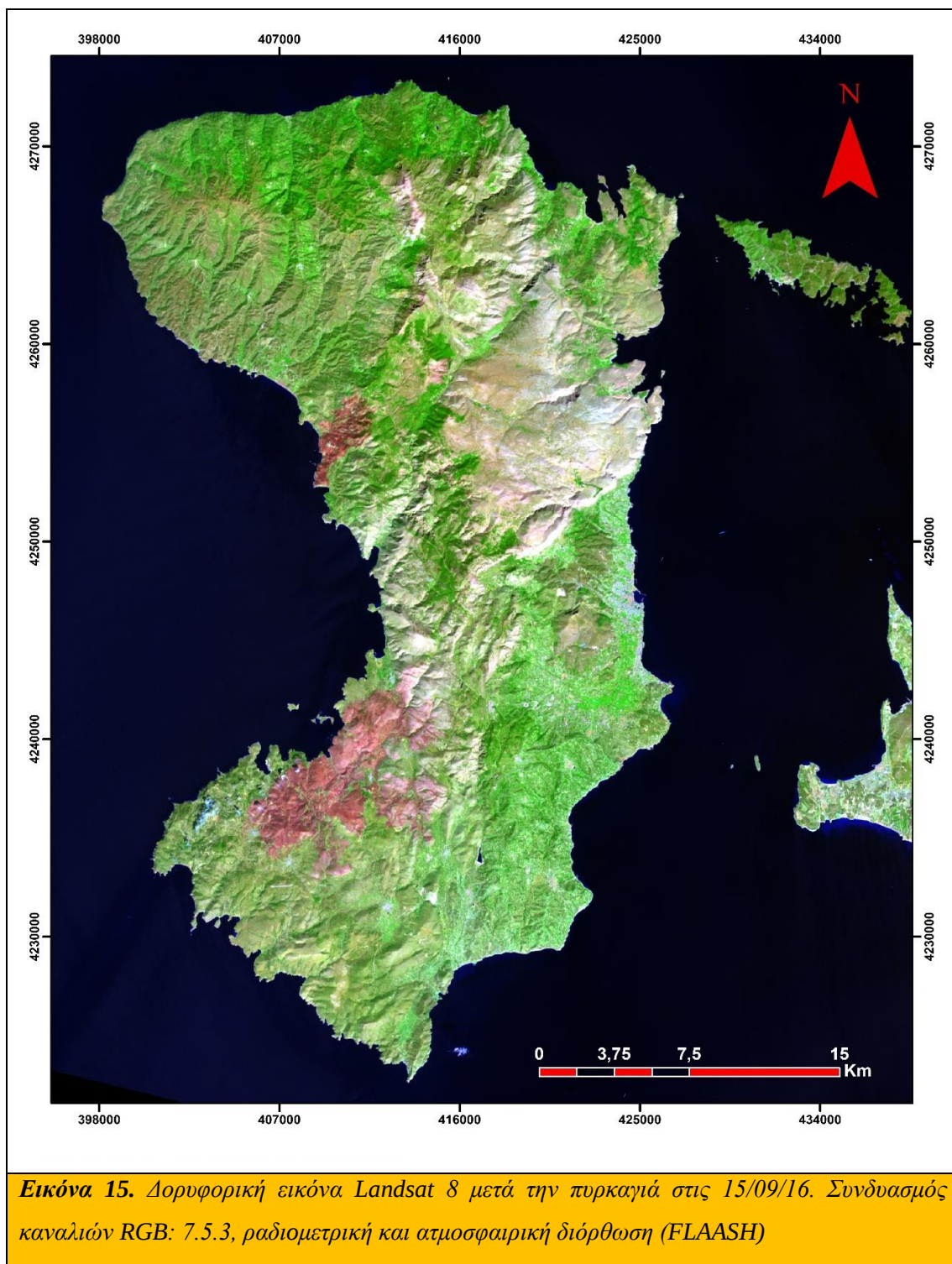
Δεδομένα

Τα δορυφορικά δεδομένα αποκτήθηκαν σε τρία χρονικά σημεία, πριν και μετά τη φωτιά στις 13 Ιουλίου 2016 και στις 15 Σεπτεμβρίου 2016 αντίστοιχα, καθώς 1 χρόνο αργότερα στις 18 Σεπτεμβρίου 2017 από το δορυφορικό σύστημα καταγραφής Landsat 8 της NASA στο πέρασμα του πάνω από την περιοχή ερευνάς μας. Το όργανο Operational Land Imager (OLI) του Landsat-8 καταγράφει την αντανάκλαση του ορατού και υπέρυθρου (κοντινό, μέσο και θερμικό) τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ υπάρχει και παγχρωματική καταγραφή στα 500-680nm. Κάθε σκηνή καλύπτει μια επιφάνεια 170x185km με ανάλυση 30m για το όργανο OLI (το παγχρωματικό καταγράφει στα 15m). Οι εικόνες διανέμονται στους τελικούς χρήστες με ανάλυση 16 bit σε μορφή GeoTIFF και ελήφθησαν από τη διαδικτυακή υπηρεσία Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).



Σχήμα 2. Διάγραμμα λήψης δεδομένων από τον δορυφόρο παρατήρησης Γης





Με τον συνδυασμό καναλιών SWIR-2 (7) NIR (5) και Green (3) στο RGB του Landsat 8 παρατηρούμε καλύτερη απεικόνιση της καμένης περιοχής σε αντίθεση με το άκαυτο.

Τα δεδομένα αυτού του οργάνου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία μας για την εκτίμηση των φασματικών δεικτών δριμύτητας πυρκαγιάς NBR αντίστοιχα δείκτη βλάστησης NDVI,

ήταν το φασματικό κανάλι 4 στο κόκκινο τμήμα του ορατού (Red), το φασματικό κανάλι 5 στο κοντινό υπέρυθρο (Near Infrared-NIR), το φασματικό κανάλι 7 στο μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR-2) καθώς και το κανάλι 3 στο (Green) για την απεικόνιση και καταγραφή την βλάστησης.

Bands	Coastal (B1)	Blue (B2)	Green (B3)	Red (B4)	NIR (B5)	SWIR 1 (B6)	SWIR 2 (B7)	PAN (B8)	Cirrus (B9)	TIRS 1 (B10)	TIRS 2 (B11)
Wavelength (μm)	0.43 - 0.45	0.45 - 0.51	0.53 - 0.59	0.64 - 0.67	0.85 - 0.88	1.57 - 1.65	2.11 - 2.29	0.50 - 0.68	1.36 - 1.38	10.60 - 11.19	11.50 - 12.51
Resolution (m)	30	30	30	30	30	30	30	15	30	100 * (30)	100 * (30)

Πίνακας 5. Απεικόνιση καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8 για τον υπολογισμό φασματικών δεικτών

4.11 Μεθοδολογία και επεξεργασία δεδομένων

Δορυφόρος Landsat-8

Για τα δεδομένα του Landsat-8 πραγματοποιήθηκε προ-επεξεργασία και επεξεργασία για τον υπολογισμό των φασματικών δεικτών δριμύτητας πυρκαγιάς NBR, ΔNBT, NBRT, με σκοπό την ανίχνευση της πυρκαγιάς και την δημιουργία ψηφιδωτού καταγραφής της δριμύτητας. Χρησιμοποιήθηκαν, το λογισμικό επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων ENVI 5.3 και το λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, ArcMap 10.4.

Αναλυτικότερα υπολογίστηκε για κάθε εικόνα ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse et al., 1974), πριν και μετά την πυρκαγιά (συγκεκριμένα στις 15/09/16 και ένα χρόνο αργότερα στις 18/09/17), με σκοπό την διερεύνηση του ρυθμού αναγέννησης της βλάστησης σε σχέση με το αποτέλεσμα της δριμύτητας της πυρκαγιάς. Η προεπεξεργασία ή αποκατάσταση της εικόνας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της ψηφιακής επεξεργασίας, διότι όλα τα επόμενα βήματα καταγραφής των αλλαγών, καθώς και η συσχέτιση με άλλα θεματικά επίπεδα πληροφοριών, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε αυτήν. Οι πιθανές ατέλειες του πρώτου

σταδίου θα μεγιστοποιηθούν στη συνέχεια, με αποτέλεσμα την μείωση ή απώλεια πληροφορίας στο τελικό προϊόν που τελικά θα δημιουργηθεί. Οι διορθώσεις και η αποκατάσταση της αρχικής εικόνας περιλαμβάνει ατμοσφαιρικές, ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις, (Ψωμιάδης, 2010).

Ραδιομετρική Διόρθωση εικόνων

Ο σκοπός της βελτίωσης της εικόνας είναι η δυνατότητα καλύτερης οπτικής ερμηνείας αυξάνοντας τη διάκριση των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ανιχνευτές είναι σχεδιασμένοι να καταγράφουν 256 τιμές φωτεινότητας (8 bits), οι εικόνες που αποκτώνται θα απεικονίζονται με 256 διαβαθμίσεις του γκρι (0-255) και επομένως στο ιστόγραμμα της εικόνας θα αποτυπώνονται οι ψηφιακές τιμές των εικονοστοιχείων στο εύρος από 0 έως 255. Τα αρχικά όμως δεδομένα που λαμβάνονται από δορυφόρο και δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία (raw data), δεν χρησιμοποιούν όλες τις διαβαθμίσεις του γκρι και οι τιμές είναι συγκεντρωμένες προς το κέντρο των αξόνων του ιστογράμματος. Έτσι οι αντιθέσεις μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων είναι πολύ μικρές, οι υφιστάμενες διαφορές καθίστανται δυσδιάκριτες και η ερμηνεία σχεδόν αδύνατη. Σε αυτές τις περιπτώσεις η χρήση της επέκτασης καθίσταται απαραίτητη για τη βελτίωση της αντίθεσης και τη δυνατότητα ευκολότερης ερμηνείας (Ψωμιάδης, 2010). Ο τελικός στόχος της βελτίωσης της αντίθεσης της εικόνας είναι να μετασχηματιστεί το αρχικό εύρος διακύμανσης των τιμών της εικόνας σε ένα εύρος το οποίο να καλύπτει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα τιμών του ιστογράμματος (0 -255) (Ψωμιάδης, 2010).

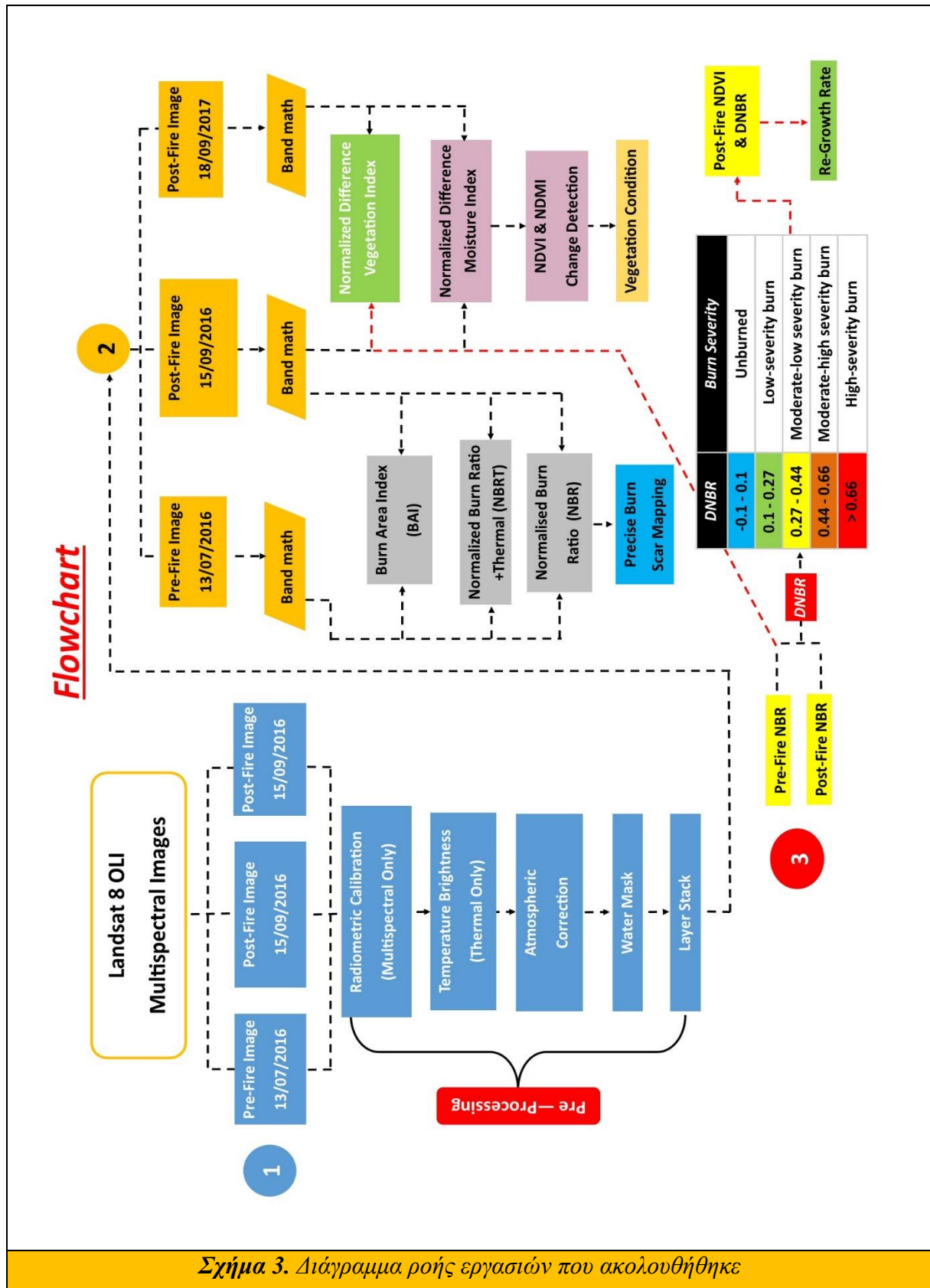
Γεωμετρική Διόρθωση εικόνων

Οι δορυφορικές εικόνες στην πρωτογενή τους μορφή δεν περιέχουν καμία αναφορά σχετικά με την τοποθεσία την οποία καλύπτουν και συνεπώς δεν έχουν τις ιδιότητες ενός χάρτη. Η εισαγωγή των δορυφορικών δεδομένων σε ένα Γ.Π.Σ και η διαχείριση και συσχέτισή τους με άλλες ομάδες δεδομένων καθιστά απαραίτητη τη γεωμετρική τους διόρθωση, έτσι ώστε να αποκτήσουν συντεταγμένες, κλίμακα και προσανατολισμό προς το βορρά. Η γεωμετρική διόρθωση έχει ως στόχο να μετασχηματίσει το υπάρχον σύστημα συντεταγμένων της εικόνας, από WGS84 UTM ZONE 35N στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87 – Greek Grid στο ArcGIS) (Ψωμιάδης, 2010).

Επεξεργασία Εικόνων Landsat-8

Η μεθοδολογία επεξεργασίας παρατίθεται γραφικά στο παρακάτω Διάγραμμα Ροής Εργασιών (Σχήμα 3) και παρουσιάζεται αναλυτικά ακολούθως.

Διάγραμμα Ροής



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής εργασιών που ακολουθήθηκε

Τα βήματα επεξεργασίας αναλυτικά είναι:

1. Στο πρώτο στάδιο σύμφωνα με την βιβλιογραφία (www.harrisgeospatial.com. (ENVI Burn Indices Tutorial)) πραγματοποιήθηκε η δημιουργία μάσκας νερού **Water Mask** διότι θέλουμε να απομονώσουμε τα εικόνοστοιχεία (pixels) του νερού από όλο το περιβάλλον της εικόνας (Θάλασσα, Λίμνες, Υγρασία Εδάφους, Υγρασία Βλάστησης, Ατμόσφαιρα, Σύννεφα) διότι το υδάτινο στοιχείο μας αλλοιώνει τα αποτελέσματα των τιμών του κανονικοποιημένου δείκτη καμένης περιοχής Normalised Burn Ratio (NBR) και επίσης του Differenced Normalized Burn Ratio (ΔNBR) του διαφοροποιημένου δείκτη καμένης περιοχής.
2. Μετά την δημιουργία της μάσκας νερού πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση (calibration) των πολυφασματικών καναλιών του Landsat-8 σε τιμές ανάκλασης (reflectance) και ραδιομετρική βαθμονόμηση των θερμικών καναλιών σε τιμές θερμοκρασιακής φωτεινότητας (brightness temperature). Εν συνεχεία, με το εργαλείο Layer Stacking ενώθηκαν τα βαθμονομημένα πολυφασματικά και θερμικά κανάλια της εικόνας.
3. Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας περιελάμβανε τον υπολογισμό των φασματικών δεικτών με το εργαλείο Band Math του ENVI. Αρχικά υπολογίστηκαν οι ακόλουθοι δείκτες:
 - ✓ Δείκτης Καμένης περιοχής Burn Area Index (BAI) όπου μας δείχνει την καμένη έκταση (Martin 1998):

$$BAI = \frac{1}{(0.1 - Red)^2 + (0.06 - NIR)^2}$$

- ✓ Κανονικοποιημένος δείκτης καμένης περιοχής (NBR) πριν και μετά την πυρκαγιά (Lopez, 1991; Key and Benson, 1995), όπου έχει ένα εύρος τιμών μεταξύ -1 και 1. Σε περιοχές με γυμνό έδαφος ή ολοσχερώς καμένες ο δείκτης παίρνει πολύ χαμηλές τιμές έως αρνητικές. Θετικές τιμές παίρνει όταν υπάρχει βλάστηση, ιδιαίτερα για τιμές > 0,2:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$$

- ✓ Τον Κανονικοποιημένο Δείκτη Καμένης περιοχής, με χρήση του θερμικού καναλιού (Normalized Burn Ratio + Thermal (NBRT)). Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί μια θερμική ζώνη για την ενίσχυση του NBR (Holden et al, 2005). Αυτό οδηγεί σε έναν καλύτερο διαχωρισμό μεταξύ των καμένων και των μη καμένων περιοχών

$$NBRT = \frac{(NIR - SWIR2) * (\frac{TIRS}{1000})}{(NIR + SWIR2) * (\frac{TIRS}{1000})}$$

- ✓ Το τελικό στάδιο, αφορά τον υπολογισμό του δείκτη ΔNBR. Αυτός προκύπτει από την αφαίρεση του δείκτη NBR πριν και μετά την πυρκαγιά (Εικόνα 20). Ο Διαφοροποιημένος Κανονικοποιημένος Δείκτης Καμένης περιοχής Difference Normalised Burn Ratio (DNBR) δίνει ως τελικό προϊόν, ένα ψηφιδωτό όπου αναδεικνύεται η δριμύτητα της πυρκαγιάς **Burn Severity** στο ανώτερο στρώμα του εδάφους. Το εύρος τιμών που περιλαμβάνει και το τι αντιπροσωπεύει σε σχέση με την δριμύτητα της πυρκαγιάς απεικονίζονται στον πίνακα

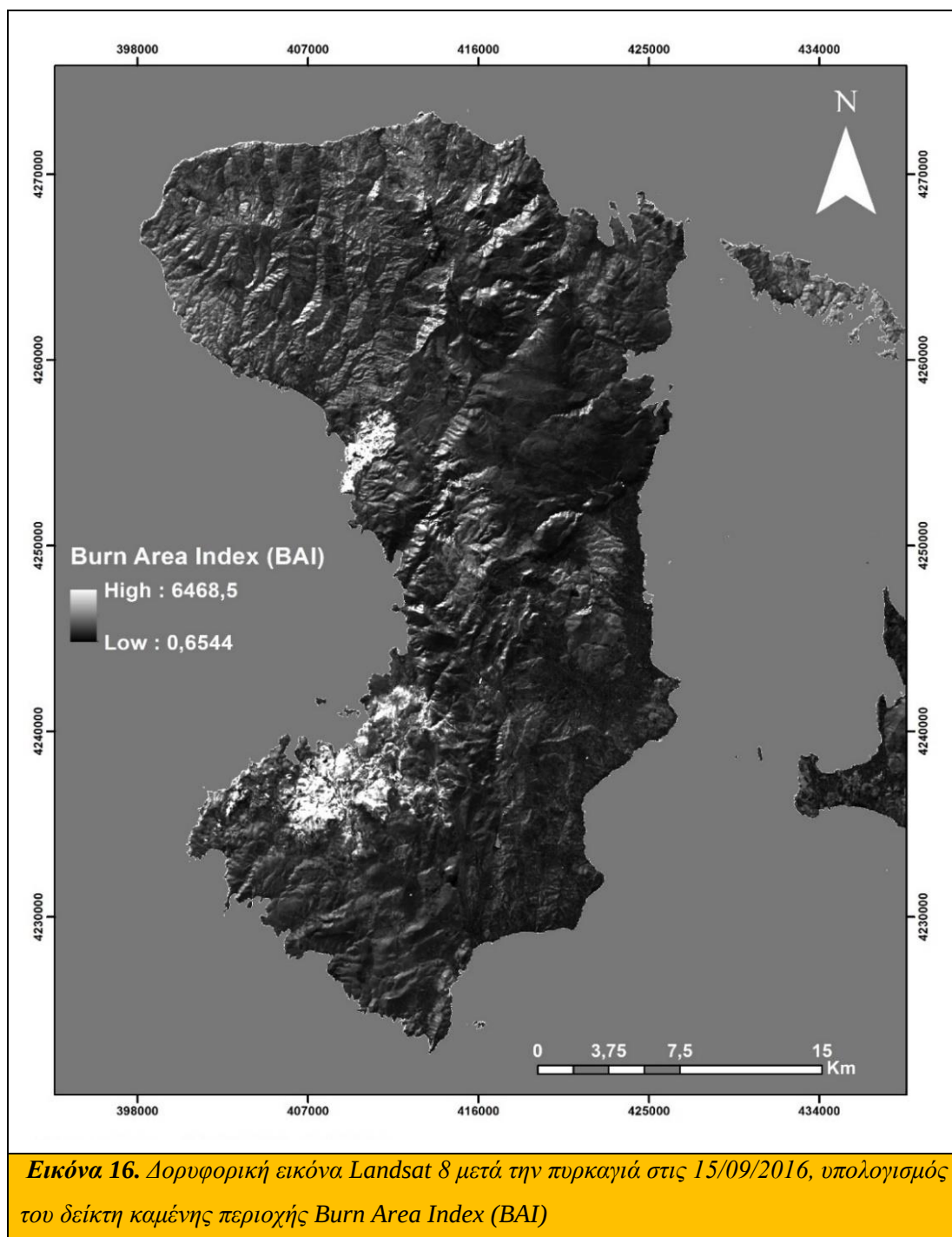
$$DNBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}$$

Πίνακας 6. Τιμές Δριμύτητας Πυρκαγιάς (Πηγή: USGS)

Δείκτης ΔNBR	Δριμύτητα Πυρκαγιάς (Burn Severity)
-0.1 - 0.1	Άκαυτο
0.1 - 0.27	Χαμηλή Δριμύτητα
0.27 - 0.44	Χαμηλή – Μέτρια Δριμύτητα
0.44 - 0.66	Μέτρια – Υψηλή Δριμύτητα
> 0.66	Υψηλή – Πολύ Υψηλή Δριμύτητα

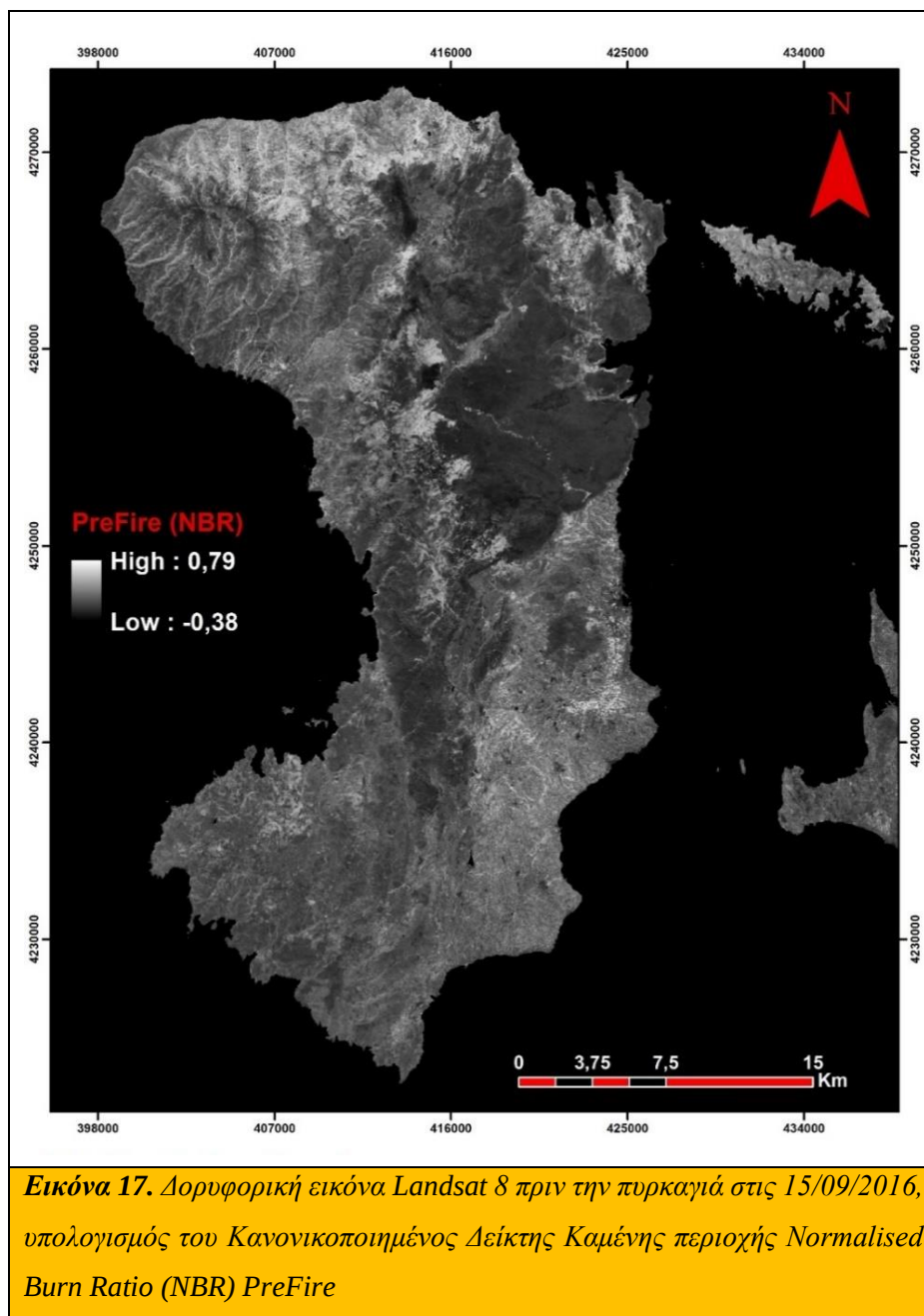
Τα αποτελέσματα υπολογισμού των δεικτών που εφαρμόστηκαν παρατίθενται στείς παρακάτω εικόνες:

Δείκτης Καμένης περιοχής Burn Area Index (BAI)



$$BAI = \frac{1}{(0.1 - Red)^2 + (0.06 - NIR)^2}$$

Κανονικοποιημένος Δείκτης Καμένης περιοχής Normalised Burn Ratio (NBR) PreFire

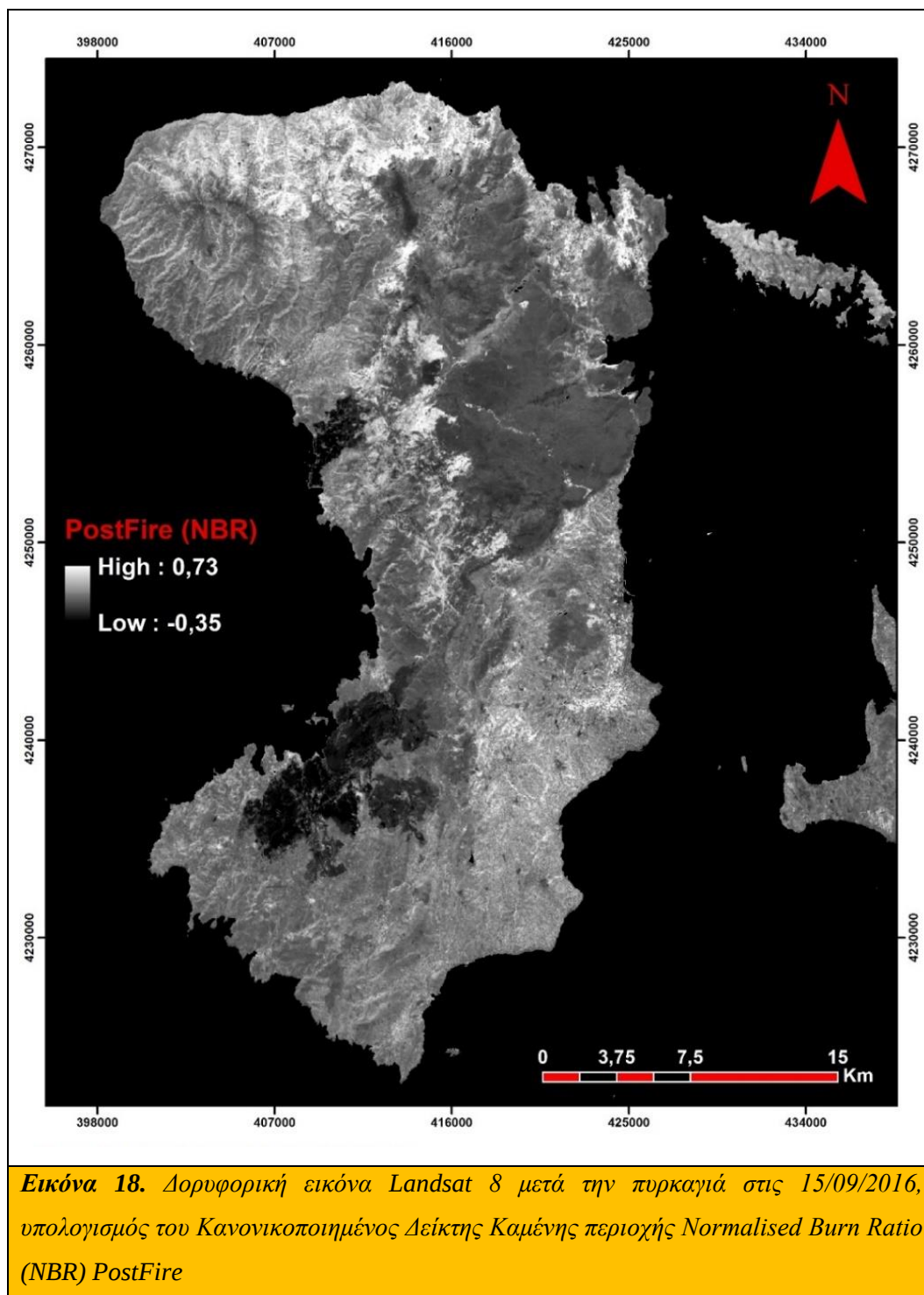


Εικόνα 17. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 πριν την πυρκαγιά στις 15/09/2016, υπολογισμός του Κανονικοποιημένου Δείκτης Καμένης περιοχής Normalised Burn Ratio (NBR) PreFire

Ο δείκτης παίρνει τιμές από -1 έως +1, όπου σε περιοχές με βλάστηση παίρνει θετικές τιμές, ενώ σε περιοχές με γυμνό έδαφος ή ολοσχερώς καμένες παίρνει αρνητικές τιμές. Ψηφιοποίηση της μαύρης σκιασμένης περιοχής όπου προέκυψε από την πραγματοποίηση αριθμητικών πράξεων μεταξύ των φασματικών καναλιών 5 (NIR) και 7 (SWIR II) της εικόνας Landsat 8 (OLI) με το λογισμικό ENVI 5.3 , οι οποίες δίνουν το δείκτη NBR.

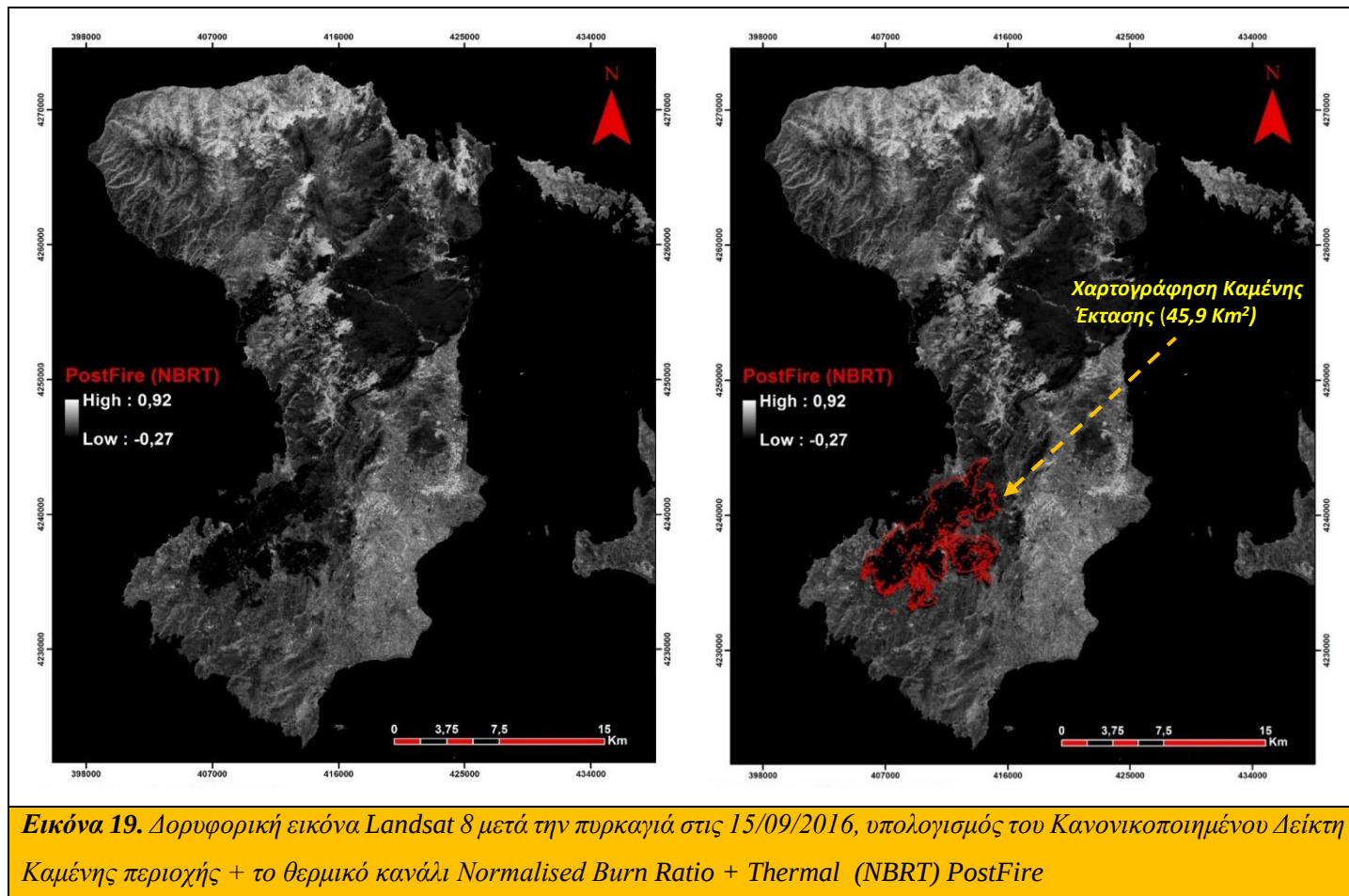
$$\text{PreFireNBR} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR2}}{\text{NIR} + \text{SWIR2}}$$

Κανονικοποιημένος Δείκτης Καμένης περιοχής Normalised Burn Ratio (NBR) PostFire



$$\text{PostFireNBR} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR2}}{\text{NIR} + \text{SWIR2}}$$

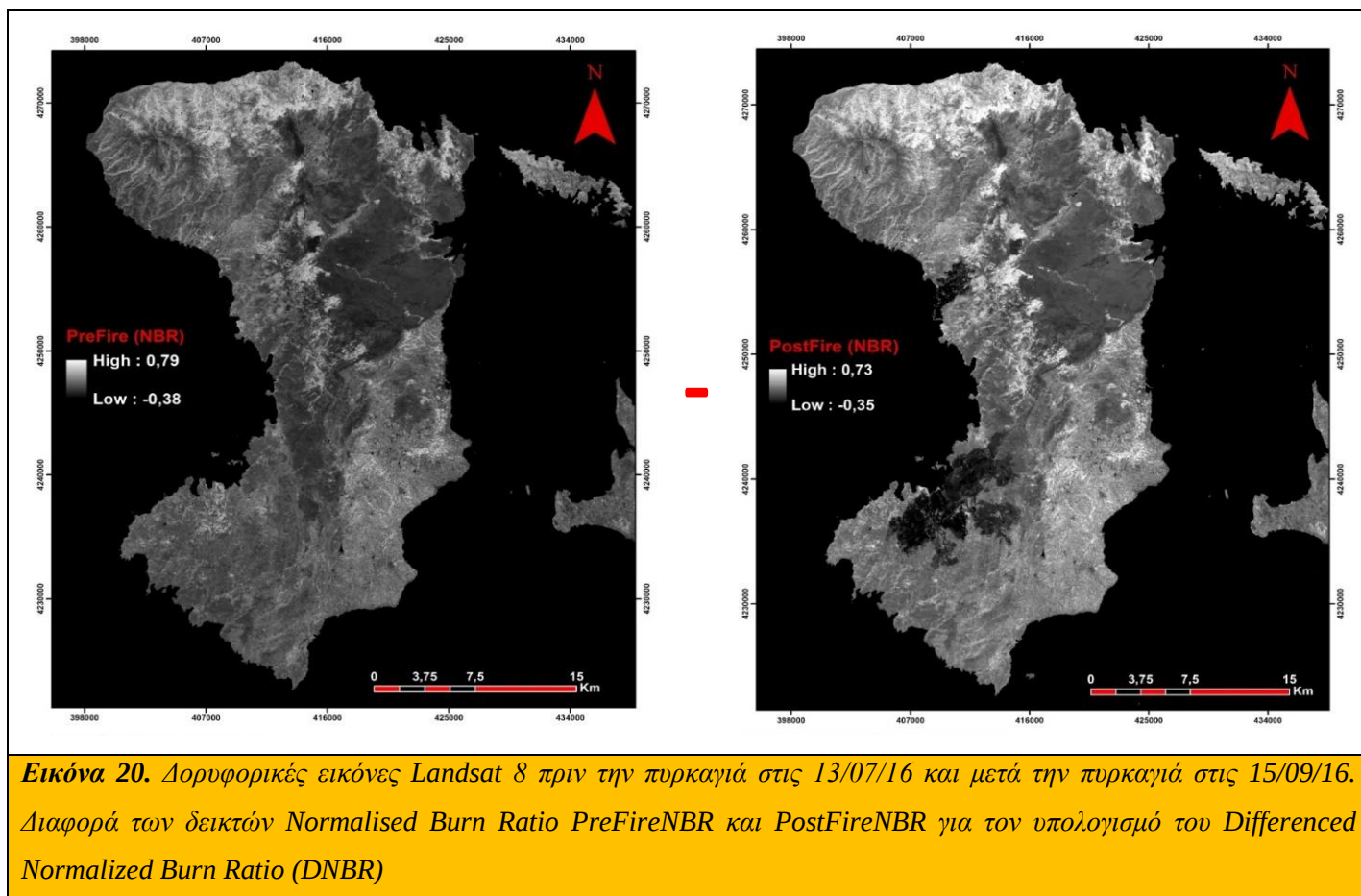
Κανονικοποιημένος Δείκτης Καμένης περιοχής + Θερμικό Κανάλι Normalized Burn Ratio + Thermal (NBRT)



Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί μια θερμική ζώνη για την ενίσχυση του NBR. Αυτό οδηγεί σε μια καλύτερη διαχωριστικότητα μεταξύ των καμένων και των άκαυστων περιοχών.

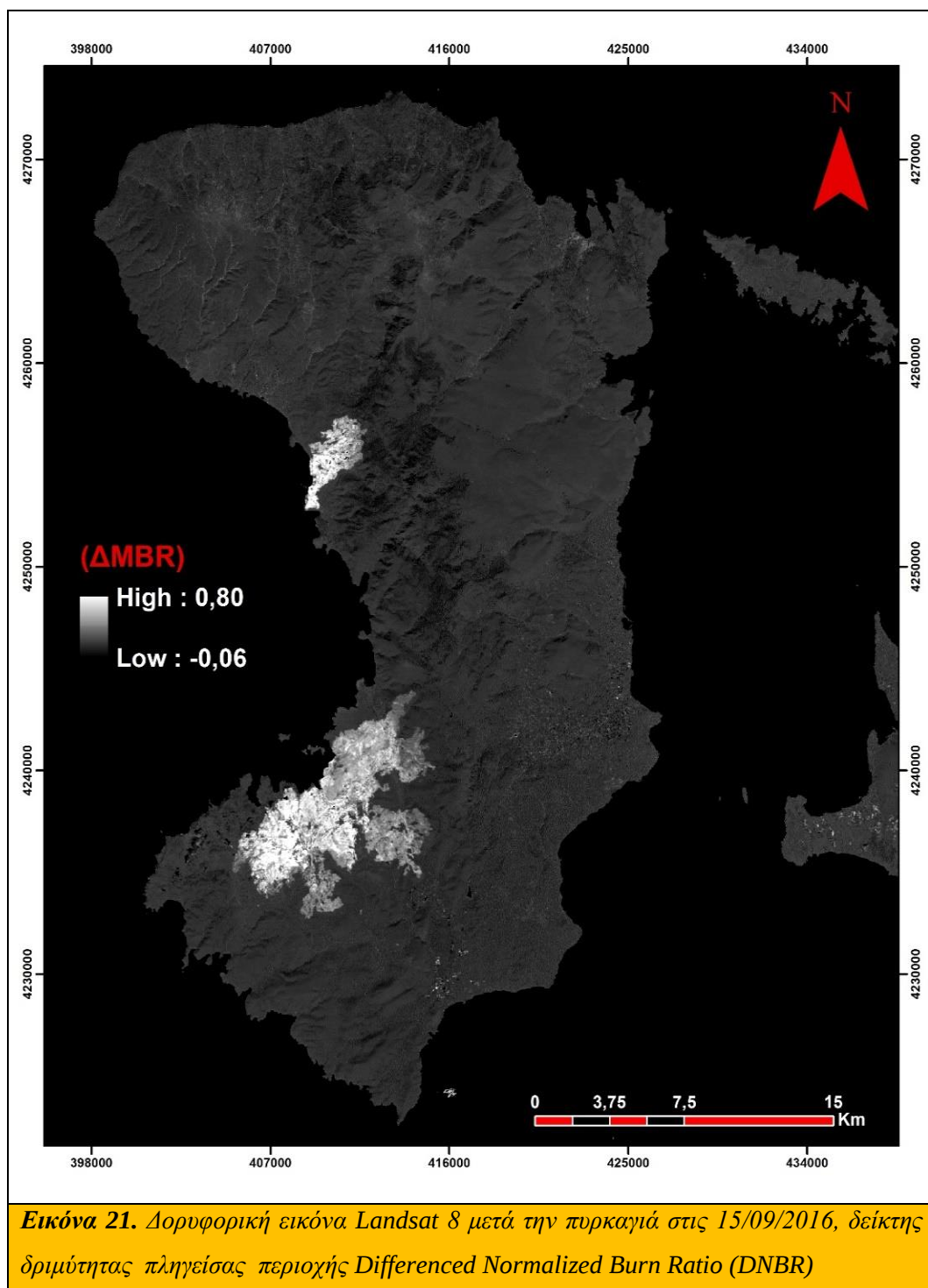
$$NBRT = \frac{(NIR - SWIR2) * (\frac{TIRS}{1000})}{(NIR + SWIR2) * (\frac{TIRS}{1000})}$$

Διαφοροποιημένος Κανονικοποιημένος Δείκτης Καμένης περιοχής Differenced Normalized Burn Ratio (DNBR)

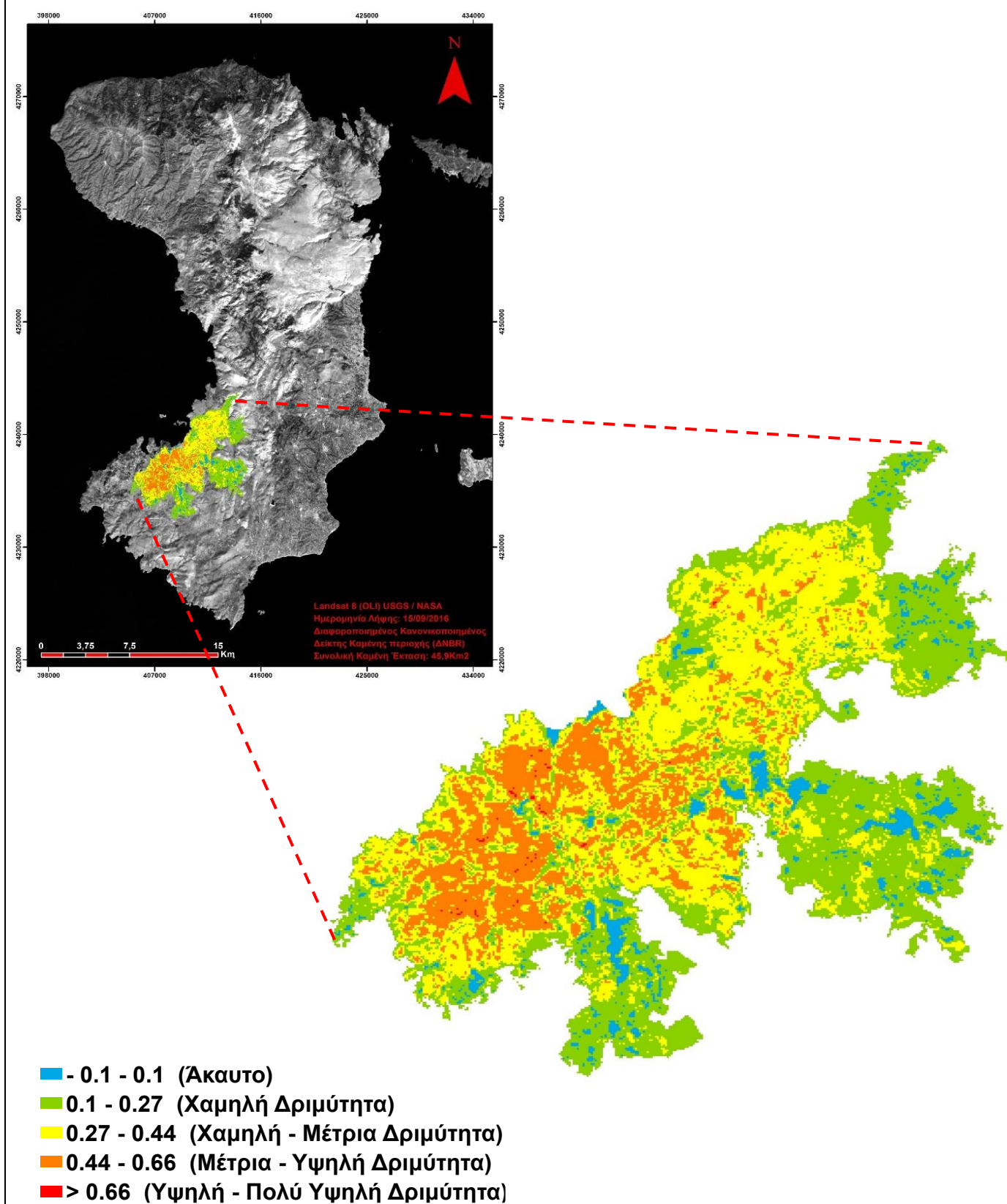


$$\text{DNBR} = \text{NBR}_{\text{prefire}} - \text{NBR}_{\text{postfire}}$$

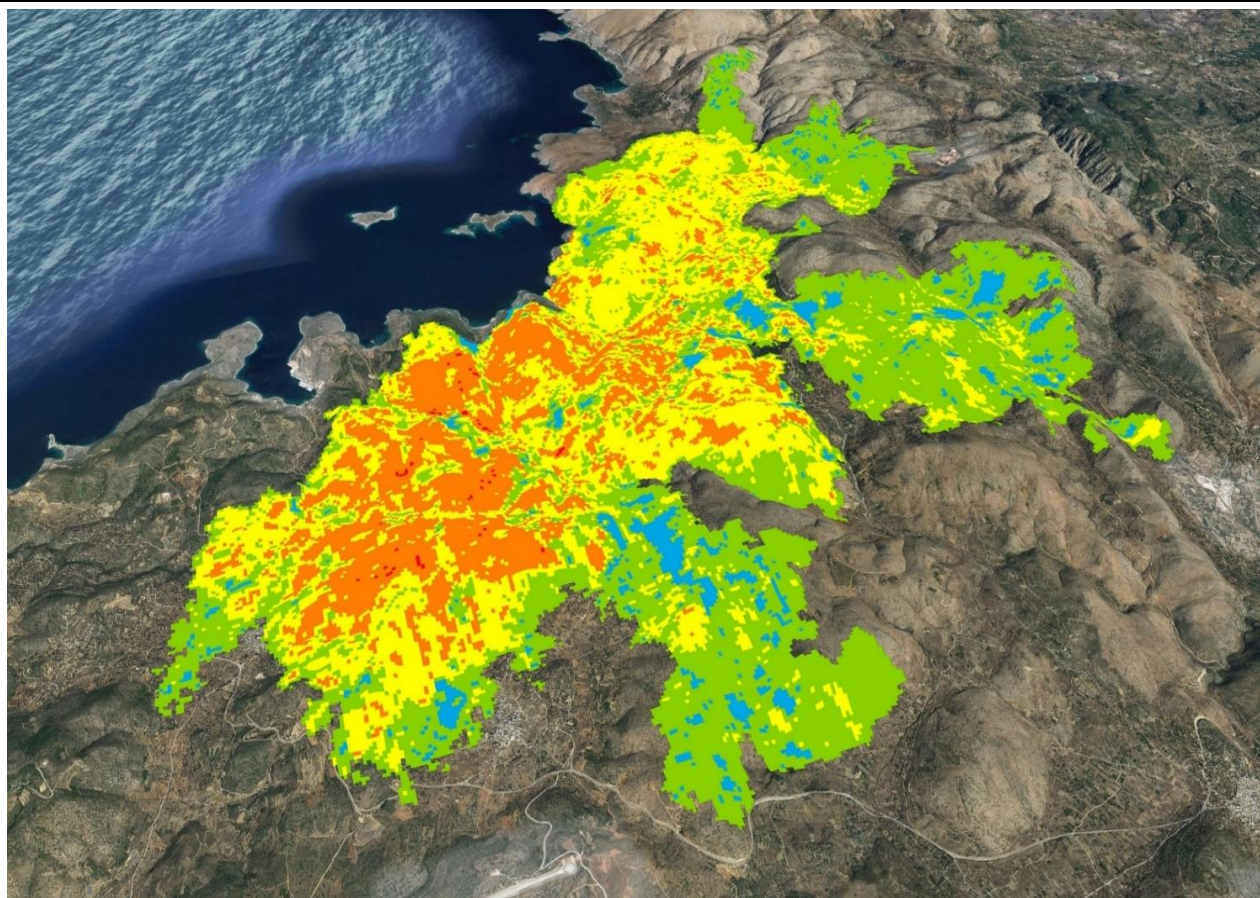
Μετά το στάδιο των προ-επεξεργασιών, βασικών επεξεργασιών των δορυφορικών δεδομένων Landsat 8 και τον υπολογισμό των φασματικών δεικτών NBR πριν και μετά την πυρκαγιά καθώς και την σύνεωση των υπόλοιπων φασματικών καναλιών με το θερμικό κανάλι για την δημιουργία μιας εικόνας υψηλότερης διαχωριστικότητας μεταξύ των καμένων και των άκαυστων περιοχών με σκοπό να υπολογιστεί η έκταση της καμένης επιφάνειας υπολογίσαμε τον DNBR τον Διαφοροποιημένο Κανονικοποιημένο Δείκτη Καμένης περιοχής Differenced Normalized Burn Ratio ώστε να πάρουμε το αποτέλεσμα της δριμύτητας της πυρκαγιάς.



Εικόνα 22. Δείκτης Δριμύτητας Πυρκαγιάς DNBR



Εικόνα 23. Απεικόνιση ψηφιδωτού αρχείου του δείκτη DNBR σε αρχείο KML



ΔNBR	Burn Severity
-0.1 - 0.1	Άκαυτο
0.1 - 0.27	Χαμηλή Δριμύτητα
0.27 - 0.44	Χαμηλή – Μέτρια Δριμύτητα
0.44 - 0.66	Μέτρια – Υψηλή Δριμύτητα
> 0.66	Υψηλή – Πολύ Υψηλή Δριμύτητα

4.12 Αποτελέσματα

Από τους δείκτες ανίχνευσης καμένης έκτασης (BAI, NBR & NBRT) που δημιουργήθηκαν, χαρτογραφήθηκε με μεγάλη ακρίβεια η καμένη περιοχή, η έκταση της οποίας ανέρχεται σε 45,9 km² (Εικόνα 19). Από τον Διαφοροποιημένο Κανονικοποιημένο Δείκτη Καμένης περιοχής ΔNBR, ο οποίος αναδεικνύει την δριμύτητα της πυρκαγιάς στην καμένη περιοχή, προκύπτει ότι οι περιοχές με Υψηλή - Πολύ υψηλή δριμύτητα εντοπίζονται κυρίως στα νότια και νοτιοδυτικά και καλύπτουν έκταση 8,46 Km² και ποσοστό 18,4% επί του συνόλου της καμένης έκτασης. Οι περιοχές με μέτρια και χαμηλή δριμύτητα εντοπίζονται κυρίως στα βόρεια και βόρειο-ανατολικά της περιοχής, καλύπτουν έκταση περίπου 35 Km² και ποσοστό περίπου 76% της συνολικά καμένης έκτασης. Τέλος, οι άκαυτες περιοχές, εντοπίζονται σε μικρές νησίδες, σκόρπιες μέσα στην καμένη έκταση. Η μεθοδολογία της χαρτογράφησης, χρησιμοποιώντας ειδική προ-επεξεργασία των δεδομένων και συνδυασμό δεικτών ανίχνευσης καμένων περιοχών, αποτύπωσε με μεγάλη ακρίβεια την καμένη περιοχή. Συγκεκριμένα, ο δείκτης NBR τονίζει τις καμένες περιοχές και ιδιαίτερα εκείνες που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις, ο δείκτης BAI τονίζει το σήμα του ξυλάνθρακα από την καμένη περιοχή, ενώ ο δείκτης NBRT ενισχύει το σήμα του NBR χρησιμοποιώντας και το θερμικό κανάλι και τονίζει την διαφοροποίηση μεταξύ καμένης και μη καμένης περιοχής.

Πίνακας 7. Ποσοστά καμένης έκτασης με βάση τον ΔNBR

<u>ΔNBR</u>	Έκταση (Km²)	Ποσοστό %
Χαμηλή – Μέτρια Δριμύτητα (0.27-0.44)	35 Km²	76%
Υψηλή – Πολύ Υψηλή Δριμύτητα (0.44 - 0.66, >0.66)	8,46 Km²	18,4%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Εξέταση πιθανών μεταπυρικών φαινομένων (κατολισθήσεις - πλημμύρες) από την πυρκαγιά του 2016 στην Νήσο Χίο με εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)

5.1 Κίνδυνος κατολισθήσεων και πλημμυρών μετά από δασικές πυρκαγιές

Έχει αποδειχθεί, πως ύστερα από μεγάλης έντασης δασική πυρκαγιά, η αποσάθρωση των σκληρών ασβεστολιθικών πετρωμάτων, καθώς και των μεταμορφωσιγενών σχιστόλιθων, αυξάνει σημαντικά κάτω από την δράση των έντονων και ταχύτατων μεταβολών της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Για παράδειγμα, στις επιφάνειες των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, που είναι από τα πιο κοινά πετρώματα της χώρας μας, πάνω από τις οποίες πέρασε δασική πυρκαγιά υψηλής έντασης, δημιουργείται οξείδιο του ασβεστίου (ασβέστης, CaO), που μετά από βροχή προσλαμβάνει νερό, γίνεται υδροξύλιο του ασβεστίου (Ca(OH)_2) και το πέτρωμα αποσαθρώνεται έντονα (Γκόφας, 2001). Πέραν τούτου όμως, οι έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές προκαλούν άμεσα, το σπάσιμο των πετρωμάτων και τον τεμαχισμό τους σε μικρότερα τμήματα, με συνέπεια την άμεση μηχανική αποσάθρωσή τους. Αυτός είναι και ο λόγος που οι δρόμοι με πρηνή, που περνούν από πρόσφατα καμένες περιοχές γεμίζουν με πολλές πέτρες. Όσον αφορά το έδαφος, η φωτιά επηρεάζει τις εδαφικές ιδιότητες κυρίως καταστρέφοντας το οργανικό υλικό το οποίο είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της δομής του εδάφους. Η καταστροφή του εδαφικού οργανικού υλικού (soil organic matter) από τη φωτιά οδηγεί σε κατάρρευση της εδαφικής δομής, μειώνοντας την πυκνότητά και το πορώδες του με αντίστοιχη μείωση της διηθητικότητάς του και αυξάνει την (επιφανειακή) απορροή και τη διάβρωση. Το μέγεθος των αλλαγών αυτών στο έδαφος εξαρτάται από την ένταση της φωτιάς, την αναλογία χαμηλής και υψηλής βλάστησης, το μέγεθος της καμένης έκτασης και το διάστημα μεταξύ των επεισοδίων της φωτιάς (συχνότητα δασικών πυρκαγιών) (DeBano et al, 1998).

Οι δασικές πυρκαγιές (ή φυσικές ή ανεξέλεγκτες,) αποτελούν συνήθεις διεργασίες σε πολλά οικοσυστήματα και μάλιστα σημαντικές για την ύπαρξή τους (Legleiter et al 2003, Gonzalez et al 2006, κ.λπ.). Η φυσική συχνότητα επανάληψής τους μπορεί να κυμαίνεται από 50 ως 6000 χρόνια (Shakesby & Doerr 2006). Στις μέρες μας, σε πολλές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων και των Μεσογειακών περιοχών, ο άνθρωπος αποτελεί τον κύριο παράγοντα που επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα αυτό το ρυθμό (αλλαγές χρήσης γης και δημιουργία μωσαϊκού, καταπολέμηση φυσικών πυρκαγιών και συσσώρευση μεγάλης μάζας καύσιμης ύλης, εγκατάλειψη καλλιεργειών, εμπρησμοί, αποψίλωση δασών, κ.λπ.).

Οι πυρκαγιές, αλλά και η αποψίλωση των δασών με άλλα μέσα, έχουν ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες στις υδρολογικές (De Bano et al 1967, Hibbert 1967, Brown 1972, Anderson et al 1976, Campbell et al 1977, Tiedemann et al 1979, Bosch & Hewlett 1982) και μορφογενετικές (Lavabre et al 1993, Batalla & Sala 1998) λειτουργίες των λεκανών, όπου εκδηλώνονται. Εξάλλου, έχουν γίνει πολυετείς παρατηρήσεις, μετρήσεις, καθώς και πολυάριθμα πειράματα στο πεδίο και στο εργαστήριο, σε συνθήκες φυσικής πυρκαγιάς, προδιαγεγραμμένου πυρός ή τεχνητές, για την εξακρίβωση των διεργασιών και την παραμετροποίηση και ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών στις λεκάνες (Inbar et al 1997, De Bano 2000, Benavides-Solorio & MacDonald 2001, Brady et al 2001, Pierson et al 2001, Meixner & Wohlgermuth 2003, Mayor et al 2007), αλλά και για τη διάρκειά τους (Arcenegui et al 2007, Lopez & Batalla 2001). Τα αποτελέσματα και οι απόψεις των ερευνητών φαίνεται ότι συγκλίνουν ξεκάθαρα για ορισμένες από τις επιπτώσεις, τα αίτια και τις διεργασίες (π.χ. σχετικά με την **απορροή**, τη **διάβρωση** και τις **κατολισθήσεις**), αλλά όχι για όλες (π.χ. σχετικά με την κατείσδυση, τη διάρκεια των επιπτώσεων κ.λπ.), κι αυτό πιθανά οφείλεται στα διαφορετικά περιβάλλοντα και κλίματα που μελετώνται, στο σχεδιασμό των πειραμάτων, στην πολυπλοκότητα των φαινομένων και οπωσδήποτε στην κλίμακα παρατήρησης.

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 και 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.

Οι αλλαγές που επέρχονται στο έδαφος έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της συνοχής και της σταθερότητας των συσσωματωμάτων στο έδαφος, ενώ κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς σχηματίζεται ένα υδρόφοβο εδαφικό στρώμα στο έδαφος (κυρίως στους 175-270 °C), που μαζί με την καταστροφή της βλάστησης και της νεκρής ύλης στην επιφάνεια, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας συγκράτησης και κατακράτησης νερού, και τη μείωση της κατείσδυσης, εκτός εάν η θερμοκρασία φτάσει σε τόσο υψηλά επίπεδα (συνήθως πάνω από 270-400 °C), ώστε να καταστραφεί τελείως η υδροφοβικότητα. Αυτή η «πυριγενής» υδροφοβικότητα, μπορεί να παραμείνει για χρονικό διάστημα μικρότερο του έτους, π.χ. αν πρόκειται για χαμηλής έντασης φωτιά, όπως το προδιαγεγραμμένο πυρ, ή να διατηρηθεί επί αρκετά χρόνια, αν έχει προκληθεί από σοβαρή πυρκαγιά, μέσα σε αυξημένες συγκεντρώσεις καύσιμης ύλης, και ιδιαίτερα κατά την ξηρά περίοδο (De Bano 2000).

Ταυτόχρονα, η απομάκρυνση της βλάστησης διακόπτει απότομα τη διαπνοή. Ως αποτέλεσμα, αυξάνεται η διάχυτη απορροή (De Bano et al 1967), η μέγιστη παροχή των ρεμάτων κατάντη στα επιμέρους επεισόδια βροχοπτώσης και η συνολική ετήσια απορροή σε επίπεδο λεκάνης (Brown 1972, Batalla & Salla 1998), 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% (Nasseri, 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.

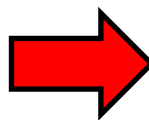
Οι Bosch & Hewlett (1982) επισημαίνουν, ότι παρουσιάζεται καλή συσχέτιση μεταξύ της αύξησης της απορροής και του ποσοστού της καμένης έκτασης, ειδικά για τα δάση κωνοφόρων, ενώ η συσχέτιση μειώνεται για τα φυλλοβόλα δάση και τις θαμνώδεις εκτάσεις. Ειδικότερα, παρατηρούν μια αύξηση κατά μέσο όρο 40mm στην απορροή, για 10% μείωση της έκτασης των δασών κωνοφόρων.

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. 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 (Ballais & Bosc 1994, Dorn 2003). Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, αυξάνονται οι ρυθμοί διάβρωσης στην πυρόπληκτη λεκάνη και η προσφορά ιζήματος κατάντη (που περιέχει πλέον και τα υπολείμματα της φωτιάς), ενώ αυξάνεται και η ενέργεια των χειμάρρων (stream power) (Legleiter et al 2003). Κατ' αυτό τον τρόπο, οι δευτερογενείς επιπτώσεις των πυρκαγιών επεκτείνονται στην αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου (Candela et al 2005) κυρίως με ξαφνικές και υπέρπυκνες πλημμύρες (flash floods, debris floods) και στην 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 εδαφικόςερπυσμός εν ξηρώ. Οι επιπτώσεις αυτές, αποσβένονται 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 περίοδοι μετά τις πυρκαγιές μπορεί να παρατείνεται η διάρκεια των επιπτώσεων, καθώς καθυστερούν την ανάκαμψη της βλάστησης (Mayor et al 2007).

Σχήμα 4 . Επιπτώσεις Πυρκαγιάς

- Μηχανική αποσάθρωση πετρωμάτων
- Φυσικό-χημική υποβάθμιση του εδάφους
- Απομάκρυνση βλάστησης και νεκρής ύλης
- Μείωση και διακοπή διαπνοής
- Μείωση ικανότητας συγκράτησης και κατακράτησης
- Πυριγενής υδροφοβικότητα
- Διάβρωση εδάφους
- Μείωση κατείσδυσης
- Μείωση εξατμισοδιαπνοής
- Αύξηση μέγιστης παροχής και συνολικής απορροή



✓ **Κατολισθήσεις**
✓ **Πλημμύρες**

ΕΜΜΕΣΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ						
ΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ (ΑΜΕΣΑ ΚΑΙ ΕΠΙΤΟΠΟΥ)			ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ		ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	
ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΕΔΑΦΟΣ	ΠΕΤΡΩΜΑ	ΕΞΑΤΜΙΣΩΔΙΑΠΝΟΗ (ΕΤ)	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (Ι)	ΑΠΟΡΡΟΗ (R)	ΔΙΑΒΡΩΣΗ
Μερική ως ολική καύση/απομάκρυνση βλάστησης-νεκρής ύλης	Μείωση της συνοχής, της σταθερότητας της δομής και των συσσωματωμάτων, μείωση της ικανότητας συγκράτησης/κατακράτησης νερού, Μεταβολή φυσικής υδροφορικότητας, Πυριγενής υδροφορικότητα, Πιο εύθραπτη και ευδιάβρωτη υφή, Χημικές μεταβολές, Ορυκτολογικές Μεταβολές	Αποσάθρωση (κυρίως κατασμίλευση της επιφάνειας μέχρι βάθους μερικών cm και ρωγμές εγκάρσιες προς την εκτεθειμένη επιφάνεια)	Σε πρώτη φάση διακοπή της διαπνοής (δραματική μείωση της ΕΤ), και στη φάση ανάκαμψης της βλάστησης αυξημένη ΕΤ ακόμα και σε σχέση με τις συνθήκες πριν την πυρκαγιά	Ποικίλες μεταβολές με μεγάλη χωρική μεταβλητότητα, λόγω της ανομοιογένειας της μεταβολής της υδροφορικότητας, Συνήθως άμεση ή σταδιακή μείωση εκτός από τα σημεία που η θερμοκρασία έφτασε σε τόσο υψηλό επίπεδο ώστε αρχικά να καταστραφεί τελείως το υδρόφοβο εδαφικό στρώμα	Άμεση αύξηση της μέγιστης παροχής (τοπικά) και της συνολικής απορροής κυρίως στις πρώτες περιόδους, διαφορές τάξης μεγέθους, ιδιαίτερα στις ημίξηρες και ξηρές περιοχές, Παράταση της στέρσεως των ποταμών λόγω διακοπής της διαπνοής, Επιπλέον αύξηση του όγκου λόγω στερεοπαροχής	Διάβρωση εδάφους από διάχυτη ροή και σταγόνες βροχής, Αυλακώσεις, Εδαφικός ερπυσμός εν ξηρώ, Αύξηση κατολισθητικού κινδύνου, Λασποροές, Ροές κορημάτων
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ						
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΒΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	Τύπος αρχικής βλάστησης/καύσιμης ύλης, Κλίμα, Ξηρασίες, Σύσταση και δομή του εδάφους, αλλαγή χρήσης γης, βόσκηση	Είδος πετρώματος (ασβεστόλιθος>ψαμμίτης>γνεύσιος>μαρμαρυγ. Σχιστόλιθος)	Διάρκεια καύσης/ποσότητα καύσιμης ύλης, Αρχικά χαρακτηριστικά εδάφους/πετρώματος, Βαθμός καταστροφής της βλάστησης	Μορφολογία, Βαθμός ανάπτυξης πυριγενούς υδροφορικότητας	Ποσοστό καμένης έκτασης ανά λεκάνη, Βαθμός μείωσης ΕΤ και I	Μορφολογία, Βαθμός φυσικοχημικών επιπτώσεων σε εδαφός/πέτρωμα
ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΤΑΡΡΑΧΗΣ	Ανάλογα με το κλίμα, την αρχική κατάσταση και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις, από βραχυχρόνιες έως μόνιμες επιπτώσεις	Από λίγα έτη έως μόνιμες επιπτώσεις, ανάλογα με τις αρχικές συνθήκες και τη σοβαρότητα του φαινομένου	1-2 έτη δυσανάλογα μεγάλες επιπτώσεις, με χρόνο απόσβεσης των επιπτώσεων ανάλογα με το ρυθμό ανάκαμψης της βλάστησης	Δύσκολο να εκτιμηθούν	1-2 έτη δυσανάλογα μεγάλες επιπτώσεις, με χρόνο απόσβεσης των επιπτώσεων ανάλογα με το ρυθμό ανάκαμψης της βλάστησης	Μεσο-μακροπρόθεσμες (αρκετά χρόνια, ανάλογα με το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που ρυθμό ανάκαμψης κήκε) το κλίμα κ.λπ.

Πίνακας 8. Ρυθμιστικοί παράγοντες και διαχρονικές επιπτώσεις των πυρκαγιών σε μια υδρολογική λεκάνη. (Πηγή: Ε. Ανδρεαδάκης)

5.2 Μοντέλο πιθανού κατολισθητικού κινδύνου στην πληγείσα περιοχή

Για την δημιουργία του χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LSI), δημιουργήθηκαν στο ΓΠΣ, 9 χάρτες που περιλαμβάνουν όλους εκείνους τους παράγοντες που επιδρούν στην περιοχή έρευνας. Η δημιουργία αυτών των χαρτών έγινε χρησιμοποιώντας ως βάση τους Τοπογραφικούς, Γεωλογικούς και Εδαφολογικούς χάρτες της περιοχής μελέτης. Για την εξαγωγή του χάρτη χρήσεων γης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το Corine 2012. Αναλυτικά, οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του τελικού χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση ήταν:

α) Γεωλογία: αποτελεί έναν από του σημαντικότερους παράγοντες για την δημιουργία κατολίσθησης. Οι βασικές κλάσεις ταξινόμησης του τελικού γεωλογικού χάρτη, περιλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα, τα ηφαιστειακά, τα νεογενή και τις αλουβιακές αποθέσεις - κώνους κορημάτων (Εικόνα 24).

β) Κλίσεις: οι κλίσεις παρουσιάζουν πολλαπλή επίδραση στην διαδικασία της κατολίσθησης. Άμεσα επιδρούν στον βαθμό συνάφειας των εδαφών, αλλά και έμμεσα ελέγχουν την ταχύτητα ροής του νερού. Οι κλίσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε 5 κλάσεις, με κλίση από 0-5%, 5-15%, 15-30%, 30-45% και > 45% (Εικόνα 24).

γ) Χρήση / κάλυψη γης: η παρουσία ή απουσία της βλάστησης από μία περιοχή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ευαισθησία σε κατολίσθηση. Η πυκνή βλάστηση μειώνει την διαβρωτική ισχύ του νερού της βροχής, ενώ με το ριζικό της σύστημα (ιδιαίτερα σε δασικές περιοχές), συγκρατεί το έδαφος και ισχυροποιεί την αντίσταση του εδάφους στην διάβρωση (Montgomery et al. 2000, Kouli et al. 2009). Η χρήση/κάλυψη γης, κατηγοριοποιήθηκε σε 5 κλάσεις, οι οποίες χωρίζονταν σε δάση κωνοφόρων και αείφυλλων-πλατύφυλλων, σε καλλιέργειες, σε οικισμούς και δρόμους, σε αμπέλια και γυμνά εδάφη και τέλος σε βοσκότοπους και καμένες περιοχές (Εικόνα 24).

δ) Βροχόπτωση: η κατανομή της βροχόπτωσης επιδρά άμεσα σε μία περιοχή, διότι μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες αυξημένης υγρασίας στα εδάφη, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν, σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες, σε συνθήκες ευνοϊκές για κατολίσθηση. Η κατηγοριοποίηση της βροχόπτωσης έγινε με βάση το ύψος βροχής και χωρίστηκε σε 5 κλάσεις, με ύψη βροχής από 0-400 mm, 400-600 mm, 600-800 mm, 800-1.000 mm και >1.000 mm (Εικόνα 24).

ε) Καμπυλότητα/κυρτότητα (curvature): η καμπυλότητα εκφράζει πρακτικά την μορφολογία και την τοπογραφία μιας περιοχής (Zevenbergen & Thorne 1987). Οι θετικές τιμές δείχνουν ανοδικά κυρτές επιφάνειες και οι αρνητικές τιμές δείχνουν ανοδικά κοίλες. Η τιμή μηδέν αναπαριστά τις επίπεδες περιοχές (Ohlmacher 2007, Clerici et al. 2010). Για τις αρνητικές τιμές, όσο μικρότερη η τιμή τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία σε κατολίσθηση. Η ταξινόμηση των κλάσεων του χάρτη

καμπυλότητας περιελάμβανε τις κλάσεις με τιμές $>-0,19$, $-0,2$ έως $-0,59$, $-0,6$ έως $-0,99$ και <-1 (Εικόνα 24).

ζ) Προσανατολισμός των κλίσεων (slope aspect): ορίζει την κατεύθυνση των κλίσεων και εκφράζεται σε μοίρες. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίστηκαν οι κλάσεις από $0,5$ έως 90° σαν ΒΑ, από 90 έως 180° σαν ΝΑ, από 180 έως 270° σαν ΝΔ, από $270-359,5^\circ$ σαν ΒΔ και από $359,5-0,5^\circ$ σαν επίπεδες περιοχές. Ουσιαστικά ο προσανατολισμός των κλίσεων, επηρεάζει έμμεσα την δράση της κατολίσθησης, διότι ελέγχει την έκθεση στα διάφορα κλιματικά χαρακτηριστικά, όπως η έκθεση στον ήλιο, η βροχόπτωση κλπ. και σαν αποτέλεσμα αυτών, την κάλυψη από βλάστηση (Dai et al. 2002, Cevik & Topal 2003) (Εικόνα 24).

η) Απόσταση από ρέματα: η γειτνίαση με ρέματα, των οποίων η ροή μπορεί να δημιουργήσει χαραδρωτική διάβρωση, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στην εκδήλωση κατολίσθησης (Pachauri et al. 1998). Επίσης, στα σημεία που γειτνιάζουν με ρέματα παρατηρείται και η μεγαλύτερη κατείσδυση νερού, διότι υπάρχουν υλικά με μεγάλη περατότητα. Δημιουργήθηκε μία ζώνη πλάτους 50 m, από τον κλάδο του κάθε ρέματος και χωρίστηκε η περιοχή, στο τμήμα εντός και στο τμήμα εκτός αυτής της ζώνης (Εικόνα 24).

θ) Απόσταση από ρήγματα: η απόσταση από τεκτονικές δομές δημιουργεί την πιθανότητα να λάβει χώρα ένα κατολισθητικό φαινόμενο. Αυτό συμβαίνει διότι, η επιλεκτική διάβρωση, καθώς και η κίνηση του νερού κατά μήκος ενός ρήγματος, μπορούν να προκαλέσουν τέτοια φαινόμενα. Δημιουργήθηκε για τα ρήγματα, μία ζώνη πλάτους 200 m και χωρίστηκε η περιοχή, στο τμήμα εντός και στο τμήμα εκτός αυτής της ζώνης (Εικόνα 24).

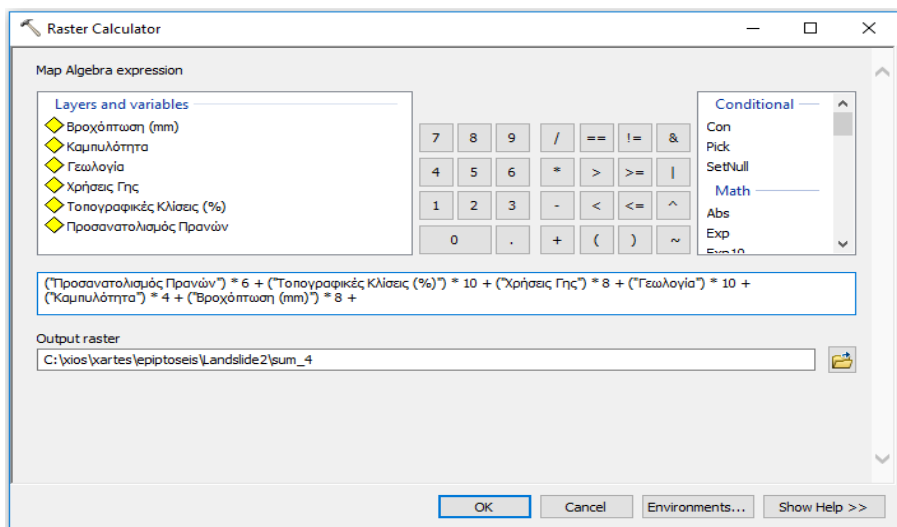
ι) Απόσταση από δρόμους: εκτεταμένες εκσκαφές και αποψίλωση της βλάστησης, είναι μερικές από τις βασικές ενέργειες που γίνονται κατά την κατασκευή των δρόμων. Οι διαδικασίες αυτές σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες που επιδρούν σε μια περιοχή, μπορούν να επιφέρουν σημαντικά προβλήματα κατολισθήσεων. Χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διατριβή οι ασφαλτοστρωμένοι και οι μεγαλύτεροι χωμάτινοι δρόμοι (αγροτικό οδικό δίκτυο) και δημιουργήθηκε μια ζώνη πλάτους 50 m. Έπειτα η περιοχή χωρίστηκε, στο τμήμα εντός και στο τμήμα εκτός αυτής της ζώνης (Εικόνα 24).

5.2.2 Δημιουργία χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση (LSI)

Όλες οι παραπάνω παράμετροι, μετατράπηκαν στο τελικό στάδιο σε ψηφιακή μορφή στο ΓΠΣ, με κάθε μία να αναπαριστά έναν ανεξάρτητο παράγοντα στην βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε. Ανάλογα με την σημασία που παρουσιάζει κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες, στην αστάθεια των πρανών της περιοχής, ορίστηκαν δείκτες βαρύτητας από το 1-10. Η σημασία της κάθε ταξινομημένης κλάσης, του κάθε παράγοντα, στην πρόκληση κατολισθήσεων, εξάγεται πολλαπλασιάζοντας τον κάθε δείκτη βαρύτητας με τον βαθμό ιεράρχησης της κάθε κλάσης (Πίνακας 9). Στην πραγματικότητα βέβαια, η εφαρμογή του κάθε δείκτη βαρύτητας, περιέχει και μία δόση αυθαίρετης επιλογής, αφού ουσιαστικά επιχειρείται ο υπολογισμός μίας σχετικής εκτίμησης της ευαισθησίας σε κατολίσθηση και όχι μιας απόλυτης. Οι τελικοί δείκτες βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν, βελτιώθηκαν με την επαναλαμβανόμενη εξέταση του τελικού χάρτη που προκύπτει από τον συνδυασμό των 11 παραγόντων και με τελικό σκοπό την βελτιστοποίηση του χάρτη ευαισθησίας σε κατολίσθηση. Ο τελικός χάρτης αναταξινομήθηκε, με βάση το αθροιστικό διάγραμμα συχνότητας των τιμών που προκύπτουν από την εφαρμογή των πράξεων μεταξύ των 9 παραγόντων στο ΓΠΣ και αποδόθηκαν τελικά 6 κλάσεις ταξινόμησης (Εικόνα 25).

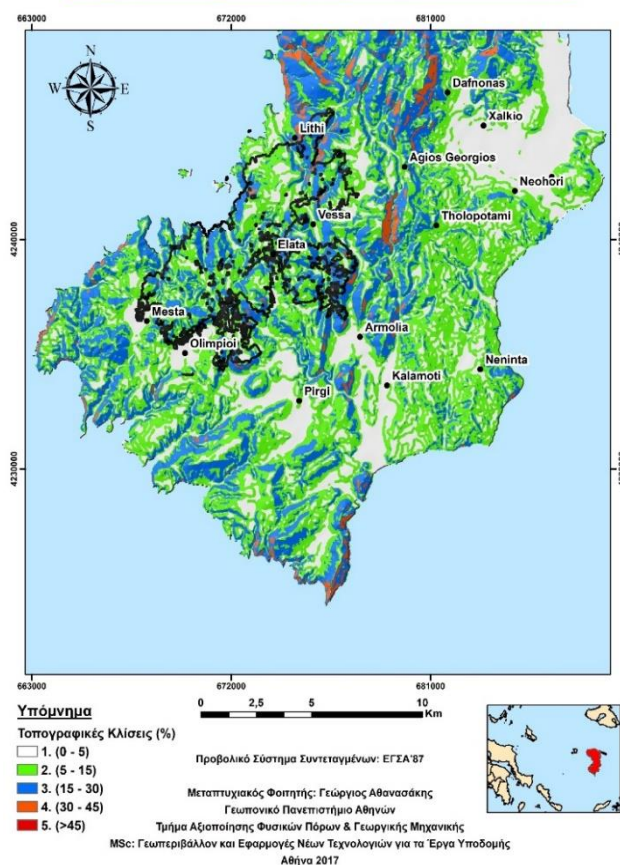
Πίνακας 9. Πολυκριτηριακή ανάλυση πιθανού κινδύνου κατολίσθησης (Ε. Ψωμιάδης, 2010)

Παράγοντας	Κλάσεις	Ιεράρχηση κλάσεων ταξινόμησης	Βάρος	Σπουδαιότητα
Κλίσεις (%) (Slope gradient)	0-5	1	10	10
	5-15	2		20
	15-30	3		30
	30-45	4		40
	>45	5		50
Γεωλογία	Ανθρακικά πετρώματα	1	10	10
	Ηφαιστειακά	2		20
	Νεογενή	3		30
	Αλουβιακές αποθέσεις-Κώνιοι κορημάτων	4		40
Χρήση/Κάλυψη γης	Δάση Κωνοφόρων & Αειφύλλων-Πλατύφυλλων	1	8	8
	Καλλιέργειες	2		16
	Οικισμοί & Δρόμοι	3		24
	Αμπέλια – Γυμνά Εδάφη	4		32
	Βοσκότοποι – Καμένες Εκτάσεις	5		40
Προσανατολισμός κλίσεων (Slope aspect)	Επίπεδες περιοχές	0	6	0
	NA	1		6
	BA	2		12
	NA	3		18
	BD	4		24
Βροχόπτωση (mm)	0-400	1	8	8
	400-600	2		16
	600-800	3		24
	800-1.000	4		32
	>1.000	5		40
Καμπυλότητα/ Κυρτότητα (m ⁻¹)	>-0,19	1	4	4
	(-0,2) – (-0,59)	2		8
	(-0,6) – (-0,99)	3		12
	< -1	4		16
Απόσταση από ρέματα (m)	>50	1	10	10
	≤50	2		20
Απόσταση από ρήγματα (m)	>200	1	10	10
	≤200	2		20
Απόσταση από δρόμους (m)	>50	1	5	5
	≤50	2		10

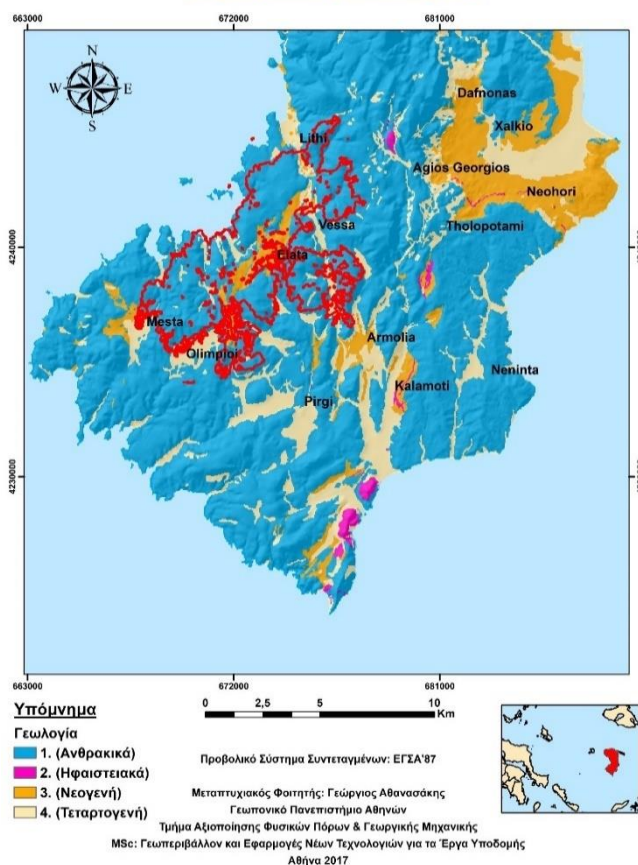


Απεικόνιση της εξίσωσης του πολλαπλασιασμού των δεικτών βαρύτητας με τους ψηφιακούς χάρτες των 9 παραγόντων που επιδρούν στην δημιουργία κατολισθήσεων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων.

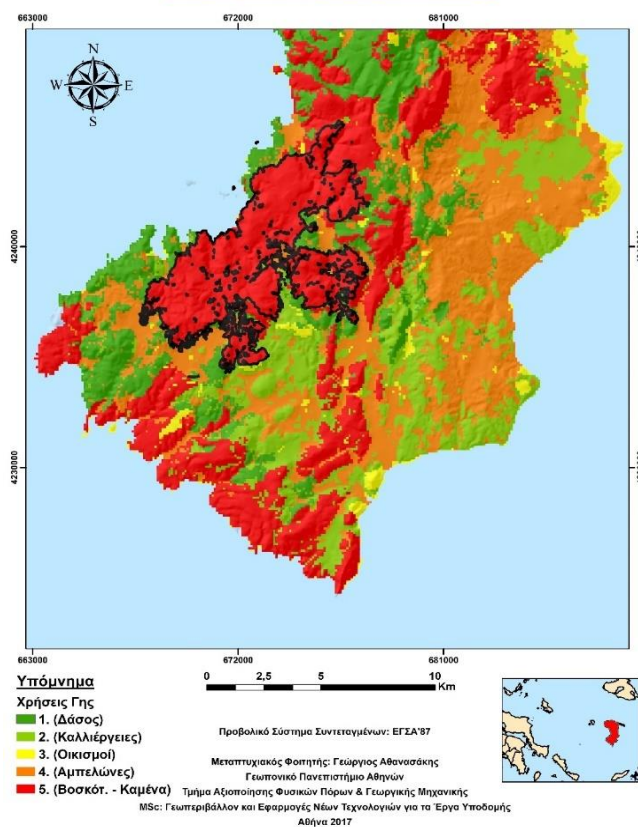
Παράγοντας Τοπογραφικών Κλίσεων (%)



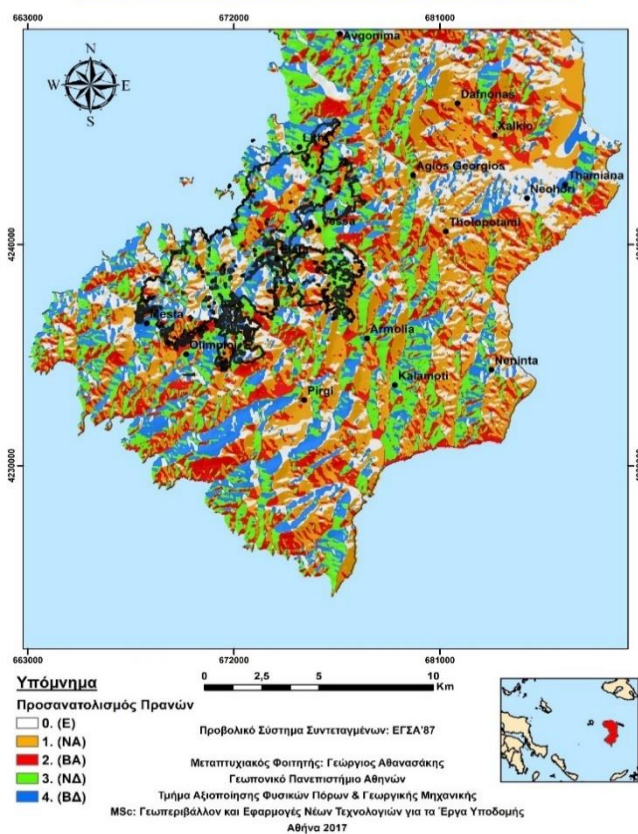
Παράγοντας Γεωλογίας



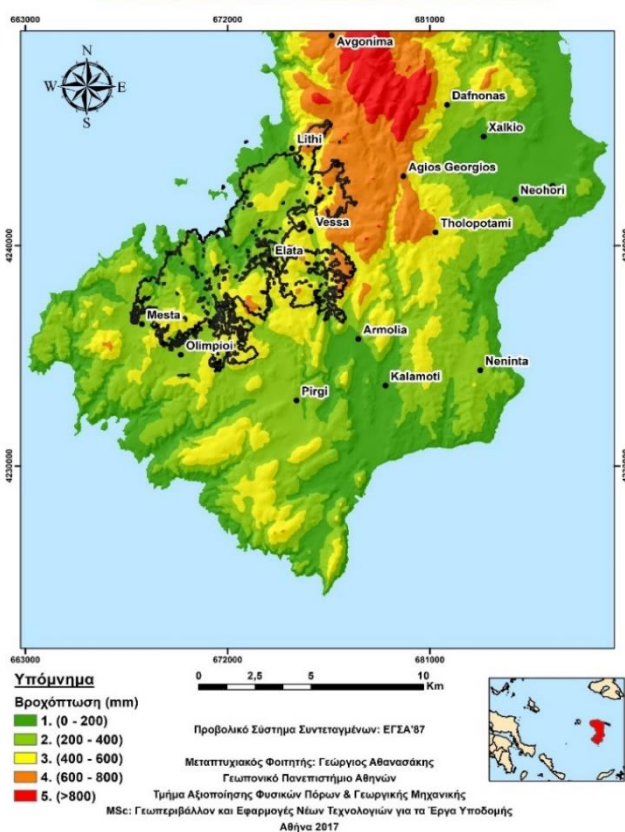
Παράγοντας Χρήσεων Γης



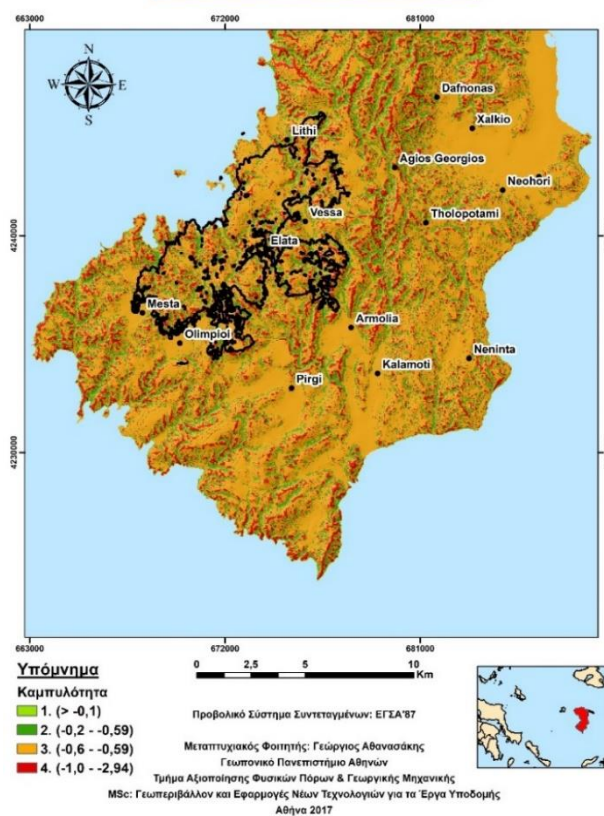
Παράγοντας Προσανατολισμού Πραγών



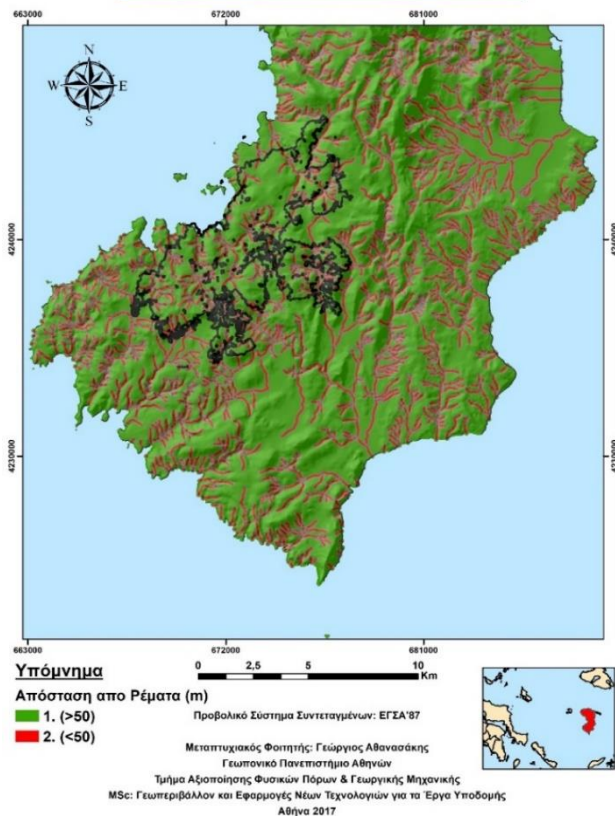
Παράγοντας Βροχόπτωσης σε (mm)



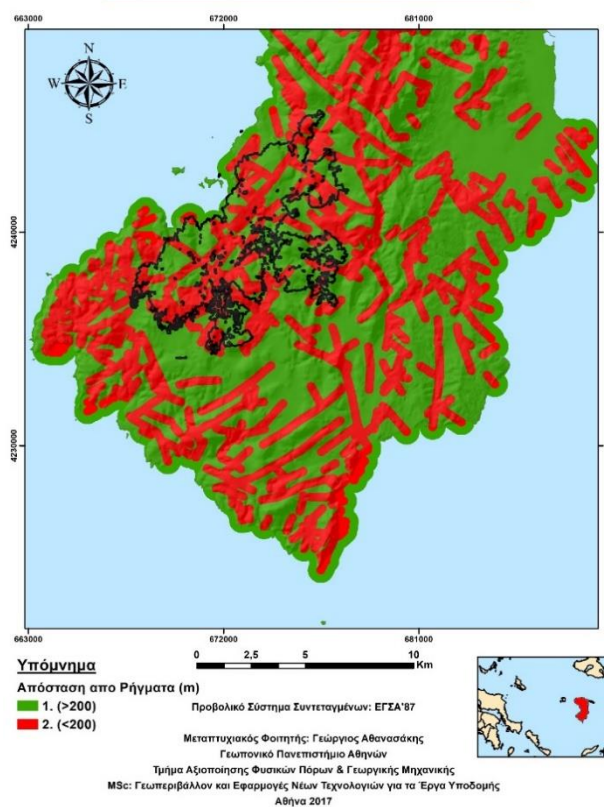
Παράγοντας Καμπυλότητας



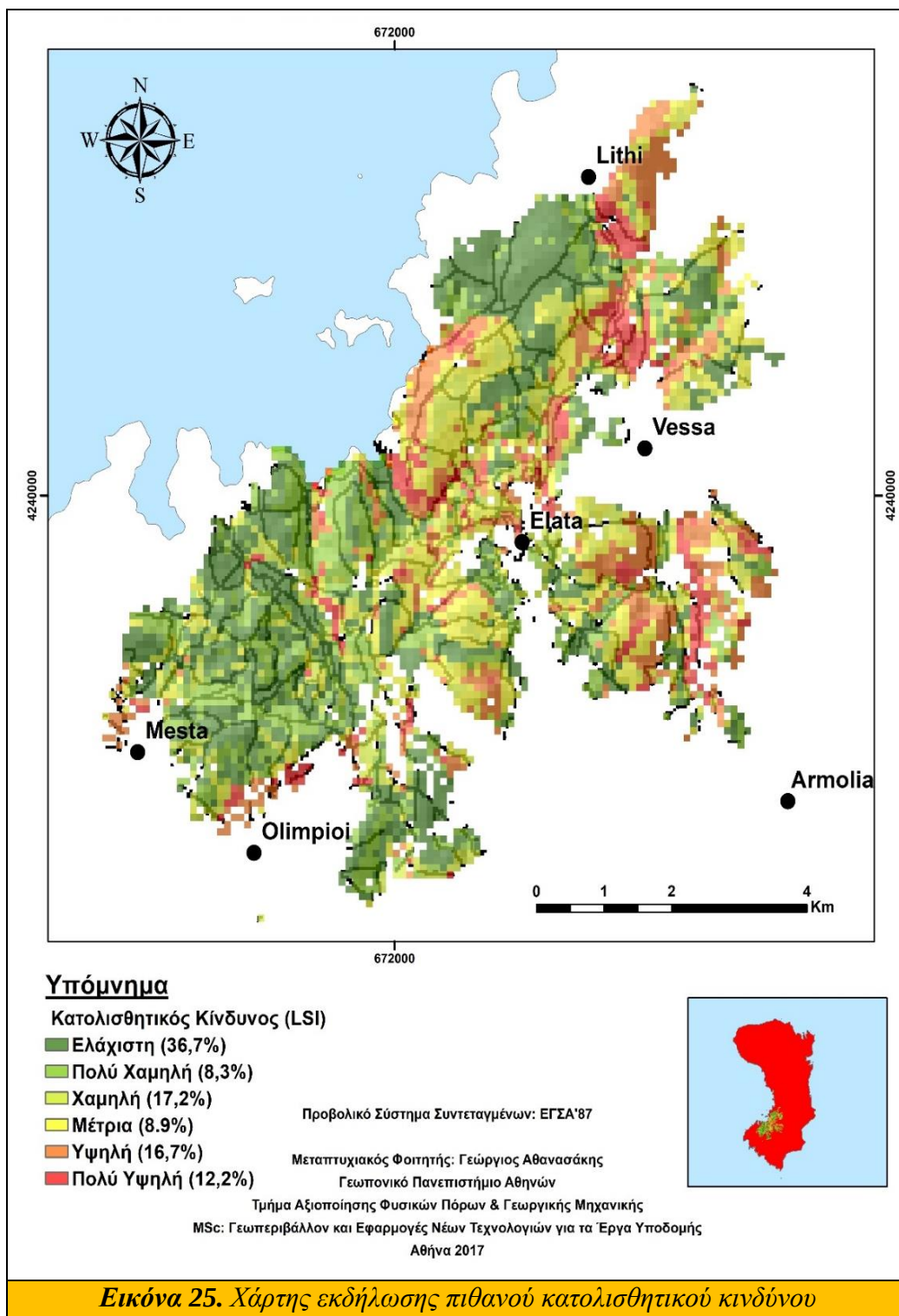
Παράγοντας Απόστασης Ρεμάτων



Παράγοντας Απόστασης Ρηγμάτων



Εικόνα 24. Χάρτες παραγόντων πολυκριτηριακού μοντέλου εκτίμησης πιθανού κινδύνου κατολίθησης



Πίνακας 10. Ποσοστά Κινδύνου Κατολίσθησης

Κίνδυνος Ευαισθησίας σε Κατολίσθηση	Ποσοστά Κινδύνου (%)
Ελάχιστη	36,7 %
Πολύ Χαμηλή	8,3 %
Χαμηλή	17,2 %
Μέτρια	8,9 %
Υψηλή	16,7 %
Πολύ Υψηλή	12,2 %

5.4 Αποτελέσματα

Με βάση τους παραπάνω χάρτες διάφορων παραγόντων υπεύθυνων για την πρόκληση κατολισθητικού κινδύνου όπου προέκυψαν από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης βασιζόμενης στην μέθοδο αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας χάρτης πιθανού κατολισθητικού κινδύνου. Ο χάρτης Ευαισθησίας σε Κατολίσθηση (Landslide Susceptibility map), (Εικόνα 25) μετά την ταξινόμηση που έγινε στις υπολογισθείσες τιμές έγινε διαχωρισμός τους σε 6 κλάσεις δυνητικής ευαισθησίας. Ελάχιστη (36,7%), Πολύ Χαμηλή (8,3%), Χαμηλή (17,2%), Μέτρια (8,9%), Υψηλή (16,7%) και Πολύ Υψηλή (12,2) ευαισθησία σε κατολίσθηση. Οι περιοχές δηλαδή, που παρουσιάζουν από μέτρια έως πολύ υψηλή ευαισθησία σε εκδήλωση φαινομένων κατολίσθησης, αποτελούν το 37,8% της πληγείσας περιοχής. Στη πληγείσα περιοχή με βάση τα αποτελέσματα του χάρτη εντοπίζονται κάποιες περιοχές υψηλού έως πολύ υψηλού κατολισθητικού κινδύνου που καταλαμβάνουν τμήματα της έκτασης της Δημοτικής Ενότητας των Μαστιχοχωρίων. Τα τμήματα με υψηλή επικινδυνότητα εντοπίζονται στις περιοχές Λιθί και Ελάτα.

5.5 Πλημμυρικά Φαινόμενα Μετά από Πυρκαγιές

Μια επίπτωση της πυρκαγιάς στο φυσικό περιβάλλον είναι αυτή που σχετίζεται με τις αλλαγές στα υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής, κυρίως σε ότι αφορά την αυξημένη παροχή και ροή του νερού και των φερτών υλικών. Σε ότι αφορά την υδρολογία οι αλλαγές σχετίζονται με τη μείωση της κατείσδυσης του νερού στο έδαφος, δηλαδή με την αύξηση την επιφανειακής του απορροής και τη μεταβολή της εξατμισοδιαπνοής λόγω την μείωσης της φυτοκάλυψης. Οι κόμεις των δέντρων και η βλάστηση γενικότερα, λειτουργούν ως ένα πρώτο εμπόδιο που μετριάξει την ορμή του νερού, ενώ παράλληλα απορροφούν και μέρος της ποσότητας των κατακρημνισμάτων. Νερό απορροφά και ο επιφανειακός εδαφικός τάπητας αλλά και το ριζικό σύστημα των φυτών, το οποίο επιπλέον επιδρά θετικά στην κατείσδυση των κατακρημνισμάτων αφού διασωληνώνει το έδαφος. Παράλληλα οι πυρκαγιές επιδρούν έμμεσα, αλλά εξίσου σημαντικά στην υδρολογία μιας λεκάνης, αλλάζοντας τη δομή του εδάφους και αυξάνοντας το ρυθμό διάβρωσης. Τα παραπάνω, αυξάνουν την πιθανότητα αλλά και τη συχνότητα πλημμυρικών φαινομένων και μειώνουν το χρόνο που απαιτείται ως μέγιστος μιας πλημμυρικής παροχής (Κορακάκη κ.α., 2012).

5.6 Πιθανά Πλημμυρικά Φαινόμενα Μετά την Πυρκαγιά του 2016 στην Νότια Χίο

Η νότια πυρόπληκτη περιοχή περιλαμβάνει τμήματα των υδρολογικών λεκανών του ρέματος Μερσινιάς, του Φανόπυργου, της Βαθιάς Λαγκάδας, του Βαθέος Λαγκαδιού και του Βαθέος Ποταμού. Το υδρογραφικό δίκτυο περιλαμβάνει κλάδους, των οποίων η μέγιστη τάξη είναι η 4η σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Strahler (1952). Το υδρογραφικό δίκτυο επηρεάζει την πιθανότητα εκδήλωσης αστοχιών γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος των πρηνών μιας κοιλάδας, καθώς συμβάλλει στη διάβρωσή τους. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο τύπος, η διάρκεια αλλά και η ένταση της πυρκαγιάς, ο τύπος του εδάφους, η βλάστηση που καταστράφηκε, η τοπογραφία της λεκάνης και οι γύρω κλίσεις, το ποσοστό της λεκάνης απορροής που έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά και τον χρόνο που έχει περάσει από το σβήσιμό της, καθώς αυτά είναι δυναμικά φαινόμενα που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Επίσης, όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο αποστράγγισης και τα ρέματα σε μια λεκάνη, τόσο περισσότερο αυξάνει η ένταση της διάβρωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η διάβρωση ακολουθεί και σκάβει κυρίως τις υφιστάμενες κοίτες και όχι γενικά τις πλαγιές. Επίσης τα φαινόμενα αυτά εντείνονται όταν στις λεκάνες η φυσική βλάστηση έχει ήδη υποστεί υποβάθμιση από ανθρώπινες δραστηριότητες (Κορακάκη κ.α., 2012).

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, το οποίο αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους, ένα πέτρωμα που παρουσιάζει μικρή ανθεκτικότητα στη φωτιά, στο νερό και στις καιρικές συνθήκες, μπορεί να προκαλέσει πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία παρασύρουν το έδαφος στις κοίτες των ρεμάτων και στις κατάντη περιοχές. Το πόσο έντονα θα είναι τα πλημμυρικά αυτά φαινόμενα και το πόσο σοβαρή θα είναι η διάβρωση του εδάφους εξαρτώνται και από το πόσο ήπιες ή έντονες είναι οι μορφολογικές κλίσεις στις περιοχές που θίγονται. Όταν οι κλίσεις είναι πολύ απότομες, η απώλεια του εδάφους είναι μεγάλη και χωρίς αυτό δεν μπορεί να ανακάμψει το οικοσύστημα, γιατί το έδαφος αποτελεί το φυτευτικό υπόβαθρο. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι και ο τύπος βλάστησης που προϋπήρχε. Οι περιοχές με μακκία βλάστηση και φρύγανα, κυρίως δηλαδή οι βοσκότοποι, σε σημεία όπου κυριαρχούν οι απότομες κλίσεις, έχουν υποστεί μεγαλύτερη διάβρωση από τις δασικές περιοχές.

5.7 Μοντέλο πιθανού πλημμυρικού κινδύνου στην πληγείσα περιοχή

Σε πολλές περιπτώσεις οι μεθοδολογίες εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου που παρουσιάστηκαν υποστηρίζονται από τις εξαιρετικές δυνατότητες των υπολογιστών και των εργαλείων λογισμικού της οικογένειας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Τα λογισμικά GIS επιτρέπουν την γρήγορη, αυτοματοποιημένη και ακριβή χωρική ανάλυση, αλλά ταυτόχρονα αποτελούν βάση για άλλες υποστηρικτικές λειτουργίες, όπως: η ακριβής χωρική αποτύπωση, η παραγωγή χαρτών και η πολυκριτηριακή ανάλυση. Παράλληλα, αποτελούν το υπόβαθρο για την εκτέλεση υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων και την γεωμορφολογική ανάλυση. Η σημαντική ανάπτυξή τους τα τελευταία χρόνια τα έχει καταστήσει απαραίτητο εργαλείο για την ανάλυση του κινδύνου πλημμυρών. Πολλές από τις εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου απαιτούν ως προϋπόθεση για τη λειτουργία τους τη χρήση λογισμικού GIS ως υποβάθρου.

Πίνακας 11. Ιστορικό Πλημμυρών στην Νήσο Χίο

(Πηγή: Δρ. Μιχάλης Διακάκης)

1997 (10 Δεκ.)	Ρέματα Παρθένη και Αγ. Ειρήνης, Χίος	-	- Πλημμύρισαν σπίτια, καταστήματα - Καταστράφηκαν υποδομές
2002 (13 Μαϊ.)		-	- Εκτεταμένες ζημιές - Περιοχή άγνωστη
2003 (18 Ιαν.)	Λευκωνιά, Χίος	-	- Πλημμύρισαν σπίτια, καταστήματα - Πλημμύρισε το ρέμα Κοκκαλάς νότια της πόλης 97mm βροχής (Κρητικού, ΖΑ 2005) http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/15146#page/178/mode/2up
2004 (22 Ιαν.)	Χίος	-	Πλημμύρισαν σπίτια, καταστήματα
2009***	Ολύμποι, Μεστά, Λιθί, Αγία Δύναμη	-	- Πλημμύρισαν σπίτια σε Ολύμπους, Μεστά, Λιθί - Πλημμύρισαν γέφυρες - Παρασύρθηκαν αυτοκίνητα
2010 (18 Οκτ.)	- Ολύμποι, - Χίος (Απλωταριά) - Κλήσεις για αντλήσεις (Βροντάδο, Λέτσαίνα, Λατόμι, Ταμπάκινα, πόλη της Χίου, Κάμπος, Βάγια-Θυμιανά, Λευκωνιά, Ολύμποι, Μεστά, Λιθί, Καλαμωτή (Σχολείο)	1	1 νεκρός (62χρονος Α.Ν.) στο χωριό Ολύμποι όταν το αυτοκίνητό του παρασύρθηκε και ανετράπη από τα ορμητικά νερά 2 ελαφρά τραυματίες που μεταφέρθηκαν στο νοσοκομείο 10 απεγκλωβισμοί ατόμων από ακινητοποιημένα οχήματα λόγω υψηλής στάθμης του νερού στο οδόστρωμα 470 κλήσεις για άντληση υδάτων και παροχή βοήθειας 290 πληγείσες επιχειρήσεις - Ζημιές σε 100αδες σπίτια και επιχειρήσεις - Εκκλησαν τα σχολεία - Το νησί κυρήχθηκε σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης - Σκουπίδια και μπάζα στις όχθες του ποταμού Αρμένη
2011 Ιαν	Καρδάμυλλα	-	- Ζημιές σε σπίτια - Πνίγηκαν ζώα
2014 (14 Νοε.)	Λαγκαδά Αγρελοπό Παντουκειός	-	- Πλημμύρες και καταστροφές σε Λαγκαδά και Παντουκειός - Πλημμύρισαν 15-20 σπίτια και παρασύρθηκαν αυτοκίνητα - Υποχώρησε τμήμα του οδοστρώματος μεταξύ Αγρελοπό-Λαγκαδά λόγω διάβρωσης
2015 (25 Ιαν.)	Χίος (Απλωταριά), Χαλκειός Βροντάδο Θυμιάνα Καρδάμυλα (σε μικρότερο βαθμό)	-	- Πλημμύρισαν καταστήματα στους κεντρικούς δρόμους - Πλημμύρισαν πολλά υπόγεια - Καταστράφηκε το οδόστρωμα σε κεντρικούς δρόμους - Παρασύρθηκαν αυτοκίνητα στο χωριό Χαλκειός https://left.gr/news/provlimata-apo-tin-kakokairia-sti-hio - σοβαρά προβλήματα παρουσιάστηκαν στη Βερίτη, το Βαρβάσι, τη Βενιζέλου και την Καλοπλύτου στο κέντρο της πόλης, ενώ ακόμα και η κίνηση των οχημάτων από το ύψος της Μπέλα Βίστα και στη Λεωφόρο Ενώσεως γίνονταν μετ' εμποδίων αφού η στάθμη του νερού ήταν πάνω από 30 εκατοστά http://www.alithia.gr/koinonia/voyliaxame - Αρκετά τα σπίτια που πλημμύρισαν, όπως κάποια που βρίσκονται στην οδό Ιωάννου Χρήστου πίσω από το αεροδρόμιο, ενώ στη Λευκωνιά πλημμύρισε το ξενοδοχείο Morning Star
2015 (23 Φεβ.)	Λήμνος Καρδάμυλλων Βροντάδος	-	- Πλημμύρισε ο Λήμνος Καρδάμυλλων - Πλημμύρισαν οικίες (κυρίως υπόγεια). - Τα ύδατα λίμνασαν λόγω θινών στην παραλία - Διαβρώθηκε το υπέδαφος και κατέρρευσε οδός
2015 (23 Οκτ.)	Χαλκειός, Καρδάμυλα, Βροντάδο	-	Σοβαρά πλημμυρικά φαινόμενα στην κεντρική Χίο από το Χαλκειός, Καρδάμυλα μέχρι και το Βροντάδο.

5.8 Μεθοδολογία

Για την εκτίμηση του κινδύνου πιθανής εμφάνισης πλημμύρας στις λεκάνες που επλήγησαν από την πυρκαγιά εφαρμόστηκε ένα πολυκριτηριακό μοντέλο για την εκτίμηση πιθανού πλημμυρικού κινδύνου και έγινε προσπάθεια συσχέτισης της επίδρασης της πυρκαγιάς που έλαβε χώρα στην περιοχή, στην πιθανή μεταβολή του φαινομένου στον χώρο. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν με βάση το μοντέλο αναλύονται ως εξής:

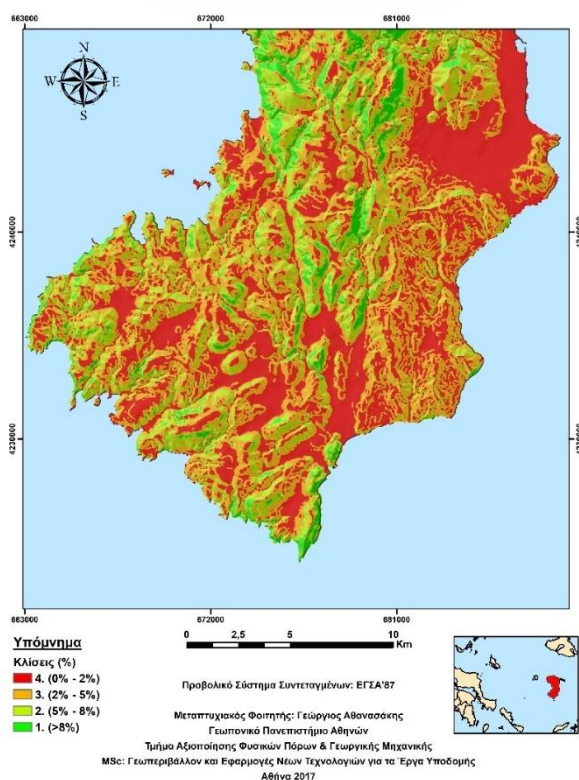
- (α) οι τοπογραφικές κλίσεις αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα διότι ελέγχουν άμεσα την ταχύτητα ροής του νερού,
- (β) η γεωλογία αποτελεί τον δεύτερο πιο σημαντικό παράγοντα, δίνοντας βάρος κυρίως στις αλλουβιακές περιοχές που συνήθως πλημμυρίζουν,
- (γ) η απόσταση από ρέματα είναι επίσης σημαντικός παράγοντας και
- (δ) η χρήση/κάλυψη γης όπου δόθηκε έμφαση στους οικισμούς που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο από φαινόμενα πλημμύρας, ενώ όλες υπόλοιπες χρήσεις θεωρήθηκαν ενιαίες.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα επεξεργάστηκαν με το λογισμικό επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων ArcMap 10.4 όπου μετατραπήκαν σε ψηφιακό αρχείο με κάθε μια παράμετρο να αναπαριστά έναν ανεξάρτητο παράγοντα στην βάση δεδομένων. Στην συνέχεια ορίστηκαν οι κλάσεις διαχωρισμού του κάθε παράγοντα και τέλος αποδόθηκαν δείκτες βαρύτητας, ανάλογα με τη σημαντικότητα που έχει ο κάθε παράγοντας στην δημιουργία πλημμύρας. Κατ' αυτόν τον τρόπο προέκυψαν οι τελικές τιμές, πολλαπλασιάζοντας τον κάθε δείκτη βαρύτητας με τις κλάσεις διαχωρισμού του κάθε παράγοντα ξεχωριστά (Πίνακας 12).

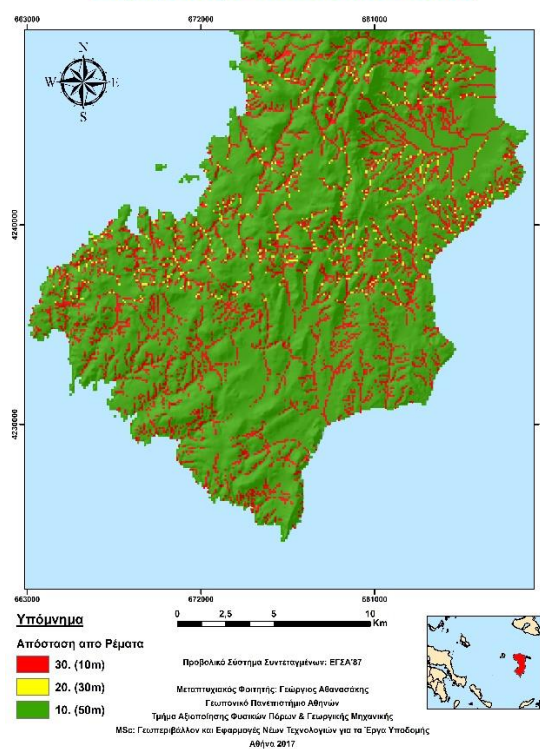
Πίνακας 12. Μοντέλο Πιθανού Πλημμυρικού Κινδύνου για την Πυρκαγιά του 2016 στην Νήσο Χίο από τους Δρ. Εμμανουήλ Ψωμιόδη Ε.ΔΙ.Π. ΓΠΑ & Δρ. Μιχάλη Διακάκη

Παράγοντες	Κλάσεις	Ιεράρχηση κλάσεων ταξινόμησης	Βαρύτητα	Σπουδαιότητα
Κλίσεις (%)	0-2	4	10	40
	2-5	3		30
	5-8	2		20
	>8	1		10
Γεωλογία	Άλλο	1	10	10
	Αλούβια	2		20
Χρήση/Κάλυψη γης	Άλλο	1	8	8
	Οικισμοί	2		16
Απόσταση από ρέματα (m)	50	1	10	10
	30	2		20
	10	3		30

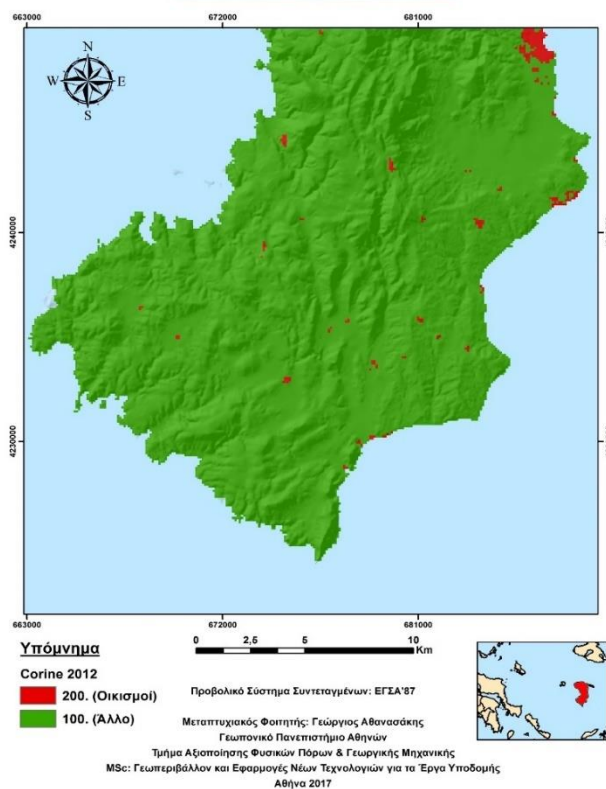
Παράγοντας Κλίσεων (%)



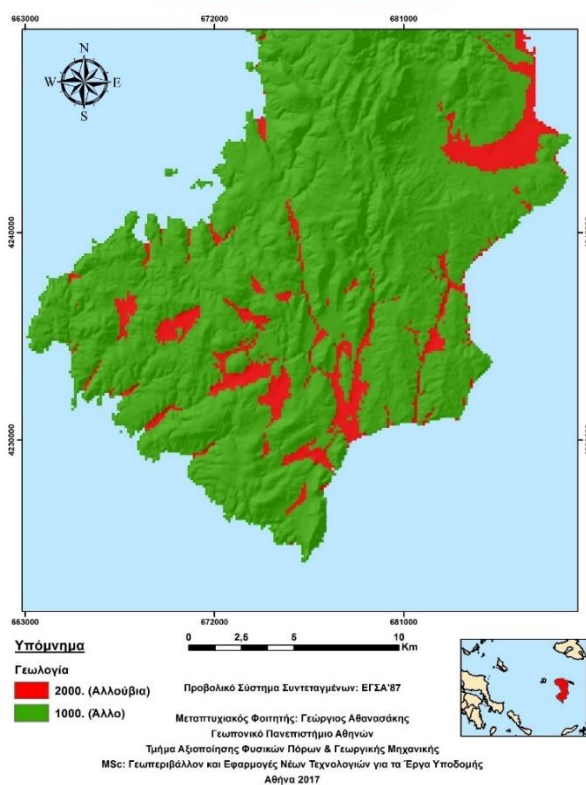
Παράγοντας Αποστάσεων Ρεμάτων



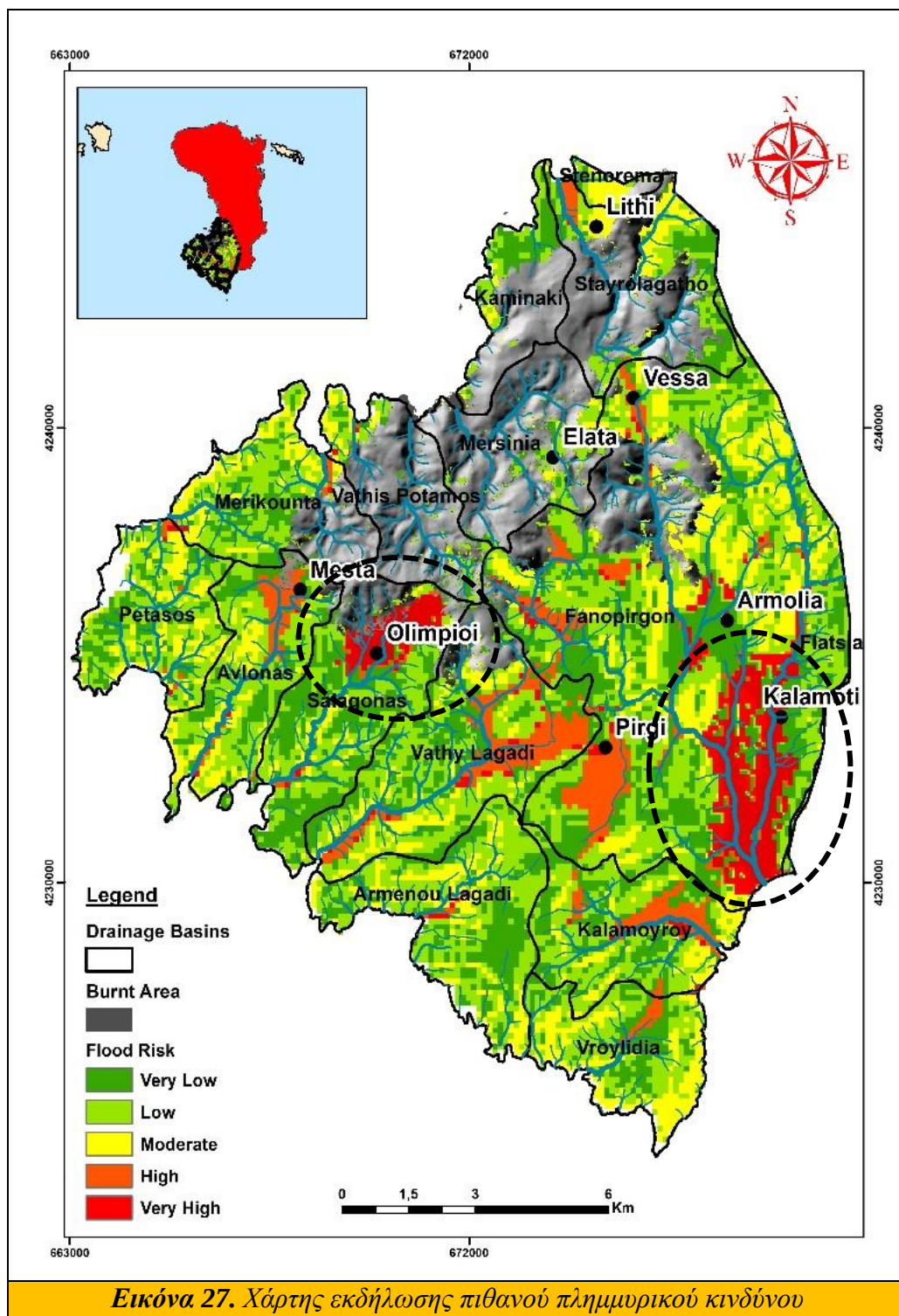
Παράγοντας Οικισμών



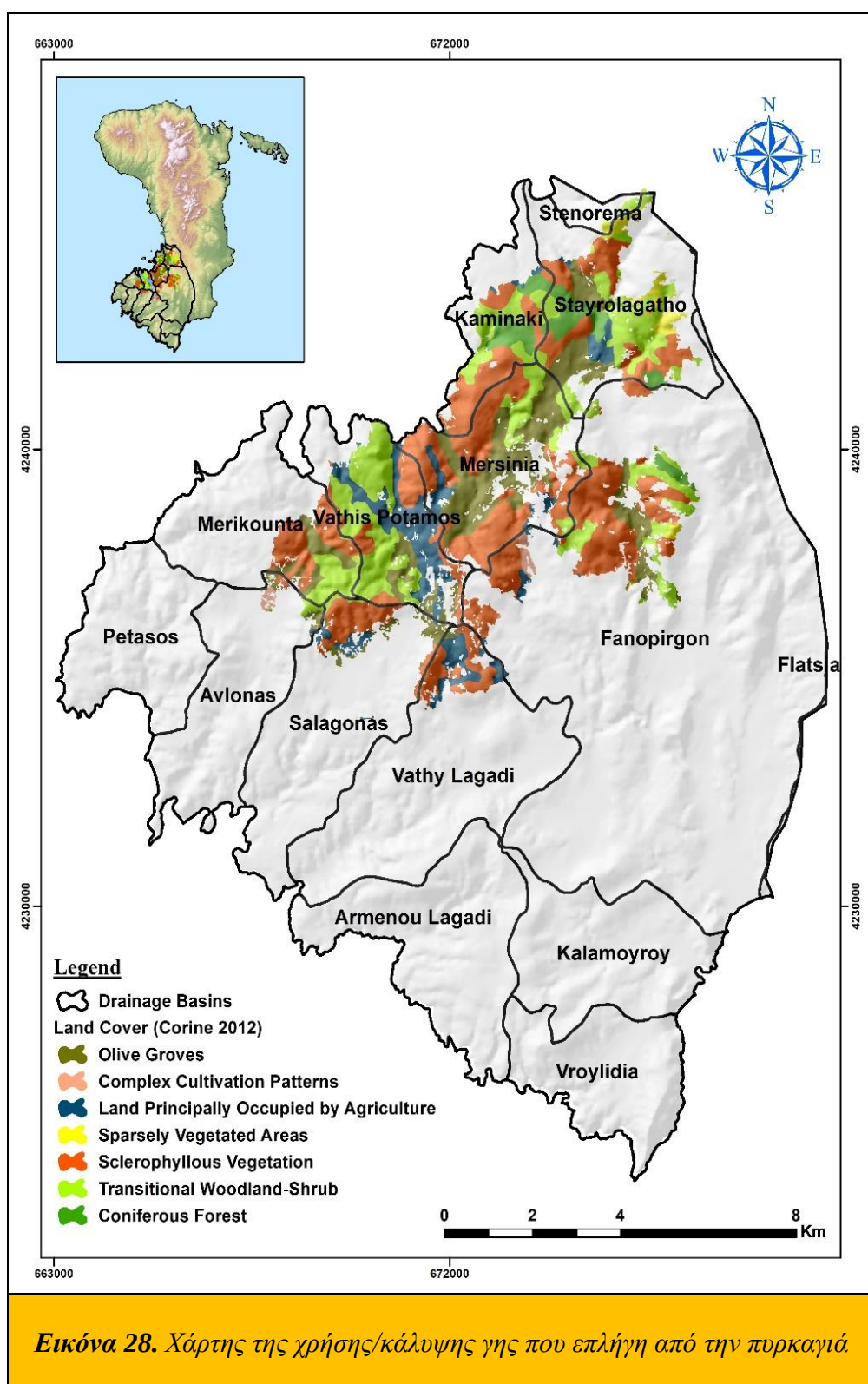
Παράγοντας Γεωλογίας

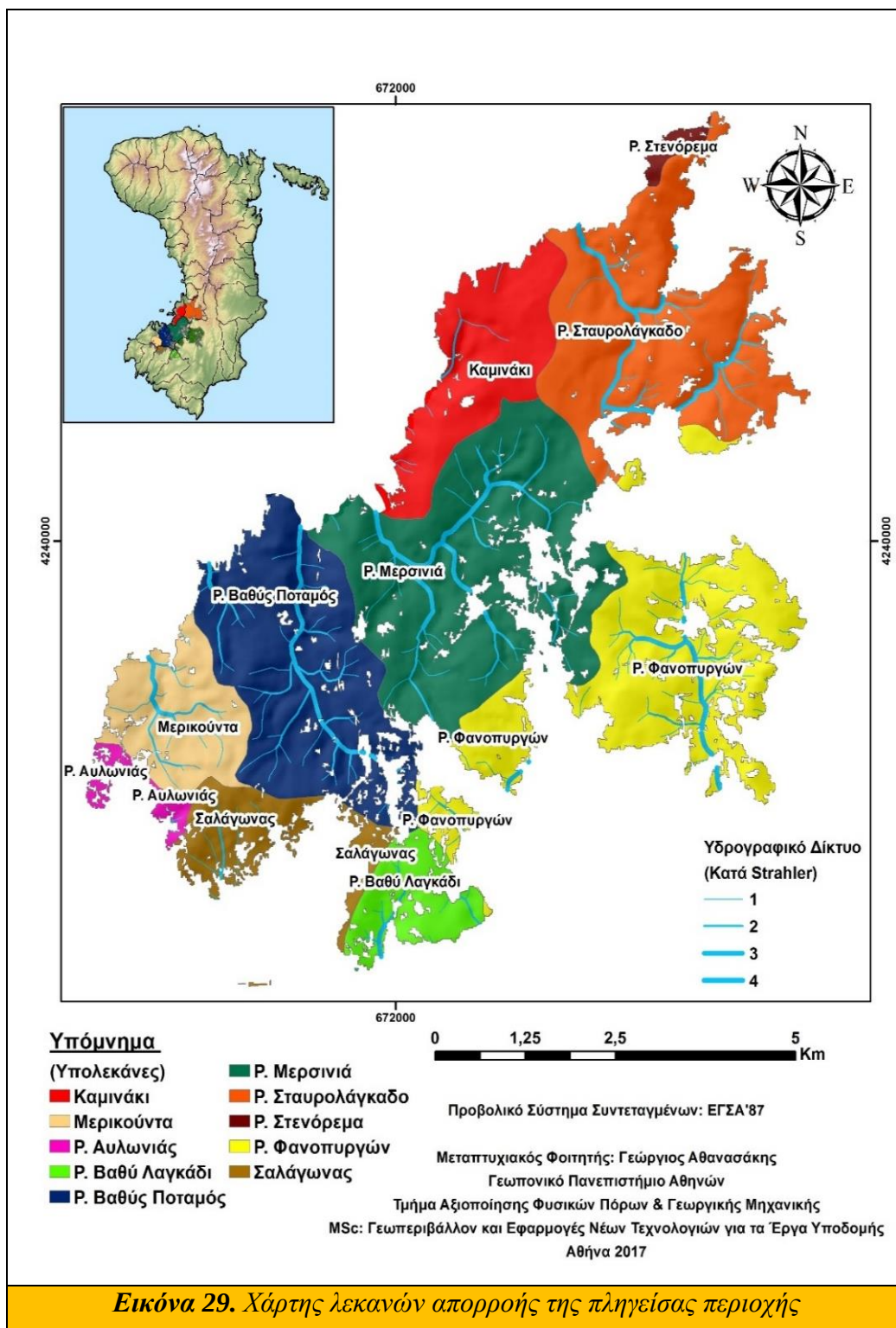


Εικόνα 26. Χάρτες παραγόντων πολυκριτηριακού μοντέλου εκτίμησης πιθανού κινδύνου πλημμύρας



Εικόνα 27. Χάρτης εκδήλωσης πιθανού πλημμυρικού κινδύνου





Πίνακας 13. Ποσοστά Χρήσεων Γης που Επηρεάστηκαν

Είδος χρήσης Γης	Ποσοστό έκτασης που επλήγη (%)
Μόνιμες Καλλιέργειες	10 %
Ελαιώνες	15 %
Βοσκότοποι	30 %
Δασικές Εκτάσεις	45 %

5.9 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της πολυκριτηριακής μελέτης έδειξαν ότι ο κίνδυνος για εκδήλωση πλημμύρας είναι μεγαλύτερος στην υπολεκάνη Σαλαγόνας μια υπολεκάνη 4ής τάξης, όπου είχε συμβεί και πριν 8 χρόνια το 2009 μία μεγάλη πλημμύρα που είχε πλήξει το χωριό Ολύμπιοι, καθώς και στην πιο μεγάλη υπολεκάνη της περιοχής το Φανοπυργών μια υπολεκάνη 5ής τάξης. Σε αυτές τις δύο υπολεκάνες παρουσιάζονται πολύ χαμηλές κλήσεις όπου εμφανίζονται μέσα σε αλλουβιακά εδάφη. Μικρότερος κίνδυνος παρατηρείται στις υπολεκάνες Καλαμούρου, Βαθύ Λαγκάδι και Αυλωνιάς (Εικόνα 27).

Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με την επίδραση της φωτιάς σε κάθε υπολεκάνη, αναλύοντας δηλαδή το είδος και την έκταση της χρήσης/κάλυψης γης που κάηκε από την πυρκαγιά σε κάθε υπολεκάνη, μπορούν να οδηγήσουν σε συμπεράσματα για την πιθανή αύξηση του κινδύνου πλημμύρας. Στην περιοχή μελέτης, κάηκαν 45% δασικές εκτάσεις, 30% βοσκότοποι, 15% ελαιώνες και 10% μόνιμες καλλιέργειες. Συνολικά 10 υπολεκάνες επηρεάστηκαν από την πυρκαγιά, ενώ σε 4 από αυτές (Βαθύς Ποταμός, Μερσινιά, Σταυρολάγκαδο, Καμινάκι) κάηκε περισσότερο από το 80% της έκτασής τους (Εικόνα 28).

Τα ποσοστά βλάστησης στη πληγείσα περιοχή είναι πλέον σε πολύ χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα, σε έντονες βροχοπτώσεις, να είναι πολύ πιθανή η αύξηση της επιφανειακής ροής του νερού και κατ' επέκταση της υδατοστερεοπαροχής. Αποτέλεσμα αυτό θα είναι η εκδήλωση πιθανών έντονων πλημμυρικών φαινομένων στην πεδινή γεωργική και κατοικημένη περιοχή της λεκάνης με πληθώρα δυσμενών επιπτώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Διερεύνηση αναγέννησης της βλάστησης με εφαρμογές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και GIS

6.1 Οι προσαρμοστικοί παράγοντες των φυτών απέναντι στις πυρκαγιές των Μεσογειακών Οικοσυστημάτων

Όλα σχεδόν τα φυτά της χώρας μας που απαντώνται σε περιοχές μεσογειακού κλίματος έχουν προσαρμογές με τις οποίες μπορούν να επιβιώσουν κατά τη διάρκεια της φωτιάς και να επανέλθουν ύστερα από αυτή (Αναγέννηση). Η γνώση αυτών των προσαρμογών είναι δυνατόν, αν χρησιμοποιηθεί κατάλληλα, να μας βοηθήσει να αντιμετωπίσουμε περισσότερο αποδοτικά την αποκατάσταση των διαταραχών τις οποίες η πυρκαγιά προκάλεσε. Έτσι θα ήταν δυνατόν να διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες φυτών σε σχέση με την επανάκαμψή τους μετά τη φωτιά. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν εκείνα που επανέρχονται με τη διαδικασία της ενεργοποίησης της φύτευσης των σπερμάτων τους και στη δεύτερη εκείνα τα οποία, μολονότι το υπέργειο μέρος καίγεται, οι ρίζες τους παραμένουν ανέπαφες και επανέρχονται με παραβλαστήματα. Υπάρχουν βεβαίως και ενδιάμεσες μορφές. Ορισμένα είδη φυτών όπως η ασφάκα και η αφάνα έχουν τη δυνατότητα να επιβιώσουν και από σπέρματα και από παραβλαστήματα.

Στα καμένα φυσικά πευκοδάση υπάρχει συνήθως αυξημένη φυσική αναγέννηση διότι τα πεύκα επανέρχονται μόνο με φύτευση των σπόρων τους και έτσι δεν είναι αναγκαία η αναδάσωση. Σχεδόν όλοι οι πολυετείς υψηλοί θάμνοι του ελληνικού μεσογειακού περιβάλλοντος (πουρνάρια, αγριελιές, κουμαριές, συκίες, μυρτιές, δάφνες, φυλίκια, αριές κτλ.) επανέρχονται με παραβλαστήματα. Οι καμένοι θαμνώνες αν δεν υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση επανέρχονται ταχύτατα και μέσα σε διάστημα μικρότερο των 10 ετών δεν διακρίνεται η καμένη από την άκαυτη περιοχή. Θεωρητικά η επανάκαμψη των φυτών, ιδιαίτερα εκείνων που παραβλαστάνουν, είναι ταχύτατη επειδή τα νέα φύλλα είναι μεγάλα και η φωτοσύνθεση - δηλαδή η «θρέψη» - των φυτών ιδιαίτερα αυξημένη (Arianoutsou 1998).

6.2 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης υπολογίζει τη ζωτικότητα της βλάστησης. Η αρχή που βασίζεται είναι: "η χρωστική των φύλλων των φυτών, η χλωροφύλλη, απορροφά σε υψηλά ποσοστά το ορατό φως (από 0,7 έως 0,11 μm). Εάν η ανακλώμενη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος είναι πολύ περισσότερη από το ορατό μήκος κύματος, τότε η βλάστηση στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο πιθανόν να είναι πυκνή" (Carlson & Ripley, 1997). Η μαθηματική σχέση του δείκτη αυτού είναι:

$$NDVI = \frac{NIR_{B8} - R_{B4}}{NIR_{B8} + R_{B4}}$$

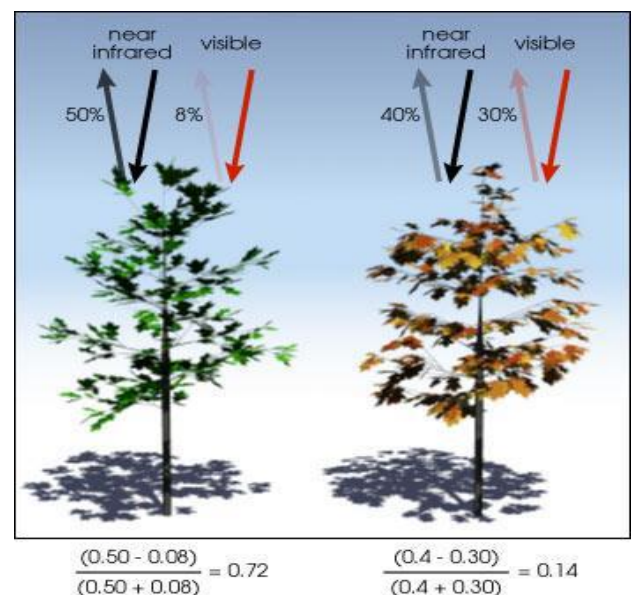
Όπου NIR το εγγύς υπέρυθρο 1 κανάλι και RED το κόκκινο κανάλι. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως 1. Αρνητικές τιμές, δηλώνουν συνήθως σύννεφα, χιόνι, νερό ή περιοχές χωρίς βλάστηση. Όσο υψηλότερες είναι οι τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη, τόσο πιο έντονη είναι η παρουσία βλάστησης στο εικονοστοιχείο. Ωστόσο, ο NDVI έχει ιδιαίτερες αδυναμίες. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές του. Όταν η κάλυψη της βλάστησης είναι χαμηλή κάτω από την κόμη συμβάλουν και άλλα χαρακτηριστικά στο καταγραφόμενο σήμα ανάκλασης. Αυτό μπορεί να είναι γυμνό έδαφος, κατάλοιπα βλάστησης ή κάποιο άλλο είδος βλάστησης. Κάθε ένα από τα παραπάνω όμως, έχει διαφορετική φασματική απόκριση από το είδος βλάστησης που μελετάται (Carlson & Ripley, 1997· Pettoirelli et al. 2005).

Ο NDVI:

- Έχει την δυνατότητα να ελαχιστοποιεί την επίδραση της τοπογραφίας.
- Είναι λιγότερο ευαίσθητος στην επίδραση της ατμόσφαιρας και σε μεταβολές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, συγκριτικά με τον SR

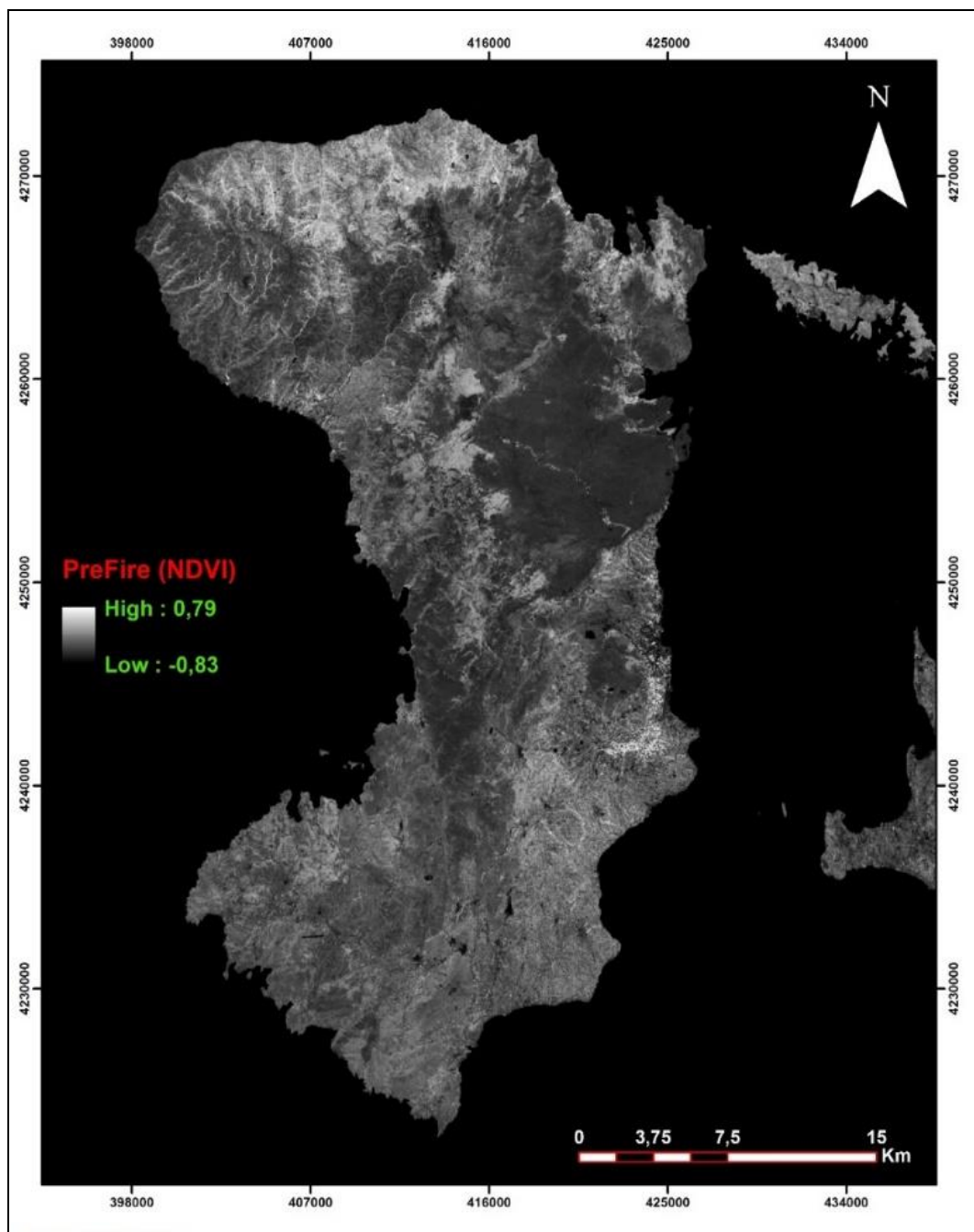
Ο NDVI έχει συνδεθεί με:

- παρακολούθηση του φαινολογικού κύκλου διαφόρων τύπων βλάστησης
- αξιολόγηση περιόδων ξηρασίας
- προσδιορισμό οικολογικών ζωνών

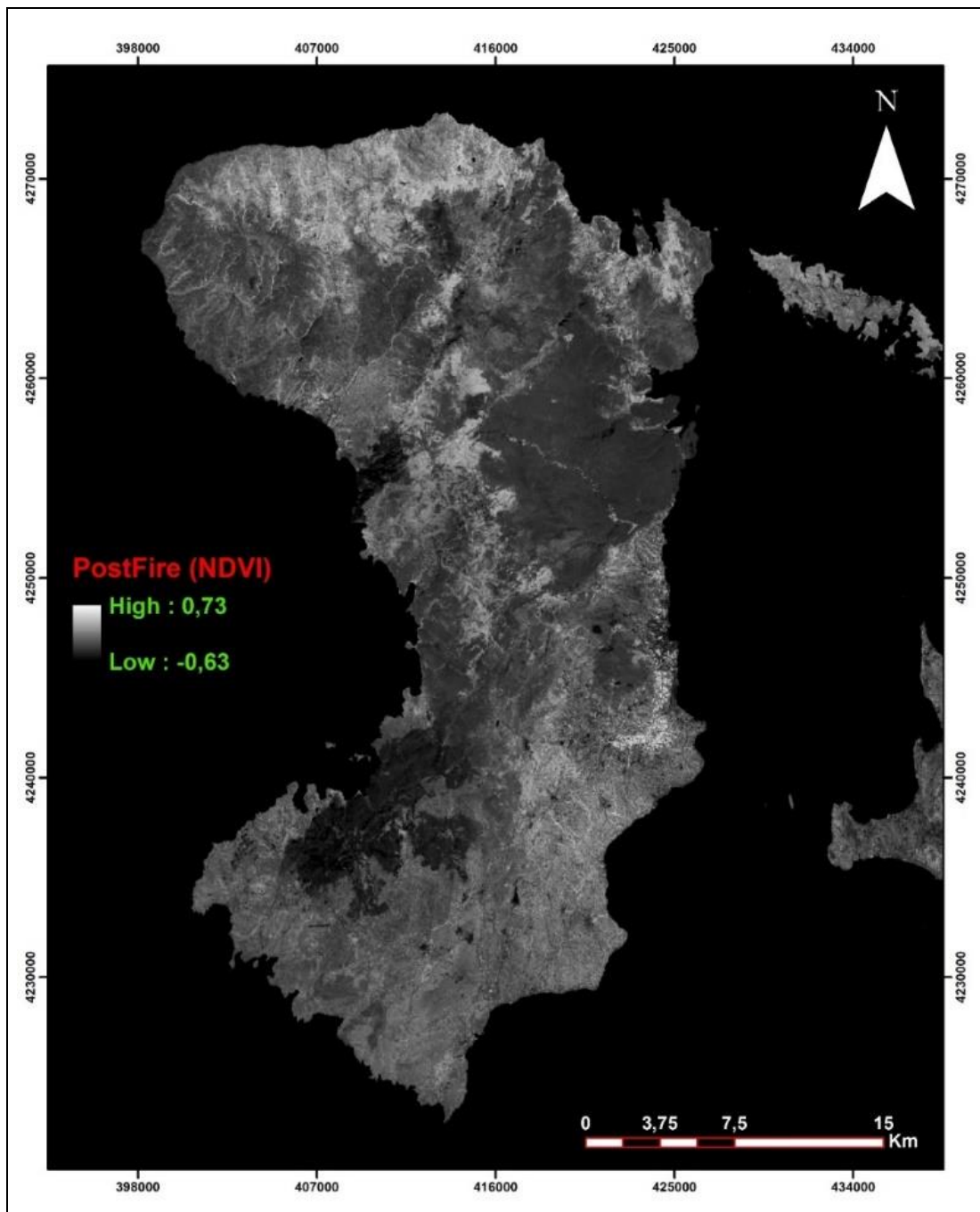


Πίνακας 14. Ο παραπάνω πίνακας μας απεικονίζει τις τιμές που παίρνει ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Πηγή: USGS)

<u>Ταξινόμηση του Δείκτη NDVI</u>	<u>Είδος Κάλυψης</u>	<u>Μικτή Κάλυψη</u>	<u>Πυκνότητα Κάλυψης με Βλάστηση</u>
NDVI<=0	<i>Σύννεφα, Χιόνια Νερό, Κτίσματα, Δρόμοι</i>		
0<NDVI<=0,1	<i>Άγρονα, Έδαφος, Κτίσματα, Δρόμοι, Βραχώδεις, Αμμώδεις</i>		
0,1<NDVI<=0,2	<i>Έδαφος Ακάλυπτο, Κτίσματα, Δρόμοι</i>		<i>Χαμηλή</i>
0,2<NDVI<=0,3	<i>Ημίθαμνοι, Λιβάδι</i>	<i>Μικτές περιοχές με ακάλυπτο έδαφος και βλάστηση</i>	<i>Μέτρια</i>
0,3<NDVI<=0,4	<i>Βλάστηση, Καλλιέργειες</i>	<i>Μικτές περιοχές με ακάλυπτο έδαφος και βλάστηση</i>	<i>Υψηλή</i>
0,4<NDVI<=0,5	<i>Βλάστηση, Καλλιέργειες</i>	<i>Μικτές περιοχές με ακάλυπτο έδαφος και βλάστηση</i>	<i>Πολύ Υψηλή</i>
NDVI>0,5	<i>Δάσος, Καλλιέργειες</i>	<i>Κάλυψη μόνο με βλάστηση</i>	<i>Πολύ Υψηλή</i>



Εικόνα 30. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 πριν την πυρκαγιά στις 13/07/16 ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση (FLAASH), Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



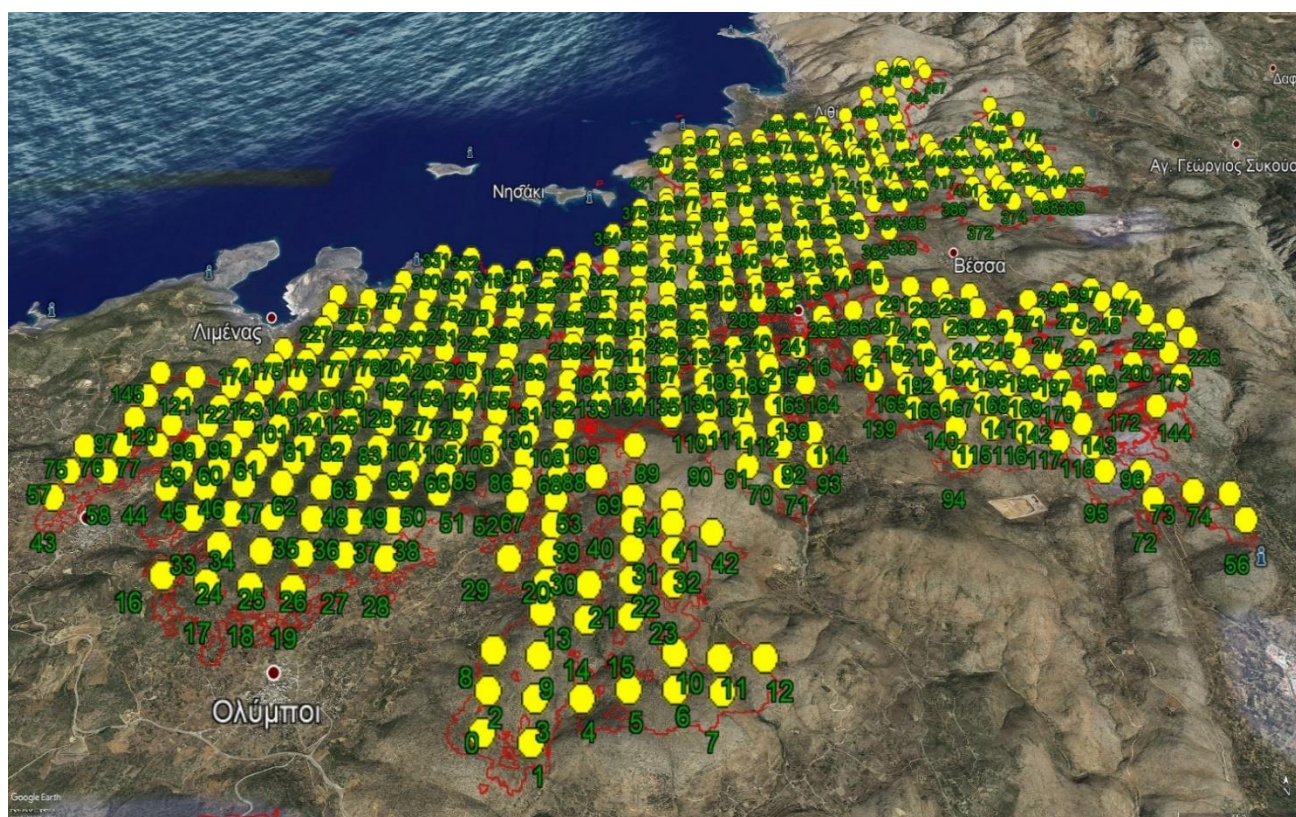
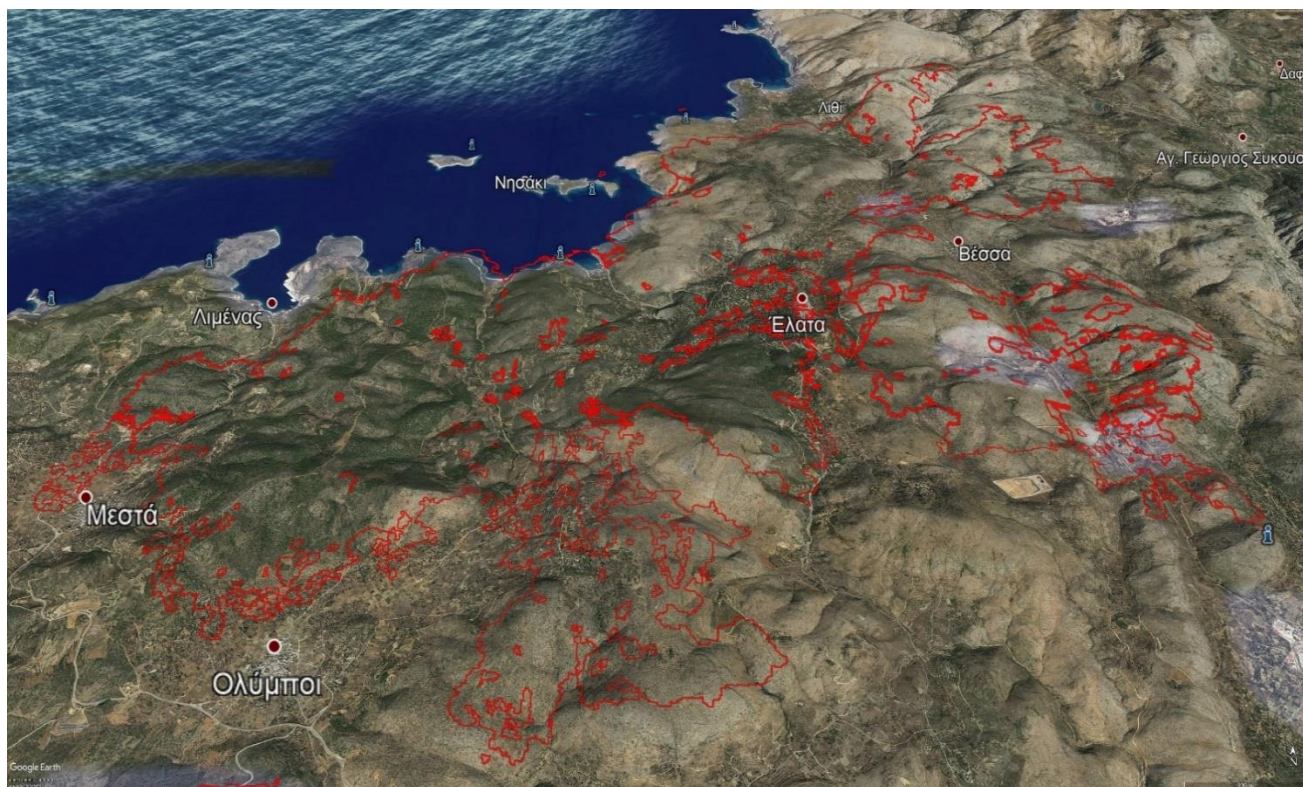
Εικόνα 31. Δορυφορική εικόνα Landsat 8 μετά την πυρκαγιά στις 15/09/16 ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση (FLAASH), Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

6.3 Διερεύνηση του ρυθμού αναγέννησης της βλάστησης στην πληγείσα περιοχή

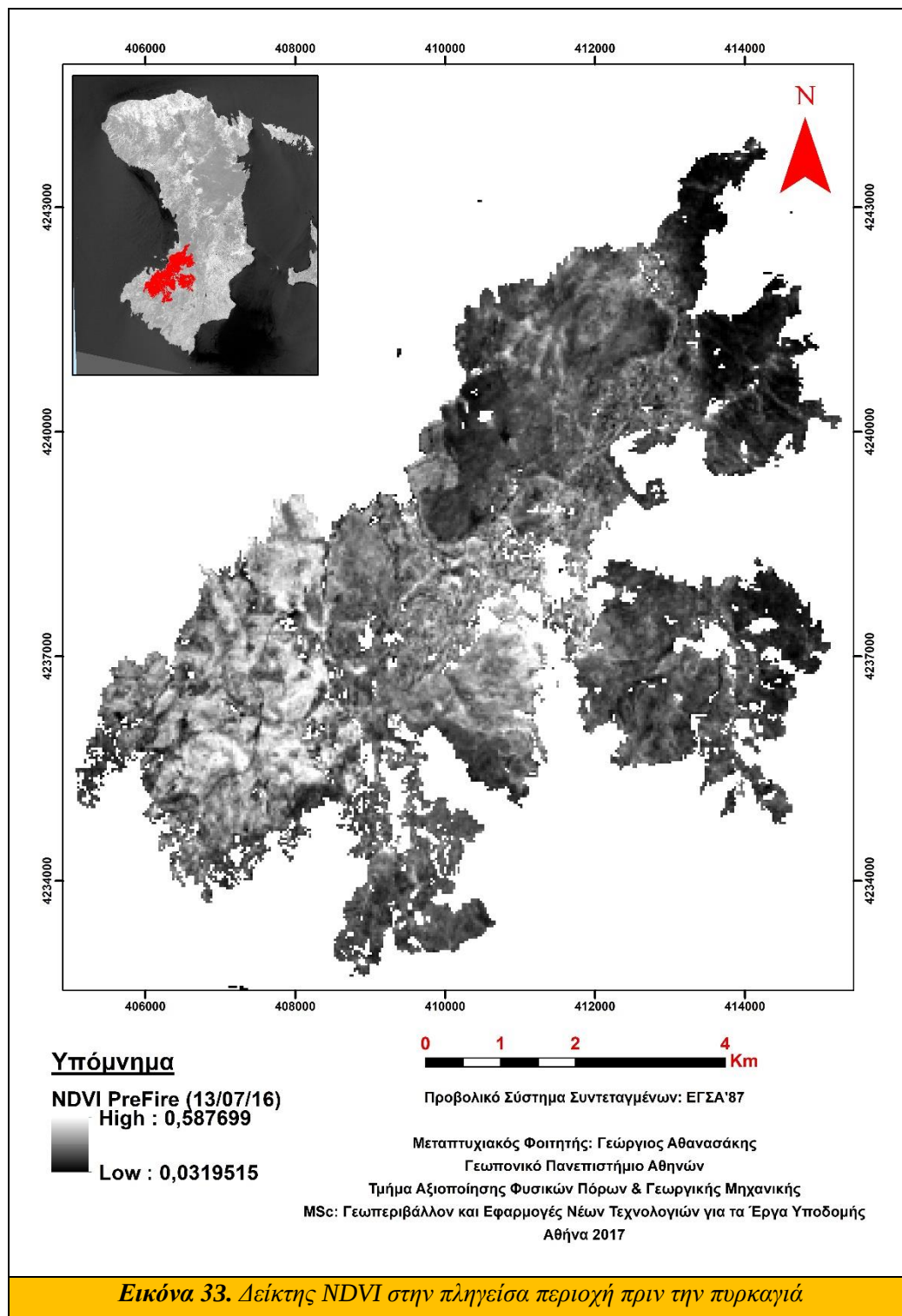
Με βάση το ψηφιδωτό τιμών του δείκτη Burn Severity (δριμύτητα πυρκαγιάς) πραγματοποιήθηκε διερεύνηση πιθανής αναβλάστησης της περιοχής. Πραγματοποιήθηκε μέτρηση και σύγκριση των τιμών του δείκτη NDVI σε 500 σημεία ελέγχου, σε εικόνα μετά την πυρκαγιά και ένα χρόνο μετά. Το τελικό βήμα ήταν η σύγκριση του βαθμού αναβλάστησης με το δείκτη δριμύτητας πυρκαγιάς με σκοπό να μελετηθεί αν ο ρυθμός αναγέννησης της βλάστησης σχετίζεται με την κλίμακα δριμύτητας της πυρκαγιάς.

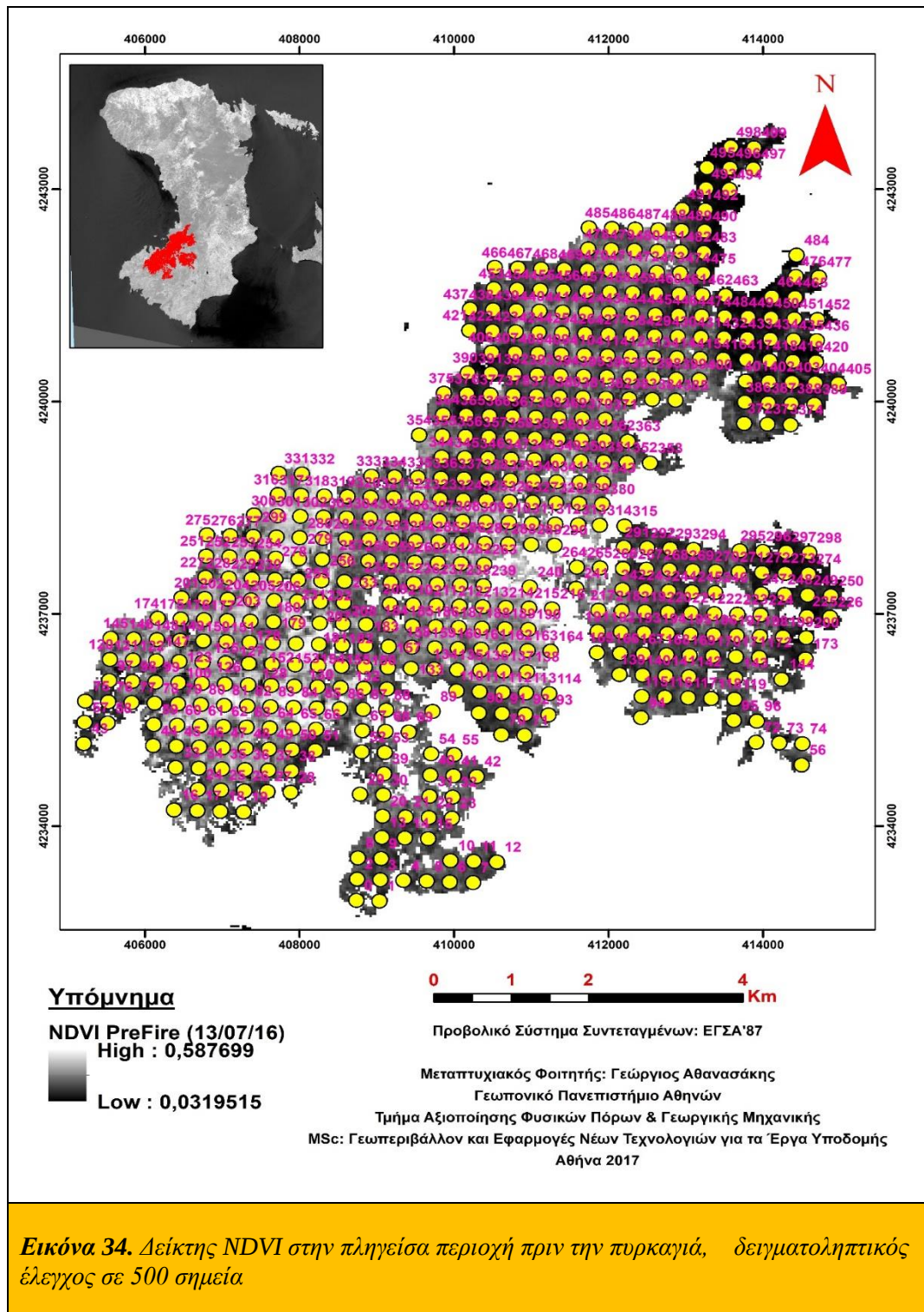
6.4 Δείκτης NDVI σε τρία χρονικά σημεία

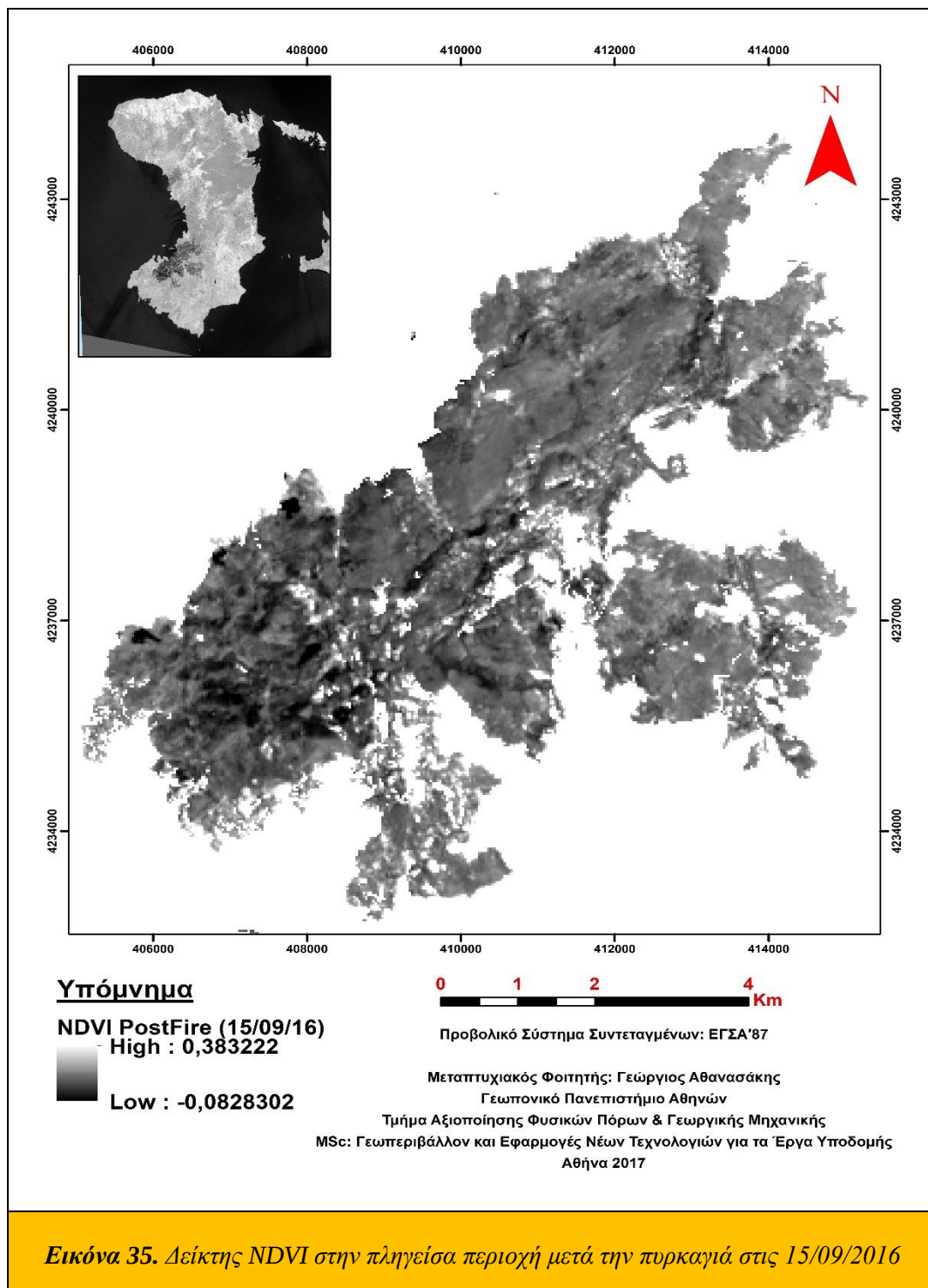
Αρχικά θα μελετήσουμε τον δείκτη NDVI παίρνοντας δείγματα από 500 σημεία στην πληγείσα περιοχή επάνω σε δορυφορικά δεδομένα τριών διαφορετικών χρονικών περιόδων πριν την πυρκαγιά στις 13/07/2016, μετά την πυρκαγιά στις 15/09/2016 και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά στις 18/09/2017. Η σύγκριση των δορυφορικών δεδομένων μας μετά την πυρκαγιά είναι σχεδόν την ίδια εποχιακή περίοδο ώστε να μην έχουμε διαφορετικές διακυμάνσεις στις μετρήσεις μας. Τα δορυφορικά δεδομένα πάρθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8. Τα δεδομένα είναι υψηλής ανάλυσης ώστε από την δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε από το διαστημικό σύστημα παρατήρησης γης Landsat 8 να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα με υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις των φασματικών δεικτών. Η επεξεργασία των δεδομένων μας, οι μετρήσεις και τα τελικά αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν στα λογισμικά Τηλεπισκοπικών και Γεωχωρικών δεδομένων ENVI 5.3 και ArcGIS 10.4. Τα τελικά αποτελέσματα εισάχθηκαν στο Excel σε μορφή πινάκων όπου επεξεργάστηκαν και τέλος απεικονίστηκαν σε μορφή στατιστικών διαγραμμάτων.

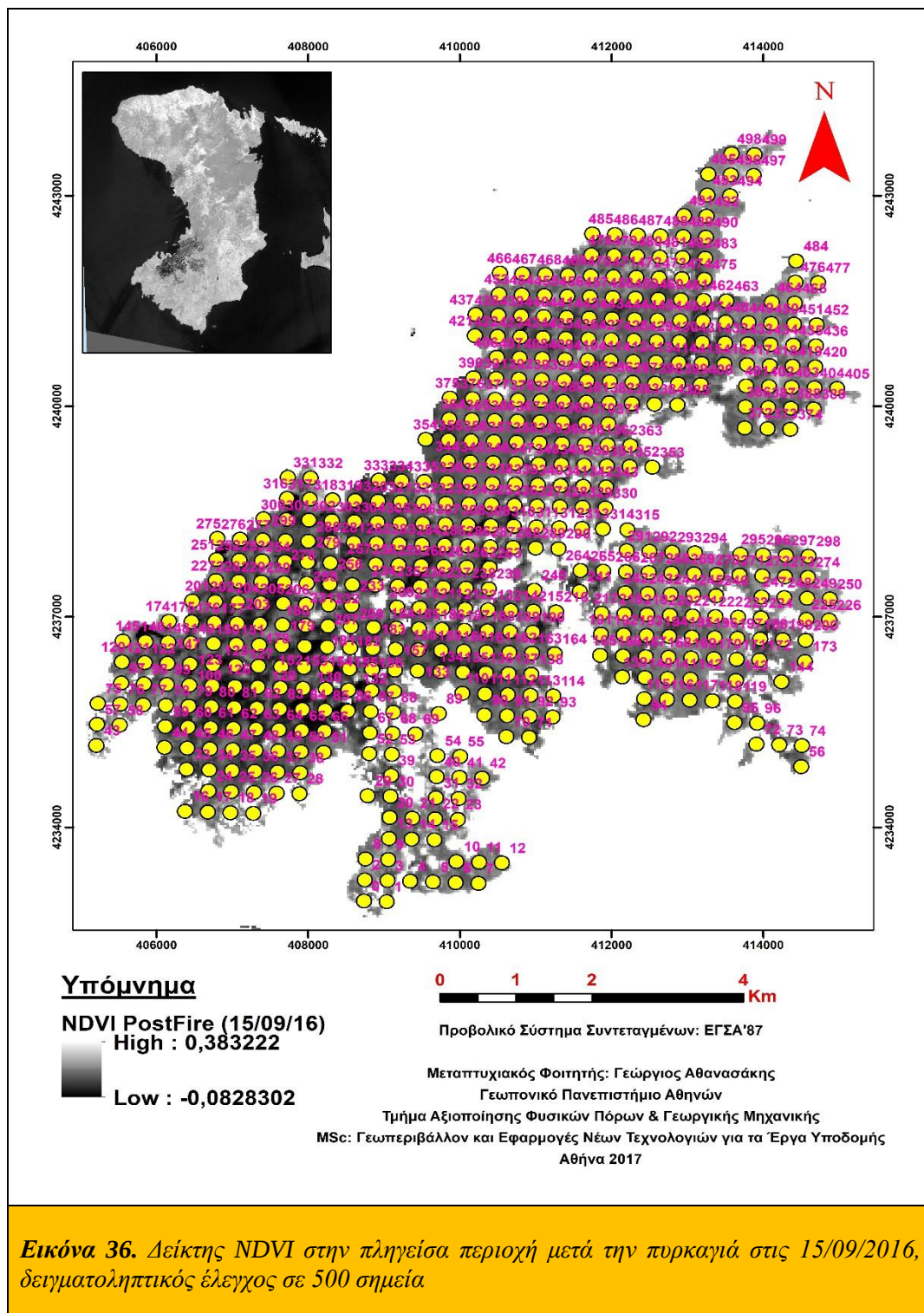


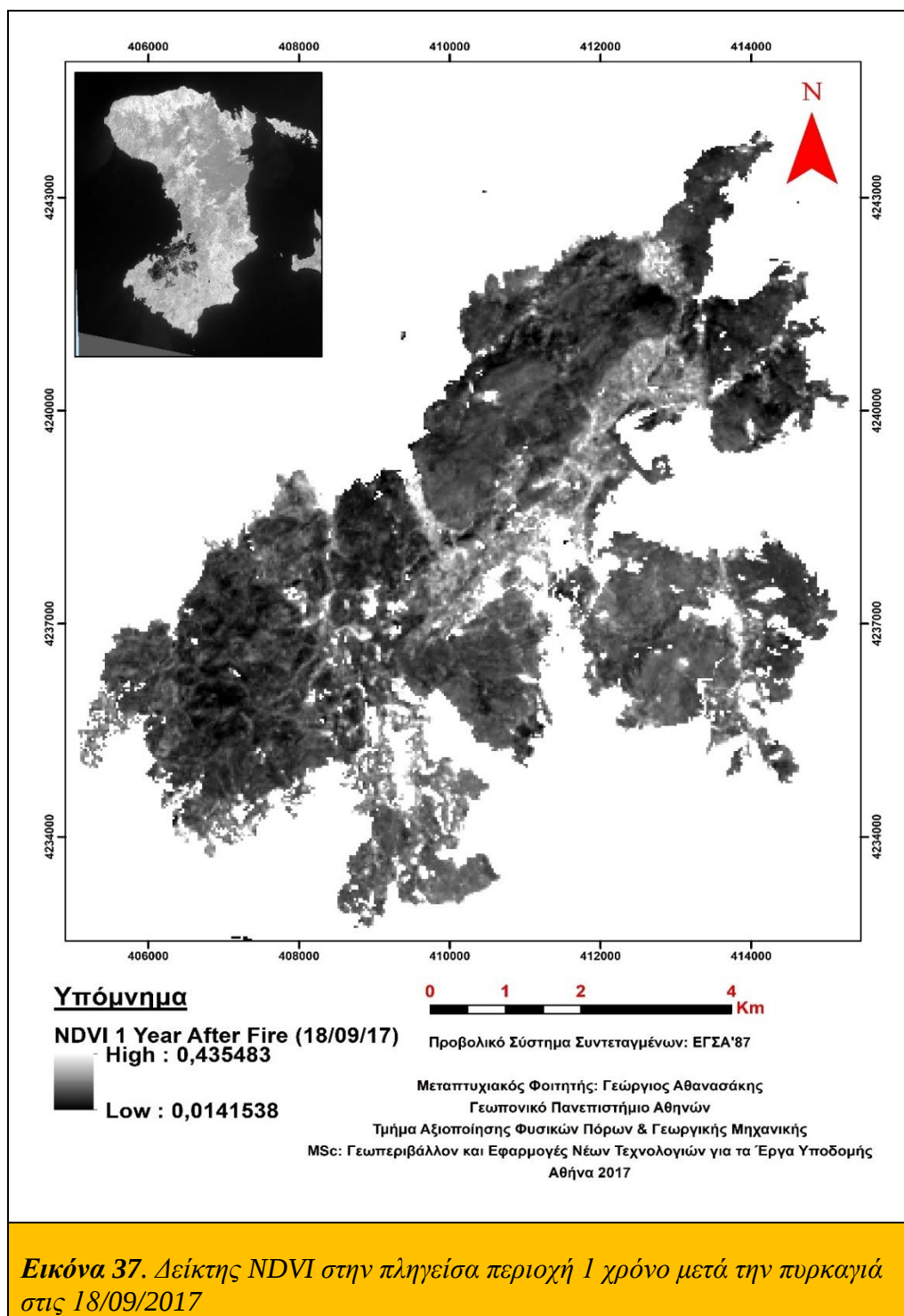
Εικόνα 32. Απεικόνιση σημείων δειγματοληψίας σε αρχείο KML (Google EarthPro)

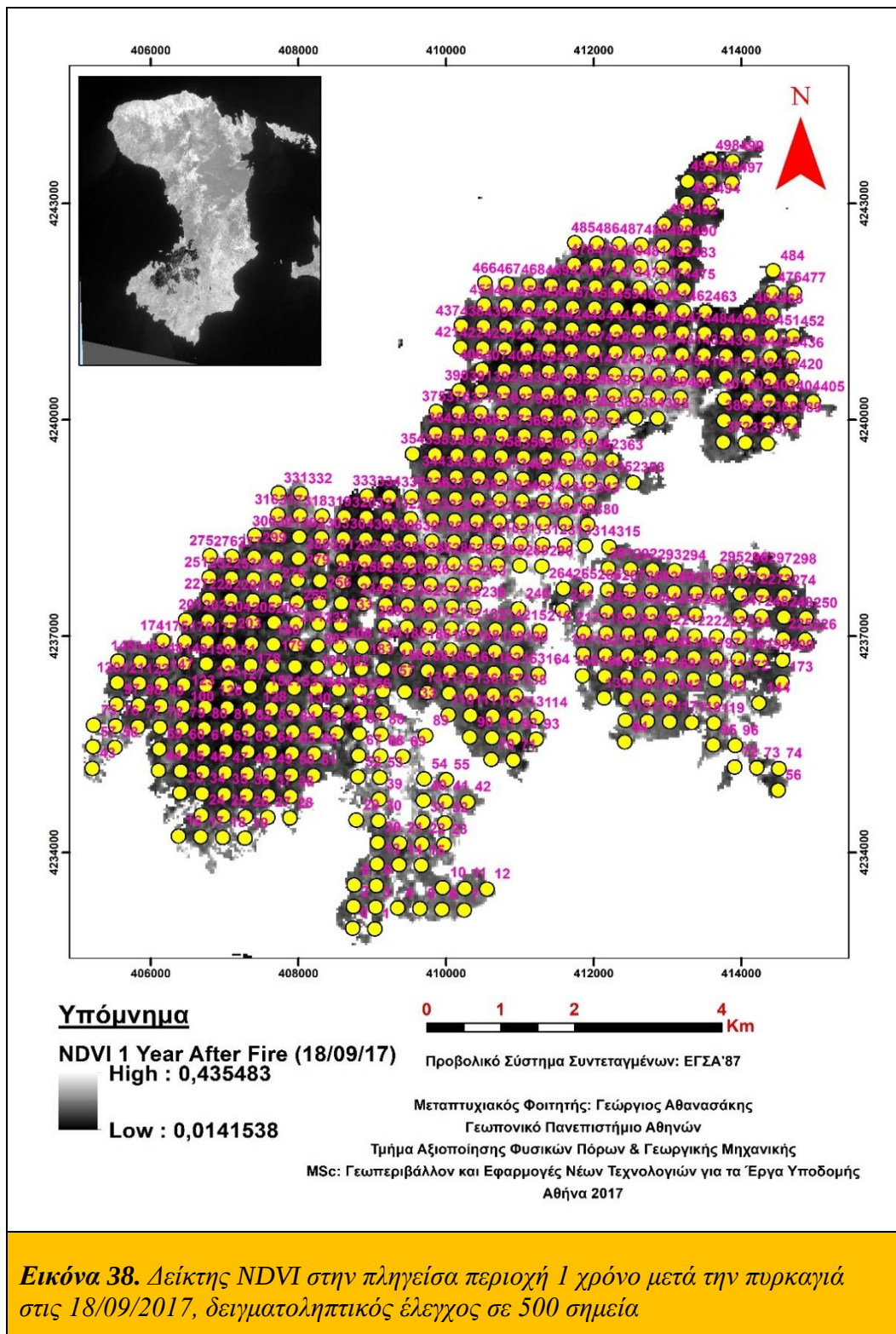












A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
FISHNETPOINTS	X	Y	NDVI Prefire	NDVI PostFire	NDVI 1 Year After Fire	DNBR	Pre-Post	Pre-Post_stat	Pre-Post_stat2	Pre<0,2	Post<0,2	1yearafter-Post	stat	Pre-1yearAfter
0	671277,279	4234246,232	0,290	0,184	0,204	0,114649	0,107	1	0	1	1	0,020	1	-0,09
1	671577,279	4234246,232	0,250	0,179	0,204	0,125909	0,071	0	0	1	1	0,025	1	-0,05
2	671277,279	4234546,232	0,289	0,171	0,183	0,135294	0,118	1	0	1	1	0,012	1	-0,11
3	671577,279	4234546,232	0,327	0,161	0,222	0,256462	0,166	1	0	1	1	0,061	1	-0,10
4	671877,279	4234546,232	0,266	0,151	0,197	0,154282	0,115	1	0	1	1	0,046	1	-0,07
5	672177,279	4234546,232	0,304	0,148	0,227	0,233061	0,156	1	0	1	1	0,079	1	-0,08
6	672477,279	4234546,232	0,275	0,161	0,215	0,178796	0,114	1	0	1	1	0,054	1	-0,06
7	672777,279	4234546,232	0,293	0,171	0,221	0,189997	0,122	1	0	1	1	0,051	1	-0,07
8	671277,279	4234846,232	0,299	0,154	0,195	0,210905	0,145	1	0	1	1	0,041	1	-0,10
9	671577,279	4234846,232	0,312	0,182	0,216	0,109339	0,130	1	0	1	1	0,034	1	-0,10
10	672477,279	4234846,232	0,295	0,144	0,202	0,204479	0,151	1	0	1	1	0,057	1	-0,09
11	672777,279	4234846,232	0,306	0,141	0,212	0,22159	0,165	1	0	1	1	0,071	1	-0,09
12	673077,279	4234846,232	0,222	0,148	0,181	0,091865	0,074	0	0	1	1	0,033	1	-0,04
13	671577,279	4235146,232	0,258	0,187	0,211	0,078246	0,071	0	0	1	1	0,025	1	-0,05
14	671877,279	4235146,232	0,294	0,136	0,191	0,20913	0,158	1	0	1	1	0,055	1	-0,10
15	672177,279	4235146,232	0,300	0,126	0,185	0,214127	0,175	1	0	1	1	0,060	1	-0,11
16	668877,279	4235446,232	0,275	0,167	0,156	0,122864	0,108	1	0	1	1	-0,011	0	-0,12
17	669177,279	4235446,232	0,350	0,160	0,181	0,324516	0,190	1	0	1	1	0,021	1	-0,17
18	669477,279	4235446,232	0,315	0,177	0,223	0,185908	0,138	1	0	1	1	0,046	1	-0,09
19	669777,279	4235446,232	0,285	0,201	0,216	0,121978	0,084	0	0	1	0	0,015	1	-0,07
20	671577,279	4235446,232	0,341	0,130	0,186	0,289921	0,211	1	1	1	1	0,057	1	-0,15
21	671877,279	4235446,232	0,300	0,146	0,191	0,254725	0,154	1	0	1	1	0,044	1	-0,11
... Comparison comp-NDVI Geology (alluvia) Geology (anthra) Geology (emalle ...)														

Πίνακας 15. Επεξεργασία πινάκων σημείων δειγματοληψίας από την πληγείσα περιοχή στο Excel

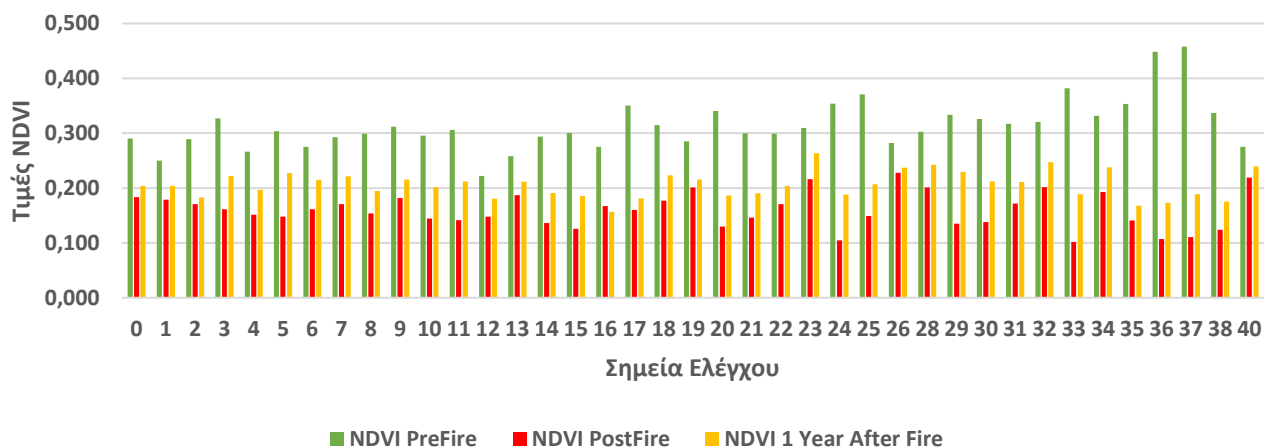
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
FISHNETPOINTS	X	Y	NDVI PreFire	NDVI PostFire	NDVI 1 Year After Fire	DNBR	Pre-Post	Pre-Post_stat	Pre-Post_stat2	Pre<0,2	Post<0,2	1yearafter-Post	stat	Pre-1yearAfter
200	676977,279	4238146,232	0,233	0,162	0,167	0,06593	0,071	0	0	1	1	0,005	1	-0,07
201	668877,279	4238446,232	0,276	0,172	0,204	0,105269	0,103	1	0	1	1	0,032	1	-0,07
202	669177,279	4238446,232	0,356	0,136	0,153	0,328076	0,220	1	1	1	1	0,017	1	-0,20
203	669477,279	4238446,232	0,341	0,129	0,155	0,368482	0,211	1	1	1	1	0,025	1	-0,19
204	669777,279	4238446,232	0,399	0,093	0,158	0,446126	0,306	1	1	1	1	0,066	1	-0,24
205	670077,279	4238446,232	0,448	0,107	0,175	0,501041	0,342	1	1	1	1	0,068	1	-0,27
206	670377,279	4238446,232	0,443	0,118	0,162	0,513566	0,325	1	1	1	1	0,044	1	-0,28
207	670677,279	4238446,232	0,316	0,140	0,201	0,271909	0,175	1	0	1	1	0,061	1	-0,11
208	670977,279	4238446,232	0,309	0,130	0,188	0,324912	0,179	1	0	1	1	0,058	1	-0,12
209	671577,279	4238446,232	0,335	0,176	0,206	0,230828	0,159	1	0	1	1	0,030	1	-0,13
210	671877,279	4238446,232	0,329	0,118	0,195	0,428316	0,211	1	1	1	1	0,077	1	-0,13
211	672177,279	4238446,232	0,358	0,151	0,229	0,285752	0,207	1	1	1	1	0,078	1	-0,13
212	672477,279	4238446,232	0,393	0,102	0,217	0,481178	0,291	1	1	1	1	0,115	1	-0,18
213	672777,279	4238446,232	0,432	0,139	0,228	0,435346	0,293	1	1	1	1	0,088	1	-0,20
214	673077,279	4238446,232	0,372	0,175	0,203	0,341451	0,197	1	0	1	1	0,028	1	-0,17
215	673377,279	4238446,232	0,524	0,139	0,199	0,5914	0,385	1	1	1	1	0,060	1	-0,33
216	673677,279	4238446,232	0,417	0,201	0,244	0,295038	0,216	1	1	1	0	0,043	1	-0,17
217	674277,279	4238446,232	0,418	0,147	0,197	0,390139	0,270	1	1	1	1	0,049	1	-0,22
218	674577,279	4238446,232	0,408	0,173	0,226	0,338179	0,235	1	1	1	1	0,053	1	-0,18
219	674877,279	4238446,232	0,293	0,148	0,182	0,213575	0,145	1	0	1	1	0,034	1	-0,11
220	675177,279	4238446,232	0,332	0,139	0,190	0,249869	0,193	1	0	1	1	0,051	1	-0,14
221	675477,279	4238446,232	0,378	0,146	0,206	0,261969	0,233	1	1	1	1	0,061	1	-0,17
Comparison			NDVI+DNBR	Geology (alluvia)	Geology (anthra)	Geology (emale ...								

Πίνακας 16. Επεξεργασία πινάκων σημείων δειγματοληψίας από την πληγείσα περιοχή στο Excel

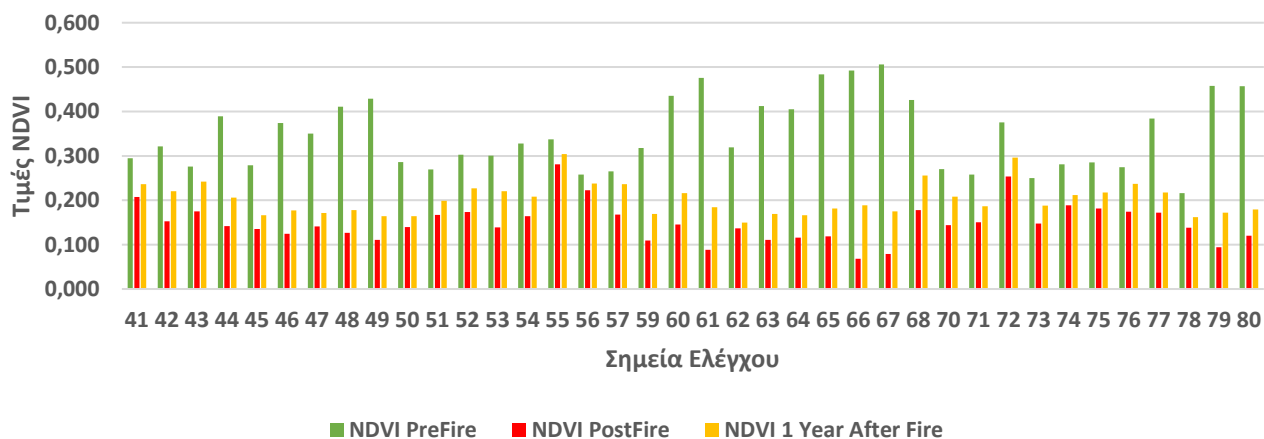
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
FISHNETPOINTS	X	Y	NDVI PreFire	NDVI PostFire	NDVI 1 Year After Fire	DNBR	Pre-Post	Pre-Post_stat	Pre-Post_stat2	Pre<0,2	Post<0,2	1yearafter-Post	stat	Pre-1yearAfter
478	673977,279	4243546,232	0,324	0,112	0,141	0,362641	0,212	1	1	1	1	0,029	1	-0,18
479	674277,279	4243546,232	0,345	0,130	0,174	0,342272	0,215	1	1	1	1	0,043	1	-0,17
480	674577,279	4243546,232	0,344	0,163	0,194	0,268571	0,182	1	0	1	1	0,031	1	-0,15
481	674877,279	4243546,232	0,343	0,171	0,273	0,264482	0,173	1	0	1	1	0,102	1	-0,07
482	675177,279	4243546,232	0,377	0,206	0,291	0,241265	0,171	1	0	1	0	0,085	1	-0,09
483	675477,279	4243546,232	0,214	0,141	0,148	0,220995	0,073	0	0	1	1	0,007	1	-0,07
485	673977,279	4243846,232	0,300	0,252	0,261	0,033246	0,048	0	0	1	0	0,009	1	-0,04
487	674577,279	4243846,232	0,336	0,242	0,269	0,133861	0,094	0	0	1	0	0,028	1	-0,07
488	674877,279	4243846,232	0,366	0,205	0,247	0,258464	0,161	1	0	1	0	0,042	1	-0,12
489	675177,279	4243846,232	0,306	0,182	0,210	0,205716	0,124	1	0	1	1	0,028	1	-0,10
490	675477,279	4243846,232	0,233	0,161	0,174	0,168173	0,071	0	0	1	1	0,013	1	-0,06
491	675177,279	4244146,232	0,243	0,169	0,183	0,137954	0,074	0	0	1	1	0,014	1	-0,06
492	675477,279	4244146,232	0,211	0,157	0,170	0,121652	0,054	0	0	1	1	0,012	1	-0,04
493	675477,279	4244446,232	0,213	0,179	0,176	0,079318	0,035	0	0	1	1	-0,003	0	-0,04
494	675777,279	4244446,232	0,190	0,171	0,168	0,09996	0,019	0	0	0	1	-0,004	0	-0,02
495	675477,279	4244746,232	0,238	0,154	0,173	0,266791	0,084	0	0	1	1	0,019	1	-0,07
496	675777,279	4244746,232	0,243	0,201	0,188	0,112396	0,042	0	0	1	0	-0,013	0	-0,05
497	676077,279	4244746,232	0,186	0,161	0,162	0,092691	0,025	0	0	0	1	0,001	1	-0,02
498	675777,279	4245046,232	0,206	0,176	0,160	0,084942	0,031	0	0	1	1	-0,016	0	-0,05
499	676077,279	4245046,232	0,225	0,194	0,186	0,096753	0,030	0	0	1	1	-0,009	0	-0,04
								7	2	18	15		15	
... Comparison comp-NDVI NDVI-NBR Geology (alluvia) Geology (anthra) Geology (ennale) ... 7 2 18 15														

Πίνακας 17. Επεξεργασία πινάκων σημείων δειγματοληψίας από την πληγείσα περιοχή στο Excel

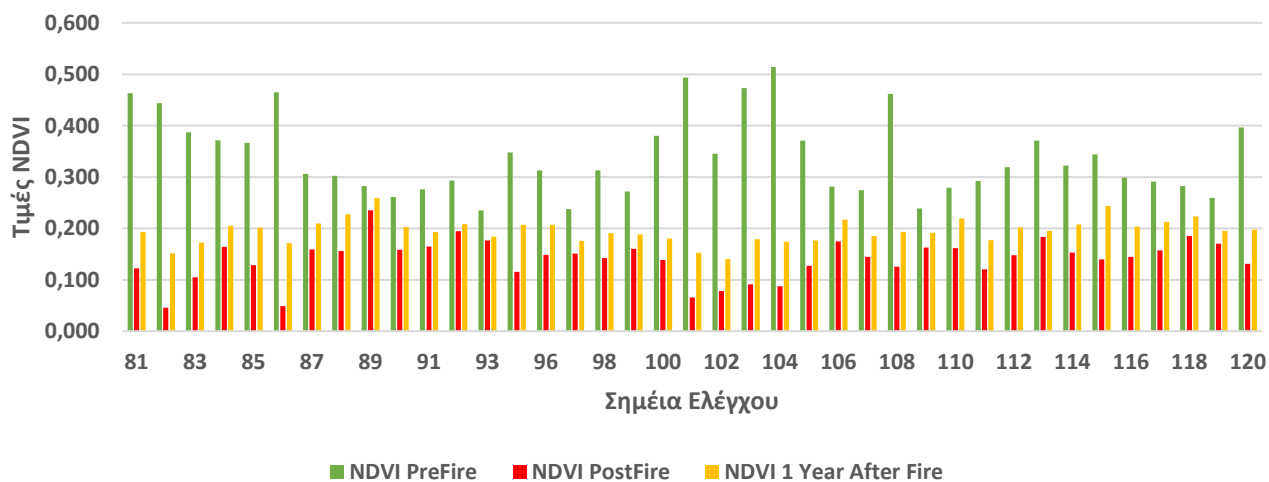
Δείκτης Βλάστησης NDVI



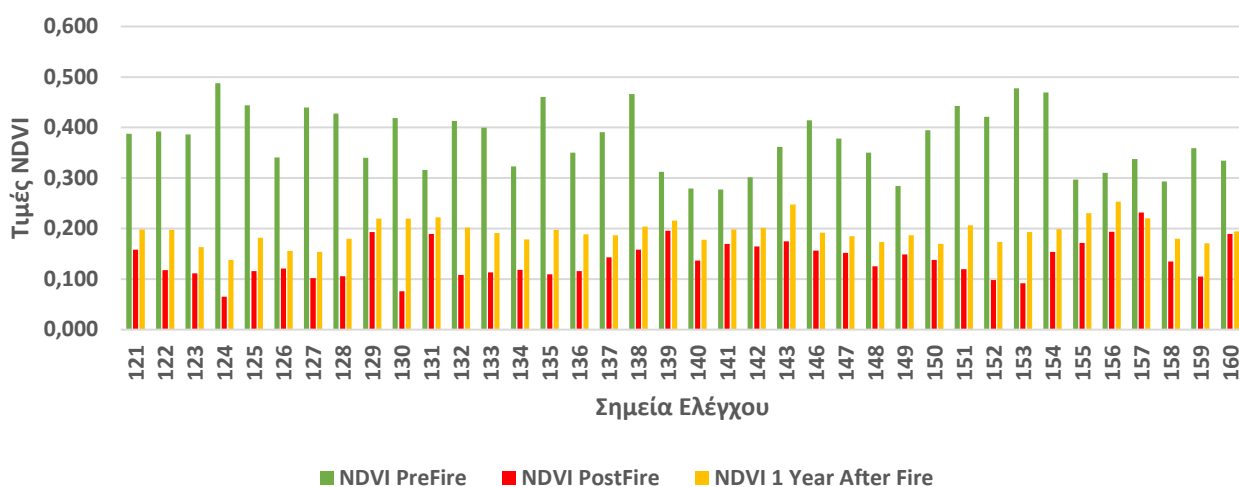
Δείκτης Βλάστησης NDVI



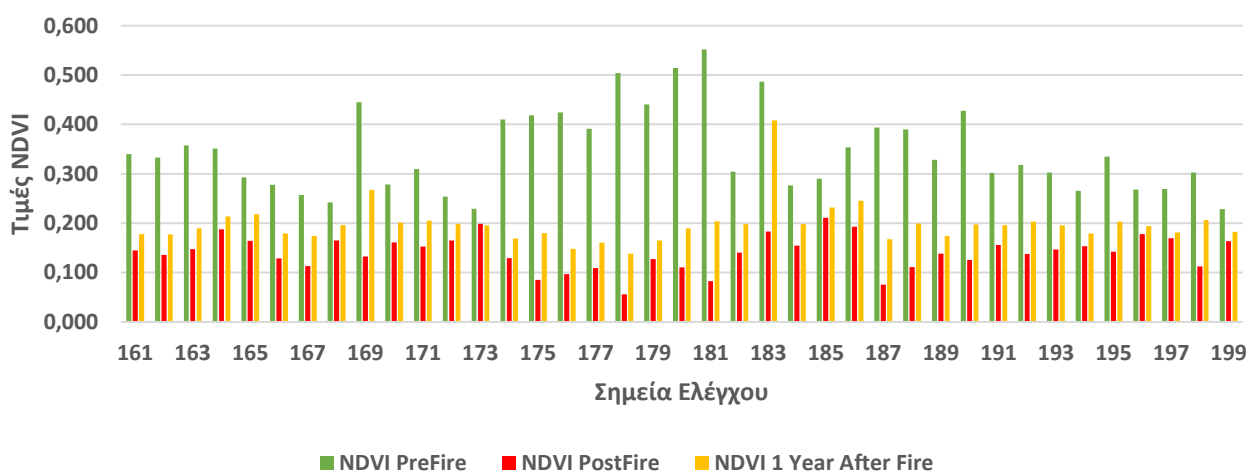
Δείκτης Βλάστησης NDVI



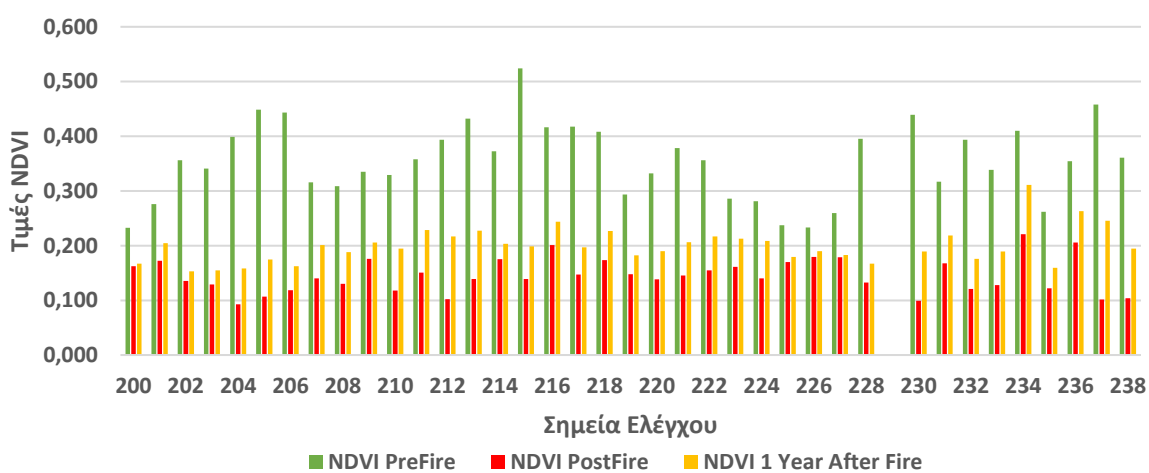
Δείκτης Βλάστησης NDVI



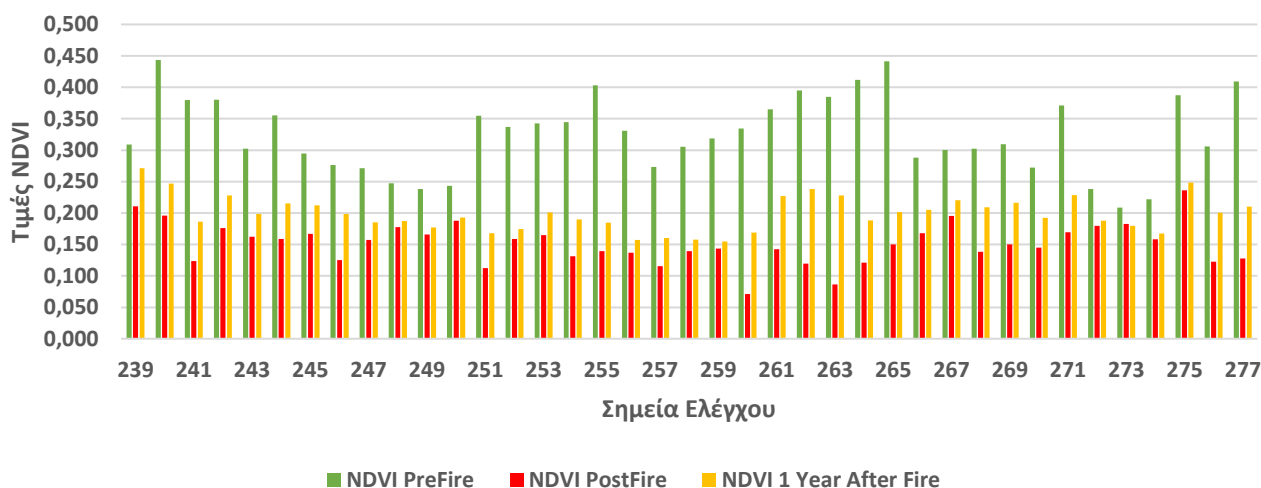
Δείκτης Βλάστησης NDVI



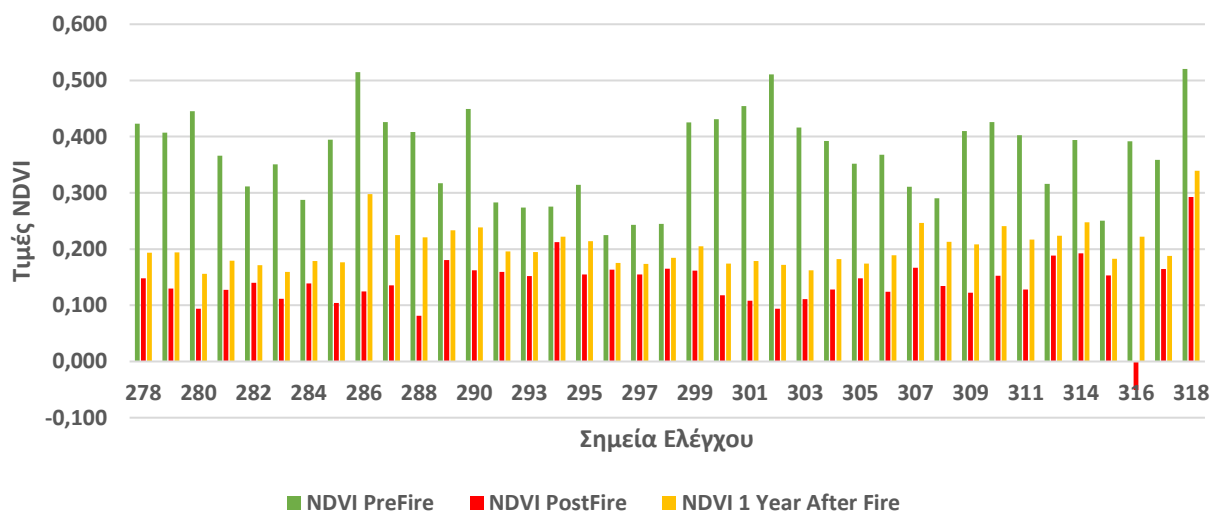
Δείκτης Βλάστησης NDVI



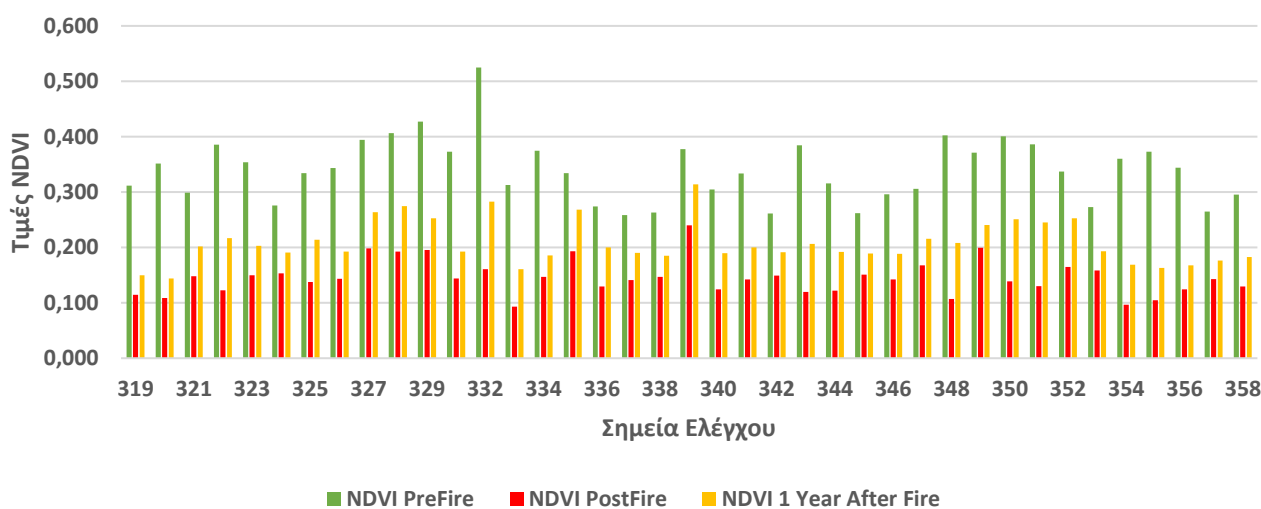
Δείκτης Βλάστησης NDVI



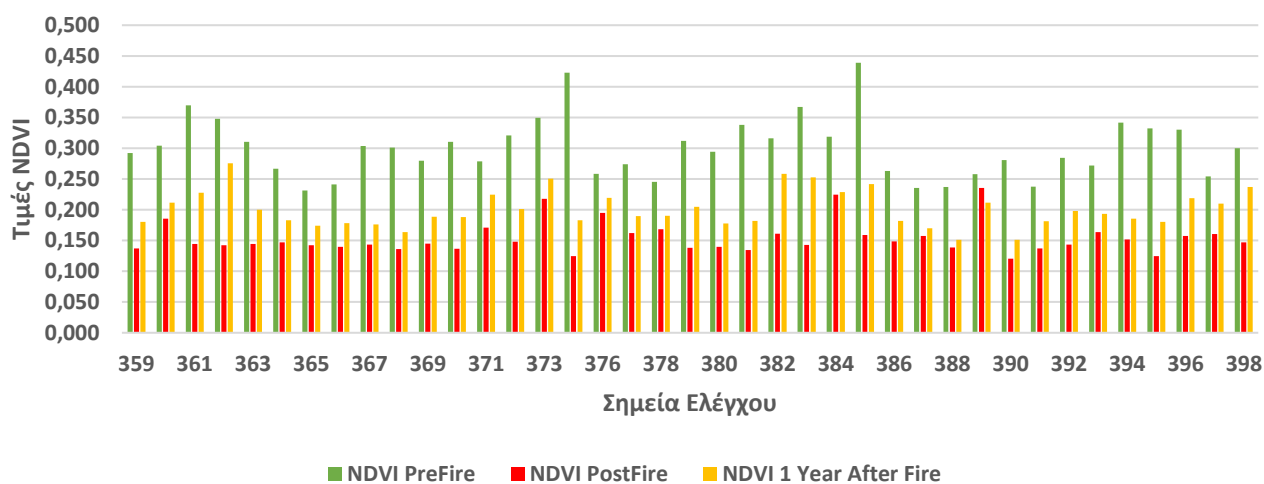
Δείκτης Βλάστησης NDVI



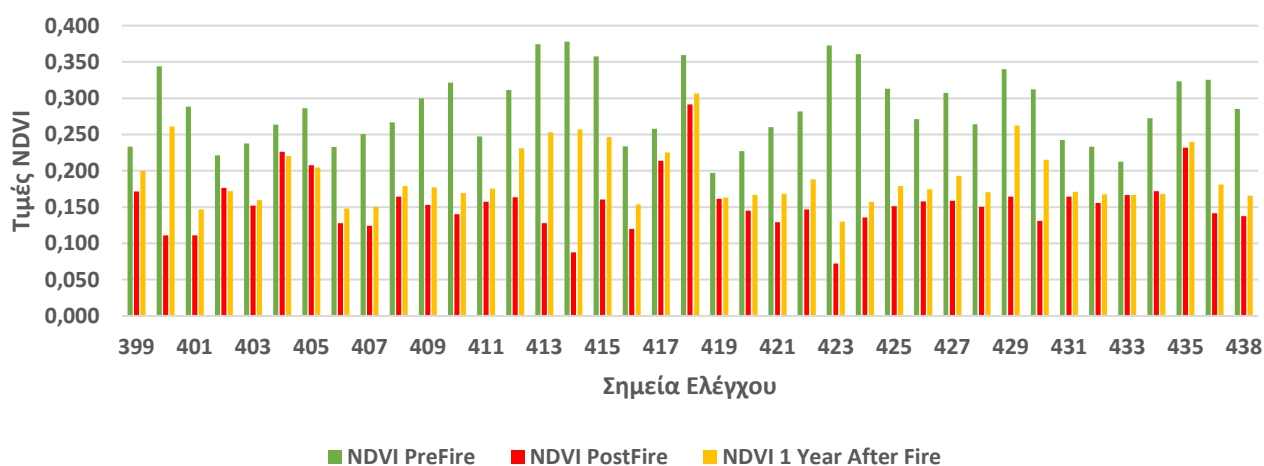
Δείκτης Βλάστησης NDVI



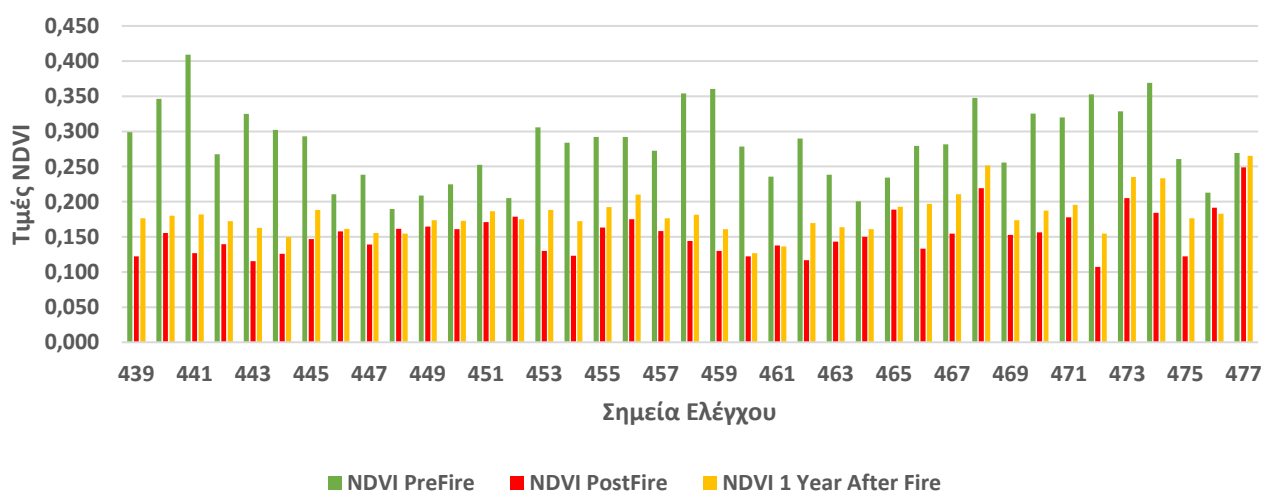
Δείκτης Βλάστησης NDVI

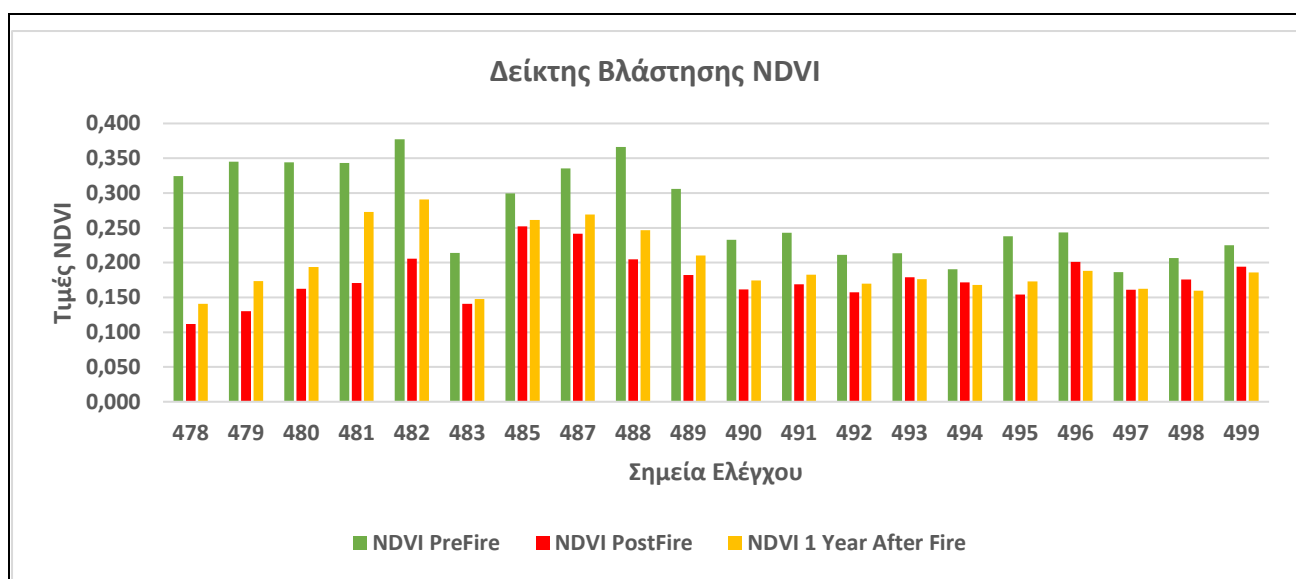


Δείκτης Βλάστησης NDVI

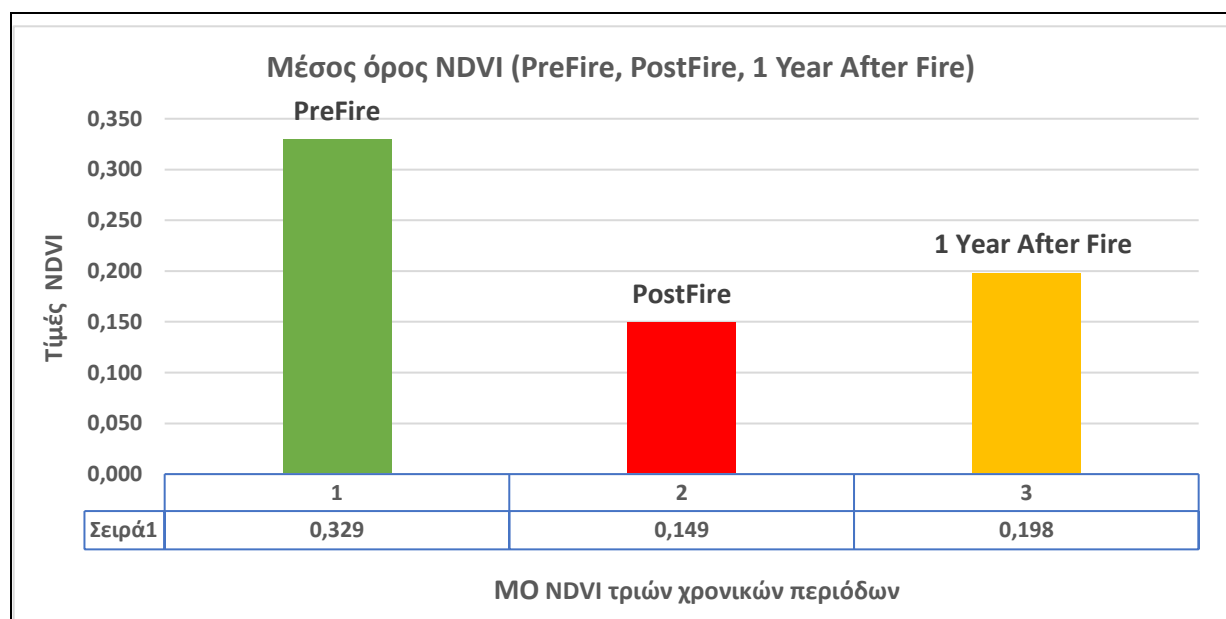


Δείκτης Βλάστησης NDVI





Σχήμα 5. Διαγράμματα απεικόνισης του δείκτη NDVI πριν, μετά και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά από δεδομένα Landsat – 8 μετά από δειγματοληψία 500 σημείων μέσα στην περιοχή ερευνάς μας



Σχήμα 6. Διάγραμμα μέσου όρου του δείκτη βλάστησης NDVI σε 3 χρονικά σημεία

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις (Σχήμα 6) παρατηρείται μια αύξηση του δείκτη NDVI από 0,149 που κυμαινόταν ο δείκτης μετά την πυρκαγιά σε 0,198 ένα χρόνο αργότερα (+0,049 Μονάδες αύξηση). Αυτό είναι ένα ενθαρρυντικό στοιχείο μέχρι στιγμής.

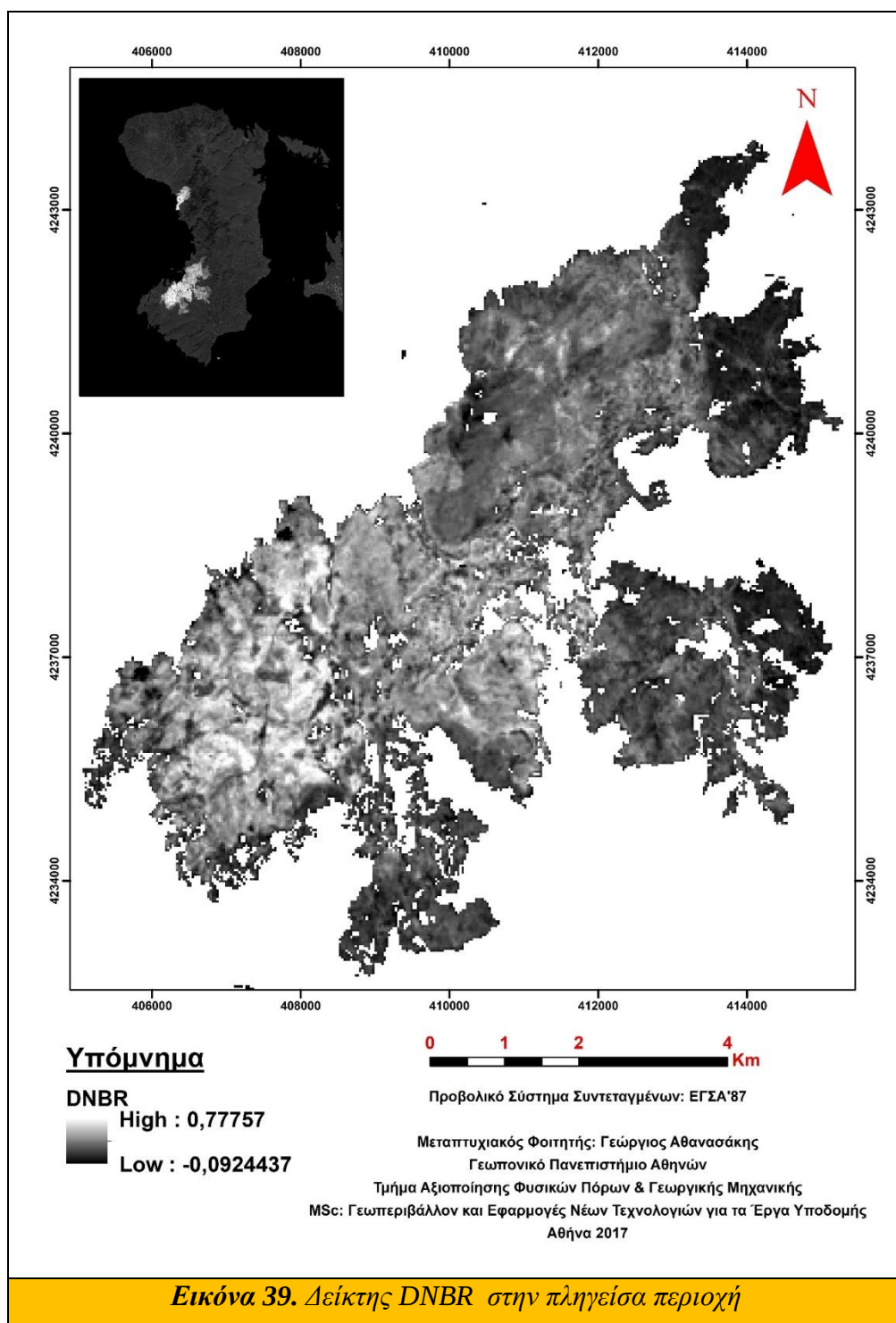
6.5 Διαμόρφωση του δείκτη NDVI σε τρία χρονικά σημεία σε σχέση με τον διαφοροποιημένο δέκτη δριμύτητας της πυρκαγιάς DNBR

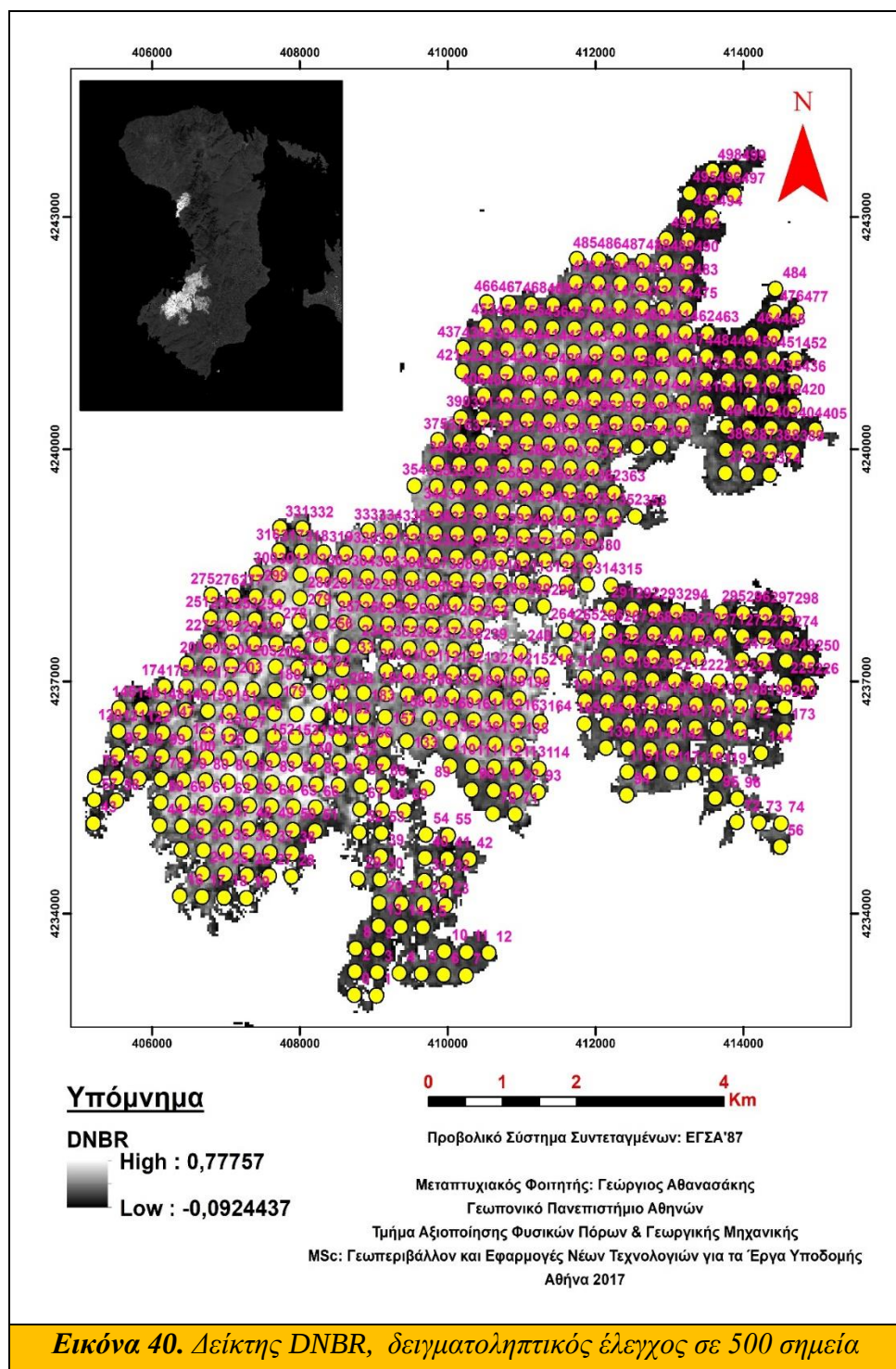
Επίσης ο δειγματοληπτικός έλεγχος για τις τιμές του δείκτη DNBR πραγματοποιήθηκε ακριβώς επάνω στα ίδια σημεία που μελετήθηκε προηγούμενος ο δείκτης NDVI με σκοπό να δούμε πως ακριβώς επηρεάζεται και διαμορφώνεται ο δείκτης NDVI όπου μας καθορίζει το ποσοστό φυτοκάλυψης και παράλληλα την υγεία της βλάστησης σε σχέση με το δείκτη δριμύτητας της πυρκαγιάς DNBR. Με βάση την επιστημονική βιβλιογραφία ο δείκτης DNBR χωρίζεται σε 5 κατηγορίες όπως είδαμε επίσης και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

DNBR	Burn Severity
-0.1 - 0.1	Άκαυτο
0.1 - 0.27	Χαμηλή Δριμύτητα
0.27 - 0.44	Χαμηλή – Μέτρια Δριμύτητα
0.44 - 0.66	Μέτρια – Υψηλή Δριμύτητα
> 0.66	Υψηλή – Πολύ Υψηλή Δριμύτητα

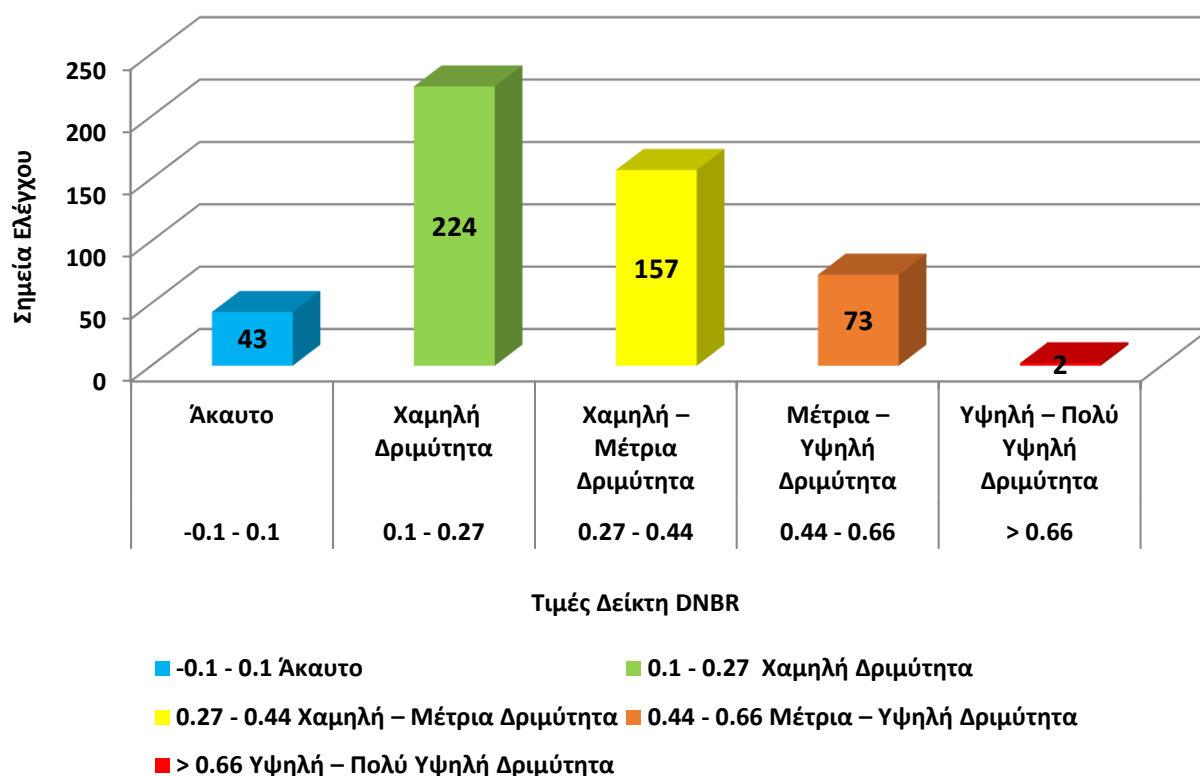
(Πηγή: USGS)

Αυτό που θα περιμένουμε να δούμε είναι πως στα σημεία με χαμηλή δριμύτητα ο δείκτης NDVI θα περιμένουμε να είναι αυξημένος και στα σημεία με υψηλή δριμύτητα να βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα στο διάστημα ενός έτους μετά την πυρκαγιά. Συνήθως απαιτείται διάστημα 4 έως 5 χρόνια για να έχουμε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του αποτελέσματός σύμφωνα με την διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία (Πηγή: US Forest Services). Παρακάτω απεικονίζονται τα δορυφορικά δεδομένα Landsat 8 με τα σημεία ελέγχου και διαγράμματα ύστερα από τις μετρήσεις του Δείκτη DNBR σε 500 σημεία σε σχέση με τον δείκτη NDVI.





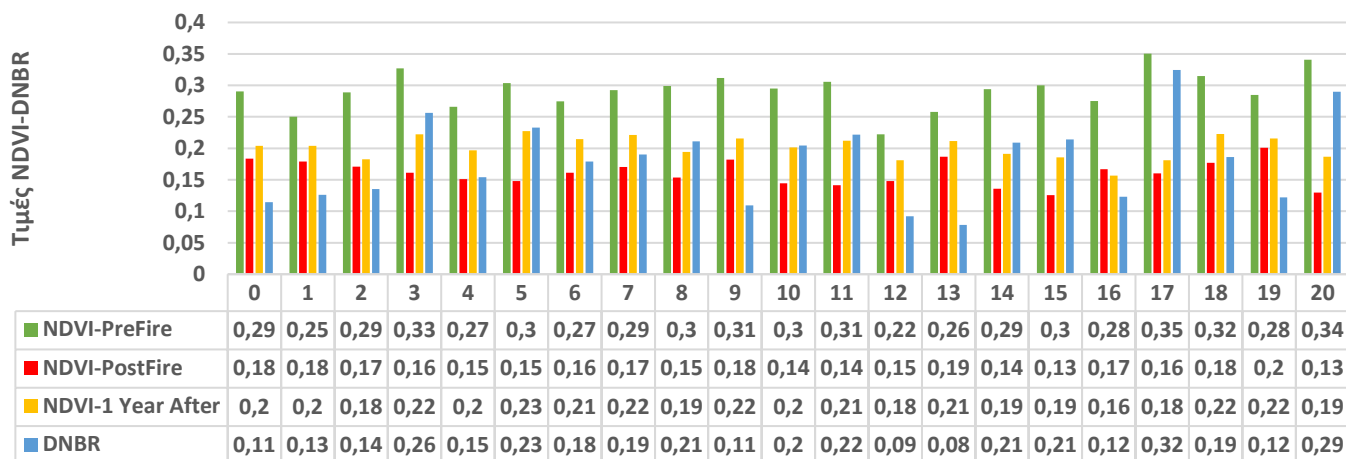
Δειγματοληψία DNBR σε 500 σημεία με βάση την δριμύτητα



Σχήμα 7. Διάγραμμα σημείων δειγματοληψίας DNBR

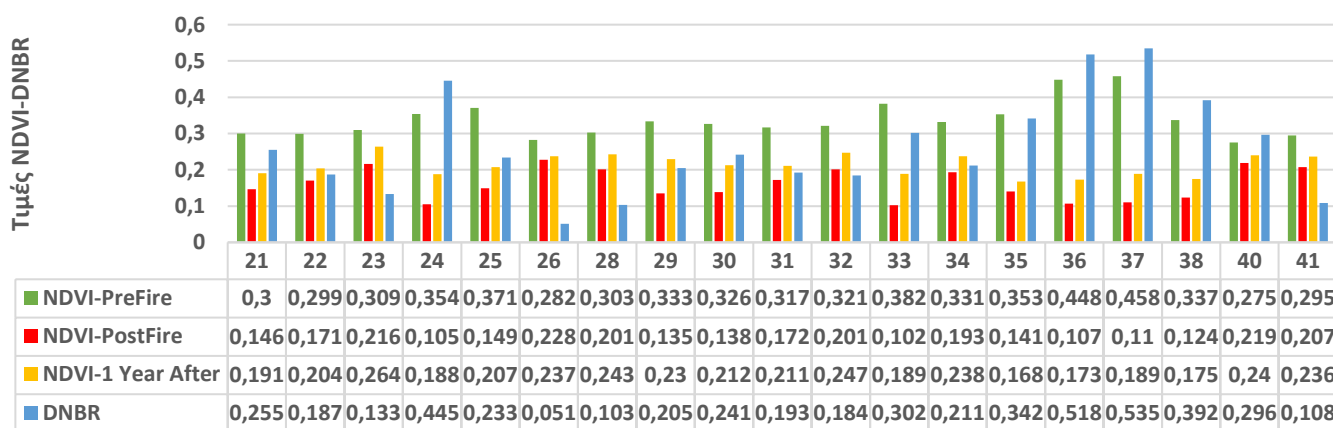
Μετά τον δειγματοληπτικό έλεγχο του δείκτη που πραγματοποιήθηκε (Σχήμα 7) προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα : **43** σημεία άκαυτου, **224** σημεία χαμηλής δριμύτητας, **157** σημεία χαμηλής έως μέτριας δριμύτητας, **73** σημεία μέτριας έως υψηλής δριμύτητας και **2** σημεία υψηλής έως πολύ υψηλής δριμύτητας.

Σχέση NDVI/DNBR



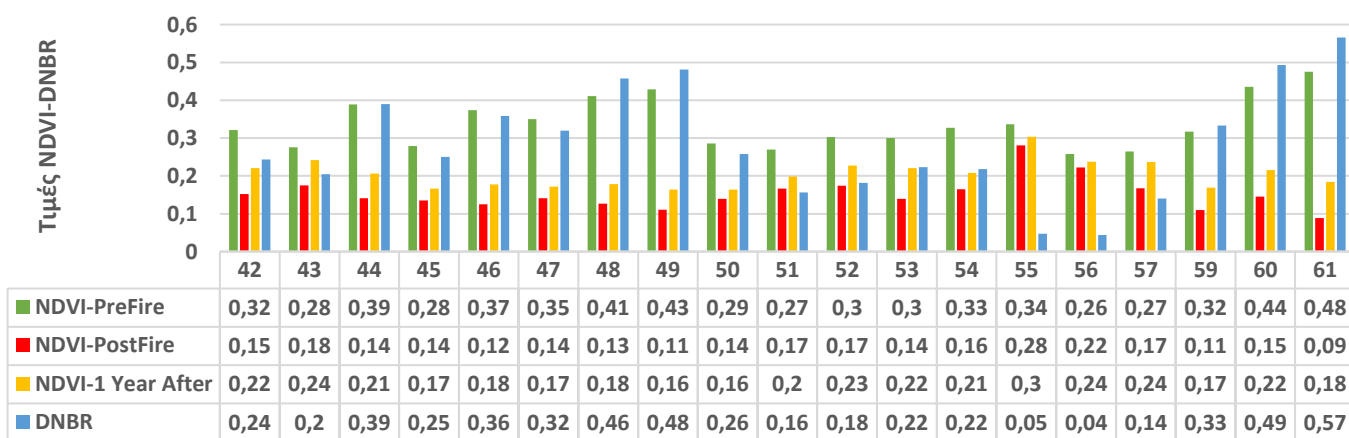
Σημεία Ελέγχου

Σχέση NDVI/DNBR



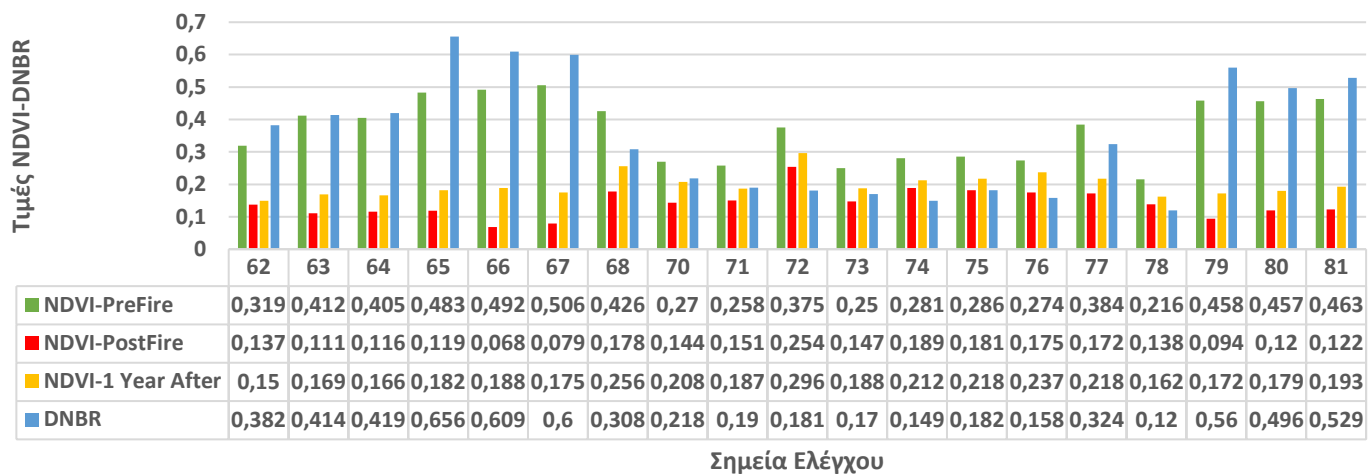
Σημεία Ελέγχου

Σχέση NDVI/DNBR

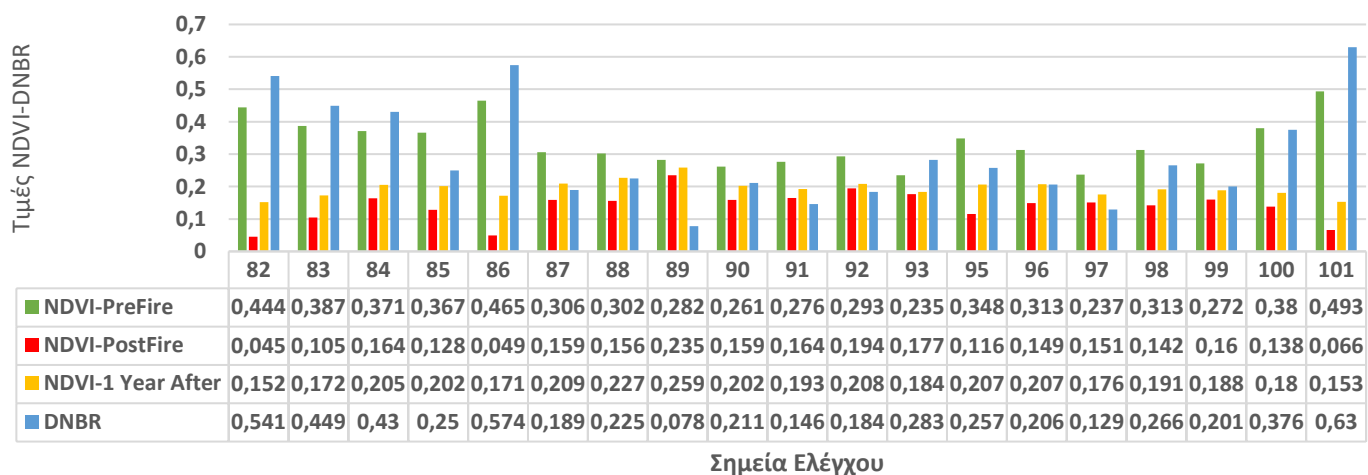


Σημεία Ελέγχου

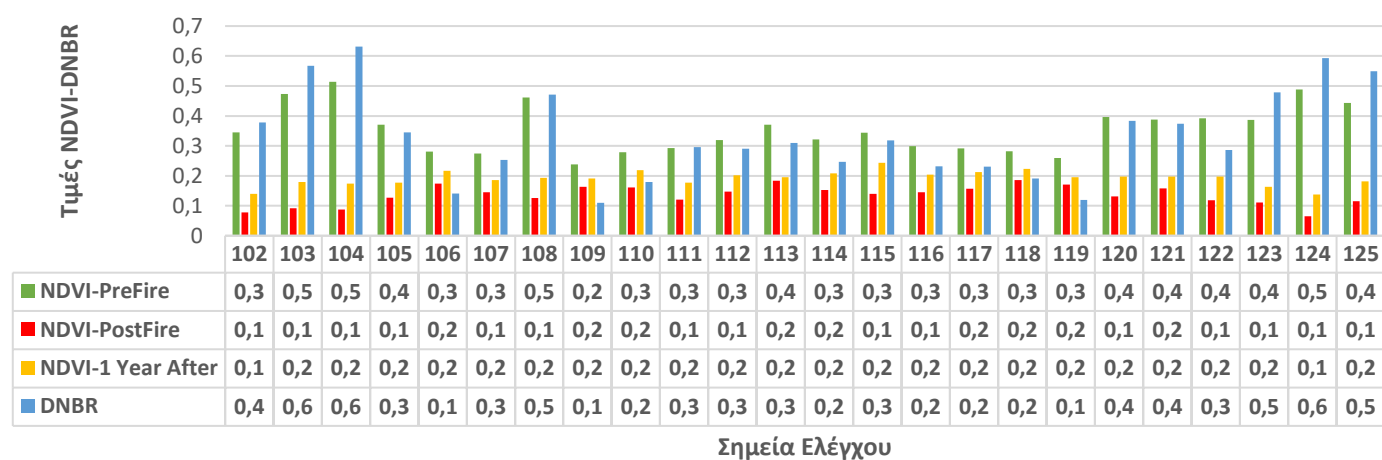
Σχέση NDVI/DNBR



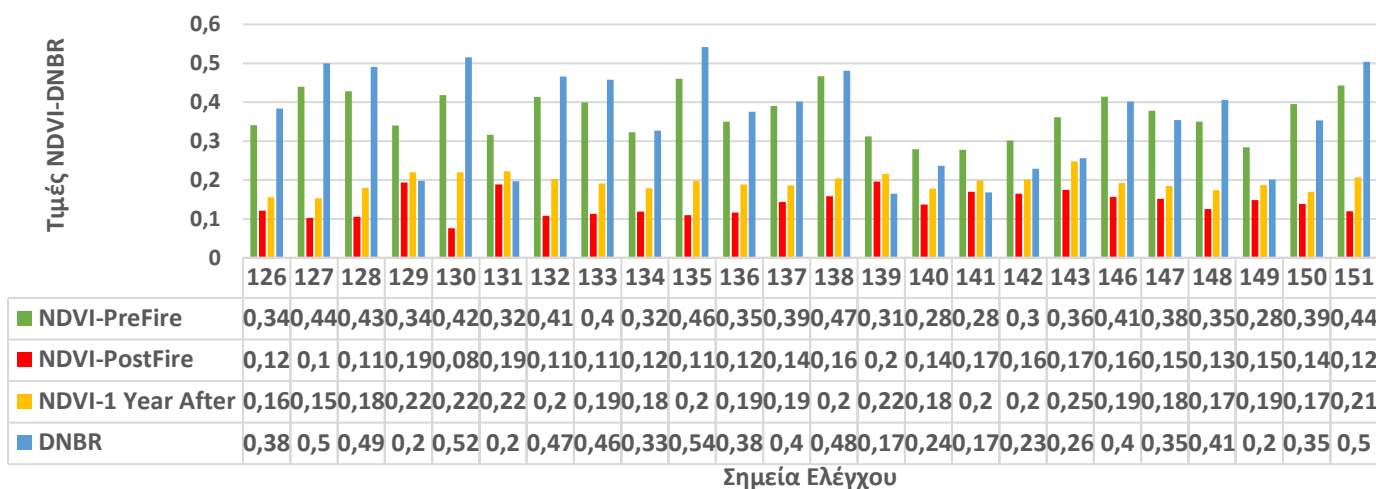
Σχέση NDVI/DNBR



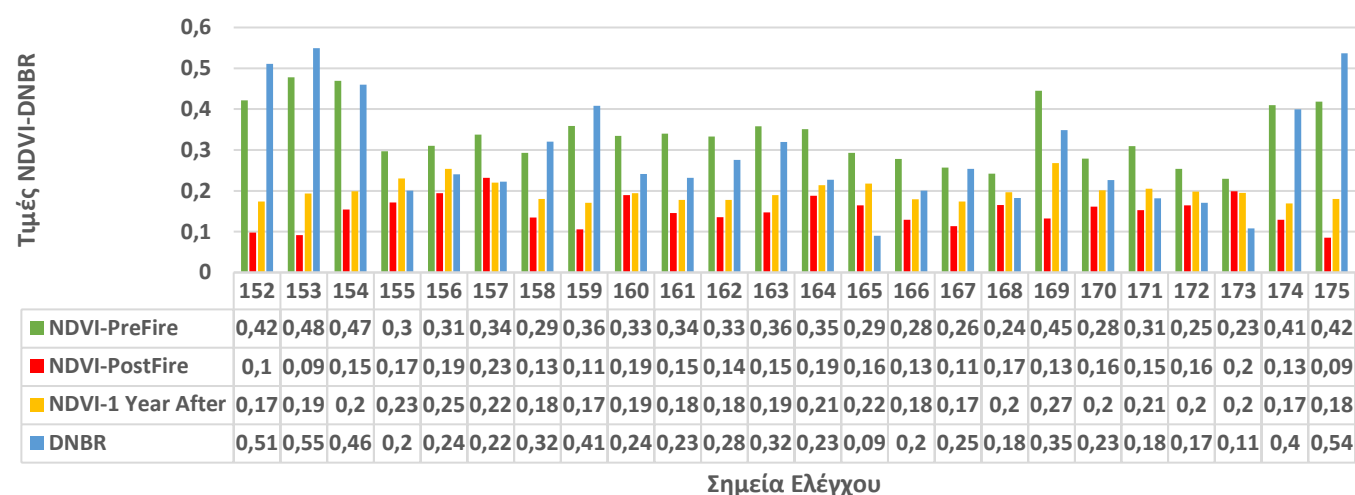
Σχέση NDVI/DNBR



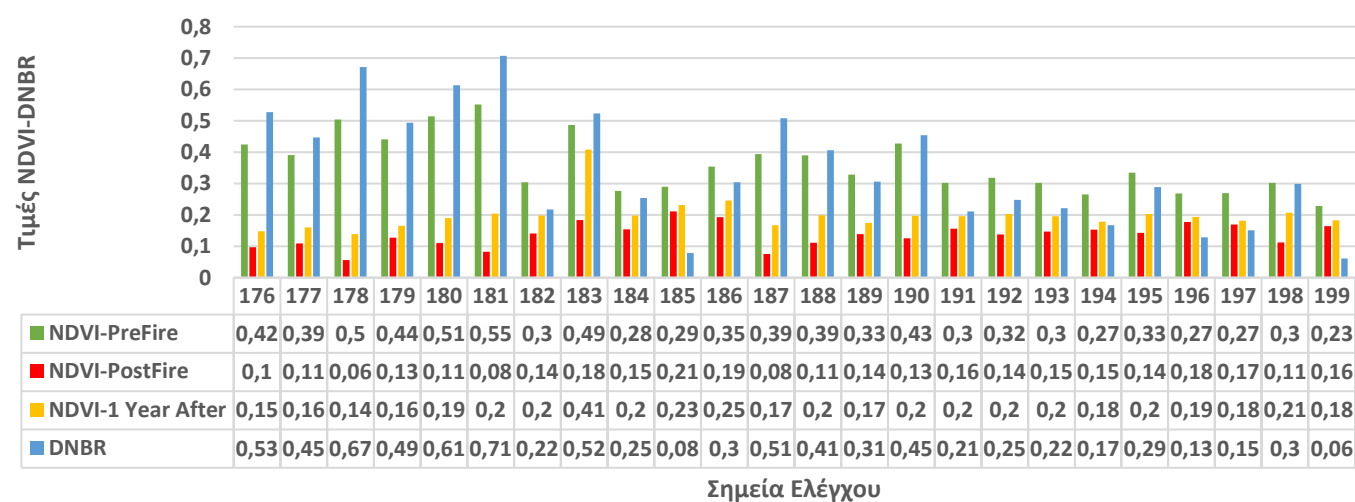
Σχέση NDVI/DNBR



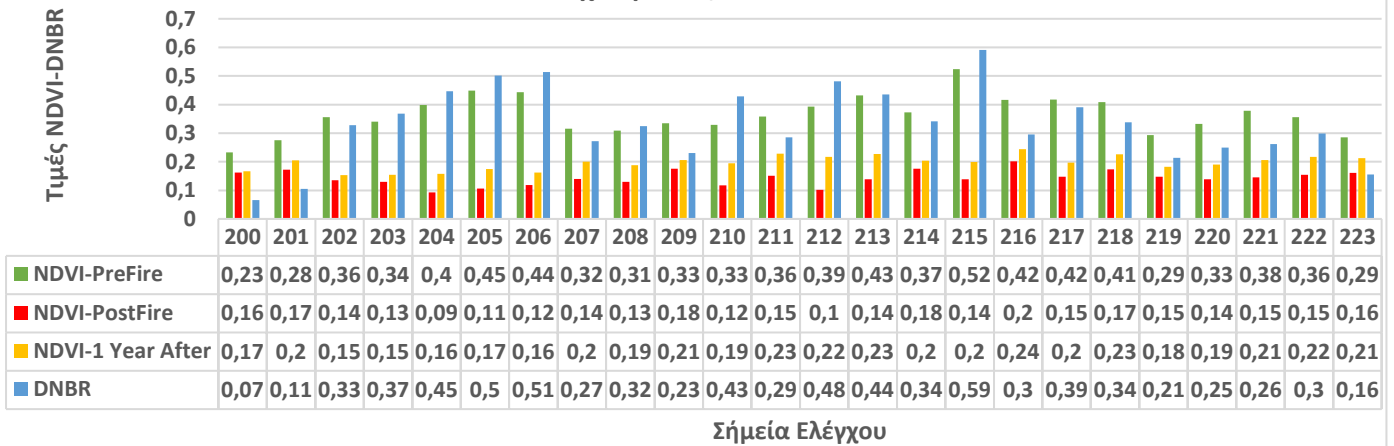
Σχέση NDVI/DNBR



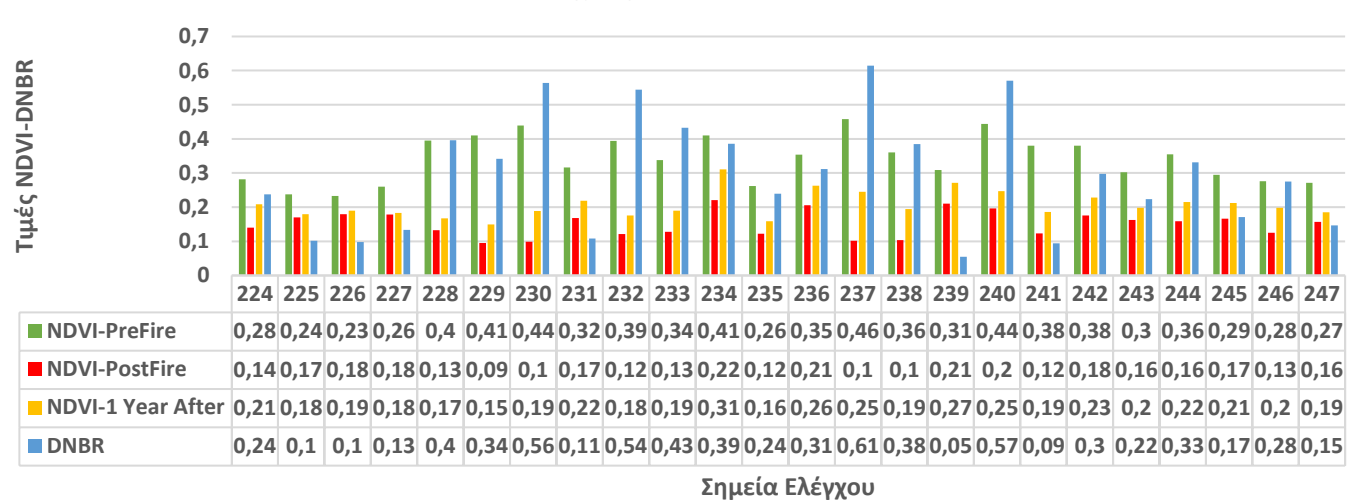
Σχέση NDVI/DNBR



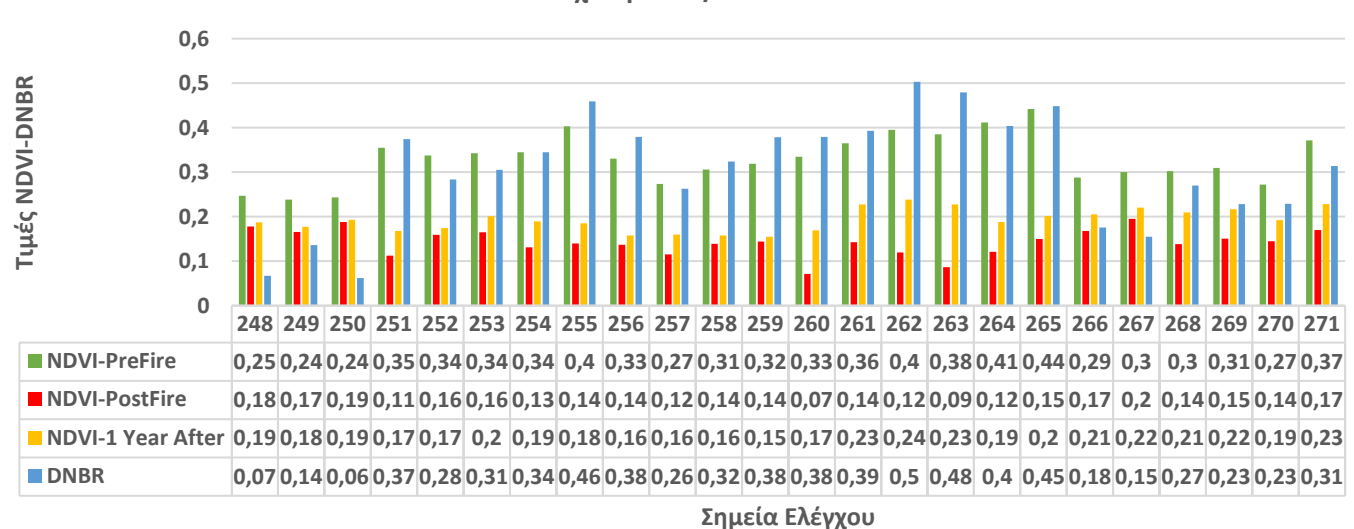
Σχέση NDVI/DNBR



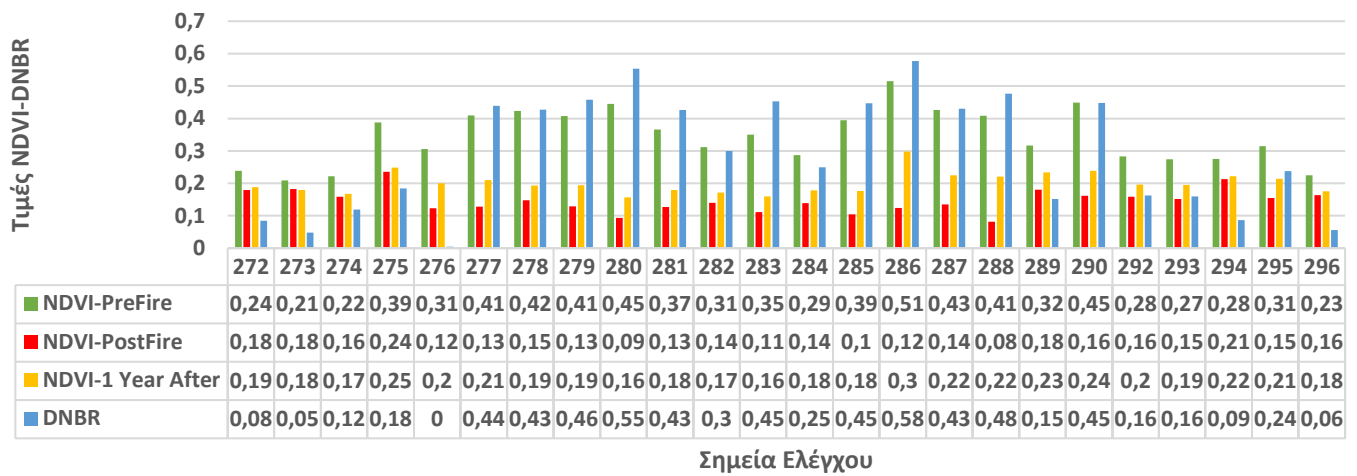
Σχέση NDVI/DNBR



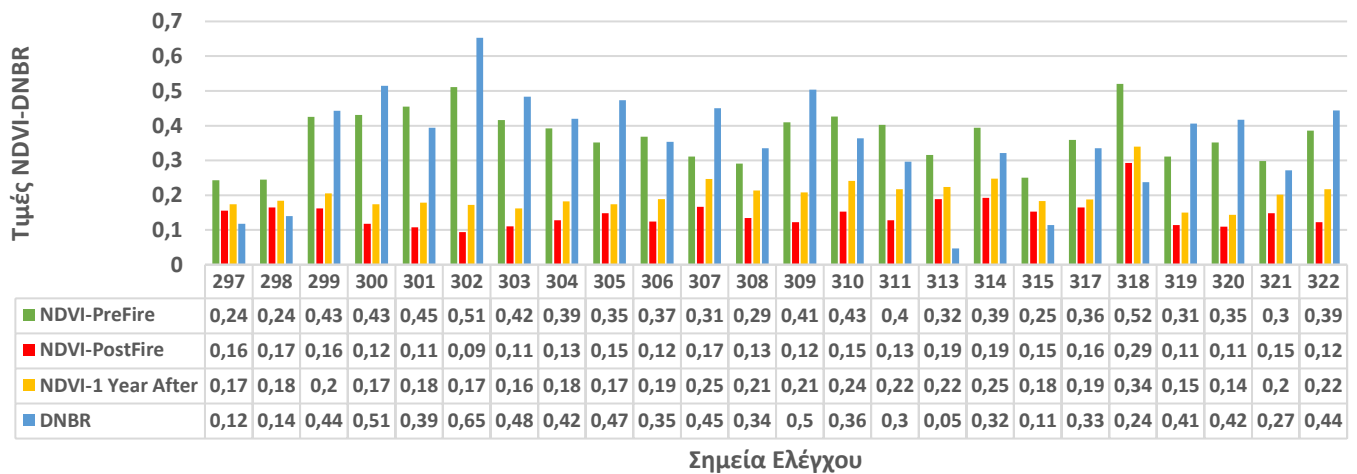
Σχέση NDVI/DNBR



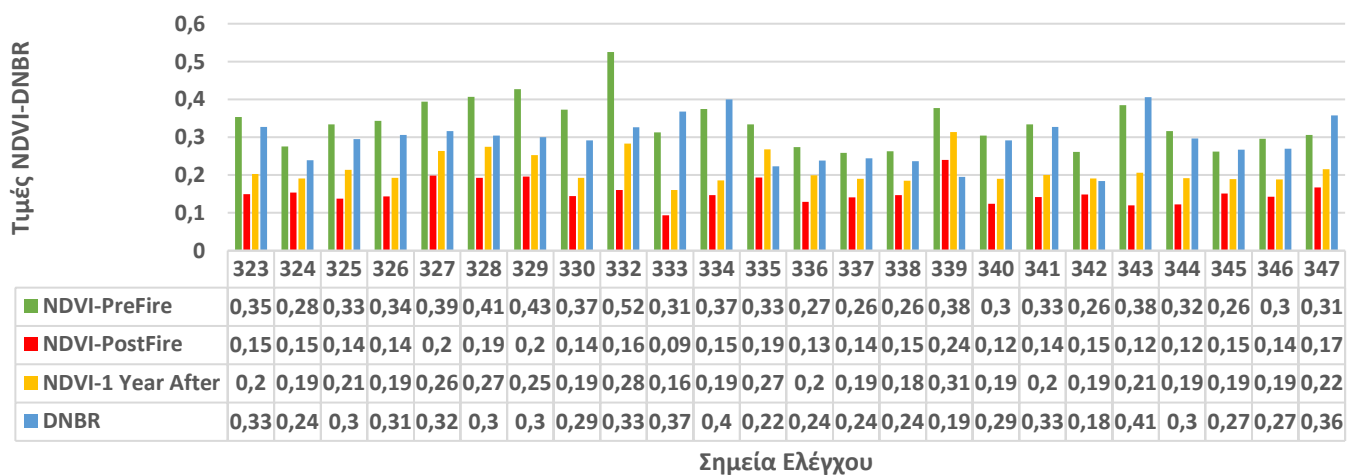
Σχέση NDVI/DNBR



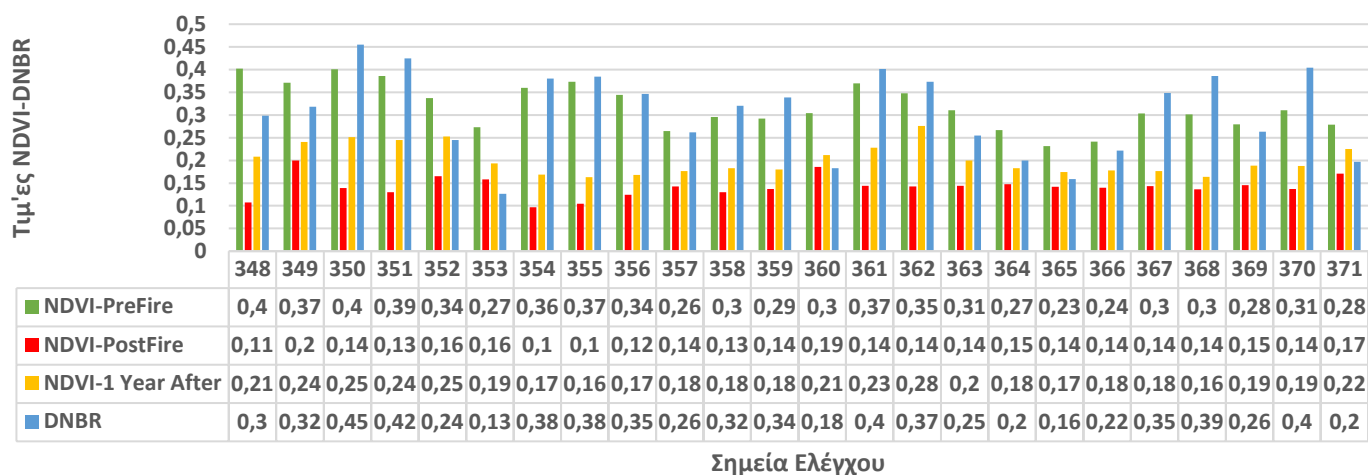
Σχέση NDVI/DNBR



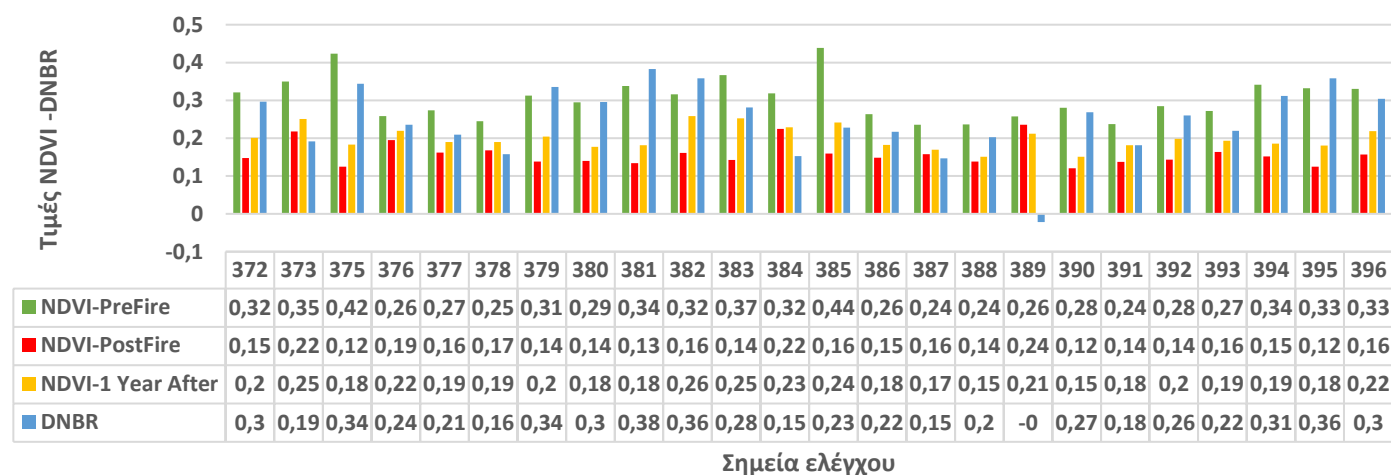
Σχέση NDVI/DNBR



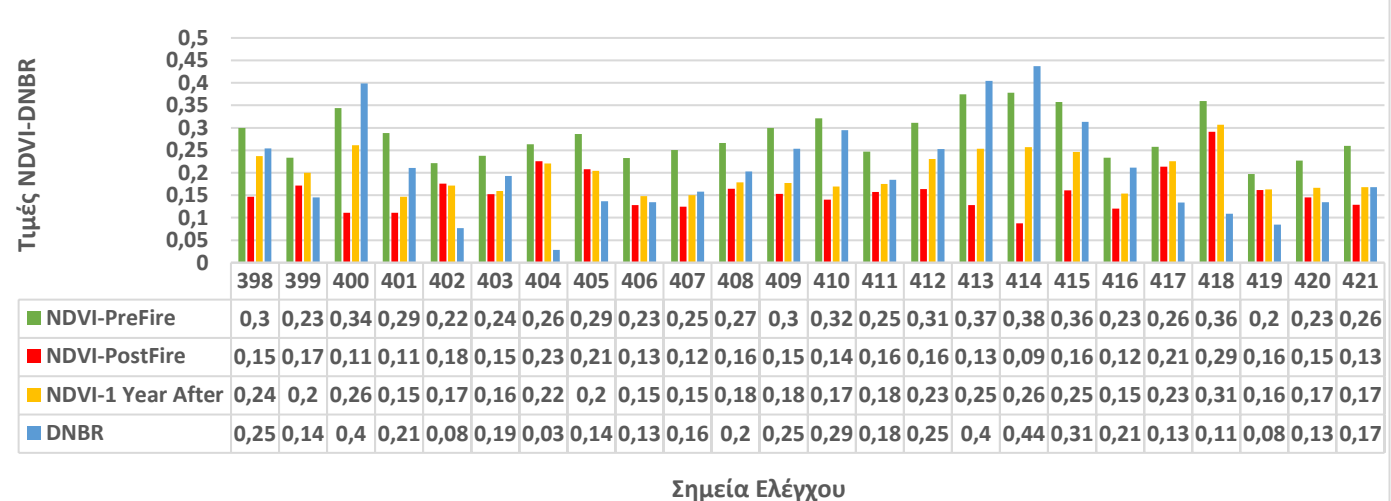
Σχέση NDVI/DNBR



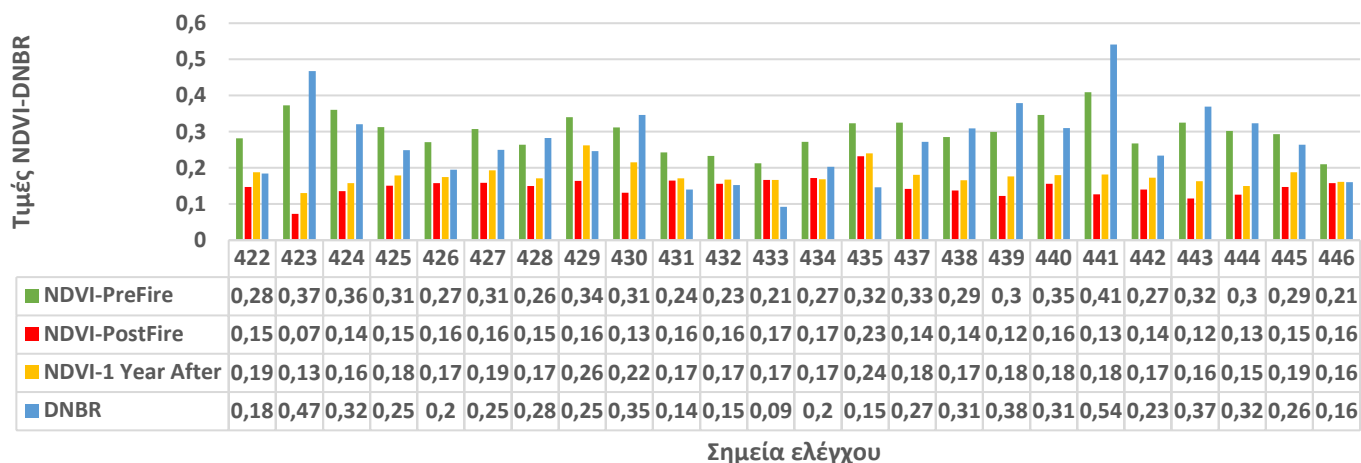
Σχέση NDVI/DNBR



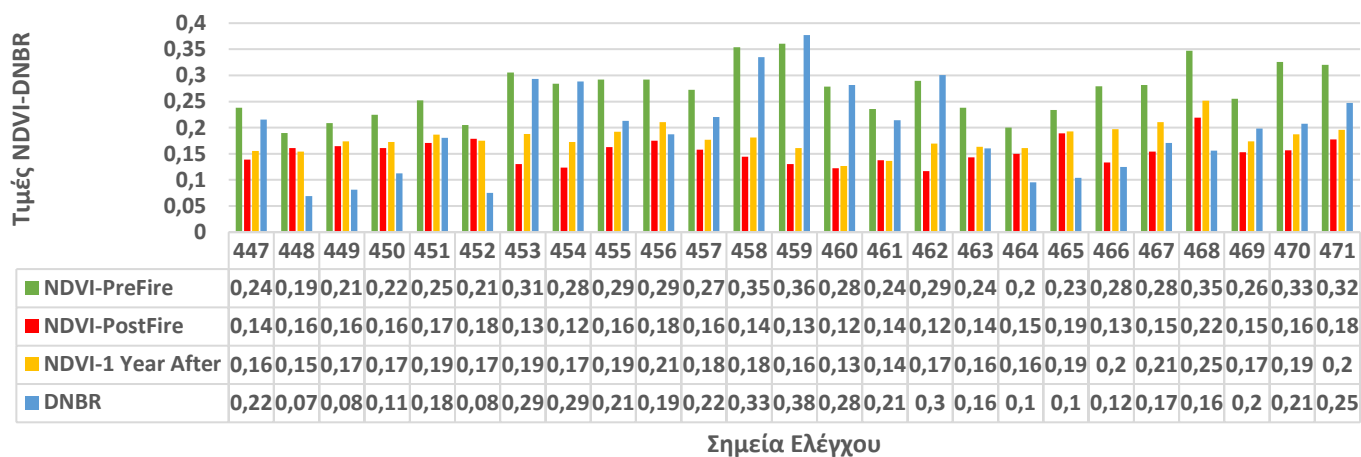
Σχέση NDVI/DNBR



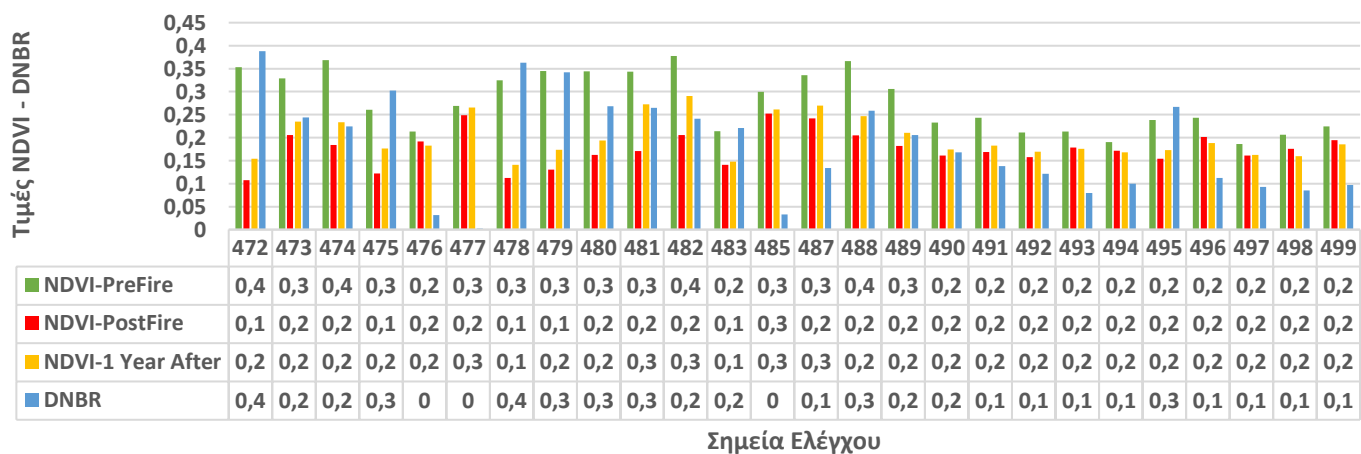
Σχέση NDVI/DNBR



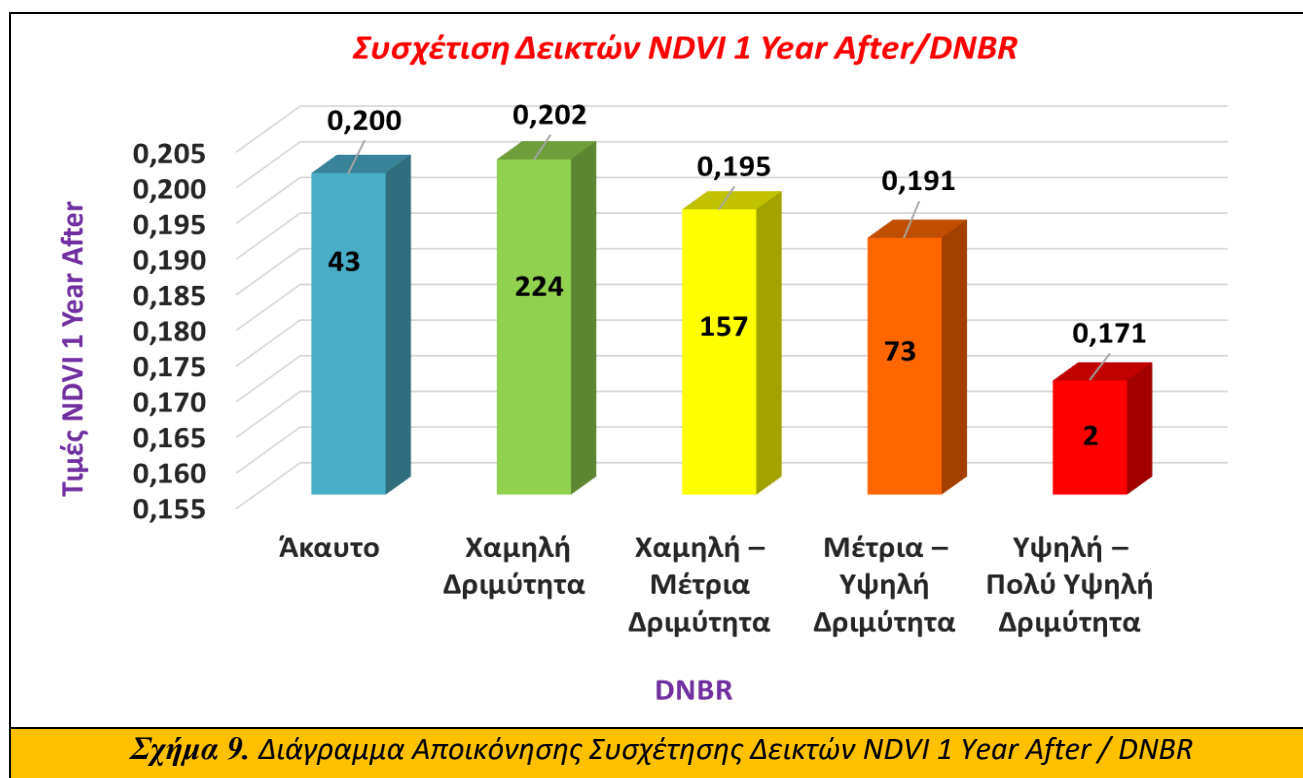
Σχέση NDVI/DNBR



Σχέση NDVI/DNBR



Σχήμα 8. Διαγράμματα απεικόνισής του δείκτη NDVI σε σχέση με τον DNBR πριν, μετά και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά από δεδομένα Landsat – 8 μετά από δειγματοληψία 500 σημείων μέσα στην περιοχή ερευνάς μας

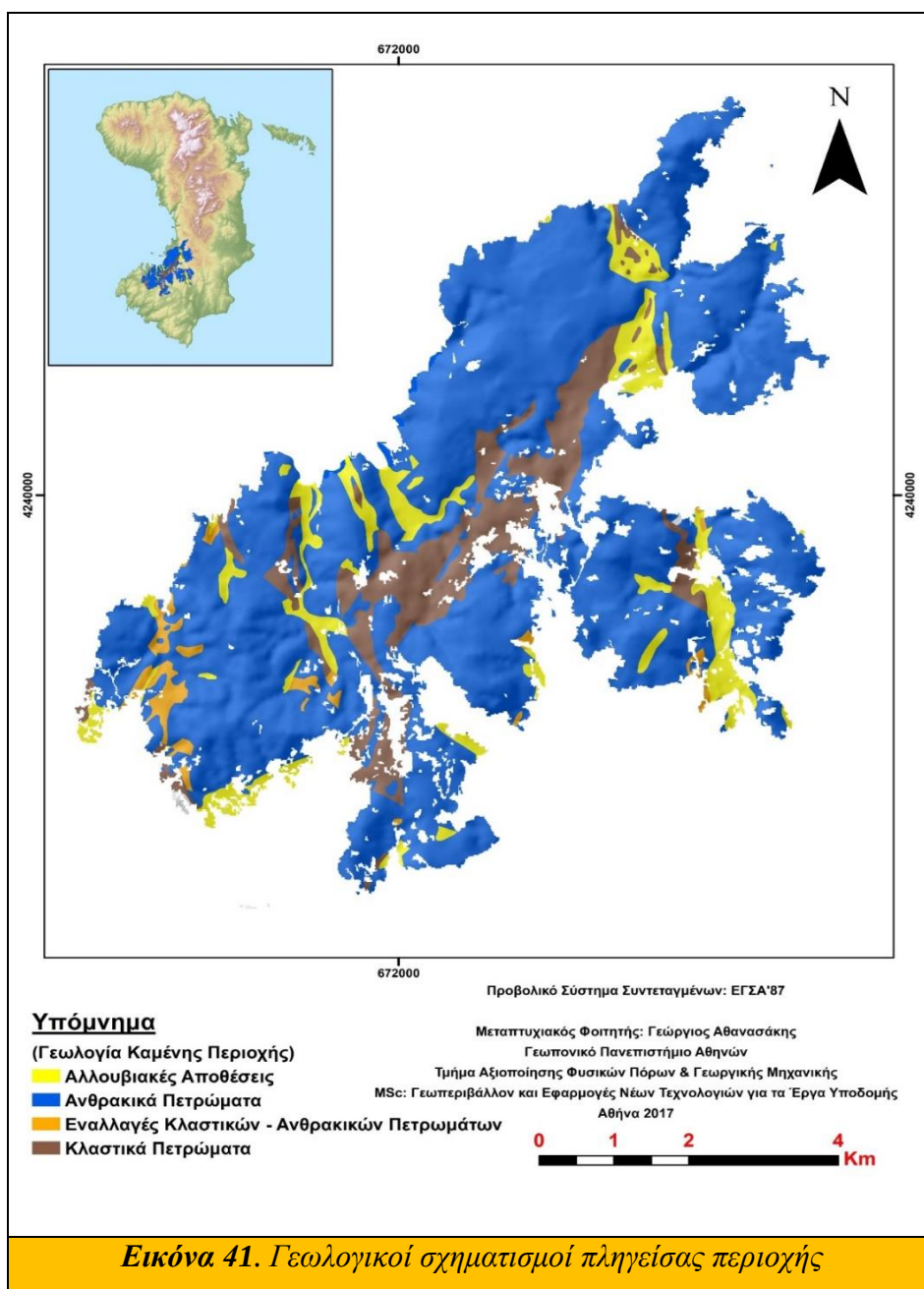


6.6 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πήραμε ύστερά από τον δειγματοληπτικό έλεγχο σε 500 σημεία εντός της πληγείσας περιοχής (Σχήμα 9) επάνω στους δείκτες NDVI πριν , μετά και ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά σε σχέση με τον DNBR παρατηρούμε πως στα σημεία που είχαμε πολύ υψηλό δείκτη NDVI είχαμε υψηλή δριμύτητα. Στα σημεία με υψηλή δριμύτητα 0,44 και άνω οι δείκτης NDVI ένα χρόνο μετά παραμένει σε πολύ χαμηλό επίπεδο κάτω από 0,2 που σημαίνει πως δεν έχουμε αναγέννηση νέας βλάστησης ακόμη. Αντιθέτως σε περιοχές με χαμηλή έως μέτρια δριμύτητα από 0,27-0,44 ο δείκτης NDVI παρουσιάζει τιμές $> 0,2$ που σύμφωνα με την επιστημονική βιβλιογραφία τιμές από 0,2 και πάνω αρχίζει να καταγράφεται πολύ χαμηλή βλάστηση ή αναγέννησή έπειτα από πυρκαγιές (χαμηλοί θάμνοι). Αυτό είναι ένα ενθαρρυντικό αποτέλεσμα διότι σε αυτά τα σημεία θα αποφύγουμε την διάβρωση. Αντιθέτως σε σημεία με πολύ υψηλή δριμύτητα όπου ο ρυθμός αναγέννησης της βλάστησης θα είναι πολύ χαμηλός η ίσως να μην υπάρξει ποτέ ξανά αναγέννηση με αποτέλεσμα η περιοχή να παρουσιάσει ενδεχομένως υψηλά ποσοστά διάβρωσης με αυξημένο κίνδυνο ερημοποίησης από τους εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες.

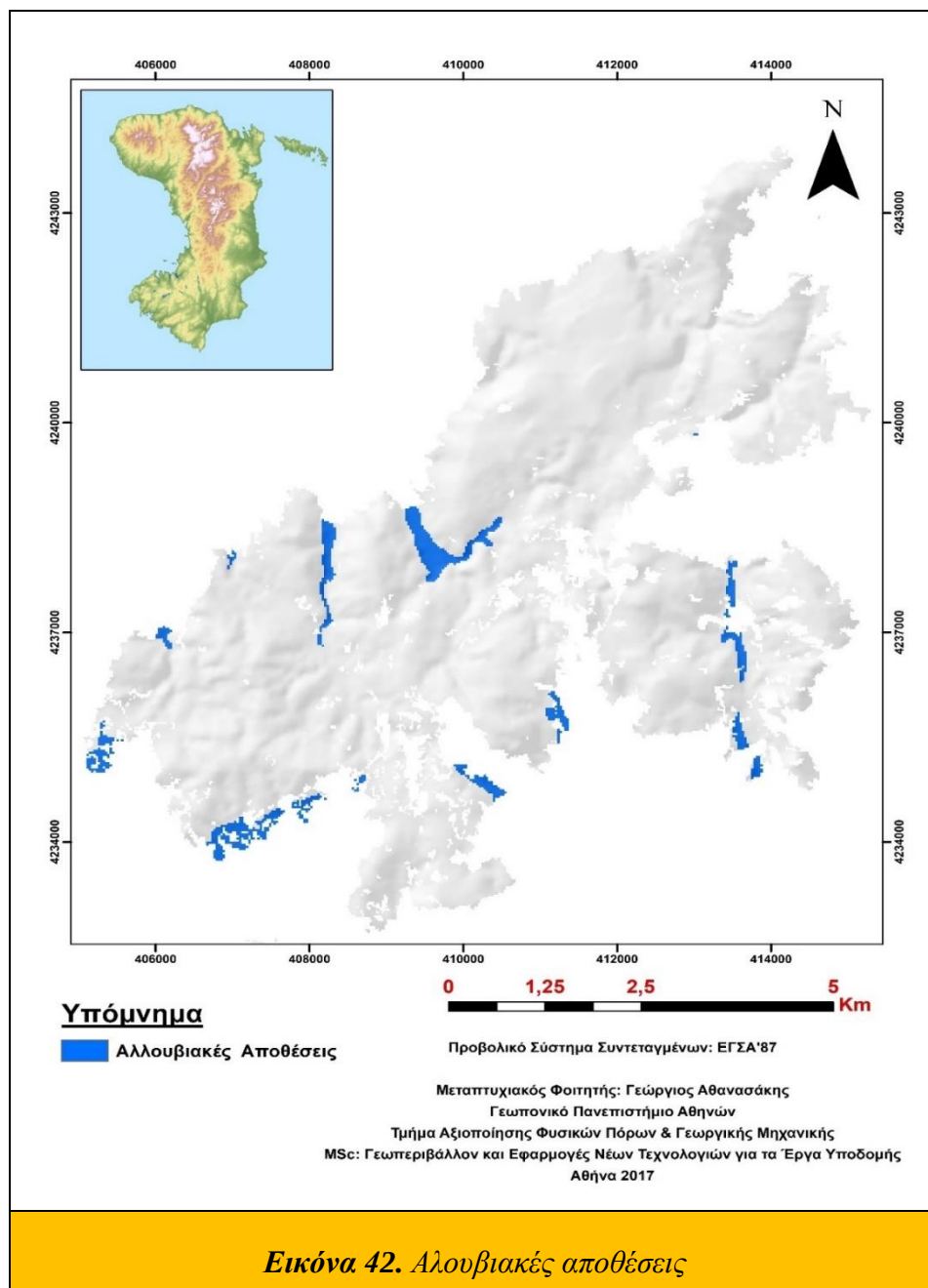
6.7 Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI σε τρία χρονικά σημεία σε σχέση με Γεωλογικό υπόβαθρο της πληγείσας περιοχής.

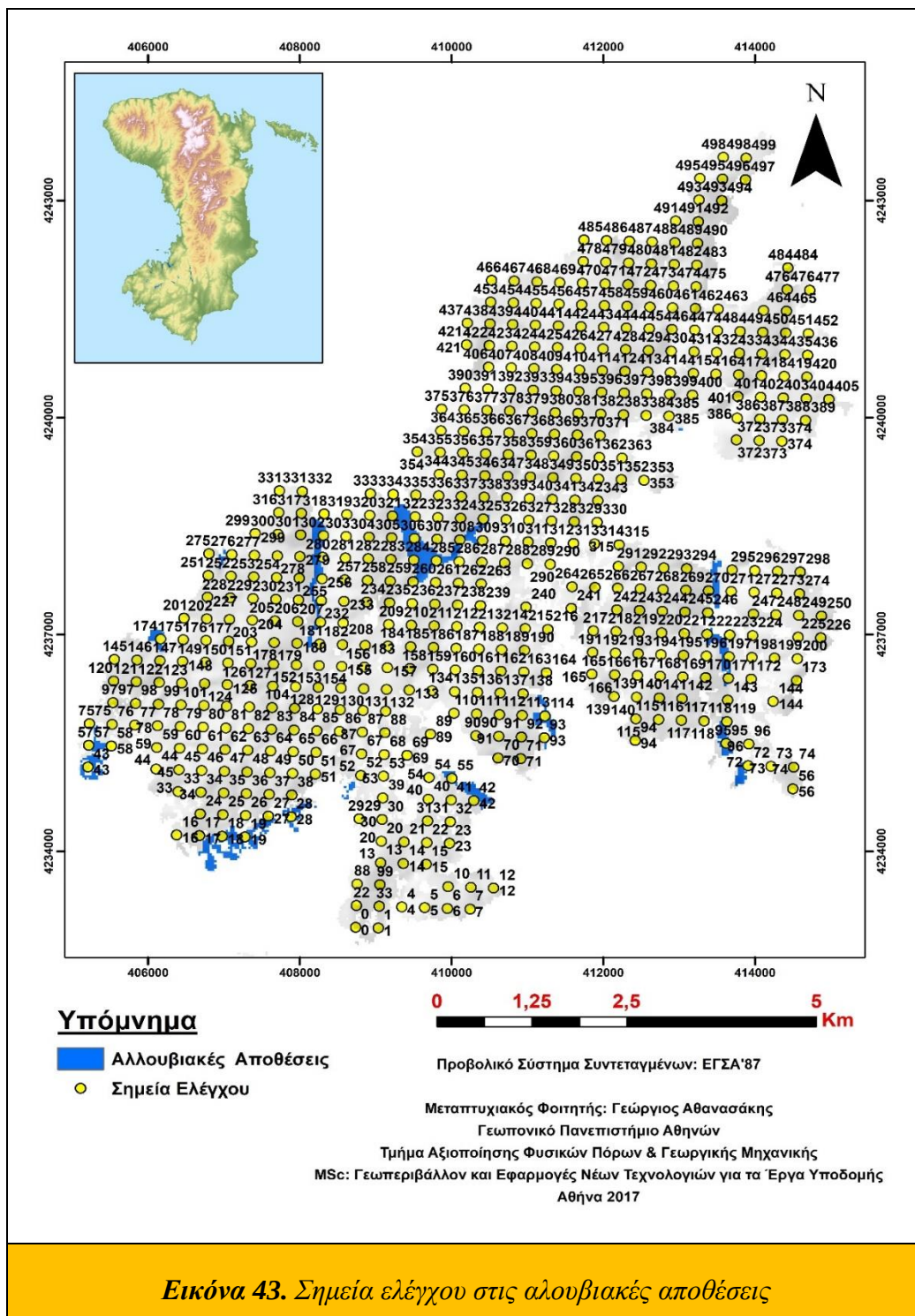
Στην πληγείσα περιοχή οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επικρατούν είναι κατά το μεγαλύτερο ποσοστό ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες), έπειτα ακολουθούν κατά το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό (κλαστικά πετρώματα). Από εκεί και ύστερά έχουμε τους κώνους κορημάτων τις αλλουβιακές αποθέσεις και τις εναλλαγές κλαστικών – ανθρακικών πετρωμάτων όπως απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη.

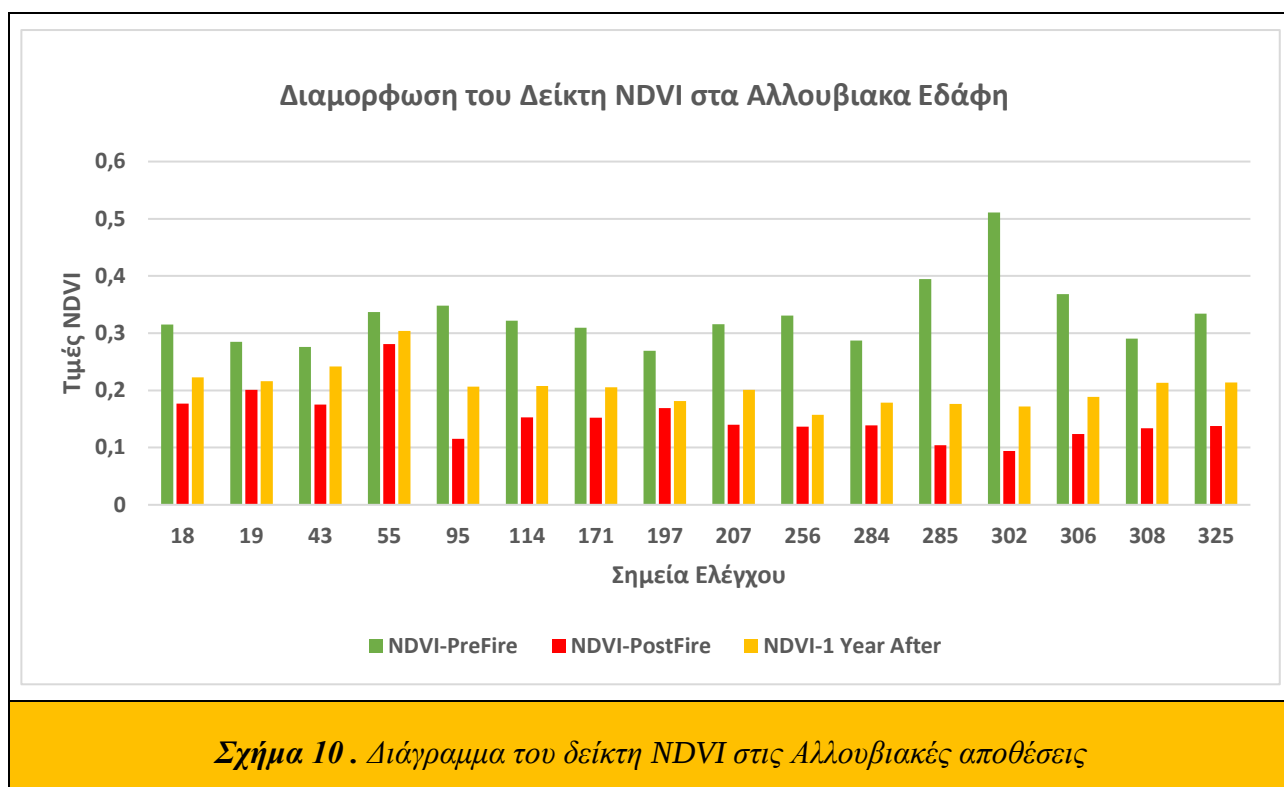


Σκοπός μας είναι να διαπιστώσουμε εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του δείκτη βλάστησης NDVI με το γεωλογικό υπόβαθρο της πληγείσας περιοχής. Στην παρούσα φάση πάλι θα χρησιμοποιήσουμε τα 500 σημεία ελέγχου επάνω σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό ξεχωριστά και να δούμε πως διαμορφώνονται οι τιμές του δείκτη στις τρεις χρονικές περιόδους (πριν, μετά και ένα χρόνο μετά).

6.7.1 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στα Αλλουβιακά εδάφη



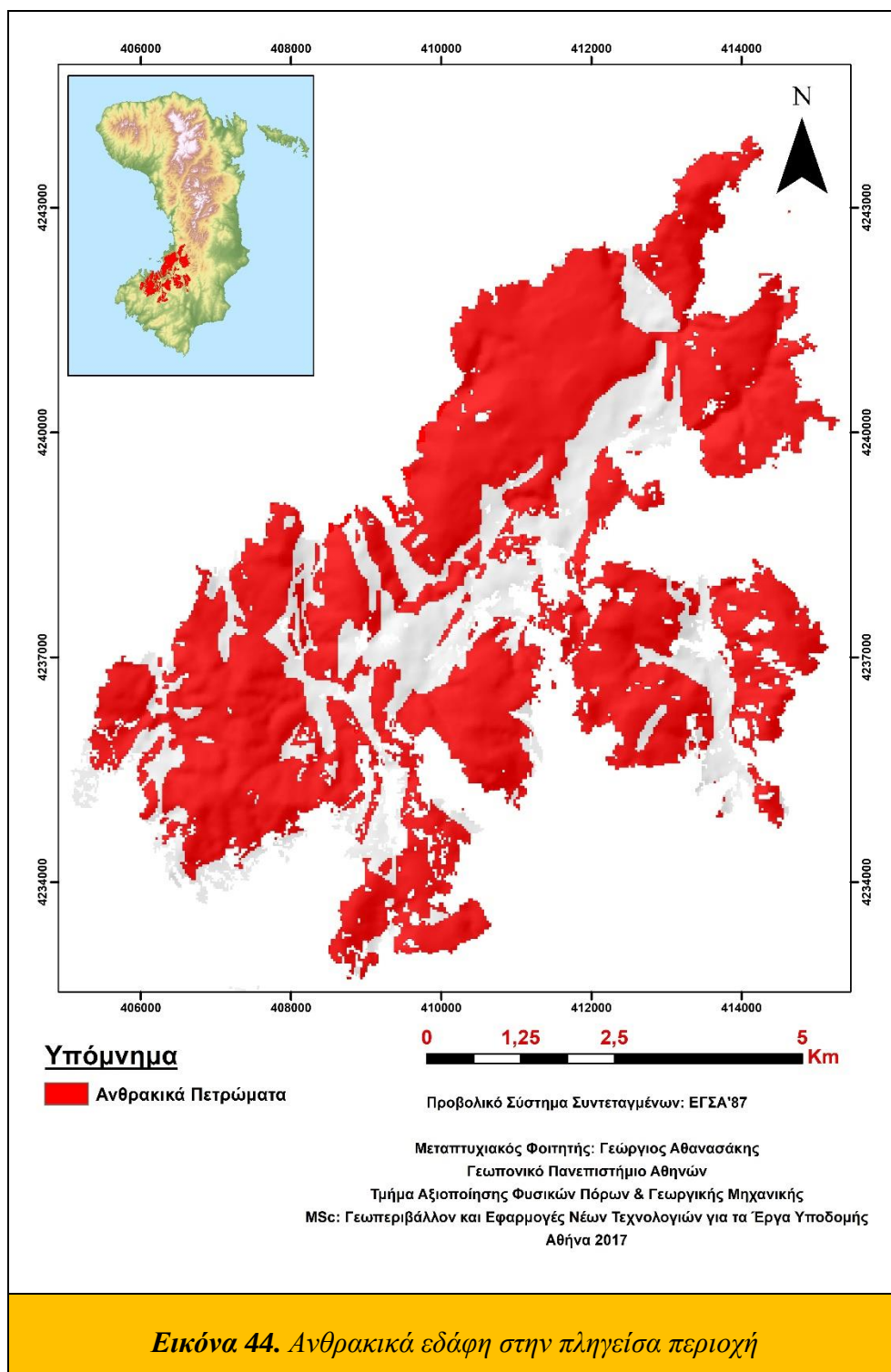


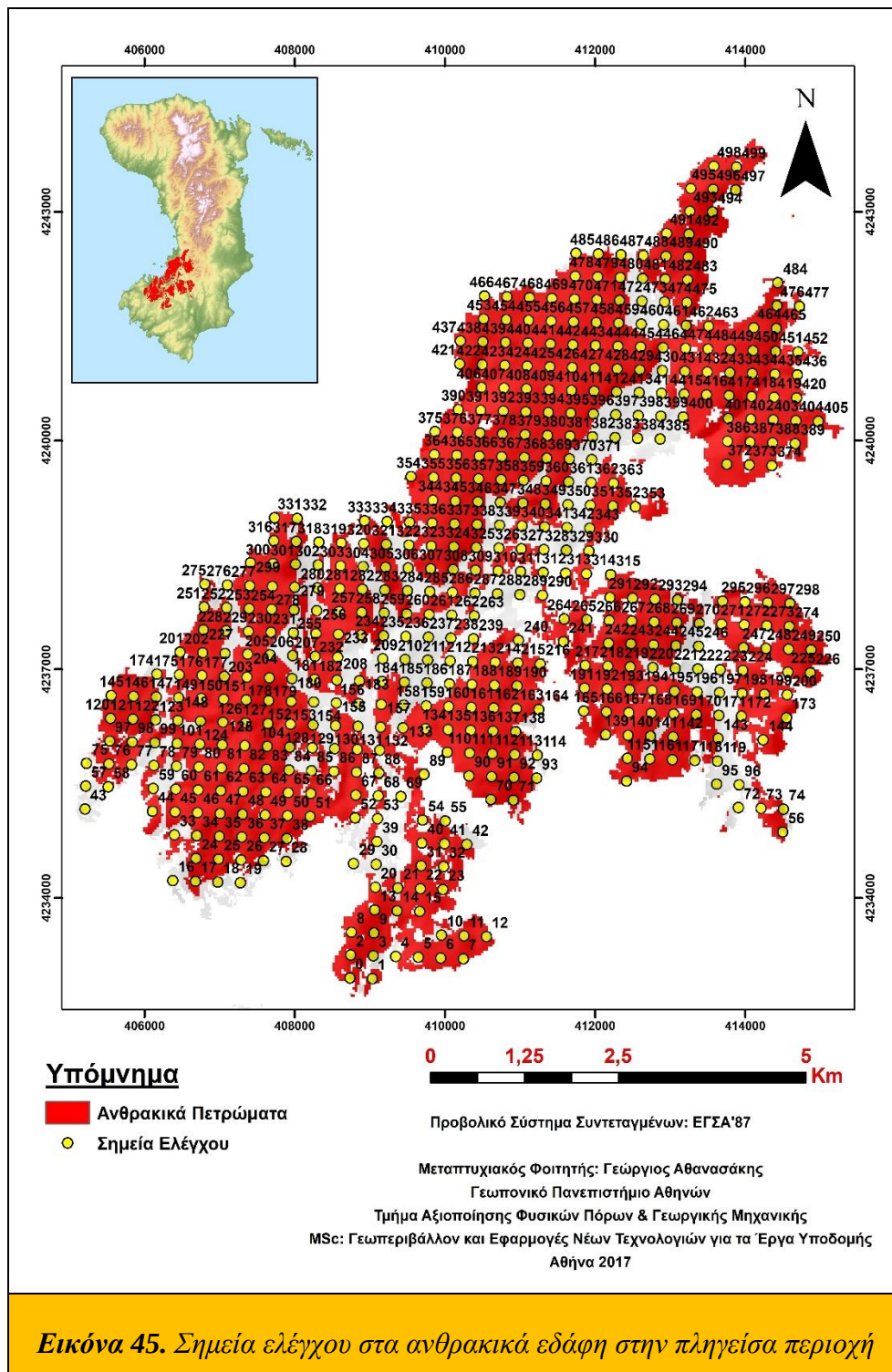


Σχήμα 10 . Διάγραμμα του δείκτη NDVI στις Αλλουβιακές αποθέσεις

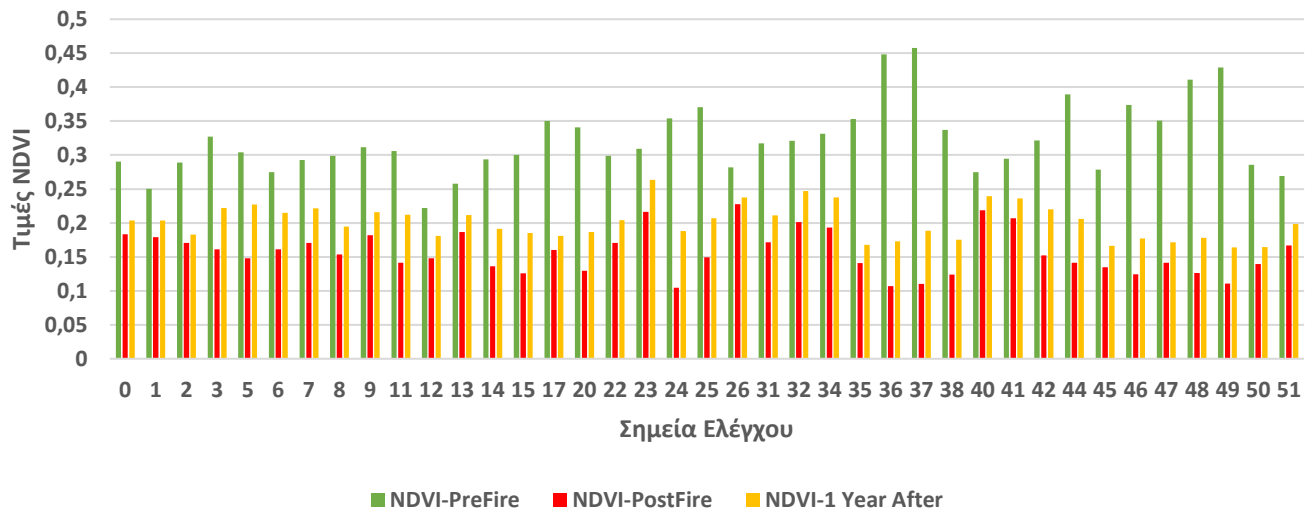
6.7.2 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στα ανθρακικά εδάφη

Τα ανθρακικά εδάφη είναι πολύ ευάλωτα σε έντονες καιρικές συνθήκες και πυρκαγιές, η αποκατάσταση της βλάστησης αποκαθίσταται με αργούς ρυθμούς και σε κάποιες περιπτώσεις η κατάσταση είναι μη αναστρέψιμη.

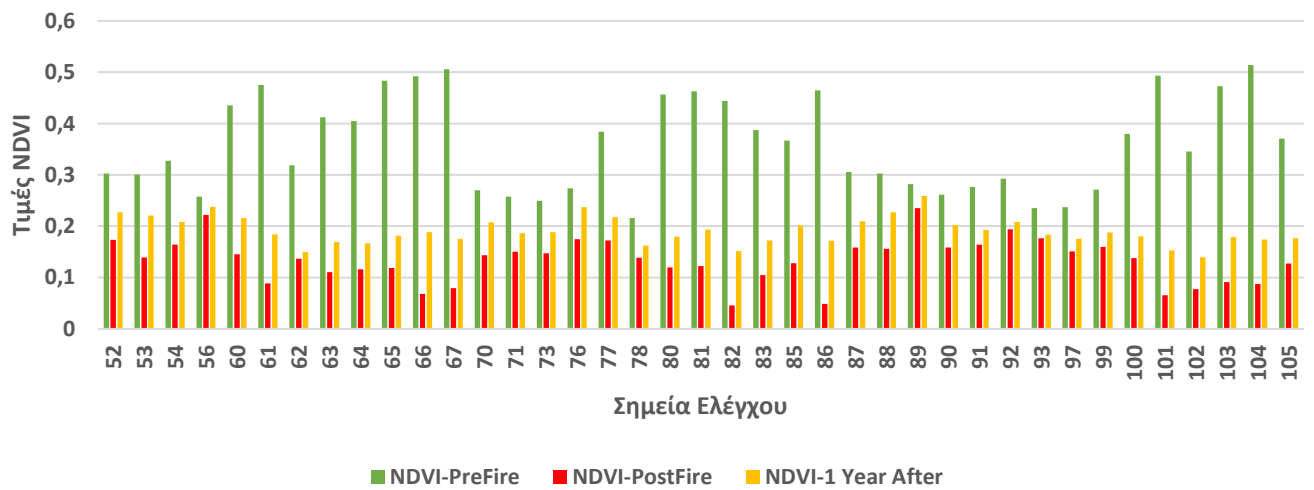




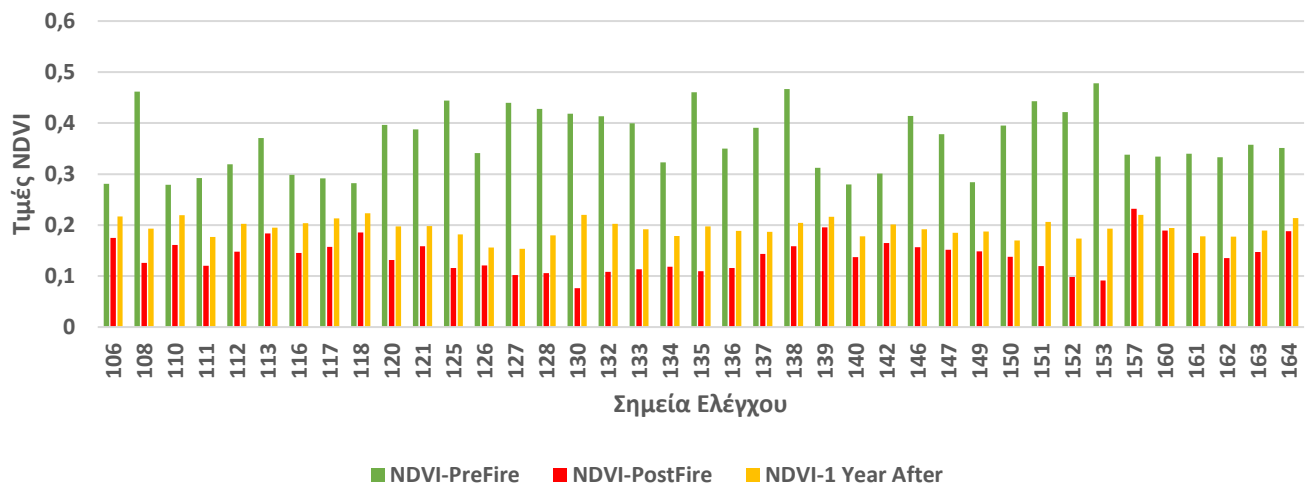
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



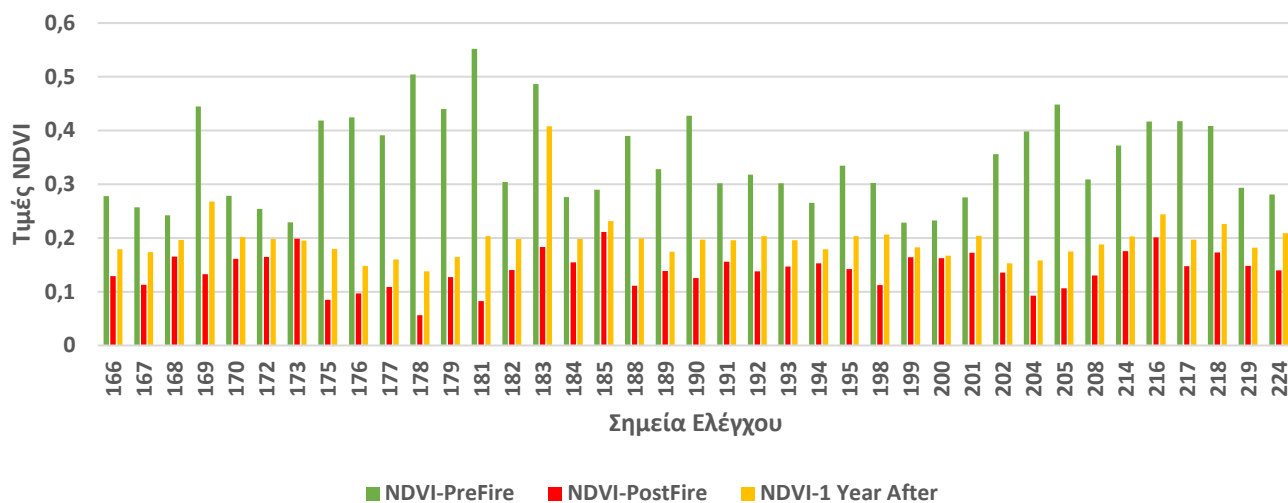
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



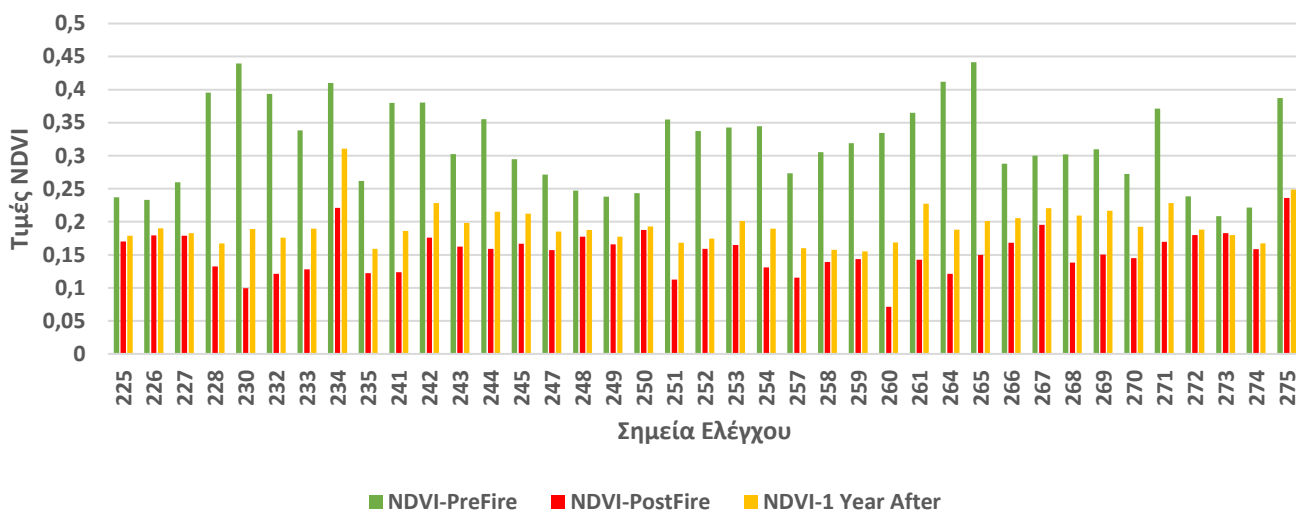
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



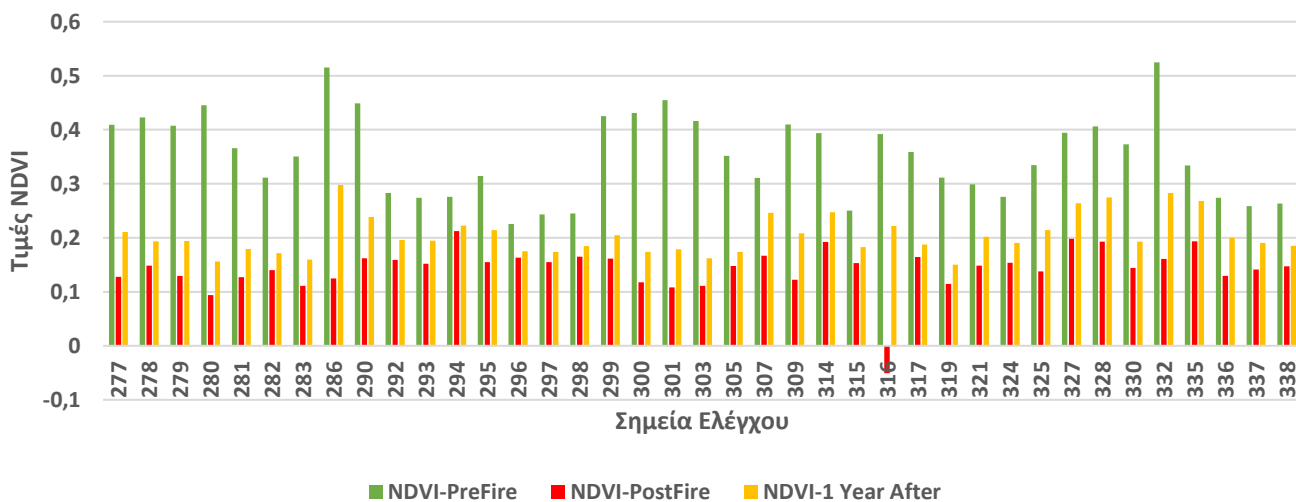
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



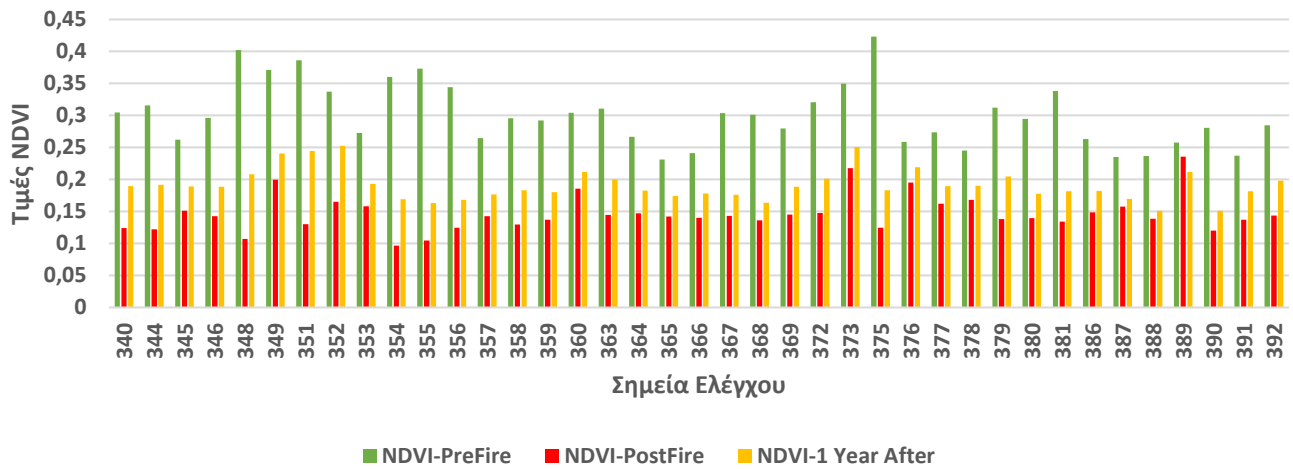
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



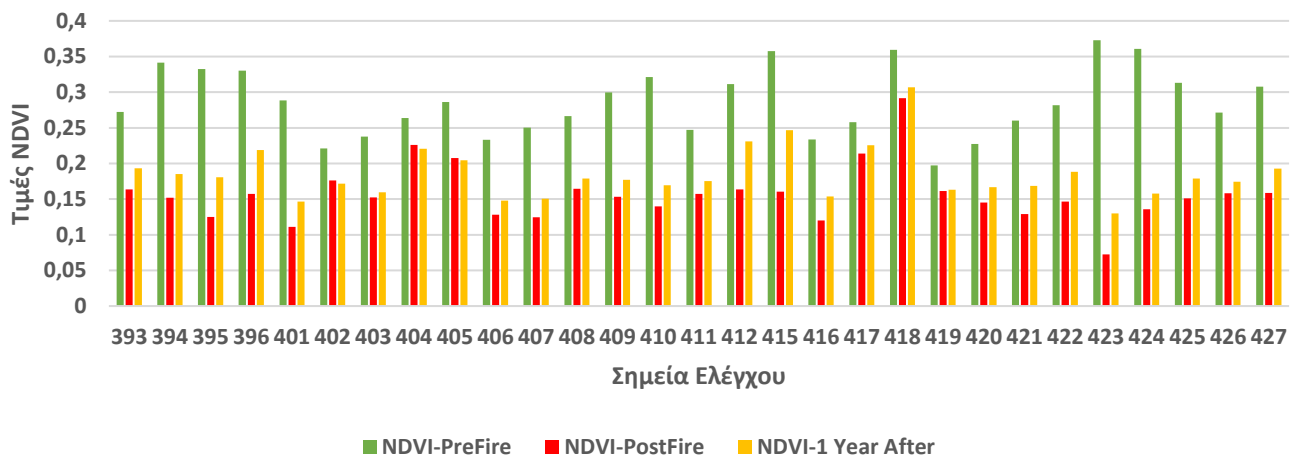
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



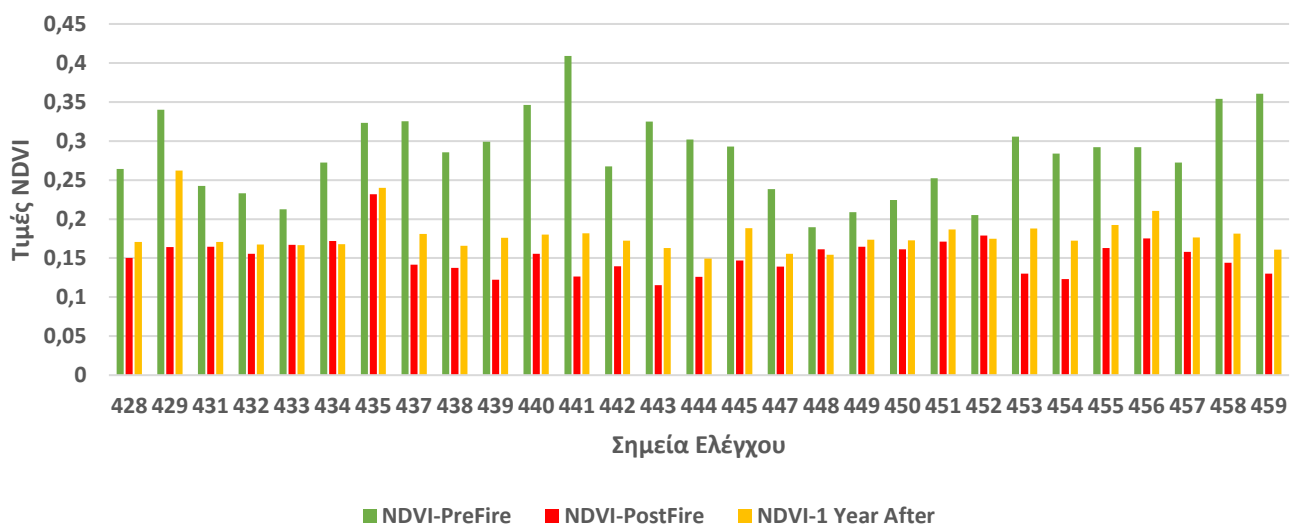
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα

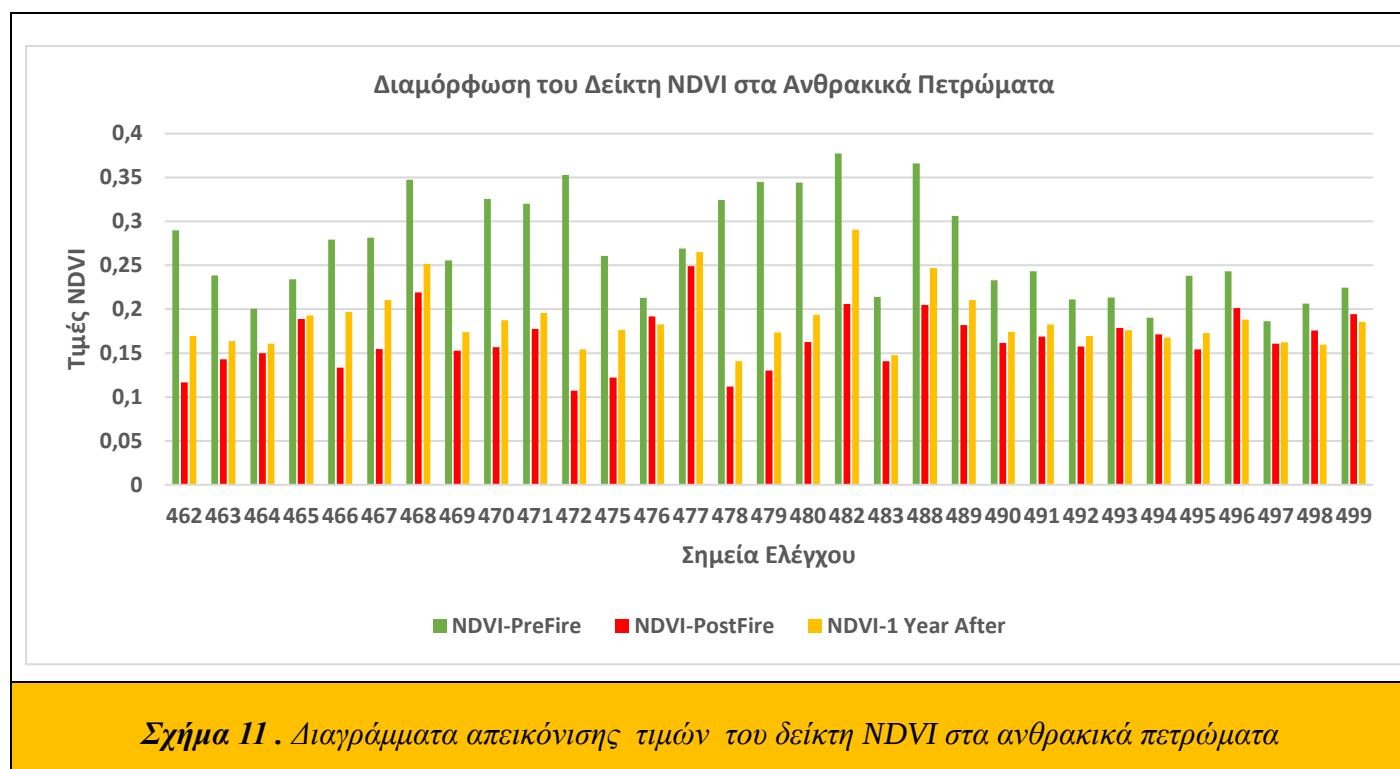


Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI στα Ανθρακικά Πετρώματα



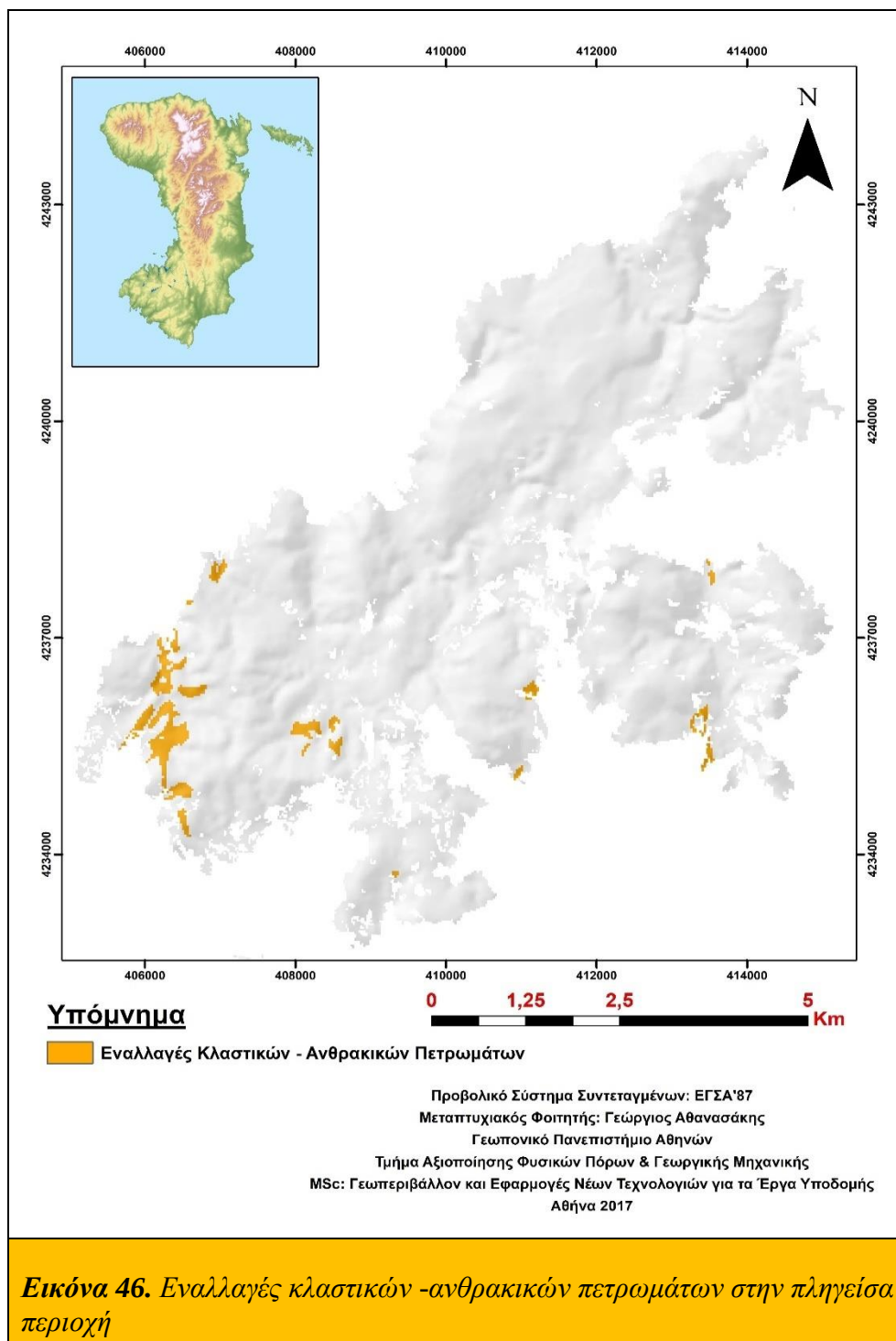
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI τα Ανθρακικά Πετρώματα

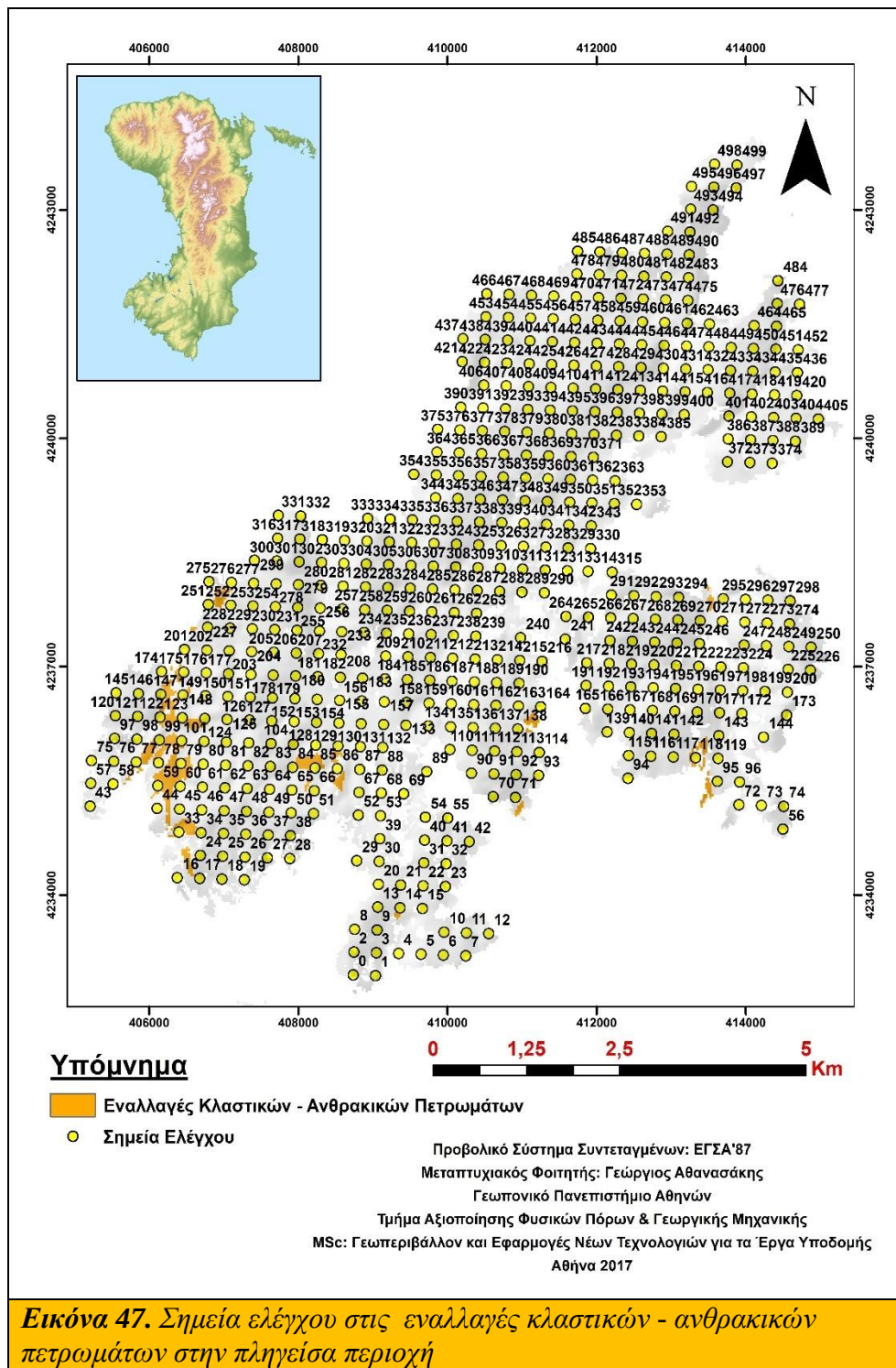


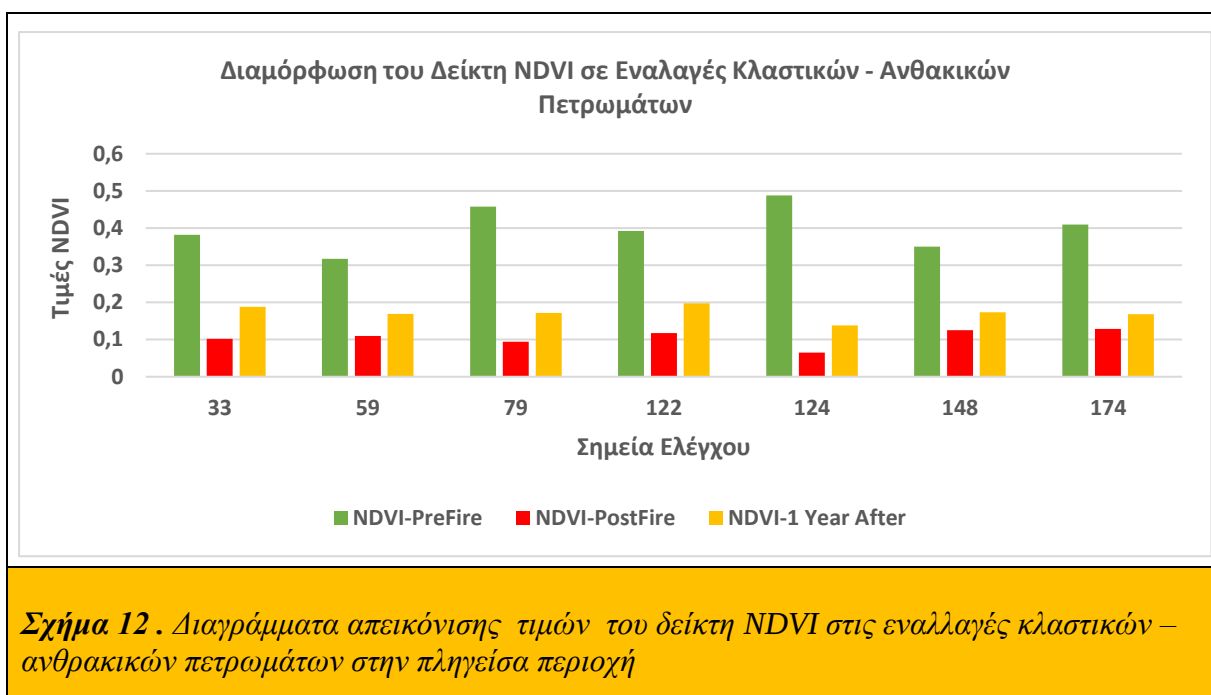


Σχήμα 11 . Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στα ανθρακικά πετρώματα

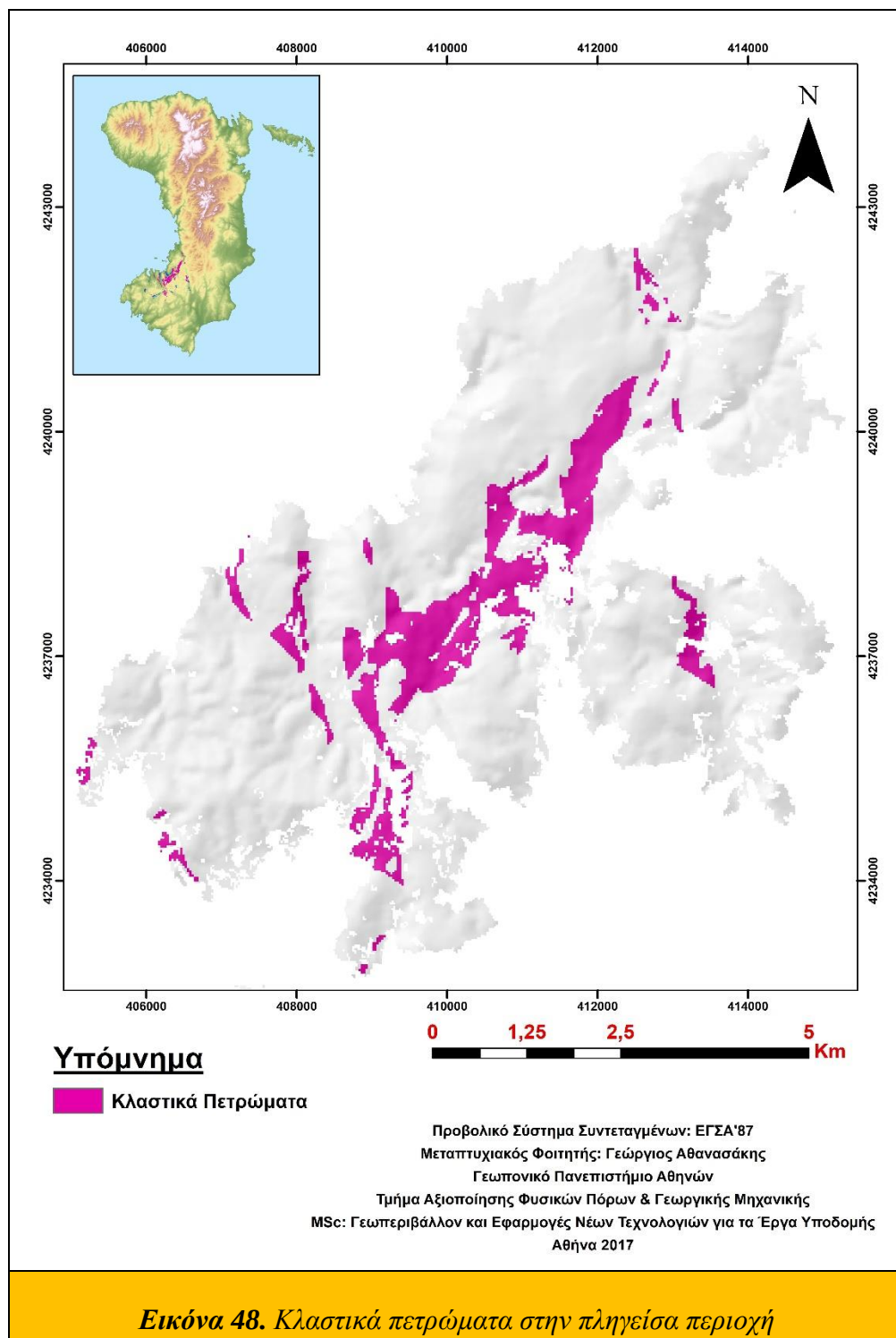
6.7.3 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στις εναλλαγές κλαστικών και ανθρακικών πετρωμάτων

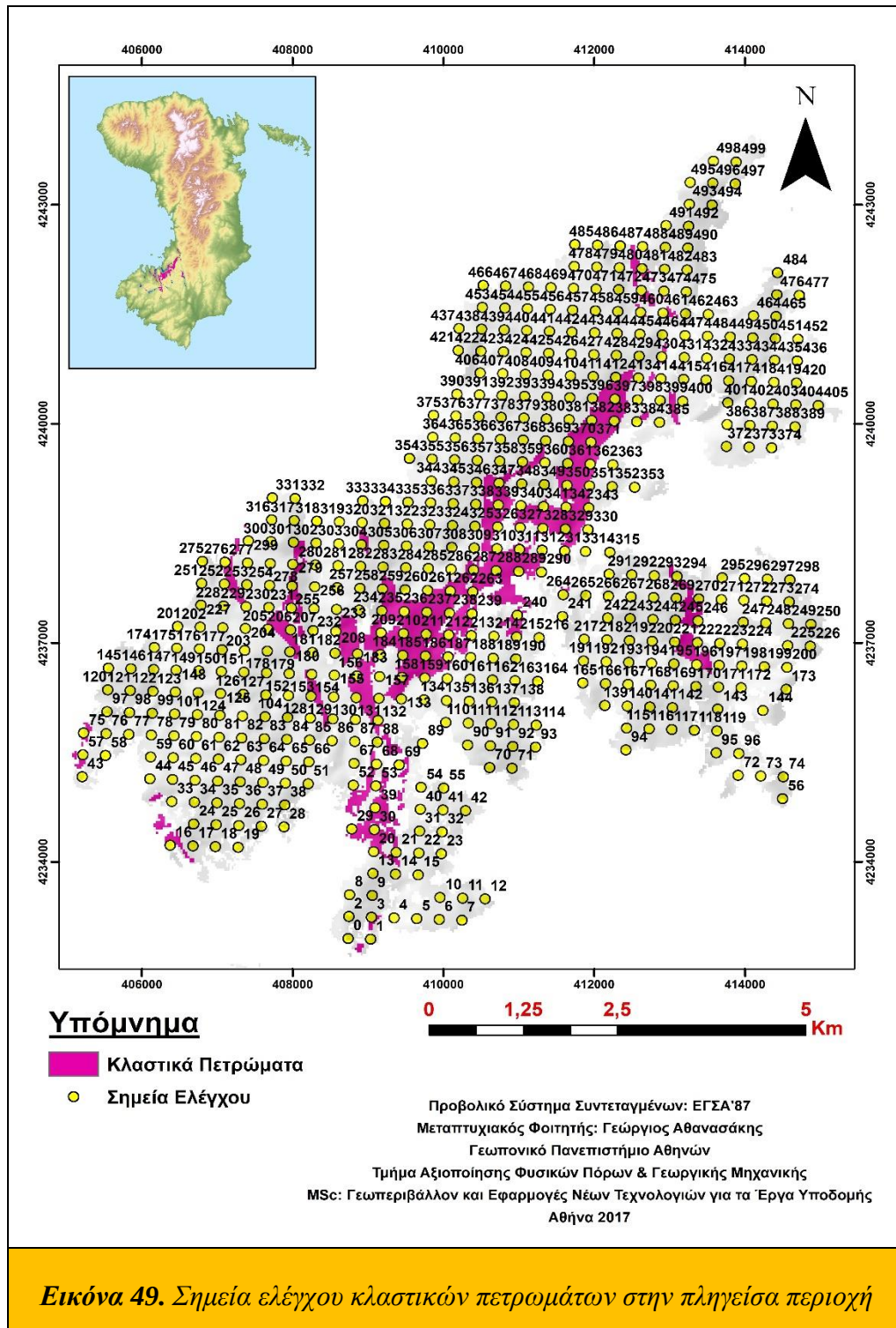




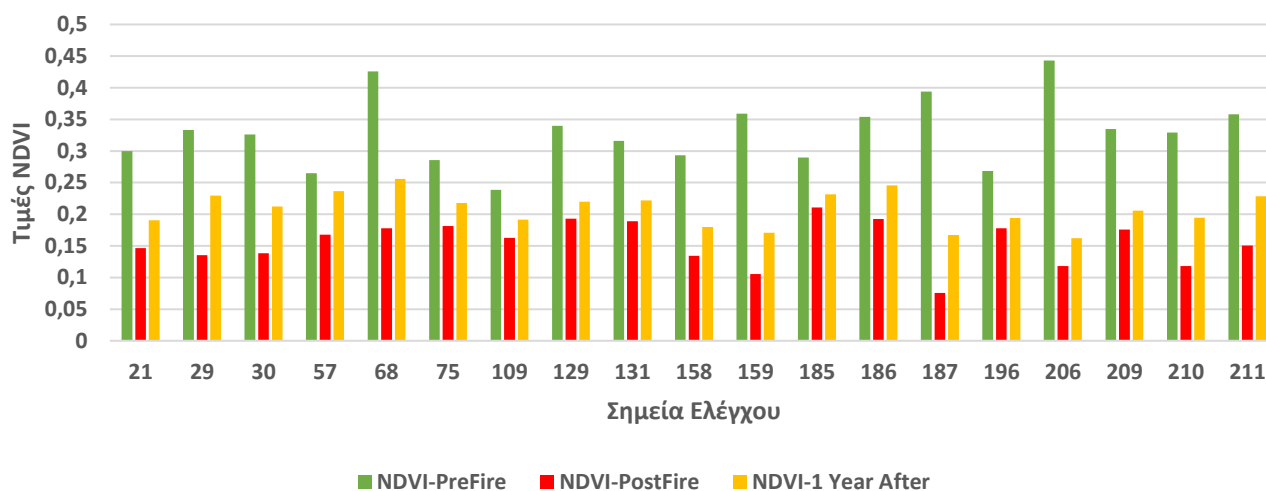


6.7.4 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στα κλαστικά πετρώματα

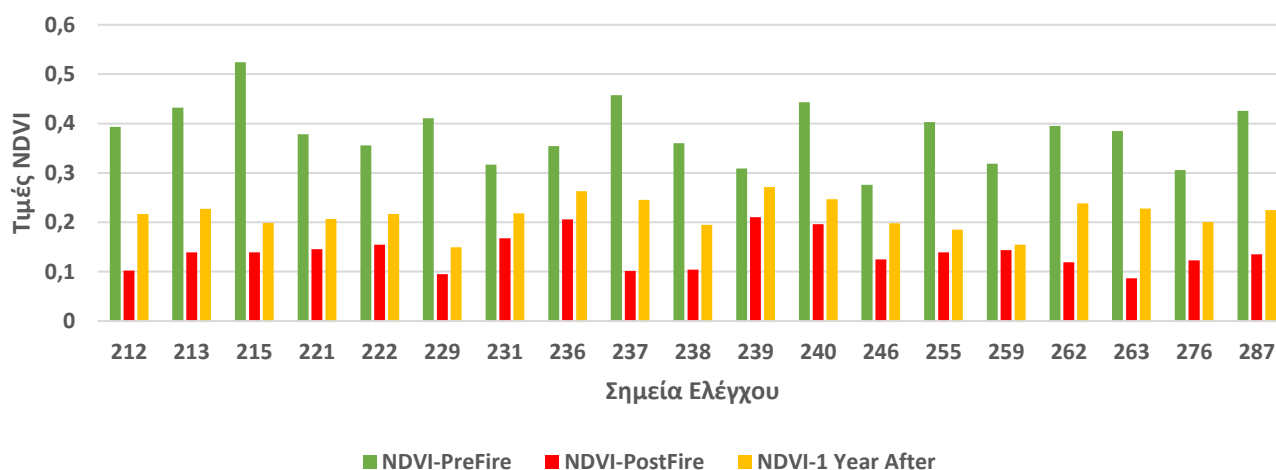




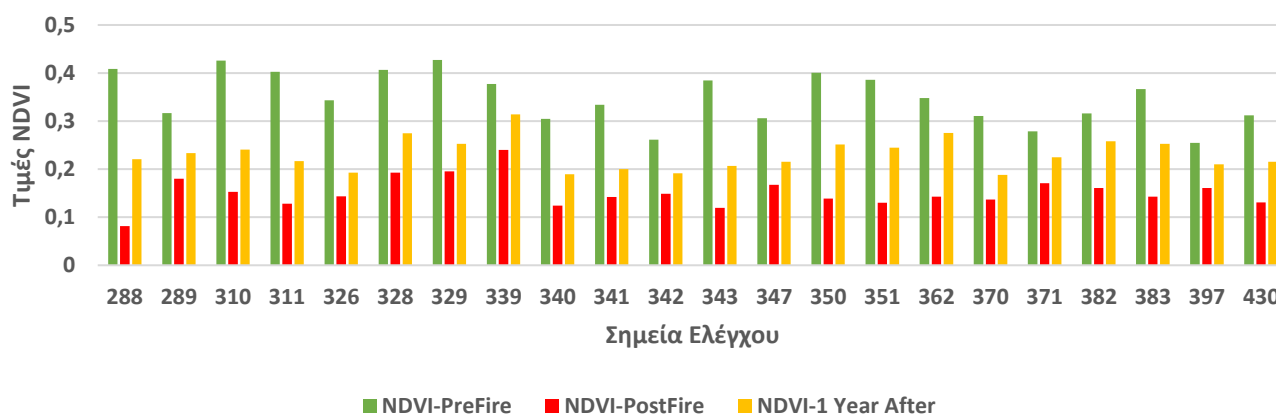
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI σε Κλαστικά Πέτρωματα



Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI σε Κλαστικά Πετρώματα

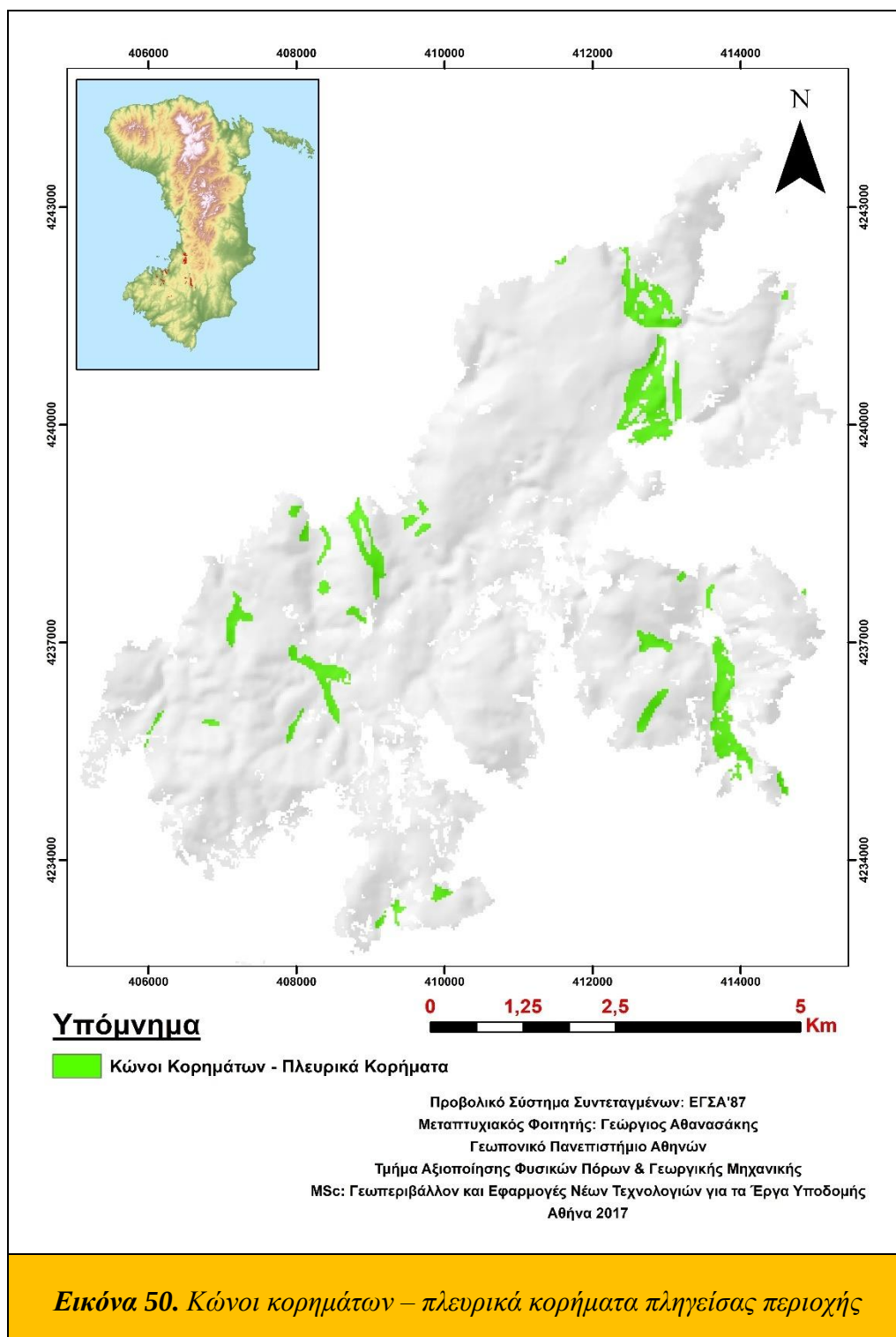


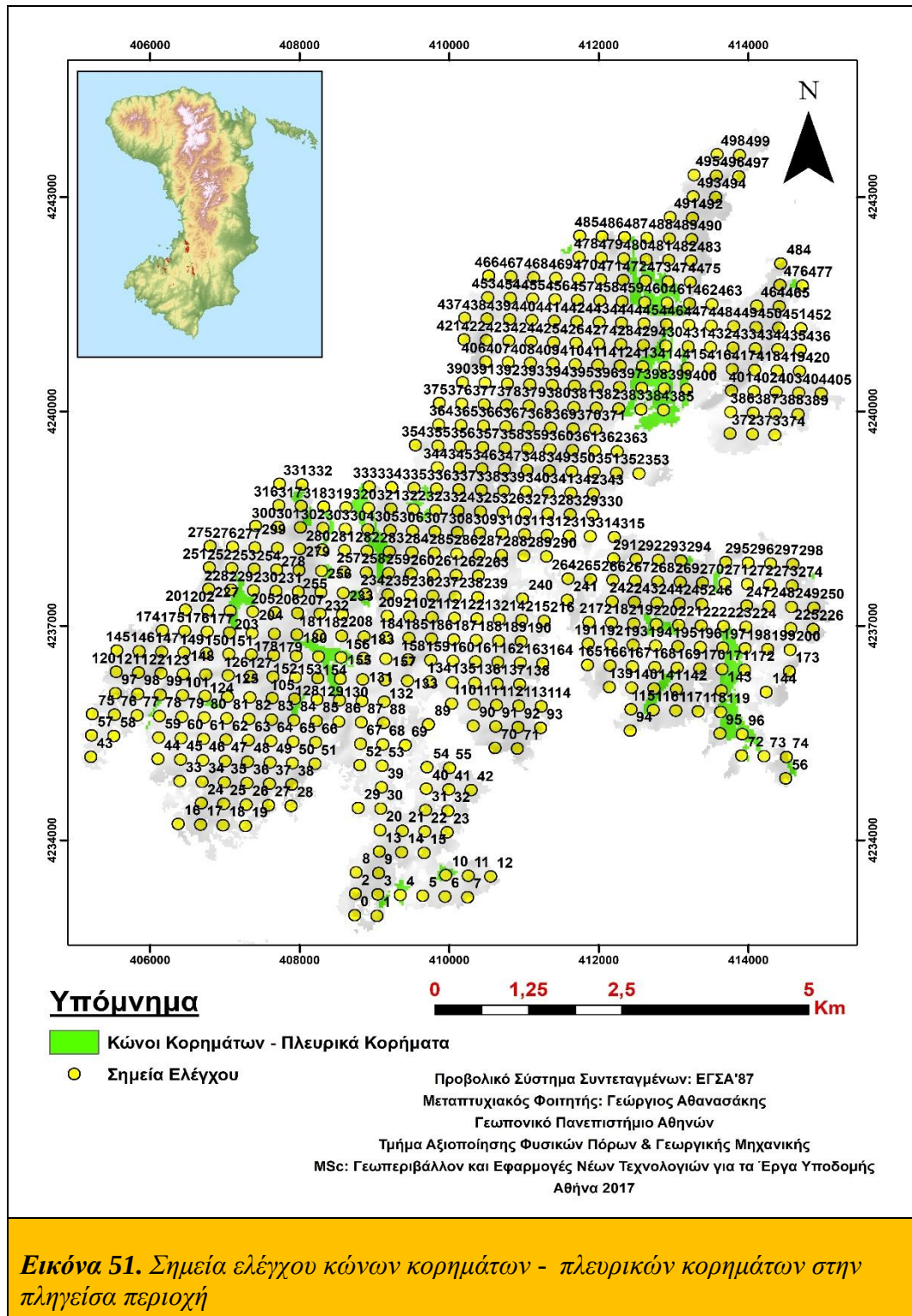
Διαμόρφωση του Δείκτη NDVI σε Κλαστικά Πετρώματα

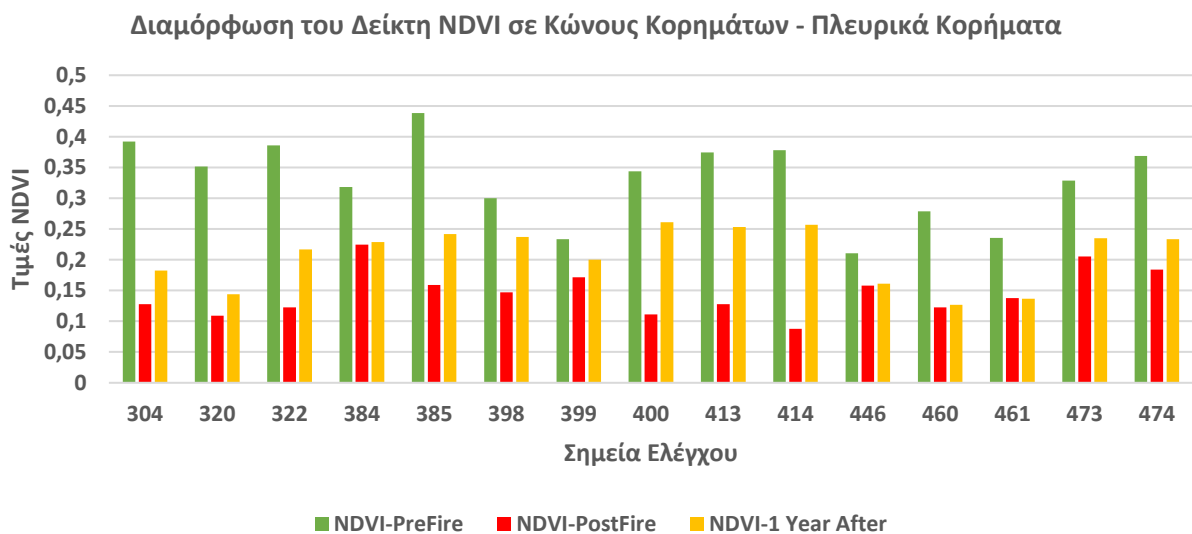
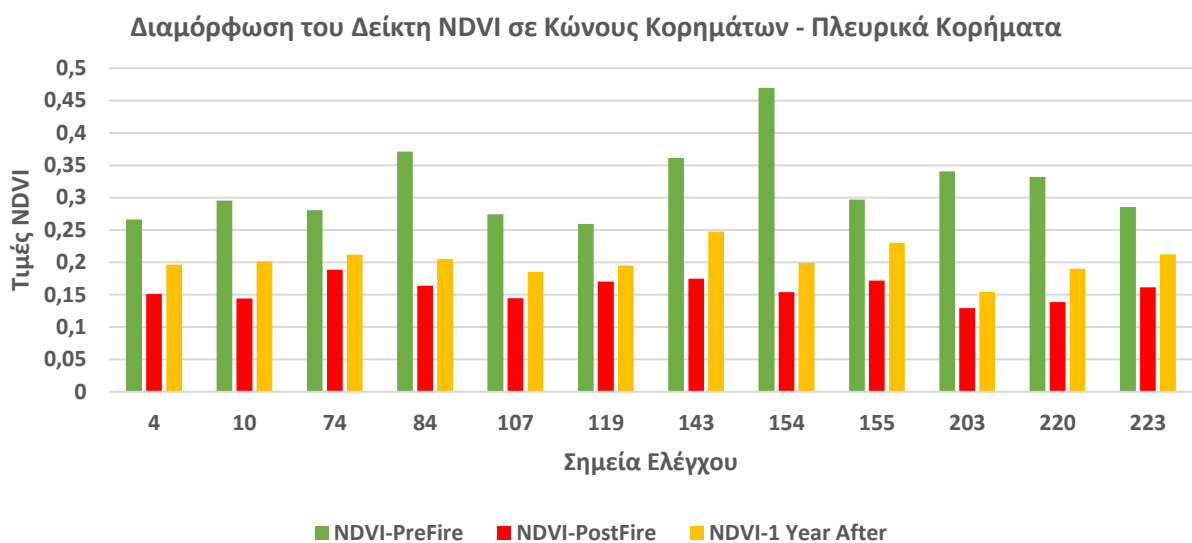


Σχήμα 13 . Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στα κλαστικά πετρώματα στην πληγείσα περιοχή

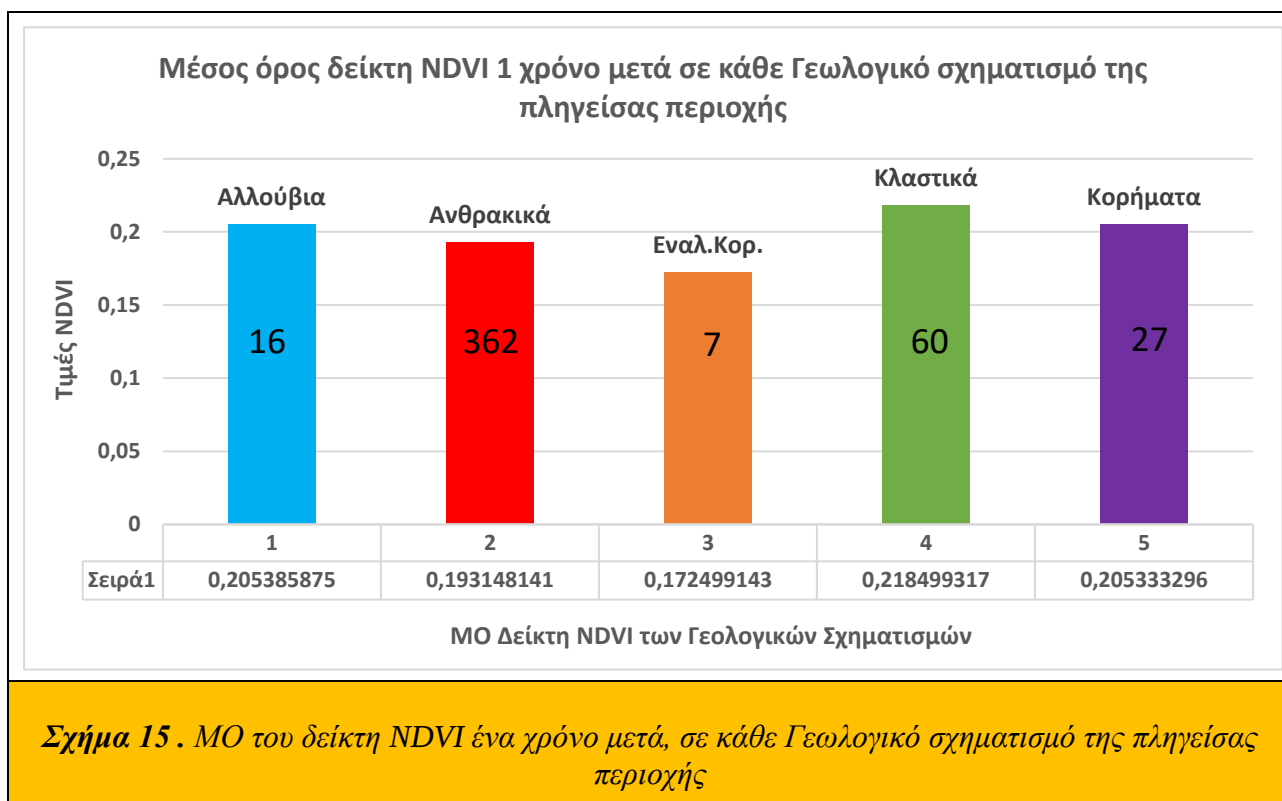
6.7.5 Δειγματοληψία του δείκτη NDVI στους κώνους κορημάτων – πλευρικά Κορήματα







Σχήμα 14. Διαγράμματα απεικόνισης τιμών του δείκτη NDVI στους κώνους κορημάτων – πλευρικά κορήματα στην πληγείσα περιοχή



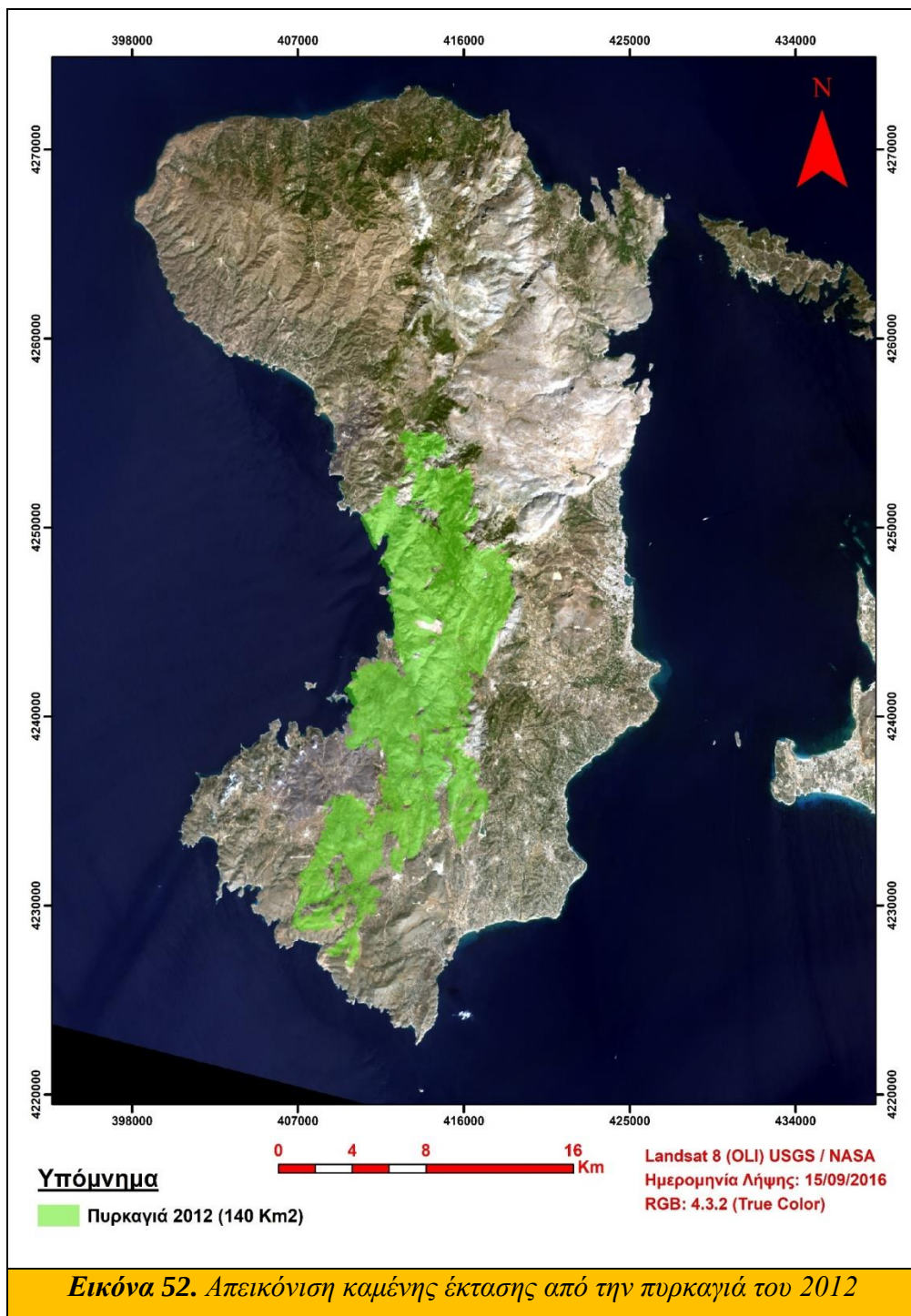
6.8 Αποτελέσματα

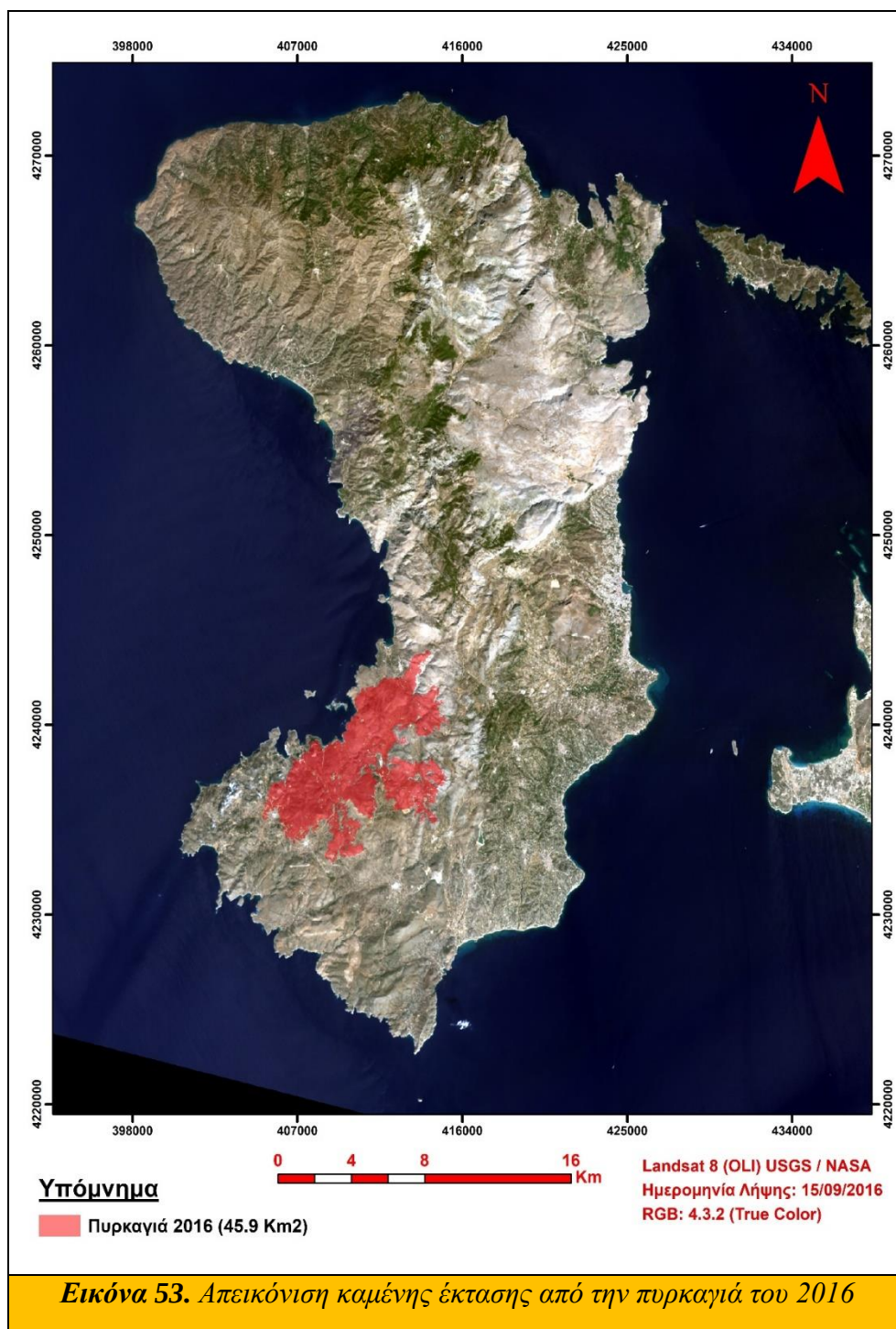
Όσον αφορά την γεωλογία της πληγείσας περιοχής, έπειτα από τις μετρήσεις από τον δειγματοληπτικό έλεγχο παρατηρείται πως ο δείκτης βλάστησης NDVI παρουσιάζει υψηλότερες τιμές σε κλαστικά εδάφη και τις χαμηλότερες στις εναλλαγές κορημάτων και τα ανθρακικά.

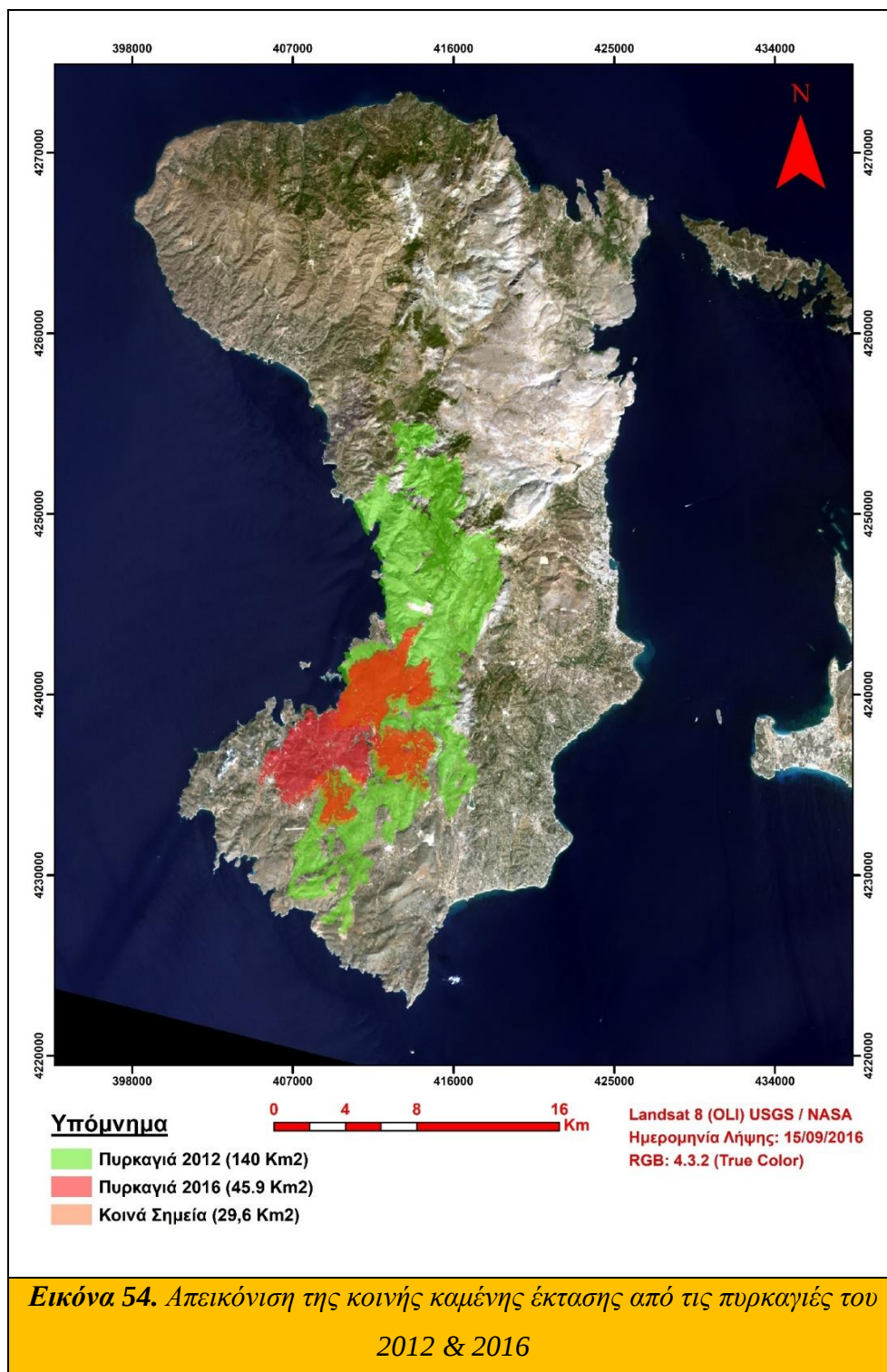
Επίσης, η διερεύνηση του δείκτη βλάστησης σε σχέση με την γεωλογία της καμένης έκτασης θα πρέπει να συνεχιστεί για τα επόμενα 3 – 4 χρόνια για να έχουμε ένα τεκμηριωμένο επιστημονικό αποτέλεσμα με σκοπό να βγάλουμε τα τελικά συμπεράσματά μας. Αν και για πιο ορθά αποτελέσματα θα πρέπει να γίνουν παρόμοιες έρευνες και σε άλλες περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιές με παρόμοιο γεωλογικό υπόβαθρο ώστε μέσα από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων να βγει κάποιο συμπέρασμα για το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει το γεωλογικό υπόβαθρο στον ρυθμό αναγέννησης της βλάστησης.

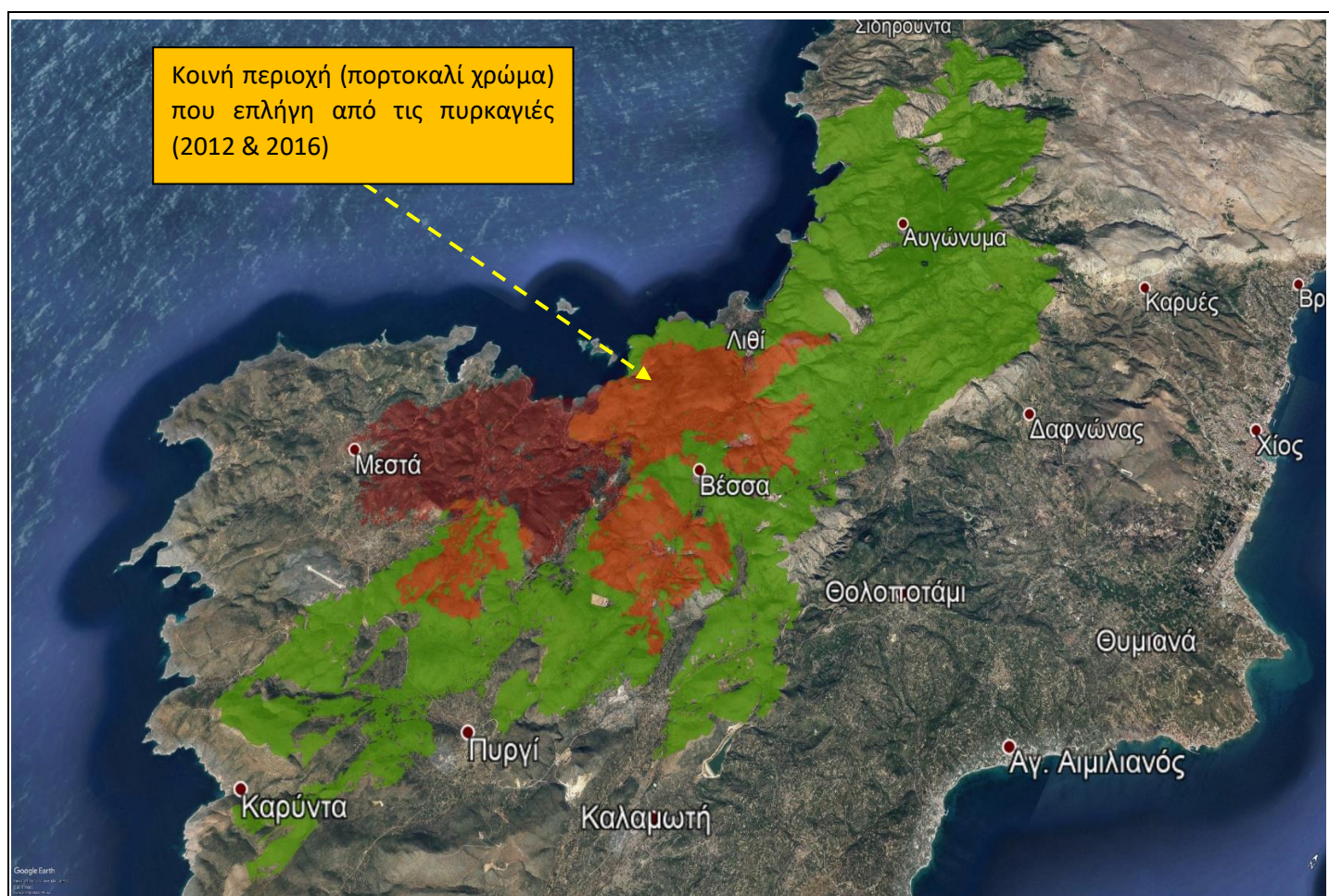
6.8.1 Κοινή περιοχή που επλήγη 2 φορές από τις πυρκαγιές του 2012 & 2016

Δυστυχώς η πυρκαγιά του 2016 στο νότιο τμήμα της Χίου στα Μαστιχοχώρια έκαψε τμήμα (έκτασης 29,6 Km²) της περιοχής που είχε ξανά πληγεί μερικά χρόνια πριν από την καταστροφική πυρκαγιά του 2012 όπου ξεκίνησε από την κεντρική Χίο και εξαπλώθηκε μέχρι το νοτιοδυτικό τμήμα φτάνοντας μέχρι την θάλασσα. Δυστυχώς η πυρκαγιά του 2012 κατέκαψε περίπου 140.000 στρέμματα. Αυτό που αξίζει να μελετήσουμε είναι τον ρυθμό αναβλάστησης στην 2 φορές καμένη περιοχή σε πολύ μικρό διάστημα 4 χρόνων. Μέσα από τα σημεία ελέγχου που κάναμε τους δειγματοληπτικούς ελέγχους στην πληγείσα περιοχή θα μελετήσουμε τον ρυθμό εξέλιξης της αναβλάστησης μεταξύ της περιοχής που κάηκε για πρώτη φορά και της περιοχής που επλήγη για 2ή φορά.

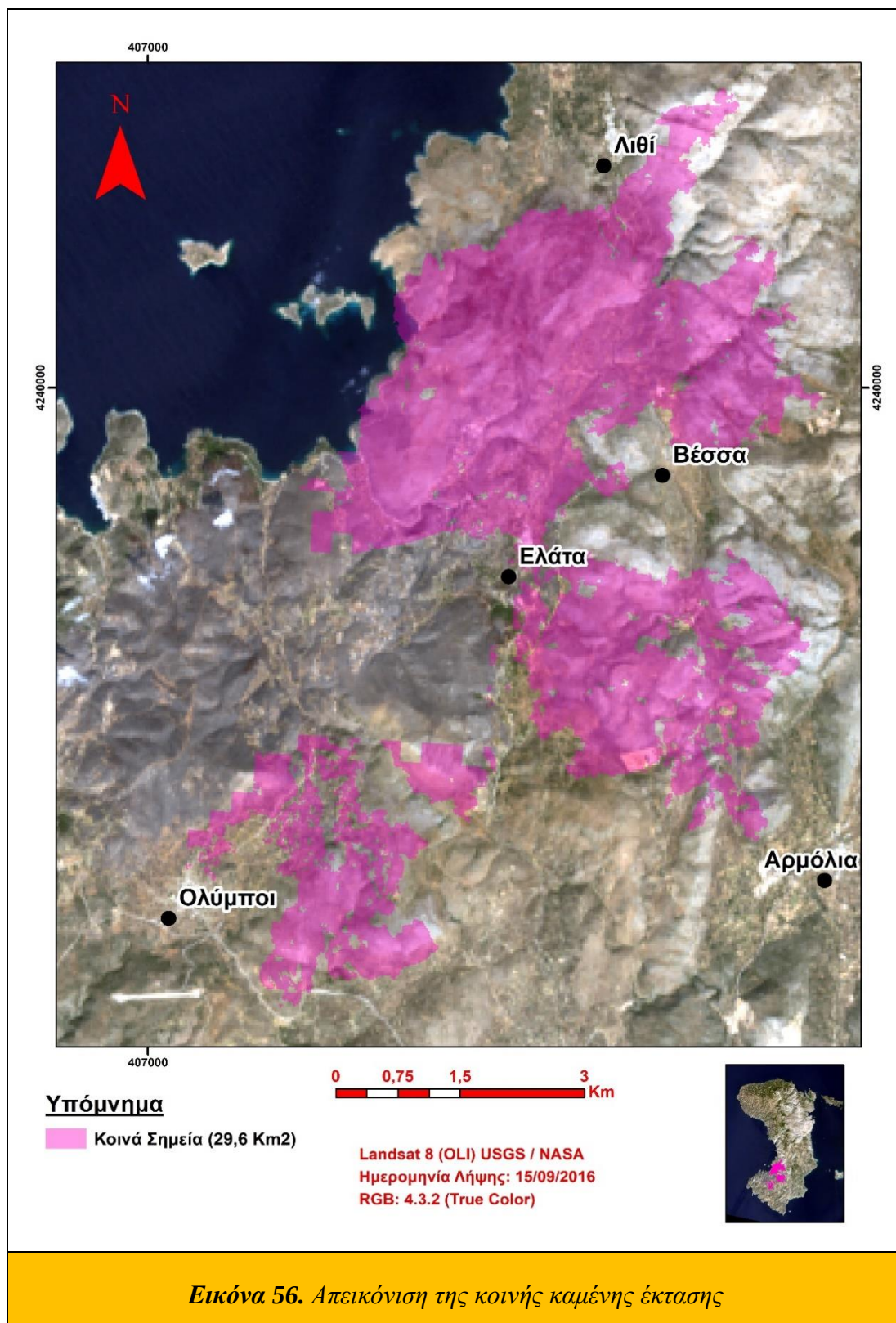


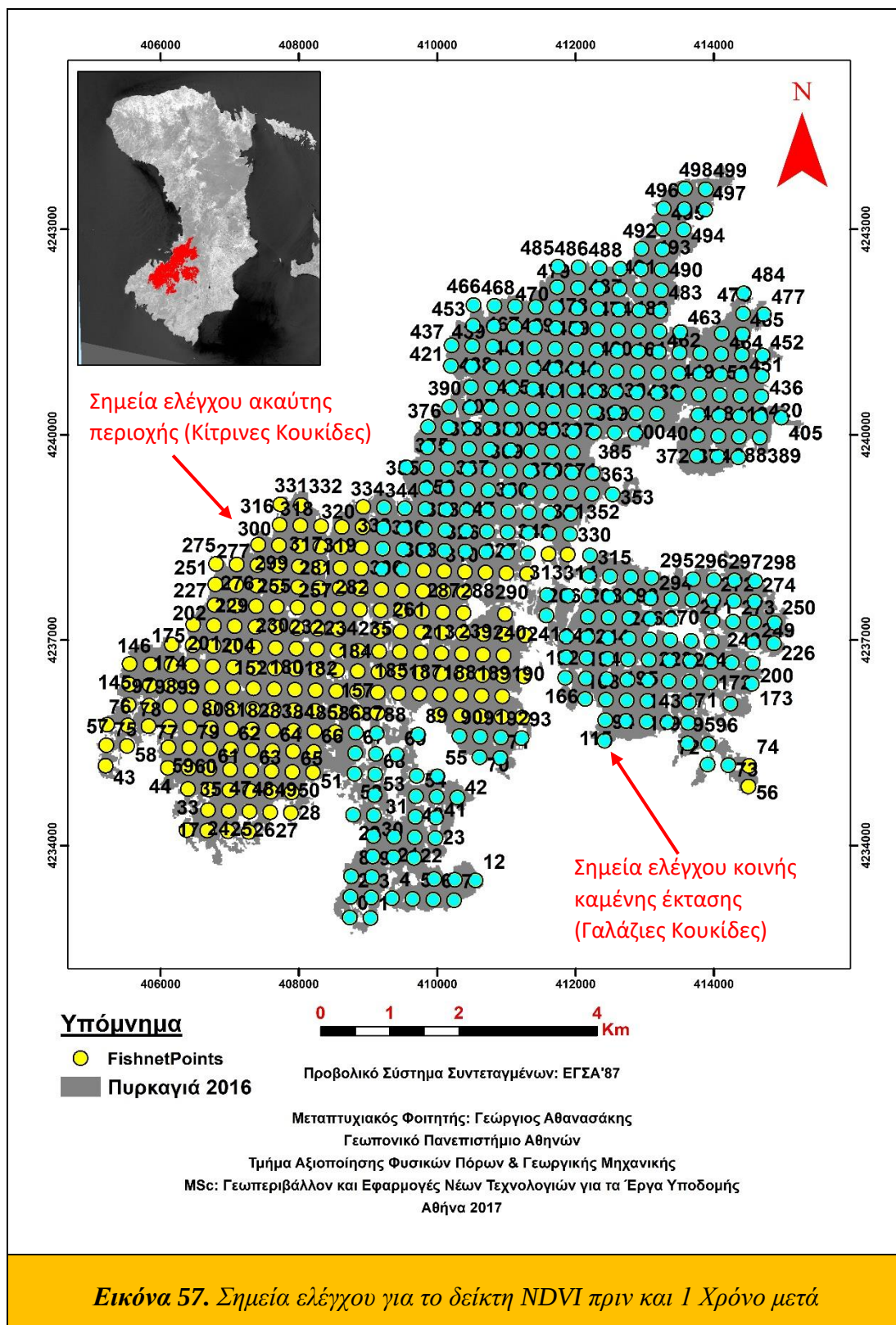


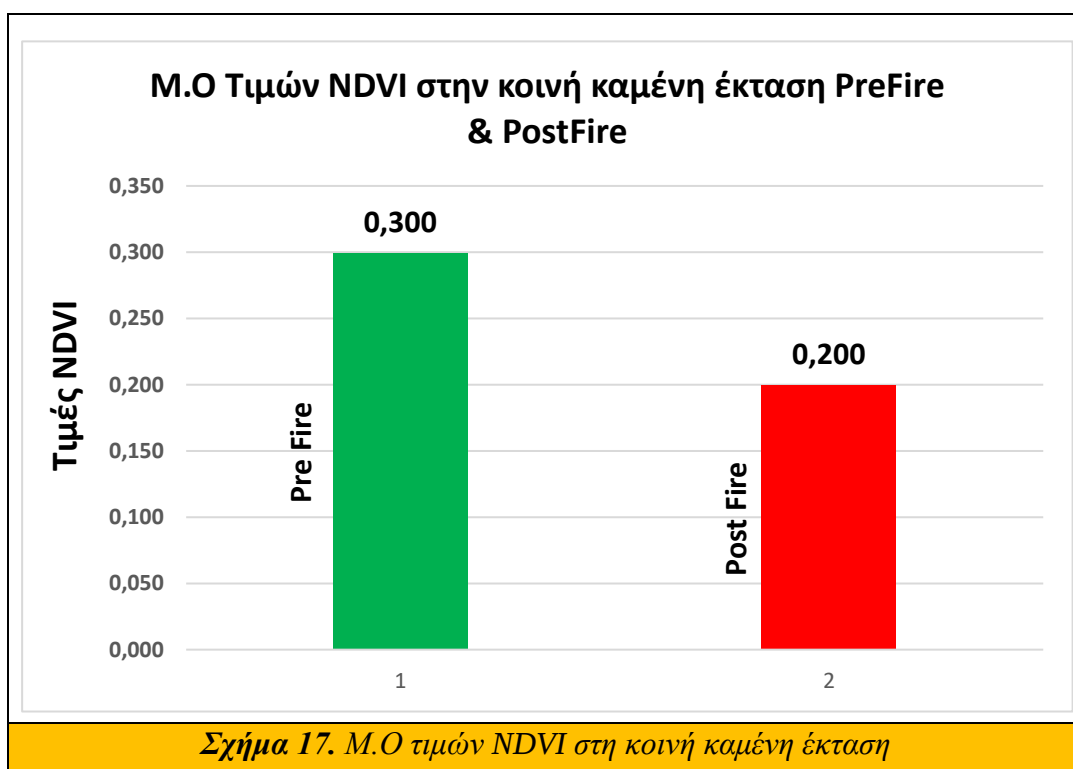
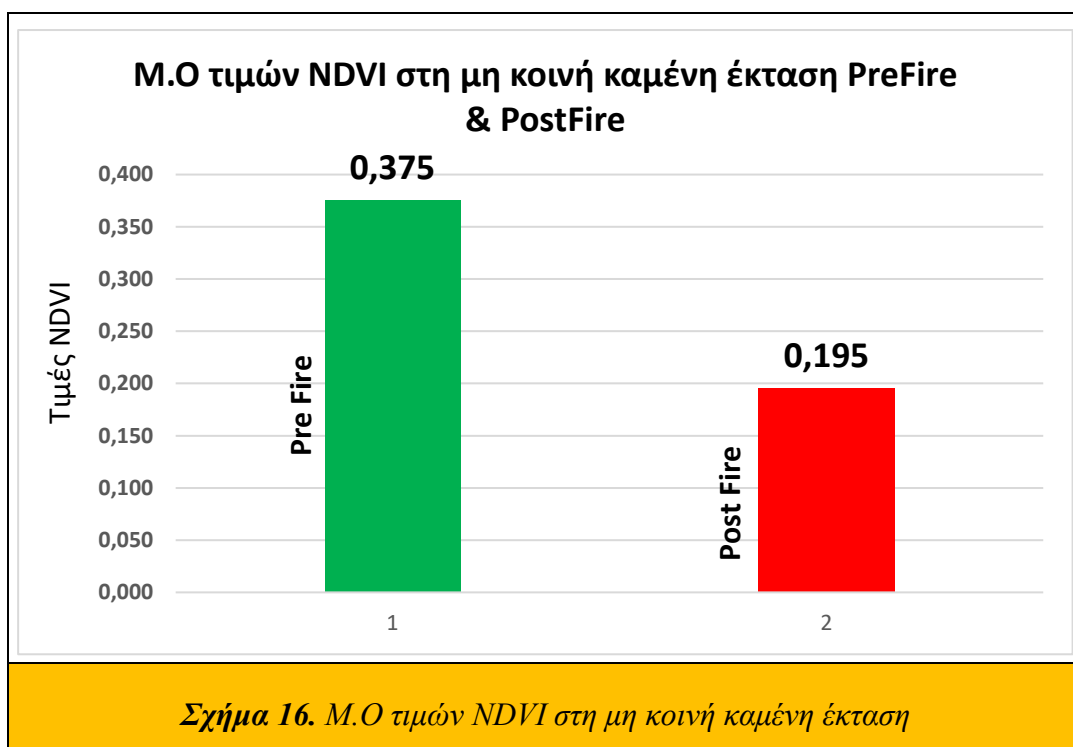




Εικόνα 55. Απεικόνιση καμένης περιοχής κοινών σημείων από τις πυρκαγιές 2012 – 2016 σε αρχείο KML







6.9 Αποτελέσματα

Παρατηρούμαι πως τα κοινά εδάφη που επλήγησαν δύο φορές μέσα σε χρονικό διάστημα 4 ετών παρουσιάζουν χαμηλότερες μέγιστες και ελάχιστες τιμές του NDVI πριν και 1 χρόνο μετά την πυρκαγιά σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη NDVI στην υπόλοιπη περιοχή που δεν είχε ξανακαεί. Θα χρειαστεί περαιτέρω επιστημονική παρακολούθηση της περιοχής που επλήγη 2 φορές, με σκοπό μελλοντικά να βγάλουμε ποσοστό επιβράδυνσης της αναγέννησης της βλάστησης στη δύο φορές καμένη περιοχή σε σχέση με την υπόλοιπη πληγείσα περιοχή.

Όσον αφορά την αναβλάστηση της περιοχής, τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν και μελετήθηκαν, από τα δορυφορικά δεδομένα Landsat 8, 1 χρόνο μετά την πυρκαγιά, δείχνουν ένα θετικό και ενθαρρυντικό αποτέλεσμα. Παρατηρείται μια μικρή αύξηση σε ορισμένα σημεία, από τιμές λίγο κάτω από το 0.2 (στο κατώφλι ύπαρξης βλάστησης) αμέσως μετά την πυρκαγιά, σε τιμές λίγο επάνω από την τιμή 0.2, έξι μήνες μετά, γεγονός που σημαίνει πως υπάρχει μια υποτυπώδης αναβλάστηση. Η αναβλάστηση στην περιοχή έδειξε να βρίσκεται σε εξέλιξη, αν και το διάστημα του 1 έτους δεν αποτελεί ολοκληρωμένο τελικό πόρισμα για συμπεράσματα. Σκοπός της ερευνάς μας είναι να μελετηθούν δορυφορικές εικόνες, τουλάχιστον 2 - 4 χρόνια μετά την πυρκαγιά και κυρίως σε παρόμοιες συνθήκες περιβάλλοντος με τις αρχικές εικόνες μετά την φωτιά, δηλαδή κατά τον μήνα Σεπτέμβριο. Με αυτό τον τρόπο, θα μελετηθεί ξανά ο ρυθμός της φυσικής αναγέννησης της βλάστησης της πληγείσας περιοχής, που σε συνδυασμό και υπαίθριες παρατηρήσεις θα δώσουν ένα πιο τεκμηριωμένο επιστημονικό συμπέρασμα για την εξέλιξη του ρυθμού αναβλάστησης της περιοχής, σε συνάρτηση και με τον βαθμό δριμύτητας της πυρκαγιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα

Ο συνδυασμός των δεδομένων της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων έχει καταστεί τα τελευταία χρόνια πολύ χρήσιμος και βοηθάει στην:

- Ακριβή και γρήγορη ανάδειξη της καμένης έκτασης
- Καταγραφή των επιπτώσεων μετά από μια πυρκαγιά
- Διερεύνηση των αλλαγών στη χρήση / κάλυψη γης πριν και μετά από μια πυρκαγιά
- Την παρακολούθηση του ρυθμού αναγέννησης της βλάστησης
- Την πρόληψη νέας πιθανής εκδήλωσης πυρκαγιάς
- Την πρόληψη & παρακολούθηση μεταπυρικών κινδύνων (Πλημμύρες, Κατολισθήσεις)

Τα δεδομένα του Landsat-8 και ιδιαίτερα οι εξειδικευμένοι Δείκτες Φασματικών Καναλιών (NBR, NBRT, BAI), με εφαρμογή συγκεκριμένης μεθοδολογίας, καθώς και με την χρήση έμμεσων Βοηθητικών Δεικτών (NDMI, NDVI), δίνουν εξαιρετικά αποτελέσματα στην ανάδειξη και χαρτογράφηση της καμένης περιοχής. Ο Δείκτης ($\Delta\text{NBR} = \text{NBR PreFire} - \text{NBR PostFire}$) σκιαγραφεί με ιδανικό τρόπο τον βαθμό επίδρασης της πυρκαγιάς στην πληγείσα περιοχή.

- ✓ Ο Μ.Ο. αναβλάστησης στην καμένη περιοχή, 1 μόλις χρόνο μετά τη φωτιά, από τιμή **0,33 πριν τη φωτιά και 0,15 μετά τη φωτιά, παρουσιάζει τιμή 0,2 (+0,05)** γεγονός που είναι αρκετά ενθαρρυντικό.
- ✓ Η αύξηση αυτή δείχνει να σχετίζεται άμεσα με τον βαθμό δριμύτητας (DNBR) της πυρκαγιάς στην περιοχή, μιας και **οι περιοχές με Πολύ Υψηλή Δριμύτητα παρουσιάζουν τιμές του δείκτη NDVI κατά μέσο όρο 0,17 , ενώ οι περιοχές με Χαμηλή και Μέτρια Δριμύτητα τιμές από 0,195 έως 0,202.**
- ✓ Υπάρχει ευθεία συσχέτιση της αναβλάστησης με το Γεωλογικό Υπόβαθρο της περιοχής. **Οι περιοχές με Κλαστικά ιζήματα, Κορήματα και Αλλούβιες αποθέσεις δείχνουν τιμές του δείκτη NDVI > 0,2 , ενώ οι περιοχές με Ανθρακικά τιμή κοντά στο 0,19.**
- ✓ Η εκτίμηση πιθανού πλημμυρικού κινδύνου, εξήγαγε θετικά αποτελέσματα, καθώς μία από τις περιοχές που βρισκόταν σε επίπεδο υψηλού πλημμυρικού κινδύνου, κοντά στο χωριό Ολύμποι, παρουσίασε πλημμυρικό φαινόμενο το 2009.

Βιβλιογραφία

Ξενογλώσση

- Al-Rawi, K.R., Casanova, J.L., Calle, A., (2001). “Burned area mapping system and fire detection system, based on neural networks and NOAA-AVHRR imagery”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, pp. 2015-2032.
- Arianoutsou, M., (1998). Aspects of demography in post-fire Mediterranean plant communities of Greece. Pp. 273-295. In: Rundel, P.W., Montenegro, G. & Jaksic, F.M. (eds.), *Landscape disturbance and biodiversity in Mediterranean type ecosystems*, Ecological Studies 136, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg.
- Axelrod, D.I. (1975). “Evolution of biogeography of Madrean Tethyan sclerophyll vegetation”. *Ann Missouri Bot Gardeb*, Vol. 62, pp. 280-334.
- Barbosa, P.M., Stroppiana, D., Gregoire, J-M, Pereira, J.M.C. (1999a). “An assessment of vegetation fires in Africa (1981-1991): Burned area, burned biomass, and atmospheric emissions. *Global Biochemical Cycles*, Vol. 13, pp. 933-950.
- Barbosa, P.M., Gregoire J-M., Pereira, J.M.C. (1999b). “An algorithm for extracting burned areas from time series of AVHRR GAC data applied at a continental scale”. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 69, pp. 253-263.
- Brewer, K. C. Winne, J. C., Redmond, R. L., Opitz, D. W. and Mangrich, M. V., (2005). "Classifying and Mapping Wildfire Severity: A Comparison of Methods, " *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, Vol. 71, No 11, 311–1320
- Chuvieco, E., Riano, A.I., Cocero, D. (2002). “Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper Reflectance data: applications in fire danger assessment”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, pp. 2145-2162.
- Cocke, A. E., Fule, P. Z., Crouse, J. E. (2005). “Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data”. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 14, pp. 189-198.
- Cochrane, M.A, Souza, C.M. (1998). “Linear mixture model classification of burned forests in Eastern Amazon”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, pp. 3433-3440.

- Cuomo, V., Lasaponara, R., Tramutoli, V. (2001). "Evaluation of a new satellite-based method for forest fire detection". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22(9), pp. 1799-1826.
- De la Rosa, J. M.*et al.*, (2008). "Use of pyrolysis/GC-MS combined with thermal analysis to monitor C and N changes in soil organic matter from a Mediterranean fire affected forest, " *CATENA*, Vol. 74, No 3, 296–303.
- Diakakis M, Foumelis M, Gouliotis G, Lekkas E (2011b) Preliminary flood hazard and risk assessment in Western Athens metropolitan area. In: Lambrakis N, Stournaras G, Katsanou K (eds) *Advances in the Research of Aquatic Environment*. 1:147–154.
- Diakakis M, Deligiannakis G, Mavroulis S (2011a) Flooding in Peloponnese, Greece: A contribution to flood hazard assessment. In: Lambrakis N, Stournaras G, Katsanou K (eds) *Advances in the Research of Aquatic Environment*. 1:199–206.
- Diakakis (2010) Flood history analysis and its contribution to flood hazard assessment: the case of Marathonas, Greece. *Bull Geol Soc Greece* 43:1323–1334
- Diaz-Delgado, R., Lloret, F., Pons, X. (2003). "Influence of fire severity on plant regeneration through remote sensing imagery". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, pp. 1751-1763.
- Escuin, S., Navarro, R., Fernandez, P. (2008). "Fire severity by using NBR (Normalized Burn Ration) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images". *International Journal of Remote Sensing*, Vl. 29, pp.1053-1073.
- Eva, H., Lambin, E. F. (1998). "Burnt area mapping in Central Africa using ATSR data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, pp. 3473-3497.
- Fernandez, A., Illera, P., Casanova, J.L. (1997). "Automatic mapping of surfaces affected by forest fires in Spain using AVHRR NDVI composite image data". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 60, pp.153-162.
- Fiorella, M., Ripple, W.J., (1993). "Analysis of conifer regeneration using Landsat Thematic Mapper data". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, pp. 1383-1388.

- Flannigan, M.D., Vonder, Haar, T. H. (1986). "Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR". *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, pp. 419-424.
- Fraser, R.H., Li, Z., Cihlar, J. (2000). "Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest". *Remote Sensing of Environment*, Vol.74, pp.362-376.
- Fuller, D.O., Fulk, M. (2001). "Burned area in Kalimantan, Indonesia, mapped with NOAA-AVHRR and Landsat TM imagery". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, pp. 691-697.
- Garcia-Haro, F.J., Gilabert, M.A., Melia, J. (2001). "Monitoring fire-affected areas using Thematic Mapper data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, pp. 533-549.
- Gao, Bo-C., (1996). "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space," *Remote Sens, Environ.* 58, 257-266.
- Goodwin, N.R., Coops, N.C., Wulder, M.A., Gillanders, S., Schroeder, T.A. and Nelson, T. (2008). Estimation of insect dynamics using a temporal sequence of Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, Pp. 3680-3689.
- Hann, D.K., Smith, A.M.S, Powell, A.K. (2003). "Technical note: Classification of off-diagonal points in a co-occurrence matrix". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, pp. 1949-1956.
- Henry, M.C., Hope, A.S. (1998). "Monitoring post-burn recovery of chaparral vegetation in southern California using multi-temporal satellite data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, pp. 3097-3107.
- Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Morgan, P., Rollins, M.G., Gessler, P.E. (2005). "Evaluation of novel thermally enhanced spectral indices for mapping fire perimeters and comparisons with fire atlas data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, pp. 4801-4808.
- Howard, S.M., Lacasse, M.L. (2004). "An evaluation of Gap-filled Landsat SLC-Off imagery for wildland fire burn severity mapping". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 70, pp. 877-879.
- Hudak, A.T., Brockett, B.H. (2004). "Mapping fire scars in a southern African savanna using Landsat imagery". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, pp.3231-3243.

- Hudak, A. T., Morgan, P., Bobbitt, M., Lentile, L. B. (2005). "Characterizing clearcut harvest and severe fire disturbance patches in a forested landscape: A case study from Cooney Ridge, Montana". In 'Forest disturbance and spatial patterns, GIS and remote sensing approaches'. (Eds M Wulder, S Francis) Chapter 8. (Taylor and Francis-CRC Press: London.
- Jakubauskas, M. E., Lulla, K. P, Mausel, P. W. (1990). "Assesment of vegetation change in a fire-altered forest landscape". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, pp. 371-377.
- Jensen, J.R. (2004). "Digital change detection". *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. New Jersey Prentice-Hall, pp. 467-494.
- Kalabokidis, K.D., Wakimoto, R.H. (1992). "Prescribed burning in uneven-aged management of Ponderosa Pine/Douglas Fir forest". *Journal of Environmental Management*, Vol. 34, pp. 221-235.
- Kalabokidis, K. D., (1995). "Forest ecosystems and wildfires in the Aegean islands," in 7th National Forestry Conference, 549–557.
- Kasischke, K.S., French, N.H.F. (1995). "Locating and estimating the aerial extent of wildfires in Alaskan boreal forests using multiple season AVHRR NDVI composite data". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 51, pp. 263-275.
- Kaufmann, Y.J., Tucker, C.J., Fung, I. (1990). "Remote sensing of biomass burning in the tropics". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 95, pp. 9927-9939.
- Kennedy, R. E. *et al.*, (2009). "Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects," *Remote Sens. Environ.*, Vol. 113, No 7, 1382–1396.
- Key C. H. and Benson, N. C., (1999). "Measuring and remote sensing of burn severity, " in *Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop*, 284.
- Key, C. H., Benson, N. C. (2002). "Measuring and remote sensing of burn severity". *US Geological Survey Wildland Fire Workshop*, 31 October to 3 November 2000, Los Alamos, NM, USGS Open-File Report 02-11.

- Kokaly, R.F., Rockwell, B.W., Haire, S.L., King, T.V.V. (2006). "Characterization of post-fire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 106, pp. 305-325.
- Kontoes, C. C., Poilve, H., Florsch, G., Keramitsoglou, I. and Paralikidis, S., (2009). "A comparative analysis of a fixed thresholding vs. a classification tree approach for operational burn scar detection and mapping, " *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, Vol. 11, No 5, 299–316.
- Lamine, S., *et al.*, (2017)."Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS, " *Geocarto Int.*, 1–17.
- Landmann, T. (2003). "Characterizing sub-pixel Landsat ETM+ fire severity on experimental fires in the Kruger National Park, South Africa". *South Africal Journal of Science*, Vol. 99, pp. 357-360.
- Lentile, L. B., Holden, Z. A, Smith, A. M. S, Falkowski, M. J., Hudak A. T., Morgan P., Lewis, S. A, Gessler, P. E., Benson, N. C. (2006). "Remote sensing techniques to ass's active fire characteristics and post-fire effects". *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 15, pp. 319-345.
- Liao, Y. Li, Q., Liao, X. Li, S., Chi, G. and Peng, S., (2003). "Towards an operational system for regional-scale rice yield estimation using a time-series of Radarsat ScanSAR images," *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 24, No 21, 4207–4220
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 4th edition, J. Wiley & Sons, USA.
- Lopez-Garcia, M.J., Caselles, V. (1991). "Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data". *Geocarto International*, Vol.1, pp. 31-37.
- Mather, M. P. (1999). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. 2nd edition, J. Wiley & Sons, Great Britain.
- Meikle, R.D. (1954). "A survey of the flora of Chios". *Kew Bulletin*, Vol. 9, No.1. pp 85-199.
- Miller, J.D., Yool, S.R. (2002). "Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 82, pp. 481-496.

- Miller J. D. and Thode A. E., (2007). "Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR), " *Remote Sens. Environ.*, Vol. 109, No 1, 66–80.
- Milne, A.K. (1986). "The use of remote sensing in mapping and monitoring vegetational change associated with bushfire events in EasternAustalia". *Geocarto International*, Vol.1, pp. 25-32.
- Nielsen, T.T., Mbow, C., Kane, R. (2002). "A statistical methodology for burned area estimation using multispectral AVHRR data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, pp. 1181-1196.
- Papanastasis, V. (1978). "Potential of certain range species for improvement of burned bushland in Greece". *Proc. I st International Rangeland Congress*, pp. 715-717.
- Parcharidis, I., Lagios, E., Psomiadis, E. (2001). Multitemporal hazard assessment in a high flash flood risk area using RS/GIS techniques: The case study of Hymittos Mt. (Athens). 9th International Congress of the Geological Society of Greece, Vol. 5, p. 2055-2062.
- Pereira, J.M.C. (1999). "A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 37, pp. 217-226.
- Patterson, M.W., Yool, S.R. (1998). "Mapping fire-induced vegetation mortality using Landsat Thematic Mapper data: A comparison of linear transformation techniques". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 65, pp. 132-142.
- Petropoulos, G. P., Kontoes, C. and Keramitsoglou, I. (2011). "Burnt area delineation from a uni-temporal perspective based on Landsat TM imagery classification using Support Vector Machines," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, Vol. 13, No 1, 70–80.
- Petropoulos, G., Knorr, W., Sholze, M., Boschetti, L., Karantounias, G. (2010). "Combining ASTER multispectral imagery analysis and support vector machines for rapid and cost-effective post-fire assessment: a case study from the Greek wildland fires of 2007". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 10, pp. 305-317.
- Picket, S.T., White, P.S. (1985). "Natural disturbance and patch dynamics: an introduction". In 'The ecology of natural disturbance and patch dynamics'. (Eds ST Picket, PS White) pp. 3-13. (Academic Press: New York).

- Poirazidis, K.S., K. Zografou, P. Kordopatis, D.P. Kalivas, M. Arianoutsou, D. Kazanis & E. Korakaki, (2012). A GIS-based integrated approach predicts accurately post-fire Aleppo pine regeneration at regional scale. *Annals of Forest Science* 69:519–529.
- Randriambelo, T., Baldy, S., Bessafi, M., Petit, M., Despinoy, M. (1998). “An improved detection and characterization of active fires and smoke plumes in south-eastern Africa and Madagascar. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, pp. 2623-2638.
- Razafimpanilo, H., Frouin, R., Iacobellis, S.F., Somerville, R.C.J. (1995). “Methodology of estimating burned area from AVHRR reflectance data”. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 54, pp. 273-289.
- Reichert, P. (1989). Digital image processing. Remote Sensing applications to water resources, FAO, pp. 75-100.
- Richards, J.A., Jia, X. (1999). Remote Sensing digital image analysis: an introduction. Springer-Verlag: New York.
- Roy, D. P., Landmann, T. (2005). “Characterizing the surface heterogeneity of fire effects using multi-temporal reflectance wavelength data”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, pp. 4197-4218.
- Roy, D. P., Boschetti, L., Trigg, S. N. (2006). “Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ration”. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 3, pp. 112-116.
- Sa, A.C.L., Pereira, J.M.C., Vasconelos, M.P.J., Silva, J.M.N., Ribeiro, N., Awasse, A. (2003). “Assessing the feasibility of sub-pixel burned area mapping in miombo woodlands of northern Mozambique using MODIS imagery”. *International Journal of Remote Sensing*, Vo. 24, pp. 1738-1796.
- Schroeder W., Oliva P., Giglio, L., Quayle, B., Lorenz, E. and Morelli, F., (2016). "Active fire detection using Landsat-8/OLI data," *Remote Sens. Environ.*, Vol. 185, 210–220.
- Schuck, A., Paivinen, R., Hame, T., Van Brusselen, J., Kennedy, P. and Folving, S., (2003). "Compilation of a European forest map from Portugal to the Ural Mountains based on earth observation data and forest statistics," *For. Policy Econ.*, Vol. 5, 187–202.

- Setzer, A.W., Pereira, A.C., Jr. (1991) “Amazon biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio*, Vol. 20, pp.19-22.
- Sifakis, N. I., Iossifidis, C., Kontoes, C.C. and Keramitsoglou, I., (2011). "Wildfire Detection and Tracking [3] over Greece Using MSG? SEVIRI Satellite Data, " *Remote Sens.*, Vol. 3, No 12, 524–538.
- Smith, A. M. S., Wooster, M.J., Power, A.K., Usher, D. (2002). “Texture-based feature extraction: application to burn scar detection in Earth Observation satellite imagery”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, pp. 1733-1739.
- Smith, A. M. S., Hudak, A. T. (2005). “Estimating combustion of large downed woody debris from residual white ash”. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 14, pp. 245-248.
- Statheropoulos, M., Pappa, A., Karma, S. (2007). “Forest Fire Net, Civil Protection, Greece, Published by European Center for Forest Fire (ECFF), Vol. 5, pp. 1-50.
- Taylor, M. (2006). “Influence of mastic cultivation on the Orchid diversity of Chios, Greece”. *Oryx* 40(1):16.
- Thanos, C.A., Daskalakou, E.N., Nikolaidou, S. (1996). “Early post fire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mount Parnis, Greece”. *Journal of Vegetation Science*, Vol. 7, pp. 223-230.
- Trabaut, L. (2000). Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* forests in the West Mediterranean Basin. In: Ne’eman, G., and Trabaud L. (eds), *Ecology Biogeography and Management of Pinus halepensis and Pinus brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuys publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 257-268.
- Trabaut, L., Lepart, J. (1980). “Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire”. *Vegetatio*, Vol. 43, pp. 49-57.
- Trigg, S., Flasse, S. (2000). “Characterising the spectral-temporal response of burned savanna using in situ spectroradiometry and infrared thermometry”. *International Journal of Remote sensing*, Vol. 21, pp. 3161-3168.
- Trigg, S., Flasse S., (2001). “An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savanna”. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, pp. 2641-2647.

- Turner, M.G., Romme, W.H., Garner, R.H. (1999). "Prefire heterogeneity, fire severity, and early post-fire plant reestablishment in sublpine forests of Yellowstone National Park, Wyoming". *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 9, pp21-36.
- Van Lear, D.H. (1991). Fire and oak regeneration in the southern Appalachians. In: Nodvin SC, Waldrop TA (eds) *Fire and the environment: ecological and cultural perspectives*. Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, USA, pp.15-21.
- Verde N. and Tsakiri-Strati, M., (2014). "Change Detection and Fire Risk Assessment Model using Landsat Imagery for the Forest of Gerania Mountains, " *South-Eastern Eur. J. Earth Obs. Geomatics*, Vol. 3, 75–82.
- White, J. D., Ryan, K. C. Key, C. C. and Running, S. W., (1996). "Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery, " *Int. J. Wildl. Fire*, Vol. 6, No 3, 125–136.
- Wimberly, M. C. and Reilly, M. J., (2005). "Using satellite imagery to map fire severity and forest community change in the Southern Appalachians, " *EastFIRE Session 1C*.
- Zhu, Z., Key, C., Ohlen, D. and Benson, N., (2009). "Evaluate sensitivities of burn-severity mapping algorithms for different ecosystems and fire histories in the United States," in *Final Report to yhe Joint Fire Science Program*, 35.

Ελληνόγλωσση

- Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη Μ. και Δ. Καζάνης. (2012). Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς στα χερσαία οικοσυστήματα της Ελλάδας. Σελ. 103-116 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης (επιμ. έκδοσης). *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση*. WWF Ελλάς, Αθήνα.
- Καϊλίδης, Δ. (1993). *Δασικές Πυρκαγιές*, Τρίτη έκδοση. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Καϊλίδης Δ. (1990), "Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα", Θεσσαλονίκη
- Καλαμποκίδης, Κ. (1995). «Δασικά Οικοσυστήματα και πυρκαγιές στα νησιά του Αιγαίου». Πρακτικά 7^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου, Καρδίτσα 11-12-13 Οκτωβρίου 1995.
- Καλαμποκίδης, Κ., Ρούσσου, Ο., Βασιλάκος, Χ., Μαρκοπούλου, Δ. (2004). «Χωρική μοντελοποίηση καύσιμης ύλης και συμπεριφοράς πυρκαγιών τοπίου». Ελληνική Γεωγραφική Εταιρία και Τμήμα Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου. Πρακτικά 7^{ου} Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, σελ. 486-494, 14-17/10/2004, Μυτιλήνη.

- Κορακάκη, Ε., Τζηρίτης, Η., Κορδοπάτης, Π., Γεωργιάδης, Ν., και Καλεβρά, Ν. (2012). «Οικολογικός απολογισμός της πυρκαγιάς του Αυγούστου 2012 στη Χίο: Γενικά στοιχεία, επιπτώσεις, προτάσεις». WWF Ελλάς, Αθήνα, Οκτώβριος 2012.
- Κωνσταντινίδης, Π., Γκαντζογιάννης, Σ. (2001). Επιλογή δασικών ειδών για αναδασώσεις σε πυρόπληκτες περιοχές. Εκδ. Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης και Ταχυδρομικό Ταμιευτήριο. Αυτοτελής έκδοση.
- Λεγάκης Α. και Π., Μαραγκού (επιμ. Εκδ.), 2009. Το κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ζώων στην Ελλάδα. Ελληνική ζωολογική εταιρεία.
- Μιγκίρος, Γ., Παυλόπουλος, Α., Παρχαρίδης, Ι., Γάτσης, Ι., Ψωμιάδης, Ε. (2003). Τηλεπισκόπηση, εφαρμογές στις γεωεπιστήμες. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γενικό Τμήμα, Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Αθήνα.
- Μιμίδου, Χ. (2014). « Διερεύνηση των Περιβαλλοντικών & ανθρωπογενών επιπτώσεων της πυρκαγιάς του 2012 στη Νήσο Χίο με χρήση Τηλεπισκόπησης & GIS. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & ΓΜ, Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μπαλούτσος Γ., Α. Οικονόμου και Κ. Καούκης, (2001). Ο κίνδυνος πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά. Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων. Επιστημονικό Συνέδριο Αποκατάσταση Καμένων Εκτάσεων. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Αθήνα 13-14 Δεκεμβρίου 2001
- Ξανθόπουλος Γ., Π. Γκαγκάρη, Γ. Λυριτζής και Γ. Μπαλούτσος, (2001) Διαχείριση καμένης ξυλείας μετά την πυρκαγιά. Επιστημονικό Συνέδριο Αποκατάσταση Καμένων Εκτάσεων. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Αθήνα 13-14 Δεκεμβρίου 2001
- Ξενούλης Μ., (2006). «Χαρτογράφηση της αναβλάστησης του φυσικού οικοσυστήματος της περιοχής της Πάρνηθας Αττικής με τη χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων και γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων». Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Παϊδάς Γ., (2011). Υδατικοί Πόροι της Νήσου Χίου. Υφιστάμενη Γνώση και Προτάσεις. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 133 σελ.
- Παπανικολάου Δ., Παπανικολάου Ι., Δεληγιαννάκης Γ., (2013). «Σχέδιο δράσης σύνταξης κινδύνου δασικών πυρκαγιών». ΕΚΠΑ-Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος- Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

- Παπαναστάσης, Β. (1988). «Εξέλιξη της βλάστησης μετά από πυρκαγιά σε καμένο πρινώνα, σπαρμένο με λιβαδικά αγρωστώδη». Επιστ. Επετ. Του Τμήμ. Δασολογίας και Φυσ. Περ. Τόμ. ΛΑ. Θεσσαλονίκη.
- Ποϊραζίδης, Κ. (2015). Αξιολόγηση Δεικτών Μεταπυρικής Παρακολούθησης της Φυσικής Αποκατάστασης με Χρήση Δεικτών Τηλεπισκόπικών Δεδομένων. Πρακτικά 17ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου. 4-7 Οκτωβρίου 2015, Αργοστόλι.
- Σαλιάρης, Π. (1995). Τα αγριολούλουδα της Χίου. Τόμος Α', Εκδόση Δήμου Ομηρούπολης, Χίος.
- Σκούρου, Π., Αριανούτσου, Μ. (2000). «Διασπορά σπερμάτων σε είδη του γένους *Cistus*: Σχηματισμός εδαφικής τράπεζας σπερμάτων». Πρακτικά 8ου Συνεδρίου της Ελληνικής Βοτανικής Εταιρείας, σελ. 377-379.
- Στυλιανοπούλου, Ε., (2008). «Μελέτη των Οικονομικών, Κοινωνικών και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από τις Πυρκαγιές στην Πελοπόννησο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, 2007». Πτυχιακή Μελέτη, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Τσαγκάρη, Κ., Καρέτσος, Γ., Προύτσος, Ν. (2011). Δασικές πυρκαγιές Ελλάδα, 1983-2008. Εκδ. WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ.
- Ψωμιάδης, Ε., (2010). «Έρευνα Γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών». Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Διαδικτυακές Πηγές

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

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

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

<https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov>

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

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>

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

<https://www.fs.fed.us/>

<http://www.un-spider.org/node/10955>

<https://arset.gsfc.nasa.gov/>

https://lpdaac.usgs.gov/data_access

<https://earthdata.nasa.gov/>

<http://195.251.203.238/seviri/>

https://www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/index.html

<http://effis.jrc.ec.europa.eu/>

Δημοσιεύσεις σε Διεθνή - Εθνικά Συνέδρια με Σύστημα Κριτών

- **Psomiadis E., Athanasakis G. (2017).** High resolution earth observation data for burn severity and vegetation regeneration monitoring in chios island. e-proceedings of the 2nd GIS Congress, AUA, p.1-14 (In Greek). (In Greek)
- **Athanasakis G., Psomiadis E., Chatziantoniou A. (2017).** High-resolution Earth Observation data and spatial analysis for burn severity evaluation and post-fire effects assessment in the Island of Chios, Greece. Proceedings of SPIE (Remote Sensing- Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications), The International Society for Optical Engineering, 10428, 104281P (Warsaw) doi: 10.1117/12.2278271.