

Παρακολούθηση της αναδάσωσης στη Ζαχάρω με τη χρήση οπτικών και ραντάρ δορυφορικών δεδομένων

Monitoring the reforestation process in Zaharo using optical and SAR remote sensing data

Μπουντζουκλής Χ.¹, Μπενέκος Γ.²¹ *Division of Physical Geography and Ecosystems Analysis, Department of Earth and Ecosystem Science, Lund University, Lund, Sweden, gem14cbo@student.lu.se*

²Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, Ελλάδα, benekos@hua.gr

Περίληψη

Τον Αύγουστο του 2007 σημειώθηκε μία από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στην Ελλάδα από δασικές πυρκαγιές. Το πιο καταστροφικό πλήγμα από την μεγάλη καταστροφή τον Αύγουστο του 2007, σημειώθηκε στο νομό Ηλείας. Η φωτιά που ξέσπασε τις πρώτες πρωινές ώρες της 24ης Αυγούστου κατέστρεψε πολύ μεγάλες δασικές εκτάσεις αλλά και κατοικημένες περιοχές, καταγράφοντας συνολικά 44 απώλειες ανθρώπινων ζώων. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι παρακολούθηση της διαδικασίας της αναδάσωσης στη Ζαχάρω και των γύρω περιοχών που κάηκαν στις 24 Αυγούστου του 2007. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, εκτός από τη χρήση οπτικών δεδομένων, κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν δεδομένα SAR για διασταυρώνουν τα αποτελέσματα από κάθε επεξεργασία. Το σύνολο των οπτικών δεδομένων περιλαμβάνουν εικόνες που λαμβάνονται από διάφορους δορυφόρους και αισθητήρες όπως ο Landsat 7 και ο ASTER, ενώ οι εικόνες SAR που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον δορυφόρο Envisat της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας. Τα οπτικά δορυφορικά δεδομένα που αναλύονται σε αυτή τη μελέτη καλύπτουν περίοδο δέκα χρόνων (2004-2014) ενώ τα δορυφορικά δεδομένα ραντάρ καλύπτουν περίοδο τεσσάρων ετών (2007-2010). Η επεξεργασία των οπτικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο ENVI, ενώ η επεξεργασία των δεδομένων SAR πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ανοιχτού κώδικα N.E.S.T. (Next ESA Sar Toolbox) της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας. Στη παρούσα μελέτη, πολλαπλές τεχνικές και μέθοδοι εφαρμόστηκαν για να αποκτήσουμε σωστά και αξιόπιστα αποτελέσματα, όπως ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI και η δημιουργία SAR διαχρονικών εικόνων. Επίσης, πρόσθετες διορθώσεις και βαθμονομήσεις εφαρμόστηκαν όπως η αποκατάσταση των κενών στις εικόνες Landsat 7 και η εφαρμογή φίλτρων στα δεδομένα SAR για την εξάλειψη του θορύβου. Βάση της παρούσας εργασίας, τα αποτελέσματα που προέκυψαν έχουν θετική συμβολή ως μέσο για τον εντοπισμό και τη μέτρηση των περιοχών που κάηκαν, αλλά και ως μέσο για την παρακολούθηση της διαδικασίας της αναδάσωσης. Οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν, δηλαδή η χρήση οπτικών αλλά και SAR δεδομένων, έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και παρέχουν διαφορετικές πληροφορίες για αυτό το είδος των φυσικών καταστροφών. Τέλος, τα πολυάριθμα εργαλεία τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν υπογραμμίζουν τη σημασία και τη βαρύτητα αυτού του τομέα της επιστήμης.

Λέξεις Κλειδιά

Ζαχάρω, δασικές πυρκαγιές, τηλεπισκόπηση, δείκτης βλάστησης, διαχρονικές εικόνες ραντάρ

Abstract

In August 2007 occurred one of the biggest natural disasters in Greece by forest fires. The most devastating blow of the great disaster of August 2007, occurred in the prefecture of Ilia. The fire broke out in the early hours of August 24 and destroyed very large forest and residential areas, recording a total of 44 human casualties. The objective of this study is to monitor the reforestation process in Zaharo and the nearby areas which were burnt down on August 24, 2007. In order to do that, apart from using just optical data, it was considered appropriate to also use SAR data to cross-check the results from each processing. The optical dataset includes images taken from various satellites and sensors such as Landsat 7 and ASTER, whereas the SAR images which were used, were acquired from European's Space Agency satellite ENVISAT. The optical satellite data presented in this study cover a ten year period (2004 – 2014) and the radar satellite data cover a 4 year period (2007-2010). The processing of the optical dataset was carried out in ENVI, while the SAR dataset processing was carried out in ESA's open source toolbox NEST. In the present study, multiple techniques and methods were applied in order to acquire correct and reliable results, such as the extraction of the vegetation index NDVI and the creation of SAR multi-temporal images. Additional corrections and calibrations were also applied, such as gap filling Landsat 7 scenes and also despeckling and calibrating the SAR data. According to our work, the results which occurred have a positive contribution as means of identifying and measuring burned areas and also as means of monitoring the reforestation process. Both optical and SAR data have their own advantages and disadvantages and provide different information for this kind of natural disaster. Lastly, the numerous remote sensing tools that were used, highlight the importance of this science sector

Keywords

Zaharo, forest fires, remote sensing, vegetation index, SAR multi-temporal images

Εισαγωγή

Οι φωτιές της περιόδου του Αυγούστου αποτέλεσαν συνέχεια πλειάδας πυρκαγιών οι οποίες έπληξαν την Ελλάδα, από τα τέλη Μαΐου και συνεχίστηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού. Ο συνδυασμός του θερμότερου χειμώνα των σύγχρονων μετεωρολογικών καταγραφών, με λίγες βροχοπτώσεις και θερμό καλοκαίρι αλλά και με ισχυρούς ανέμους, αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα της έξαρσης των πυρκαγιών. Ο νομός Ηλείας δέχθηκε το πιο ισχυρό χτύπημα από τις πυρκαγιές του 2007. Η φωτιά εκδηλώθηκε στη Ζαχάρω στις 24 Αυγούστου καταστρέφοντας 300.000 στρέμματα, 144 χωριά αλλά και σημειώνοντας 44 απώλειες σε ανθρώπινες ζωές.

Η τηλεπισκόπηση ως επιστήμη έχει να προσφέρει πάρα πολλά στην παρατήρηση, παρακολούθηση και διαχείριση γενικότερα των φυσικών καταστροφών αλλά και ειδικότερα των δασικών πυρκαγιών. Για το λόγο αυτό η επίτευξη του στόχου της παρούσας μελέτης έγινε δυνατή μέσω των εργαλείων και των δυνατοτήτων που προσφέρει η επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η καταγραφή των καμένων εκτάσεων από τις δασικές πυρκαγιές του 2007 και η παρακολούθηση της αναδάσωσης στη Ζαχάρω και τις κοντινές περιοχές με τη χρήση ραντάρ και οπτικών δορυφορικών δεδομένων.

Υλικά και Μέθοδοι

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία περιλαμβάνουν τόσο οπτικά όσο και ραντάρ δεδομένα, ωστόσο μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στην επεξεργασία και ερμηνεία των εικόνων ραντάρ. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα ραντάρ που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από το δορυφόρο ENVISAT καθοδικής τροχιάς και κατακόρυφης (VV) πόλωσης. Η επιλογή των συγκεκριμένων δεδομένων στηρίχθηκε στη διαθεσιμότητα αυτών την κατάλληλη εποχή, χρόνο και τοποθεσία. Τα δεδομένα αποκτήθηκαν μέσω του προγράμματος EOLI-SA το οποίο αποτελεί το μέσο για την πρόσβαση και παραγγελία δορυφορικών δεδομένων από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (E.S.A.).

Πίνακας 1 Δορυφορικά δεδομένα ENVISAT

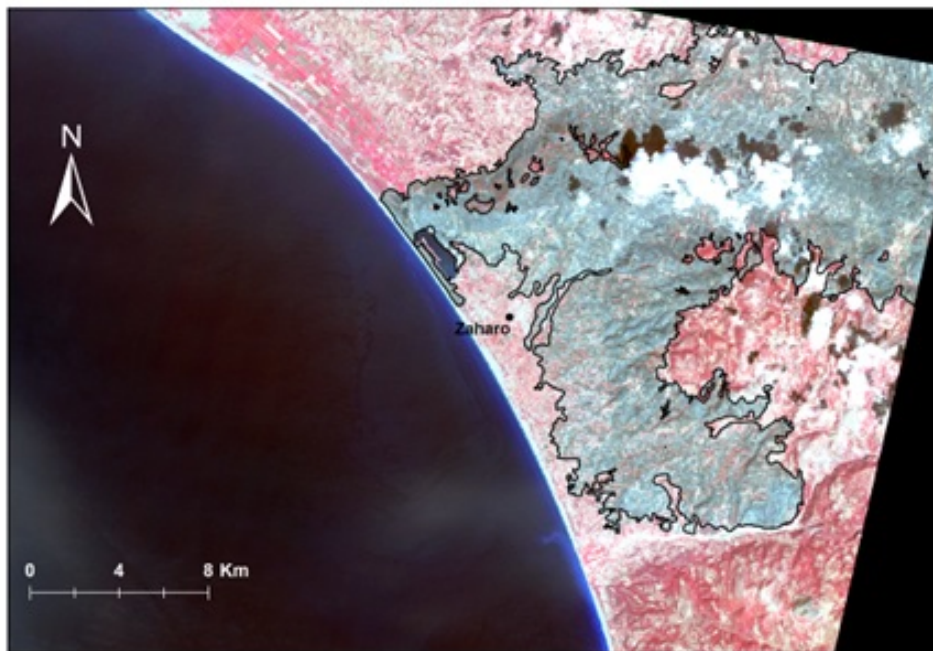
Έτος	Ημερομηνία	Πλαίσιο	Τροχιά	Φορά Λήψης	Πόλωση	ENVISAT ASAR
2007	5 Αυγούστου	279	28389	Καθοδική	VV	
2008	20 Ιουλίου	279	28389	Καθοδική	VV	
2009	31 Μαΐου	279	28389	Καθοδική	VV	
2010	20 Ιουνίου	279	28389	Καθοδική	VV	

Ακόμα, τα οπτικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της εργασίας συλλέχθηκαν από 2 διαφορετικούς δορυφόρους, Terra/ASTER και Landsat-7. Τα δεδομένα Landsat είναι διαθέσιμα προς την επιστημονική κοινότητα χωρίς κανένα κόστος από την ιστοσελίδα του γεωλογικού ινστιτούτου των Η.Π.Α. (U.S.G.S.) <http://earthexplorer.usgs.gov/>, ενώ για τα δεδομένα ASTER η παραγγελία αυτών έγινε από την ιστοσελίδα της NASA <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>.

Πίνακας 2 Οπτικά Δορυφορικά Δεδομένα ASTER, LANDSAT 7

Έτος	Ημερομηνία	Δορυφόρος/Όργανο καταγραφής
2004	22 Μαΐου	ASTER
2007	4 Σεπτεμβρίου	ASTER
2008	20 Ιουλίου	LANDSAT 7
2009	24 Ιουλίου	ASTER
2010	8 Ιουνίου	LANDSAT 7
2011	13 Ιουλίου	

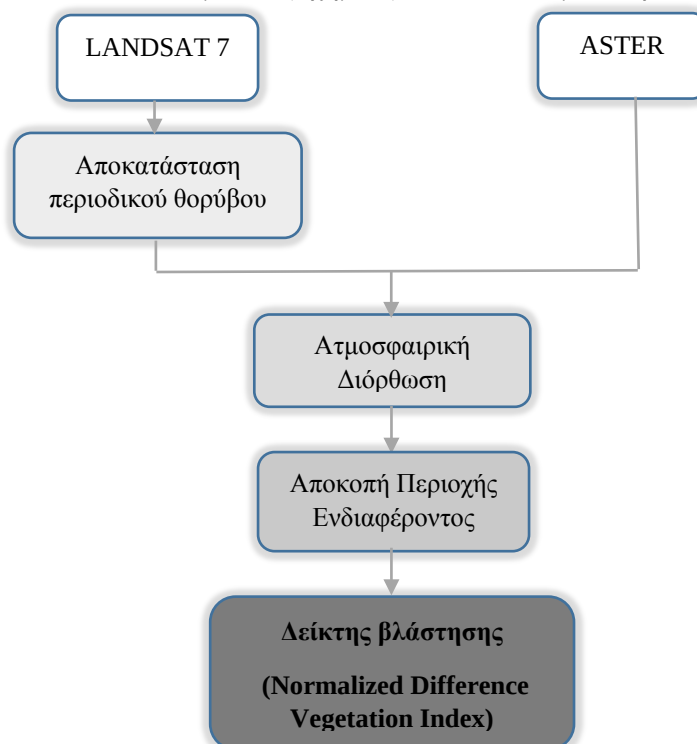
Επιπλέον εκτός από τα δεδομένα που αποκτήθηκαν ολοκληρωμένα, ψηφιοποιήθηκαν οι καμένες εκτάσεις χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο μία εικόνα ASTER η οποία λήφθηκε μερικές ημέρες μετά από τις πυρκαγιές (4 Σεπτεμβρίου). Στη συνέχεια, στα όρια αυτού του ψηφιοποιημένου πολυγώνου κόπηκαν όλες οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιώντας το εργαλείο του λογισμικού για την απομόνωση της περιοχής ενδιαφέροντος.



Εικόνα 1 Ψηφιοποιημένο πολύγωνο καμένων εκτάσεων ASTER 4/9/2007 R:3 G:2 B:1

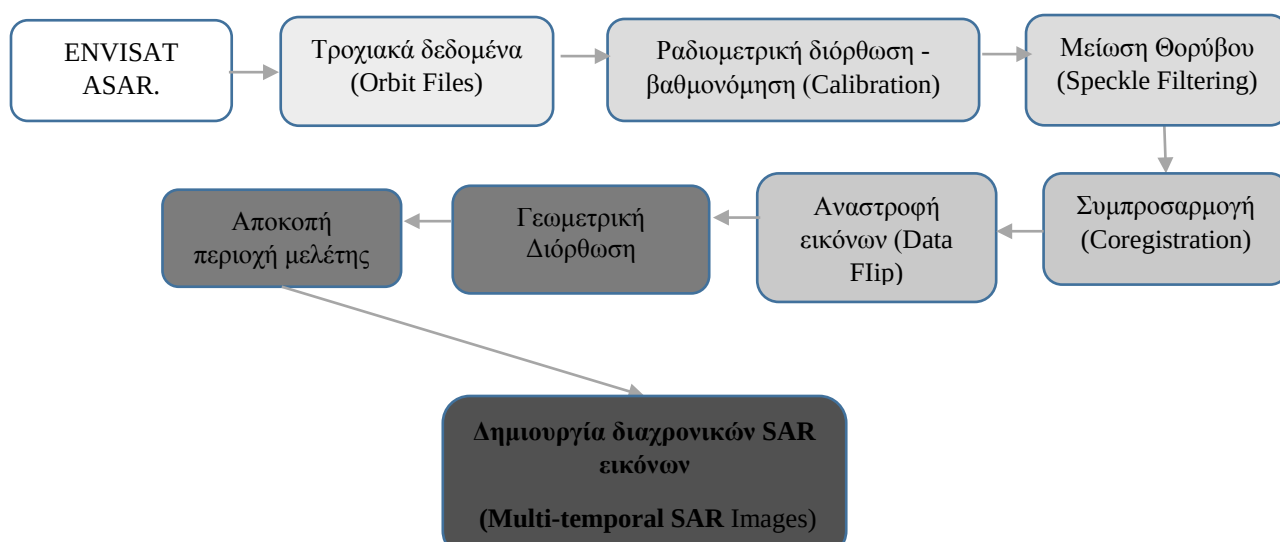
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των οπτικών δορυφορικών εικόνων είναι το ENVI (έκδοση 5.0) της εταιρίας Exelis, ενώ για την επεξεργασία των εικόνων ραντάρ χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη NEST (έκδοση 5.1) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος. Τέλος, για τη παρουσίαση, την οπτικοποίηση των δορυφορικών δεδομένων αλλά και για τη δημιουργία των χαρτογραφικών προϊόντων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS (έκδοση 10.2.1) της εταιρίας ESRI.

Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για επεξεργασία των οπτικών δεδομένων (Σχήμα 1) και των δεδομένων ραντάρ (Σχήμα 2).



Εικόνα 2 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας οπτικών δεδομένων

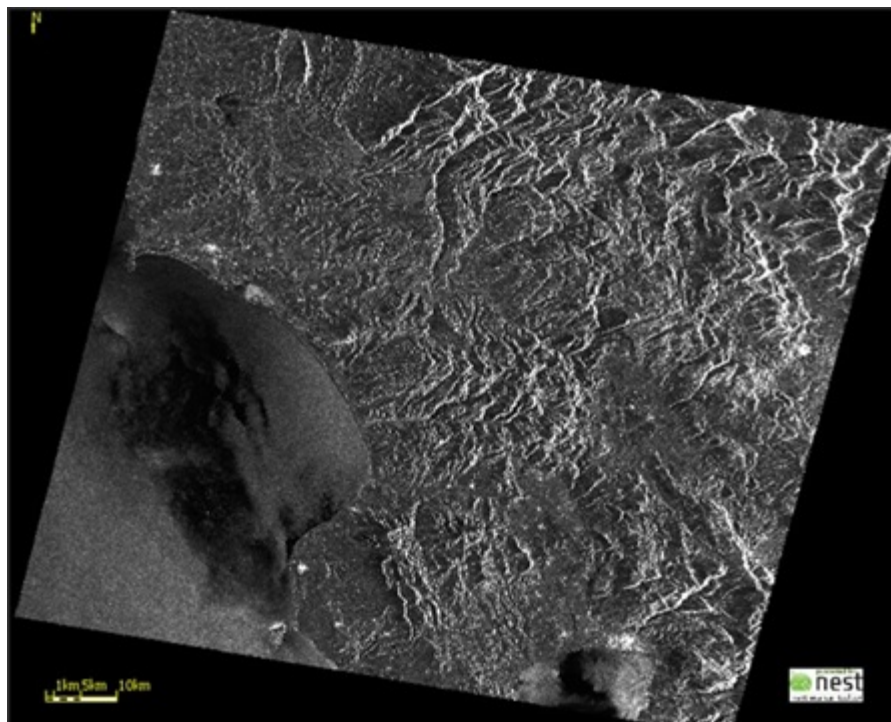
Αρχικά, για την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων Landsat 7 χρειάστηκε ένα επιπλέον βήμα, το οποίο ήταν η αποκατάσταση των κενών στις εικόνες τα οποία οφείλονται στη βλάβη που προκλήθηκε σε ένα από τα όργανα που φέρει ο δορυφόρος. Χρησιμοποιώντας την τεχνική που αναπτύχθηκε από τους Scaramuzza et al. (2004) και το εργαλείο που αναπτύχθηκε για το λογισμικό ENVI έγινε δυνατή η αποκατάσταση των κενών με αρκετά καλά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στις εικόνες η τεχνική ατμοσφαιρικής διόρθωσης IAR Reflectance διότι, η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος που λαμβάνει ένας δορυφορικός δέκτης εξαρτάται από παράγοντες όπως η γωνία του ηλιακού ύψους, η κλίση και ο προσανατολισμός της επιφάνειας σε σχέση με το ηλιακό αζιμούθιο κ.α. (Mather, 1999) που συνδέονται άμεσα με την εξασθένιση του σήματος που φθάνει στο δορυφόρο από την ατμόσφαιρα. Στο τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας, οι δορυφορικές εικόνες κόπηκαν στα όρια του ψηφιοποιημένου πολυγώνου ώστε να συνεχιστεί η υπόλοιπη διαδικασία μόνο στην περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή στις καμένες εκτάσεις. Τέλος, υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI για όλες τις χρονολογίες.



Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας δεδομένων ραντάρ

Για την επεξεργασία των εικόνων ραντάρ, όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα ροής (Σχήμα 2) εφαρμόστηκαν ορισμένες τεχνικές διόρθωσης και βελτίωσης των δεδομένων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η ραδιομετρική διόρθωση-βαθμονόμηση των εικόνων. Η ραδιομετρική διόρθωση είναι απαραίτητη για τη σύγκριση των εικόνων SAR που αποκτήθηκαν με διαφορετικούς αισθητήρες, ή αποκτήθηκαν από τον ίδιο αισθητήρα αλλά σε διαφορετική χρονική στιγμή ή σε διαφορετικές λειτουργίες, ή υποβάλλονται σε επεξεργασία από διαφορετικούς επεξεργαστές (Rosich, 2004). Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία αφαίρεσης του θορύβου, ο οποίος είναι ένα συνηθισμένο χαρακτηριστικό γνώρισμα μιας εικόνας SAR, το οποίο οφείλεται στην φύση της διαδικασίας που ακολουθείτε κατά την λήψη της από το δορυφόρο και είναι αποτέλεσμα της συμβολής των κυμάτων που βρίσκονται σε φάση (coherent) με τα κύματα εκτός φάσης (de-phased), που λαμβάνονται στην κεραία του δορυφόρου από τα διαφορετικά σήματα οπισθοσκέδασης (backscattering). Ο θόρυβος δημιουργεί την κοκκώδη (granular) εμφάνιση της εικόνας και προσομοιάζει με το «αλάτι και πιπέρι», αυξάνει την στατιστική διασπορά των τιμών φωτεινότητας, ενώ παράλληλα υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας και καθιστά δύσκολη την οπτική ερμηνεία της και την ανίχνευση διαφόρων χαρακτηριστικών επί της γήινες επιφάνειας (Ψωμάδης 2010). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο Refined Lee (Lopes et al. 1990) με μέγεθος

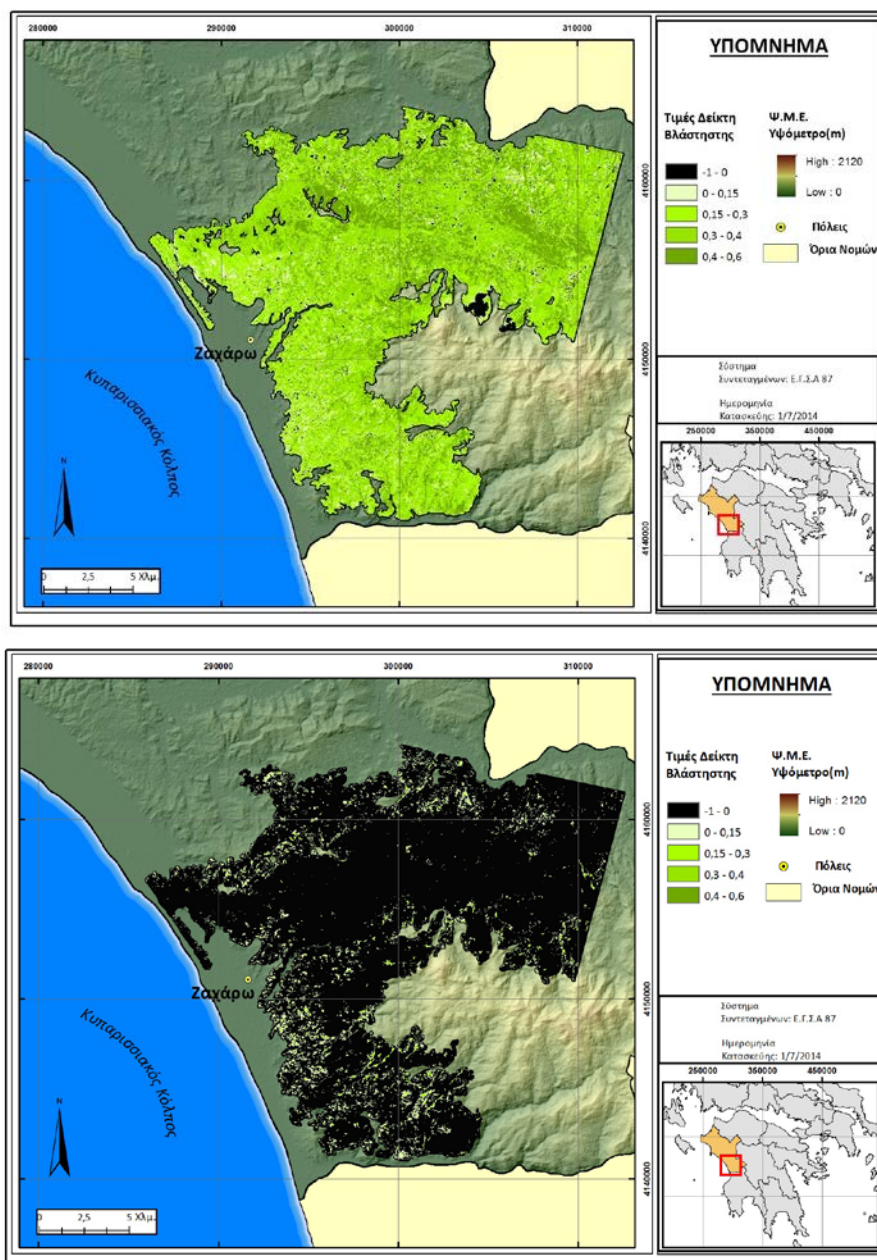
παραθύρου 5x5. Έπειτα εκτελέστηκε η διαδικασία της εγγραφής μιας εικόνας σε μία άλλη ή αλλιώς συμπροσαρμογή (co-registration). Σε αυτό το βήμα επιλέγουμε μία εικόνα (master) από το σύνολο των δεδομένων και βάση αυτής τροποποιούμε τις υπόλοιπες (slave) εικόνες, ώστε κάθε εικονοστοιχείο της κύριας εικόνας να ταυτιστεί ακριβώς με τα αντίστοιχα εικονοστοιχεία των υπόλοιπων εικόνων. Στην εργαλειοθήκη NEST υποστηρίζεται η διαδικασία της αυτόματης συμπροσαρμογής, η οποία απαιτεί να γίνει σωστή ρύθμιση ορισμένων παραμέτρων όπως ο αριθμός των επίγειων σημείων ελέγχου (G.C.P.), η μέθοδος αναδόμησης (resampling) των εικονοστοιχείων κ.α. για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στο πέμπτο στάδιο, πραγματοποιείτε η γεωμετρική διόρθωση των εικόνων ραντάρ, κατά το οποίο οι εικόνες αποκτούν κοινό προβολικό σύστημα (στην προκειμένη περίπτωση W.G.S. 84). Έτσι οι εικόνες αποκτούν μια μικρή κλίση προς τα δεξιά ώστε οι εικόνες να είναι σωστά προσανατολισμένες προς το βορρά. Τέλος, δημιουργήθηκαν οι διαχρονικές (multi-temporal) εικόνες SAR οι οποίες είναι το αποτέλεσμα ανάθεσης των διαφοροποιήσεων της έντασης (intensity) των εικόνων SAR σε καθένα από τα βασικά χρώματα, για να σχηματισθεί μια σύνθετη ψευδέγχρωμη RGB εικόνα (Parcharidis et al. 2007).



Εικόνα 4 Εικόνα SAR έπειτα από εκτέλεση μια σειράς βημάτων διορθώσεων και βελτιώσεων

Αποτελέσματα και Συζήτηση

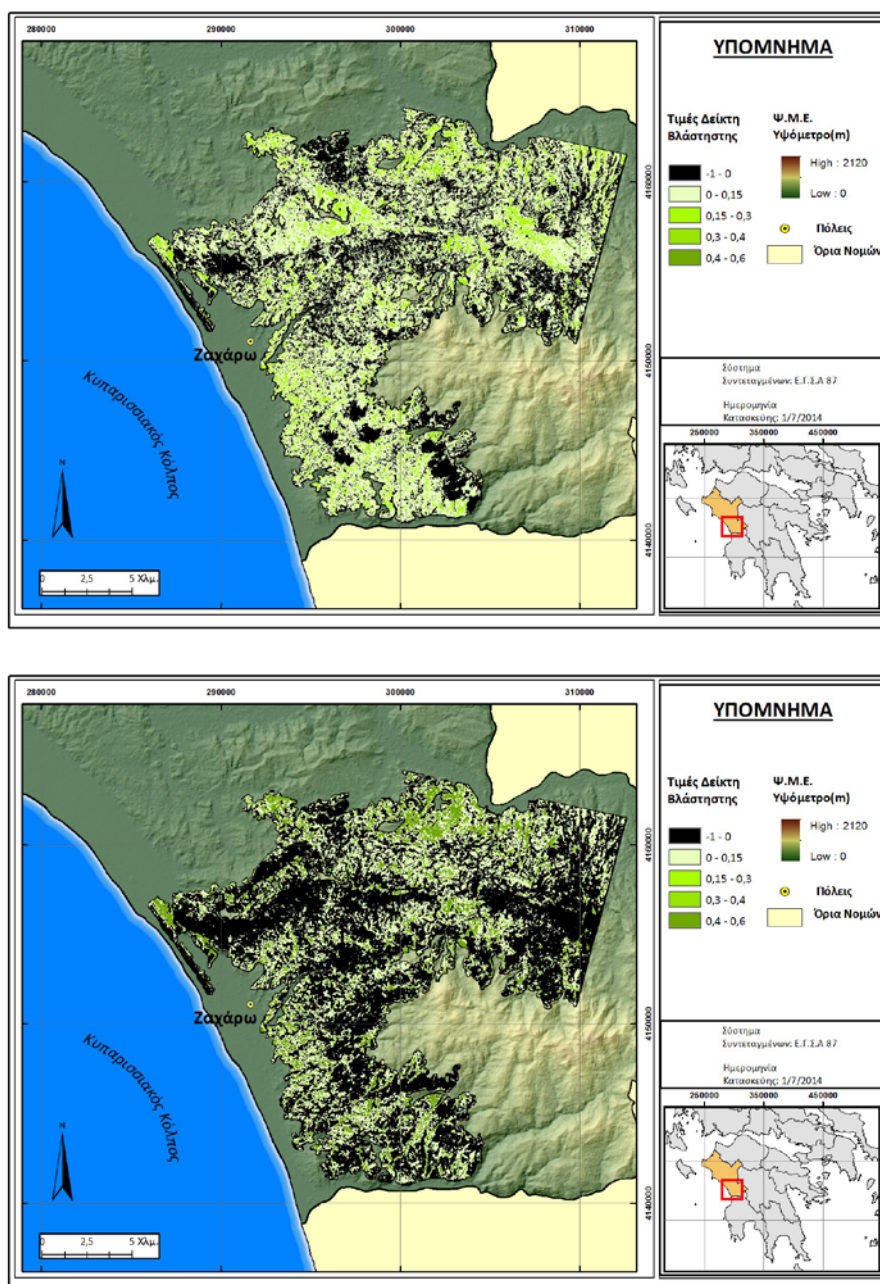
Ι) Αποτελέσματα οπτικών δεδομένων



Εικόνα 5 Δείκτης βλάστησης (NDVI) για τα έτη 2004,2007

Το 2004 (Εικόνα 2) υπάρχει μία απόλυτα φυσιολογική για την περιοχή πυκνότητα βλάστησης, καθώς σχεδόν όλη η περιοχή ενδιαφέροντος είναι δασική έκταση και άρα τιμές του δείκτη βλάστησης είναι απόλυτα δικαιολογημένες να είναι σχετικά υψηλές. Η μεγαλύτερη έκταση λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0,3- 0,4 αλλά και λιγότερες στο αμέσως μεγαλύτερο διάστημα 0,4-0,6 ενώ, ελάχιστες περιοχές παρουσιάζουν τιμές διάστημα 0-0,15. Για το έτος 2007 (Εικόνα 2), ο δείκτης βλάστησης όπως φαίνεται στο χάρτη παρουσιάζει όπως αναμενόταν αρνητικές τιμές, ενώ σε πολύ λίγες περιοχές υπάρχουν θετικές αλλά εξαιρετικά χαμηλά τιμές, το οποίο είναι απολύτως λογικό καθώς η ημερομηνία λήψης της εικόνας είναι μερικές ημέρες μετά τις πυρκαγιές. Σε σύγκριση με τον προηγούμενο χάρτη πριν από τις πυρκαγιές είναι δυνατόν να καταλάβουμε την ένταση και την έκταση της

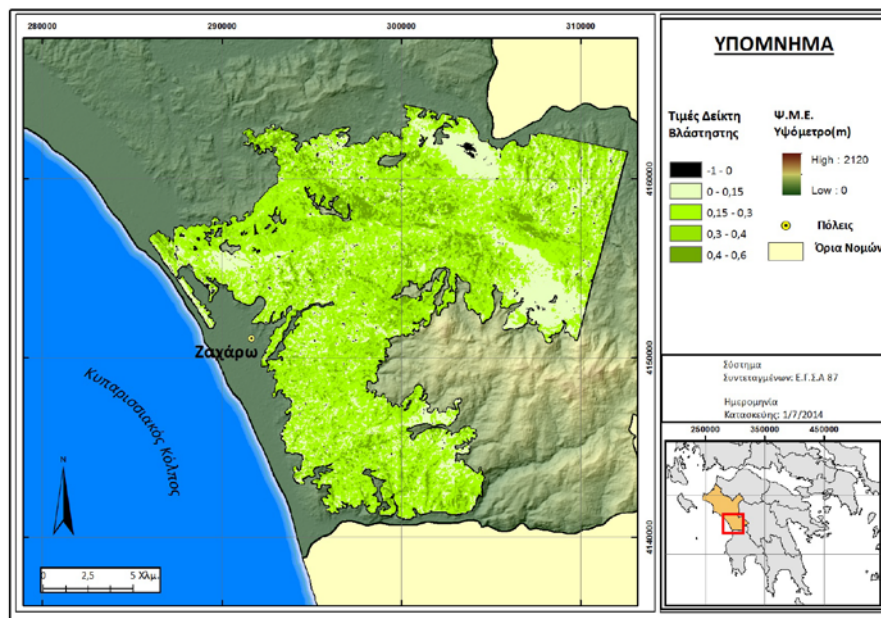
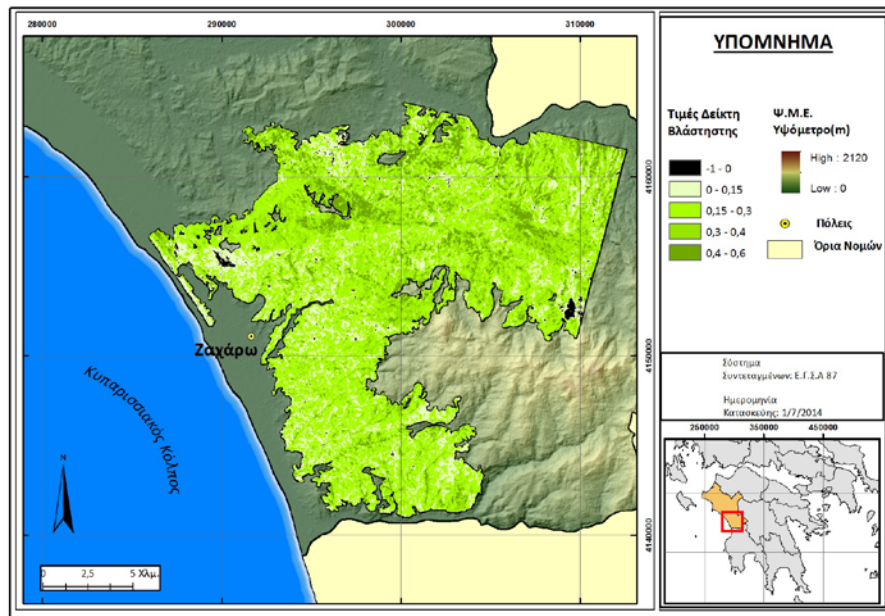
καταστροφής για την περιοχή καθώς φαίνεται ξεκάθαρα ότι η Ζαχάρω αλλά και τα υπόλοιπα κοντινά χωριά υπέστησαν το μεγαλύτερο πλήγμα από τις πυρκαγιές και προφανώς ελάχιστες είναι οι περιοχές που παρουσιάζουν κάποια ένδειξη βλάστησης.



Εικόνα 6 Δείκτης βλάστησης (NDVI) για τα έτη 2008,2009

Το επόμενο έτος (Εικόνα 3) μετά τις πυρκαγιές, σημειώνεται αύξηση του δείκτη βλάστησης που πιθανόν να οφείλεται στις τεχνητές αναδασώσεις που πραγματοποιήθηκαν στη περιοχή, οι οποίες όπως φαίνεται είχαν αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά, οι τιμές του δείκτη βλάστησης σε αρκετές περιοχές είναι ακόμα κάτω του μηδενός ενώ, σε όσες παρουσιάζει θετικές τιμές είναι αρκετά χαμηλές και ανήκουν κυρίως στο χαμηλότερο διάστημα τιμών 0-0,15. Ακόμα, λιγότερες είναι οι περιοχές που παρουσιάζουν υψηλότερο δείκτη βλάστησης, όπως είναι λογικό, καθώς πιθανόν να πρόκειται για πολύ μικρές εκτάσεις που δεν κάηκαν από τις πυρκαγιές και ταυτίζονται με αντίστοιχες περιοχές από το χάρτη του δείκτη βλάστησης του 2007 που δεν παρουσίαζαν αρνητικές τιμές. Για το έτος 2009 (Εικόνα 3), η

βλάστηση συνεχίζει σταδιακά να αυξάνεται και πλέον καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση που είχε καεί αλλά όπως είναι λογικό οι τιμές είναι ακόμα αρκετά χαμηλές. Επίσης, παρατηρούμε ότι δεν παρουσιάζεται καμία τιμή στην υψηλότερη κλάση ενώ, λίγες περιοχές πλέον έχουν εκτάσεις χωρίς καθόλου βλάστηση που βρίσκονται κυρίως στα κεντρικά αλλά και παραλιακά κοντά στη λίμνη Καϊάφα. Να σημειωθεί ακόμα ότι στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζονται κάποιες εκτάσεις με αρνητικές τιμές στη πραγματικότητα πρόκειται για νεφοσκεπής περιοχή και όχι για εκτάσεις χωρίς βλάστηση.

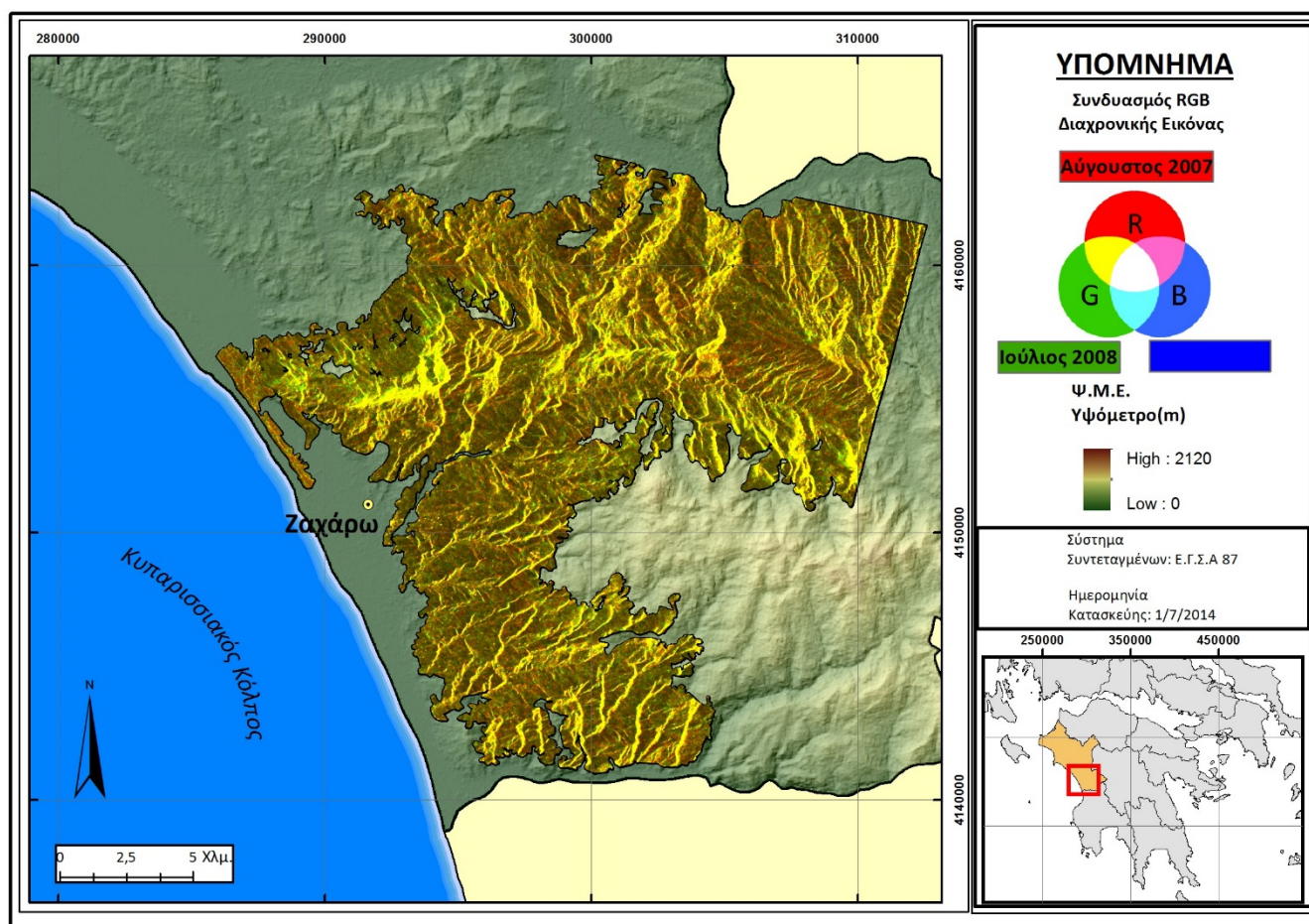


Εικόνα 7 Δείκτης βλάστησης (NDVI) για τα έτη 2010, 2011

Στο χάρτη του δείκτη βλάστησης για το 2010 (Εικόνα 4) παρατηρούμε, ότι είναι η πρώτη χρονιά που δεν σημειώνονται καθόλου εκτάσεις με αρνητικές τιμές. Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης παρουσιάζει τιμές που κυμαίνονται κυρίως στα μεσαία διαστήματα 0,15-0,3 και 0,3-0,4 ενώ, υπάρχουν πλέον και εκτάσεις με τιμές στην υψηλότερη κλάση δηλαδή από 0,4 μέχρι 0,6. Τέλος υπάρχουν ορισμένες μικρές εκτάσεις που

εξακολουθούν να παρουσιάζουν χαμηλές τιμές (0-0,15) κυρίως στο ανατολικό τμήμα. Συγκριτικά με τους προηγούμενους χάρτες μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τρία χρόνια μετά τις πυρκαγιές, η περιοχή ενδιαφέροντος πλέον καλύπτεται από αραιή βλάστηση και αρχίζει να θυμίζει το τοπίο πριν τις πυρκαγιές. Για το έτος 2011 (Εικόνα 4), μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πλέον υπάρχουν ελάχιστες εκτάσεις στην χαμηλότερη κλάση του δείκτη βλάστησης που συγκεντρώνονται κυρίως δυτικά , κοντά στη λίμνη Καϊάφα. Η μεγαλύτερη έκταση καλύπτεται από βλάστηση που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,15-0,4 του δείκτη και γενικότερα υπάρχουν μικρές διαφορές στη πυκνότητα της βλάστησης σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος.

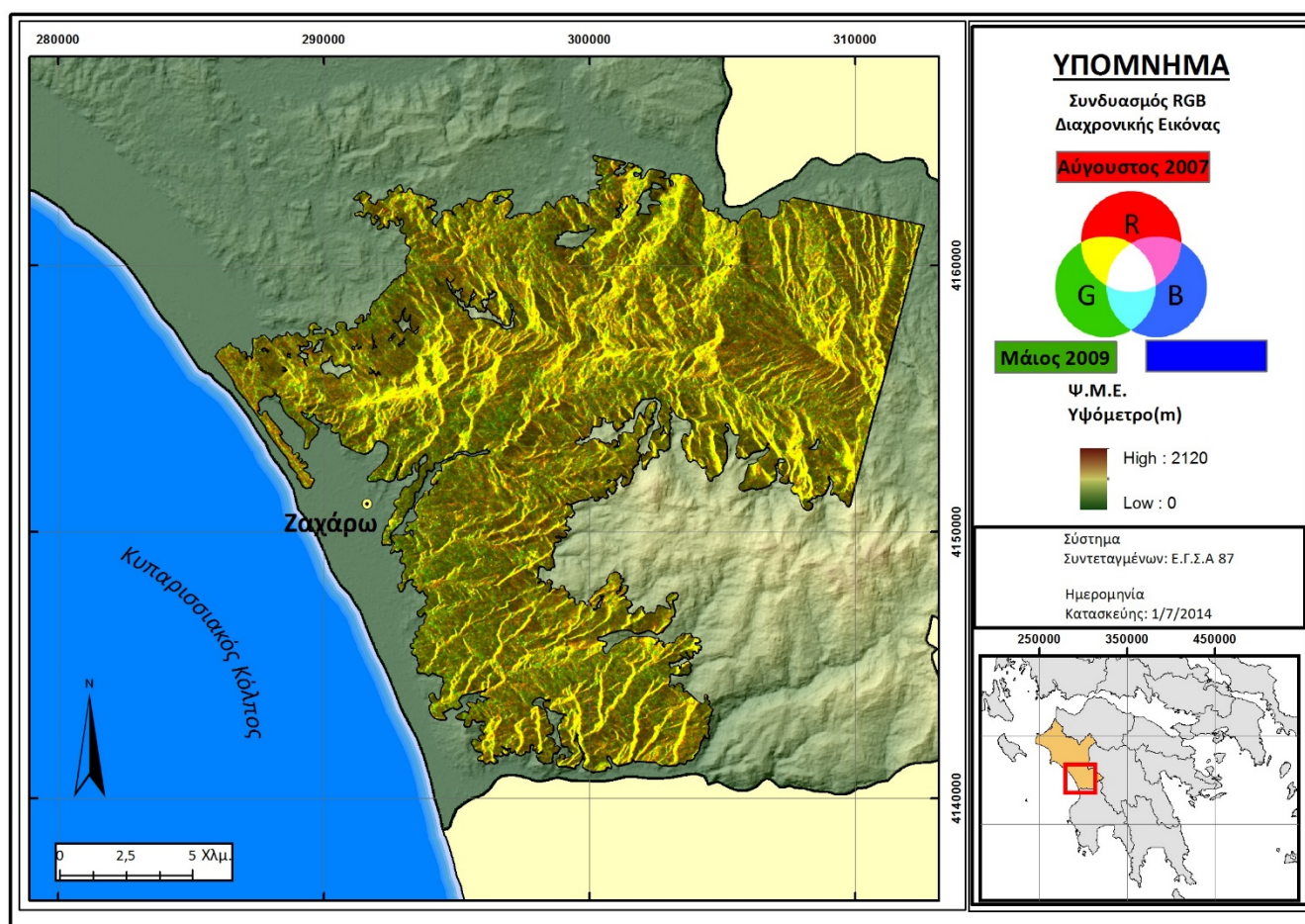
II) Αποτελέσματα δεδομένων ραντάρ



Εικόνα 8 Διαχρονική (multi-temporal) εικόνα για τις χρονολογίες 2007 (κόκκινο)-2008 (πράσινο)

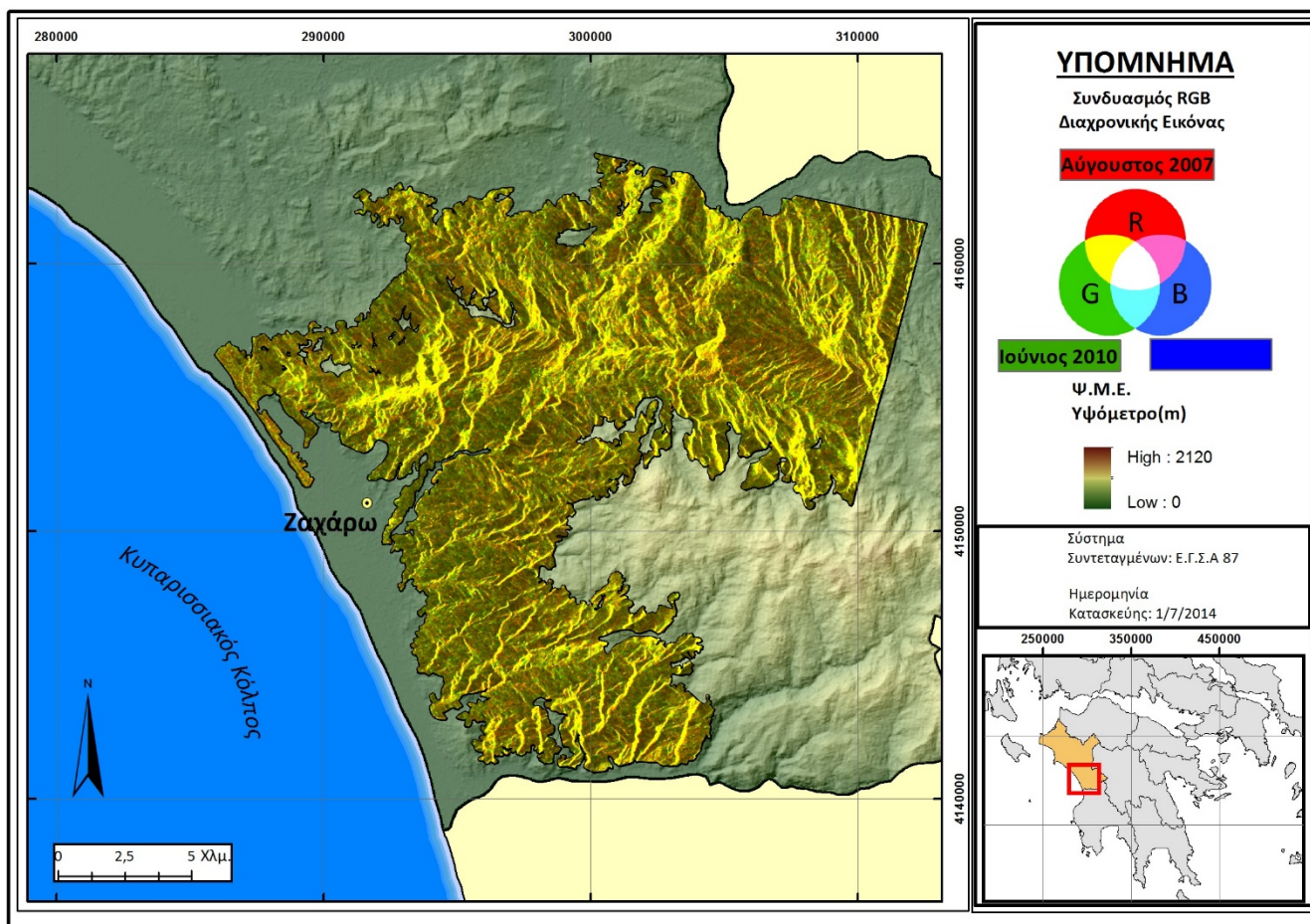
Η διαχρονική εικόνα 2007-2008 (Εικ.5) χρησιμοποιεί το συνδυασμό δύο βασικών χρωμάτων, το κόκκινο και το πράσινο, αναθέτοντας στο πρώτο την απεικόνιση του 2007 και στο δεύτερο το 2008 αντίστοιχα. Όπως είναι λογικό, οι περιοχές που παρουσιάζουν αποχρώσεις του κίτρινου, πρόκειται για εκτάσεις στις οποίες η ένταση της οπισθοσκέδασης παραμένει σταθερή ή σχεδόν σταθερή. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ένα μεγάλο μέρος της εικόνας παρουσιάζει πορτοκαλί και πορτοκαλοκόκκινες αποχρώσεις ενώ πιο περιορισμένες είναι οι αποχρώσεις του πράσινου, το οποίο σημαίνει ότι η ένταση της οπισθοσκέδασης είναι μεγαλύτερη το 2007, μερικές ημέρες δηλαδή πριν από τις πυρκαγιές, παρά το 2008 ένα χρόνο μετά τις πυρκαγιές, το οποίο είναι απολύτως λογικό και αναμενόμενο καθώς τα όσα καμένα

δέντρα έχουν απομείνει δεν έχουν φύλλα και επιτρέπουν έτσι στην μικροκυματική ακτινοβολία να φτάσει ως το έδαφος και να επιστρέψει στο δορυφόρο χωρίς να σκεδαστεί στα φυλλώματα. Επίσης, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι βόρεια της Ζαχάρως σημειώνετε μια μικρή σχετικά έκταση με καθαρές αποχρώσεις του πράσινου, το οποίο πιθανόν να οφείλεται στο ότι το 2008 υπάρχουν πιο ισχυροί σκεδαστές στο συγκεκριμένο μόνο κομμάτι της περιοχής μελέτης σε σύγκριση με το 2007 και έτσι προκαλείται αυτή η μη αναμενόμενη διαφορά στην οπισθοσκέδαση. Η υπόθεση αυτή επιβεβαιώνεται και από το χάρτη του δείκτη βλάστησης για 2008 στον οποίο παρουσιάζονται κυρίως αρνητικές τιμές στο συγκεκριμένο σημείο και άρα από αυτό μπορούμε να αποκλείσουμε ότι υπάρχει ακόμα βλάστηση εκεί που ανακλά την μικροκυματική ακτινοβολία με μεγάλη ένταση.



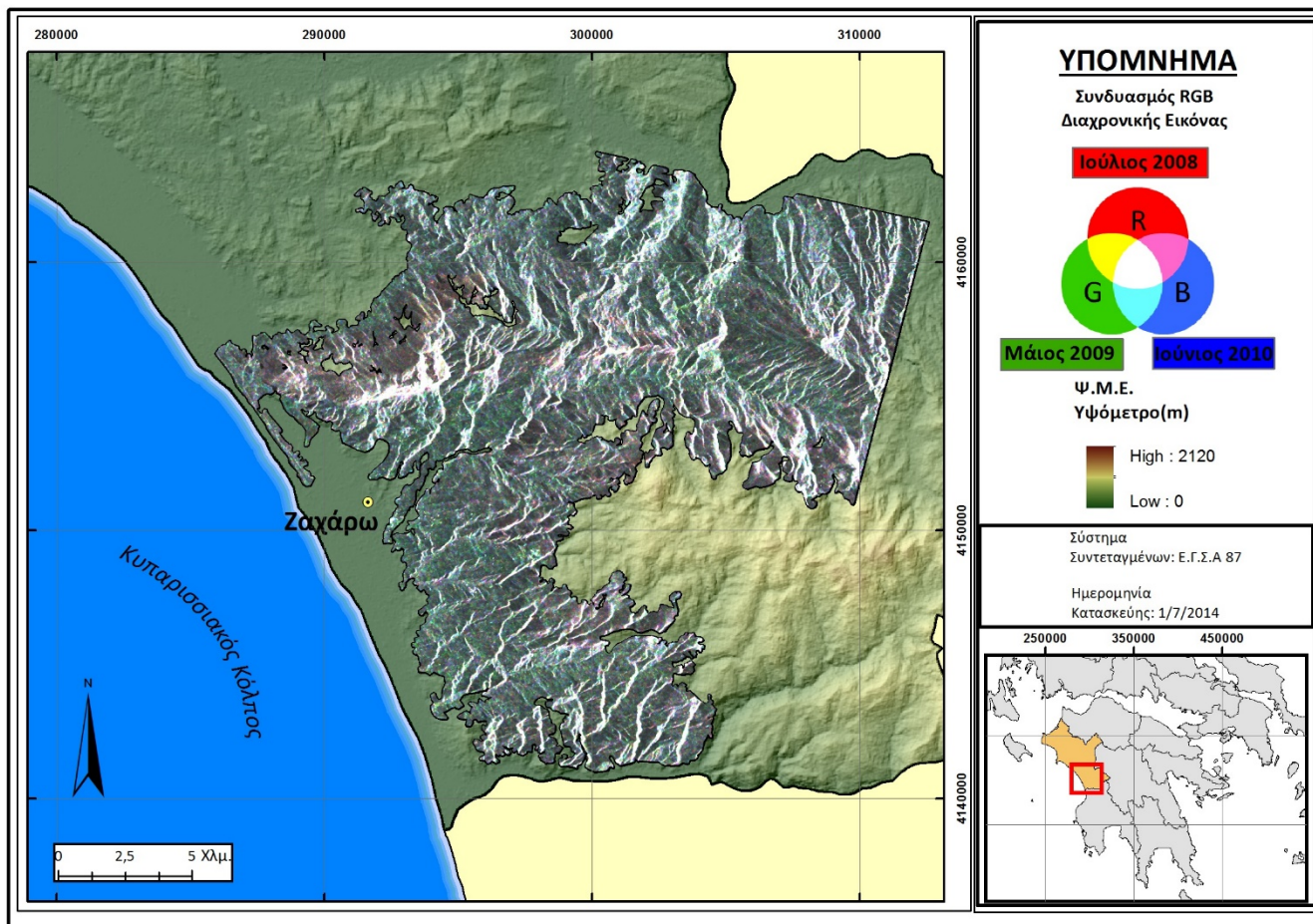
Εικόνα 9 Διαχρονική (multi-temporal) εικόνα για τις χρονολογίες 2007 (κόκκινο)-2009 (πράσινο)

Η διαχρονική εικόνα των χρονολογιών 2007-2009 παρουσιάζει πιο πολλές αποχρώσεις του πράσινου οι οποίες σημειώνονται κυρίως στα νότια και νοτιοδυτικά τμήματα της περιοχής μελέτης και λιγότερες με πορτοκαλί χρώμα σε σύγκριση με τον προηγούμενο συνδυασμό (2007-2008), το οποίο σημαίνει ότι βλάστηση έχει αρχίσει και αναπτύσσεται σε τέτοιο βαθμό ώστε πλέον να είναι «ορατή» στο σήμα που στέλνει ο δορυφόρος. Ακόμα, η έκταση βόρεια της Ζαχάρω συνεχίζει να απεικονίζεται με αποχρώσεις του πράσινου, σε λιγότερο έντονους τόνους, και πλέον υπάρχουν αρκετά κοντινά εικονοστοιχεία με κίτρινο χρώμα, το οποίο σημαίνει ότι ο τρόπος σκέδασης του σήματος από το δορυφόρο αρχίζει να αλλάζει και πάλι.



Εικόνα 10 Διαχρονική (multi-temporal) εικόνα για τις χρονολογίες 2007 (κόκκινο)-2010 (πράσινο)

Η διαχρονική εικόνα για τα έτη 2007 (κόκκινο)-2010 (πράσινο) (Εικόνα 7) παρουσιάζει κυρίως κίτρινες αποχρώσεις αποδεικνύοντας έτσι ότι η βλάστηση έχει αρχίσει να γίνεται ολοένα και πιο πυκνή και να αποκτά περίπου παρόμοια ένταση οπισθοσκέδασης όπως πριν από τις πυρκαγιές, όπως φαίνεται και από τους παραπάνω χάρτες του δείκτη βλάστησης για τα αντίστοιχα έτη. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετά σημεία όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι επικρατεί το πράσινο χρώμα κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα, ενώ λιγότερες εκτάσεις σημειώνουν πορτοκαλί αποχρώσεις κυρίως στα ανατολικά και κεντρικά της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι εναλλαγές αυτές των χρωμάτων πιθανόν να οφείλονται στο ότι άλλες περιοχές δεν έχουν αναπτύξει ακόμα βλάστηση και άρα παρουσιάζονται με πορτοκαλί χρώμα, και άλλες που απεικονίζονται με πράσινο ανοιχτό χρώμα στην γρήγορη ανάπτυξη της βλάστησης σε τέτοιο βαθμό ώστε να είναι παρόμοια με τη βλάστηση πριν από τις πυρκαγιές. Σε σύγκριση με τον παραπάνω χάρτη για τα έτη 2007-2009 παρατηρούμε συνολικά ότι εκτάσεις που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ένταση, δηλαδή όσες απεικονίζονται με πράσινες αποχρώσεις έχουν αυξηθεί, το οποίο σημαίνει ότι η βλάστηση συνεχίζει να αναπτύσσεται. Όσον αφορά την περιοχή βόρεια της Ζαχάρως όπου τα προηγούμενα έτη παρουσίαζε ξεκάθαρα πράσινες αποχρώσεις πλέον αρχίζει και αποκτά αποχρώσεις του κίτρινου δηλώνοντας έτσι ότι και στο συγκεκριμένο κομμάτι η βλάστηση έχει αναπτυχθεί αρκετά το 2010 και πλέον το σήμα που φτάνει στο δορυφόρο είναι εξίσου ισχυρό με το 2007.



Εικόνα 11 Διαχρονική (multi-temporal) εικόνα για τις χρονολογίες 2008 (κόκκινο)-2009 (πράσινο)-2010 (μπλε)

Τέλος, η τελευταία διαχρονική εικόνα χρησιμοποιεί και τα τρία βασικά χρώματα για να απεικονίσει τρεις διαφορετικές χρονολογίες το 2008, το 2009 και το 2010. Πλέον, τα εικονοστοιχεία που και στις τρεις χρονολογίες έχουν περίπου την ίδια ένταση απεικονίζονται με άσπρο χρώμα. Το χρώμα που επικρατεί στις περισσότερες εκτάσεις της περιοχής μελέτης είναι το κυανό, το οποίο σημαίνει ότι η ένταση της οπισθοσκέδασης στις 2 λήψεις των εικόνων τα έτη 2009 και 2010 είναι σχεδόν ίδια, αλλά ταυτόχρονα και ισχυρότερη της αντίστοιχης έντασης της εικόνας για το 2008 διότι απουσιάζει το κόκκινο χρώμα και οι συνδυασμοί που δημιουργεί. Η διαπίστωση αυτή είναι δικαιολογημένη καθώς τα έτη 2009 και 2010 η βλάστηση έχει αναπτυχθεί περισσότερο σε σύγκριση με το 2008 και άρα η οπισθοσκέδαση είναι ισχυρότερη. Όσον αφορά τις περιοχές που απεικονίζονται με μωβ αποχρώσεις, σημαίνει ότι ο συνδυασμός της έντασης του 2008 και του 2010 είναι ισχυρότερος από τον αντίστοιχο του 2009. Οι εκτάσεις που παρουσιάζονται με μωβ χρώμα συγκεντρώνονται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, βόρεια δηλαδή από τη πόλη της Ζαχάρω, και επαληθεύουν τις παραπάνω διαχρονικές εικόνες, καθώς η συγκεκριμένη έκταση παρουσιάζει αντίθετη συμπεριφορά όσον αφορά την ένταση της οπισθοσκέδασης από ότι θα έπρεπε μετά τις πυρκαγιές και επιβεβαιώνει τους παραπάνω ισχυρισμούς.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν έδειξαν αρχικά την πολύ μεγάλη καταστροφή που υπέστη η Ζαχάρω και τα κοντινά χωριά και εν συνεχεία την αναδάσωση της περιοχής ανά χρόνο μέσα από τους δύο διαφορετικούς τύπους δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Στα αποτελέσματα των οπτικών δεδομένων, ο δείκτης βλάστησης παρουσιάζει με μεγαλύτερη ακρίβεια το όριο καμένων-μη καμένων περιοχών, κάθε χρονιάς σύμφωνα με τον οποίο η περιοχή παρουσιάζει μια σχετικά γρήγορη αποκατάσταση της βλάστησης μετά από τις πυρκαγιές από το πρώτο κιάλας χρόνο αναδασώσεων. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι από το 2011 και μετά η περιοχή μελέτης αρχίζει να θυμίζει το τοπίο που επικρατούσε πριν από τις πυρκαγιές, το οποίο σημαίνει ότι αναδασώσεις είχαν εμφανή και άμεσα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα των δεδομένων ραντάρ μας παρείχαν μια διαφορετική προσέγγιση του θέματος και παρουσίασαν επιπλέον πληροφορίες για πορεία της αναδάσωσης σε σύγκριση με τα οπτικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, η διαχρονική εικόνα 2007-2008 ανέδειξε τις καμένες περιοχές και τη διαφορά στην ένταση του σήματος του δορυφόρου πριν και μετά από τις πυρκαγιές προσθέτοντας πληροφορίες στην παρακολούθηση της αναδάσωσης που δεν ήταν δυνατό να αναγνωρισθούν με τα οπτικά δεδομένα. Ενώ, οι διαχρονικές εικόνες 2007-2009 και 2007-2010 εμφάνισαν μία ισορροπία μεταξύ των δύο χρονολογιών που προηγουμένως δεν υπήρχε και οφείλετε στη ανάπτυξη της βλάστησης σε τέτοιο βαθμό ώστε η ένταση του σήματος να είναι σχεδόν το ίδιο ισχυρή και στις δύο χρονολογίες. Τέλος, η διαχρονική εικόνα που συνδύαζε και τους τρεις βασικούς χρωματισμούς(για τα έτη 2008,2009,2010) επαλήθευσε τους ισχυρισμούς και ανέδειξε τη διαδικασία της αναδάσωσης.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα και οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν τα δικά τους διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, τα οπτικά δεδομένα είναι πολύ πιο εύκολα στην επεξεργασία και την ερμηνεία τους, και προϋποθέτουν ελάχιστα βήματα διορθώσεων τα οποία δεν είναι καν απαραίτητα για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων, αλλά υπάρχουν άλλοι περιοριστικοί παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η απουσία ηλιακής ακτινοβολίας κ.α. Αντίθετα τα δεδομένα ραντάρ είναι πιο πολύπλοκα, χρειάζονται αρκετά απαραίτητα στάδια προ-επεξεργασίας και η ερμηνεία τους είναι αρκετά πιο δύσκολη, ωστόσο παρέχουν μοναδικές πληροφορίες που δεν μπορούν να προσφέρουν τα παθητικά οπτικά συστήματα, ειδικά σε εφαρμογές παρακολούθησης φυσικών καταστροφών λόγω της μη εξάρτησής τους από την ηλιακή ακτινοβολία και τις καιρικές συνθήκες, κάνοντας έτσι δυνατή την λήψη εικόνων οποιαδήποτε στιγμή κριθεί απαραίτητο. Επίσης, βάση της παρούσας εργασίας, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε και τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να χαρακτηριστούν ως θετική συμβολή για τον εντοπισμό και τη καταμέτρηση των περιοχών που κάηκαν, αλλά και ως μέσο για την παρακολούθηση της διαδικασίας της αναδάσωσης.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας του Μπουντζουκλή Χρίστου με τίτλο: “Καταγραφή καμένων εκτάσεων και παρακολούθηση της αναδάσωσης για το νομό Ηλείας με τη χρήση οπτικών και ραντάρ δορυφορικών δεδομένων”. Ευχαριστίες αποδίδονται στον αναπληρωτή καθηγητή Κ. Ισαάκ Παρχαρίδη του τμήματος γεωγραφίας του Χαροκοπέιου πανεπιστημίου για τη επίβλεψη της εργασίας και την βοήθειά του. Τέλος, ευχαριστίες αποδίδονται στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA) για την διάθεση των εικόνων ραντάρ καθώς και στο Γεωλογικό Ινστιτούτο των Η.Π.Α. (USGS) για την άμεση και δωρεάν διάθεση των εικόνων ASTER.

Βιβλιογραφία

Lopes, A., Touzi, R. and Nezry, E., (1990), «Adaptive speckle filters and scene heterogeneity, IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing», 28(6), pp. 992-1000

Mather, M.P., (1999), «Computer Processing of Remotely-Sensed Images». 2nd edition, J. Wiley & Sons, pp. 292, Great Britain

Parcharidis Is., Fournelis M., Lekkas E. (2007), «Vertical tectonic motion in Andaman Islands detected by multi-temporal satellite radar images», Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXVII 2007, Πρακτικά 11ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα

Rosich B., Meadows P., (2004), «Absolute calibration of ASAR Level 1 products», ESA/ESRIN, ENVI-CLVL-EOPG-TN-03-0010, Issue 1, Revision 5

Scaramuzza, P., Micijevic, E., Chander G., (2004), «SLC Gap-Filled Products Phase One Methodology», U.S.G.S.

Ψωμιάδης, Ε.,(2010), «Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών». Διδακτορική διατριβή, Αθήνα – Γεωπονικό Πανεπιστήμιο