

Βάση Γεωγραφικών Δεδομένων της Νήσου Ρόδου για Διαχείριση Κινδύνων

Κώστας ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΔΗΣ ¹, Μιχαήλ ΒΑΪΤΗΣ ², Παλαιολόγος ΠΑΛΑΙΟΛΟΓΟΥ ³,

Γεώργιος ΤΑΤΑΡΗΣ ³, Όλγα ΡΕΤΣΙΛΙΔΟΥ ⁴, Ιωάννης ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ⁵

¹ Καθηγητής, ² Επίκουρος Καθηγητής, ³ Υποψήφιος Διδάκτορας -- Τμήμα Γεωγραφίας, τηλ. 22510-36435

⁴ Υποψήφια Διδάκτορας, ⁵ Καθηγητής -- Τμήμα Περιβάλλοντος, τηλ. 22510-36244

Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, 811 00 Μυτιλήνη

Λέξεις κλειδιά: **AEGIS, Δασικές Πυρκαγιές, Θεματικοί Χάρτες, Εδαφοκάλυψη, Μετεωρολογικοί Σταθμοί**

Περίληψη

Η διαθεσιμότητα ενημερωμένων και λεπτομερών γεωγραφικών δεδομένων αποτελεί απαραίτητη πηγή πληροφοριών για εφαρμογές διαχείρισης περιβαλλοντικών κινδύνων και αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών. Επιπλέον, η οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών με τη δημιουργία χαρτών, αποτελεί σημαντικό εργαλείο που συμβάλει στη διάχυση και αξιοποίησή τους. Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου AEGIS (<http://aegis.aegean.gr>) αναπτύχθηκε μια λεπτομερής Βάση Γεωγραφικών Δεδομένων (ΒΓΔ), στην οποία περιλαμβάνονται χωρικά και περιγραφικά δεδομένα για τη νήσο Ρόδο, εννοιολογικά οργανωμένα σε 11 κατηγορίες. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάλυση απαιτήσεων και ο σχεδιασμός της ΒΓΔ, καθώς και θέματα υλοποίησής της. Για τον εμπλουτισμό της ΒΓΔ χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από φορείς του νησιού, από επιτόπιες καταγραφές της ομάδας του έργου, καθώς και από την ανάλυση δορυφορικών εικόνων RapidEye υψηλής διακριτικής ικανότητας (pixel size 5 m). Η ΒΓΔ χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός νέου χάρτη βλάστησης του νησιού της Ρόδου, για την απόδοση μοντέλων καύσιμης ύλης (τα οποία περιγράφουν τον τύπο βλάστησης μέσω του οποίου προσομοιώνεται η διάδοση της πυρκαγιάς), καθώς και για τη δημιουργία χαρτών διαφορετικής κλίμακας και μεγέθους για χρήση στον προ-καταστατικό σχεδιασμό και στη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Η ΒΓΔ του AEGIS συμπληρώνει τη βάση μετεωρολογικών δεδομένων του Εργαστηρίου Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών του Πανεπιστημίου Αιγαίου, επιτυγχάνοντας την αποτελεσματικότερη πρόληψη και διαχείριση κινδύνων. Στα πλαίσια του AEGIS εγκαταστάθηκαν δύο αυτόματοι τηλεμετρικοί μετεωρολογικοί σταθμοί στις περιοχές του Έμπωνα (http://meteo.aegean.gr/rhodes_emponas.html) και της Κατταβιάς (http://meteo.aegean.gr/rhodes_kattavia.html) της Ρόδου, που προσφέρουν διαδικτυακή παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών σε πραγματικό χρόνο, καθώς και ελεύθερη πρόσβαση στο ιστορικό των καταγραφών τους.

Abstract

Availability of updated and detailed geographical data is a necessary source of information for natural disasters' mitigation and management applications. Visualization of these data through thematic maps is an essential process that contributes in their dissemination and usage. During the development of the research project AEGIS (<http://aegis.aegean.gr>), a detailed Geographical Data Base (GDB) was developed that includes spatial and descriptive data for Rhodes Island, Greece, organized conceptually into 11 categories. The requirement analysis and design of GDB along with implementation issues are presented. To complete and enrich the GDB, data provided from the island's state agencies, collected during field trips and acquired from processing of high spatial resolution satellite images (RapidEye - pixel size 5 m) were used. The GDB was used to complete several of the AEGIS tasks. In particular, it was used to design a new land use / land cover map, to define representative fuel model types (describing the vegetation type through which a wildfire behaves), and to create

wildfire management maps of different sizes and scales that help and contribute in the pre-suppression plans and management of natural disasters. The AEGIS GDB is supplemented by a weather information database designed by the Geography of Natural Disasters Lab of the University of the Aegean, Mytilene, Greece, achieving more effective risk prevention and management. Two new remote automatic weather stations were acquired during the AEGIS project and installed in the regions of Emponas (http://meteo.aegean.gr/rhodes_emponas.html) and Kattavia of Rhodes Island (http://meteo.aegean.gr/rhodes_kattavia.html), providing on-line access on near real-time weather conditions along with access on historical records of their observations. This research has been co-financed by the European Social Fund (ESF) and the Greek State within the National Strategic Reference Framework (NSRF) 2007-2013 (Actions' Beneficiary: General Secretariat for Research and Technology).

1. Εισαγωγή

Η αποτελεσματική διαχείριση φυσικών κινδύνων και καταστροφών προϋποθέτει την ύπαρξη δεδομένων τα οποία έχουν περιγραφικές πληροφορίες και μπορούν να αποδοθούν χωρικά με τα σύγχρονα εργαλεία της Γεωπληροφορικής επιστήμης. Η ύπαρξη τέτοιων δεδομένων εξασφαλίζει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν από σύγχρονα μέσα οπτικοποίησης και διαχείρισής τους, όπως smartphones, tablets και computers. Επιπλέον, η αξιοποίησή τους για παραγωγή θεματικών χαρτών προσφέρει ένα πολύτιμο μέσο διάχυσης και μετάδοσης πληροφοριών το οποίο είναι εύχρηστο, κατανοητό και διαθέσιμο ακόμα και σε χρήστες δίχως ιδιαίτερη πείρα και εξοικείωση στη γεωγραφική αποτύπωση και απόδοση του χώρου. Θεματικοί χάρτες αντιπυρικών υποδομών, βλάστησης, διαχείρισης εκτάκτων αναγκών και ευαισθητοποίησης του κοινού έχουν αναπτυχθεί ευρέως για διάφορες περιοχές ανά την Ελλάδα από κρατικούς φορείς, όπως η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ), το Ινστιτούτο Γεωλογικών Μελετών Ελλάδος (ΙΓΜΕ) και από διάφορα Υπουργεία, ενώ σημαντική είναι και η συμβολή ακαδημαϊκών και ερευνητικών ιδρυμάτων. Η νήσος Ρόδος έχει χαρτογραφηθεί κατά το παρελθόν από την ΓΥΣ και το ΙΓΜΕ, διαπιστώθηκε όμως ότι υπάρχει κενό στην ενημέρωση των χαρτών οι οποίοι ήδη μετρούν αρκετές δεκαετίες δημιουργίας. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν οργανωμένα και άμεσα διαθέσιμα δεδομένα εντός μιας Βάσης Γεωγραφικών Δεδομένων (ΒΓΔ) ώστε να εξασφαλιστεί η ενημέρωση, αναβάθμιση και συμπλήρωση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους χάρτες. Επιπλέον, διαπιστώθηκε η έλλειψη ενός ενημερωμένου, σωστού και λεπτομερούς χάρτη βλάστησης, ο οποίος θα προσέφερε την ακρίβεια που απαιτείται για να διενεργηθούν προσομοιώσεις δασικών πυρκαγιών με σύγχρονες εφαρμογές λογισμικού. Άλλες ελλείψεις αφορούν την απουσία μετεωρολογικών δεδομένων για ένα πολύ μεγάλο τμήμα του νησιού, τόσο ιστορικών όσο και άμεσα προσβάσιμων σε πραγματικό χρόνο, τα οποία καταγράφονται από Αυτόματους Τηλεμετρικούς Μετεωρολογικούς Σταθμούς (ΑΤΜΟΣ). Τέλος, υπάρχει σημαντική έλλειψη στη διαθεσιμότητα χωρικών δεδομένων και πληροφοριών για το ιστορικό πυρκαγιών και τη χωρική κατανομή τους.

Ένας από τους πρώτους και βασικούς στόχους που τέθηκε με την έναρξη του έργου «AEGIS: Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών» (<http://aegis.aegean.gr>) ήταν η συλλογή όσων δεδομένων απαιτούνταν, χωρικών και μη, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία μιας πλήρους ΒΓΔ για τη νήσο Ρόδο. Με αυτό το πνεύμα, τέθηκε ως προτεραιότητα η αναζήτηση όσων δεδομένων έχουν κατά καιρούς δημιουργηθεί από διάφορους φορείς και η ένταξή τους στο έργο, για την επίτευξη των ερευνητικών στόχων του. Αρχικά διερευνήθηκε το τι δεδομένα υπάρχουν και ποιος τα διαθέτει. Τα χωρικά δεδομένα που αναζητήθηκαν περιελάμβαναν οδικά δίκτυα, τύπους βλάστησης, μοντέλα καύσιμης ύλης, θέσεις υδροληψίας, τοπογραφία, θέσεις δυνάμεων δασοπυρόσβεσης, κοινωνικές υποδομές, αστικές περιοχές, δεδομένα από δασικές διαχειριστικές μελέτες κ.ά. Στη συνέχεια, έπειτα από τις κατάλληλες επαφές με τους υπεύθυνους διαχείρισης αυτών των δεδομένων, παραχωρήθηκαν στο έργο και πέρασαν από το στάδιο της αξιολόγησης. Όσα δεδομένα δημιουργήθηκαν σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2007/2/EK (INSPIRE), θεωρείται ότι πληρούν τις προϋποθέσεις και δεν χρειάζεται παρά μόνο μικρής κλίμακας επεξεργασία. Δεδομένα τα οποία δεν πληρούσαν τις κατάλληλες προϋποθέσεις έπρεπε είτε να διορθωθούν, αν ήταν εφικτό, είτε να δημιουργηθούν εκ νέου.

Για τη δημιουργία των νέων δεδομένων καθορίστηκαν οι προδιαγραφές τους, περιλαμβάνοντας τόσο τον τύπο (σημειακά, γραμμικά, πολυγωνικά, ονομασίες και ψηφιδωτά), όσο και το υπόβαθρο ψηφιοποίησής τους (π.χ. ορθοεικόνες, τοπογραφικοί χάρτες, διαδικτυακά υπόβαθρα κ.α.), το προβολικό σύστημα και την κλίμακα ψηφιοποίησης. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν και συμπληρώθηκαν περιγραφικές πληροφορίες που συνοδεύουν τα χωρικά δεδομένα. Τέλος, στα δεδομένα που εισήχθησαν στις ΒΓΔ προστέθηκαν μεταδεδομένα σύμφωνα με την οδηγία INSPIRE, τα οποία θα δίνουν βασικές πληροφορίες σχετικά με την πηγή προέλευσής τους, καθώς και για τον τύπο, τρόπο δημιουργίας, χρονικό επεξεργασίας, υπεύθυνο δημιουργίας κ.ά. Η ύπαρξη μεταδεδομένων συμβάλει στην αρτιότερη αξιοποίησή τους τόσο από τους φορείς από τους οποίους προήλθαν τα πρωταρχικά δεδομένα, όσο και από τους τελικούς χρήστες του AEGIS, στους οποίους θα παραχωρηθούν μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος.

Η δημιουργία του ιστορικού πυρκαγιών επετεύχθη με τη χρήση δεδομένων που παραχωρήθηκαν από τη Διεύθυνση Δασών (ΔΔ) μέχρι το έτος 1999 και από την Πυροσβεστική Υπηρεσία (ΠΥ) της νήσου Ρόδου από το 2000 έως και το 2013. Δημιουργήθηκαν διαγράμματα αποτύπωσης των στατιστικών στοιχείων που προέκυψαν από αυτά, ενώ με αξιοποίηση όσων πληροφοριών περιέχονταν στα δελτία πυρκαγιών έγινε προσπάθεια χωρικής αποτύπωσης των σημείων έναρξης των περισσότερων από αυτές (όπου τα στοιχεία επαρκούσαν). Επιπλέον δεδομένα παραχωρήθηκαν από τη ΔΔ και αφορούν τις περιμέτρους των μεγαλύτερων και σημαντικότερων πυρκαγιών των τελευταίων 35 ετών. Τέλος, δημιουργήθηκαν δύο χάρτες, ένας θεματικός, όπου αποτυπώνονται όσα σημεία έναρξης ταυτοποιήθηκαν, και ένας χάρτης πυκνότητας περιστατικών, όπου απεικονίζονται οι περιοχές με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών.

Για τη χαρτογράφηση της βλάστησης αξιοποιήθηκαν οι πέντε μικροδορυφόροι RapidEye (ηλαιοσύγχρονης τροχιάς στα 634 km), οι οποίοι συλλέγουν εικόνες από το 2009, έχοντας δυνατότητες που ανταποκρίνονται σε αρκετές από τις προκλήσεις της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση των τύπων βλάστησης και των χαρακτηριστικών της καύσιμης ύλης, γιατί έχουν σχετικά υψηλή διακριτική ικανότητα (5 m) και συχνά χρονικά διαστήματα λήψης (επαναληψιμότητα: 1 έως και 5,5 ημέρες). Οι δορυφόροι λαμβάνουν εικόνες σε πέντε φασματικές ζώνες με εύρος 440-850 nm (μπλε, πράσινο, ερυθρό, ερυθρό άκρο και εγγύς υπέρυθρο) σε τομείς (swath) 77 Km. Το κανάλι «ερυθρό άκρο» (690-730 nm) καταγράφει σε μια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που έχει συσχετιστεί με τη γρήγορη αύξηση της αντανάκλαστικότητας της βλάστησης μεταξύ της ερυθράς περιοχής (απορρόφηση χλωροφύλλης) και στην κορύφωση της αντανάκλαστικότητας της περιοχής του εγγύς υπέρυθρου που σχετίζεται με τη δομή της βλάστησης. Η υψηλή διακριτική ικανότητα επιτρέπει τη χαρτογράφηση σε λεπτομερείς κλίμακες της κάλυψης κόμης και των τύπων εδαφοκάλυψης.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η ζώνη του ερυθρού άκρου της ακτινοβολίας είναι σε θέση να παράσχει πρόσθετες πληροφορίες προκειμένου να προσδιοριστούν τα είδη των φυτών (Tapsall *et al.* 2010, Recio *et al.* 2011, Schuster *et al.* 2012, Sousa *et al.* 2012), ενώ έχει και την ικανότητα να διακρίνει την όποια πίεση δέχεται η βλάστηση νωρίτερα σε σχέση με τη χρήση άλλων υπέρυθρων καναλιών (Eitel *et al.* 2011). Επιπλέον, βοηθάει στην ταξινόμηση, ιδιαίτερα για τύπους ανοιχτής βλάστησης όπως φρύγανα, θάμνοι και ετήσια φυτά (Schuster *et al.* 2012). Τέλος, η ικανότητα για διάκριση της βλάστησης υπόροφου από την κόμη των κωνοφόρων είναι χρήσιμη στην παραγωγή χαρτών βλάστησης μιας και επιτρέπει τον διαχωρισμό της κόμης από άλλα χαρακτηριστικά του εδάφους (Falkowski *et al.* 2005, Riaño and Chuvieco 2002).

2. Περιοχή Μελέτης

Το νησί της Ρόδου χαρακτηρίζεται από ημιορεινό / λοφώδες ανάγλυφο, με ορεινές μάζες διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ (Όρη Απάβυρος 1215 m, Προφήτης Ηλίας 793 m, Αρχάγγελος 516 m). Η σημαντικότερη πεδινή έκταση του νησιού είναι η πεδιάδα της Απολακκιάς που διασχίζεται από βαθιές κοιλάδες. Χαρακτηριστικό του νησιού αποτελεί και η σχετικά μεγάλη δασοκάλυψη, κυρίως στο κέντρο του νησιού, σε σχέση με τα άλλα νησιά του Αιγαίου. Στη Ρόδο υπάρχουν δύο περιοχές Natura 2000 (Προφήτης Ηλίας και Επτά Πηγές, Πεταλούδες).

Λόγω του θερμο-μεσογειακού κλίματος οι βιότοποι που απαντώνται σε όλο το νησί είναι κυρίως της ευμεσογειακής ζώνης βλάστησης με αείφυλλους θάμνους με χαρακτηριστικότερα είδη τον σχίνο (*Pistacia lentiscus*), την κουμαριά (*Arbutus*

unedo) και το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), φρύγανα με χαρακτηριστικότερα είδη το θυμάρι (*Corydanthus capitatus*), την ασποβή (*Sarcopoterium spinosum*), τη ρίγανη (*Origanum spp.*), τον ασφόμελο (*Asphodelus spp.*) και την ασφάκα (*Phlomis fruticosa*), καθώς και δάση κωνοφόρων αποτελούμενα από τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*) ή/και αμιγή και μικτά δάση με κυπαρίσσια (*Cupressus sempervirens* var *horizontalis*). Τα μικτά αυτά δάση απαντώνται σε ελάχιστα μέρη της Ελλάδας (Δωδεκάνησα και Κρήτη) αλλά και στη Ρόδο τα βρίσκουμε σε μία από τις καλύτερες και πιο αντιπροσωπευτικές τους μορφές.

Έπειτα από τις μεγάλες και καταστροφικές πυρκαγιές των τελευταίων 30 ετών, οι οποίες είχαν ως άμεση συνέπεια την καταστροφή σημαντικών εκτάσεων οι οποίες καλύπτονταν από ώριμα δάση κωνοφόρων και θαμνώνες, το τοπίο στην κεντρική και νότια Ρόδο μετασχηματίστηκε σε μια εκτεταμένη περιοχή η οποία καλύπτεται από νεαρά άτομα τραχείας πεύκης, σε μίξη με θαμνώνες, αείφυλλα και φρύγανα. Οι εκτάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα τρωτές για την έναρξη και εξήλιξη νέων δασικών πυρκαγιών, οι οποίες μπορεί να έχουν καταστροφικά αποτελέσματα και να υποβαθμιστούν ολοκληρωτικά σε φρυγανότοπους / θαμνότοπους.

Στα σημεία της ενδοχώρας καλλιεργούνται κυρίως ελιές και αμπέλια, ενώ στα παράλια κυριαρχούν οι άρκευθοι (*Juniperus spp.*) που φύονται ως και τη θάλασσα. Ανάμεσα στα ξεχωριστά φυτικά είδη της Ρόδου συμπεριλαμβάνεται και το δέντρο λικιδάμβαρη ή ζητιά (*Liquidambar orientalis*). Η κατανομή του περιορίζεται στη Ρόδο και σε δύο περιοχές της ΝΔ Μικράς Ασίας, όπου και φύεται σε ποτάμια και ρέματα που έχουν συνεχή ροή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στη ζητιά οφείλεται η μεγάλη συσσώρευση των πεταλούδων στη γνωστή «κοιλιά των πεταλούδων».

2.1. Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων

2.1.1. Συλλογή και δημιουργία χωρικών και περιγραφικών πληροφοριών

Για τη νήσο Ρόδο συλλέχθηκαν δεδομένα από τον Δήμο Ρόδου, την ΠΥ Ρόδου και τη ΔΔ Δωδεκανήσου. Από την ΠΥ Ρόδου παραχωρήθηκαν περιγραφικές πληροφορίες για τις υδατοδεξαμενές του νησιού, με πληροφορίες θέσης (τοπωνύμιο, δασικός δρόμος και κοινοτικό διαμέρισμα) και χωρητικότητα (m³), πυροφυλάκια-παρατηρητήρια (με στελέχωση κρατικών υπαλλήλων ή ιδιωτών) καθώς και η διαθεσιμότητα πυροσβεστικών οχημάτων ανά κλιμάκιο (τύπος οχήματος και χωρητικότητα σε νερό). Επιπλέον, παραχωρήθηκαν χωρικά αρχεία KML με πληροφορίες για τις περιοχές ευθύνης της ΠΥ Ρόδου και των πυροσβεστικών κλιμακίων (ΠΚ) Λίνδου και Απολλώνων. Όλα τα ανωτέρω δεδομένα ομογενοποιήθηκαν και προσαρμόστηκαν στις προδιαγραφές που τέθηκαν στο πρόγραμμα AEGIS. Συγκεκριμένα, το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για όλα τα δεδομένα είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ) 1987, με Ελλειψοειδές Αναφοράς το GRS 1980 σε Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (Κεντρικός Μεσημβρινός: λ0=24° 00' 00" με Κ0=0,999600, Τετμημένη Κεντρικού Μεσημβρινού: +500000,00 m και Γεωγραφικό Πλάτος Αναφοράς: 0° 00' 00"). Η μικρότερη αποδεκτή κλίμακα στην οποία διενεργήθηκαν ψηφιοποιήσεις νέων δεδομένων σε διαδικτυακά υπόβαθρα και ορθοεικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης (<1 m) είναι 1:3.000 (π.χ. οδικό δίκτυο), ενώ η μεγαλύτερη επιθυμητή κλίμακα είναι 1:1.000 (π.χ. ακτογραμμή).

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση της ακτογραμμής σε διαδικτυακά υπόβαθρα σε κλίμακα 1:1.000, με τον απαραίτητο τοπολογικό έλεγχο, ώστε να εξασφαλιστεί η ακρίβεια και η εγκυρότητα της ψηφιοποίησης. Ακολούθησε η δημιουργία του οδικού δικτύου, λόγω της έλλειψης επικαιροποιημένων στοιχείων για τους δρόμους του νησιού. Η ψηφιοποίηση του οδικού δικτύου πραγματοποιήθηκε σε διαδικτυακά υπόβαθρα σε κλίμακα 1:3.000 και κατηγοριοποιήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές που είχαν τεθεί (κύριο οδικό δίκτυο, δευτερεύον οδικό, βατός χωματόδρομος, χωματόδρομος). Τα όρια των οικισμών του νησιού δημιουργήθηκαν με την ψηφιοποίησή τους σε διαδικτυακά υπόβαθρα σε κλίμακα 1:3.000.

Τα αρχεία KML που παραχώρησε η ΠΥ Ρόδου μετασχηματίστηκαν σε *shapefiles*, ενώ στη συνέχεια διορθώθηκαν ως προς τη θέση τους και τις περιεχόμενες περιγραφικές πληροφορίες, όπου κρίθηκε αναγκαίο. Τα στοιχεία που αποκτήθηκαν για τα πυροφυλάκια του νησιού δεν ήταν αρκετά σαφή ως προς τη θέση τους, πέρα από κάποιες πληροφορίες για τον

πλησιέστερο οικισμό και ορισμένα τοπωνύμια κοντά στα οποία βρίσκονται αυτά. Για τη δημιουργία του θεματικού επιπέδου των πυροφυλακίων χρησιμοποιήθηκαν λήψεις συντεταγμένων με GPS και εύρεση των σημείων σε ορθοφωτοχάρτες. Οι δεξαμενές του νησιού ψηφιοποιήθηκαν με τη βοήθεια συντεταγμένων που παραχωρήθηκαν από την ΠΥ. Κάποιες δεξαμενές τοποθετήθηκαν κατά προσέγγιση, ενώ η θέση άλλων προσδιορίστηκε με GPS κατά την επιτόπια επίσκεψη στο νησί.

Οι περιοχές των αρχαιολογικών χώρων και τόπων ιδιαίτερης πολιτιστικής κληρονομιάς, αλλά και των θέσεων λατρευτικών χώρων (σημαντικές εκκλησίες, μοναστήρια και εξωκλήσια) προήλθαν από ψηφιοποίηση στους τοπογραφικούς χάρτες 1:50.000 με βάση τα τοπωνύμια του κάθε μνημείου και διορθώθηκαν πάνω σε διαδικτυακά υπόβαθρα, ενώ τα δεδομένα αυτά κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τον τύπο τους. Στη συνέχεια, έγινε καταγραφή σε ολόκληρο το νησί της Ρόδου των πάσης φύσεως κτισμάτων που βρίσκονται εκτός οικισμών και είναι δυνατόν να προσδιοριστούν από υπόβαθρα ορθοεικόνων. Καταγράφηκαν κατοικίες, αγροτικές εγκαταστάσεις, βιοτεχνίες αλλά και ιδιωτικές πισίνες, δεδομένα που για πρώτη φορά καταγράφονται και εισάγονται σε ΒΓΔ. Ακόμη, καταγράφηκαν τα γήπεδα, τα ξενοδοχεία, τα πρατήρια βενζίνης της περιοχής και καταγράφηκαν λεπτομερώς οι κορυφές και οι ονομασίες των βουνών. Για τη δημιουργία των μονοπατιών της περιοχής αξιοποιήθηκαν δεδομένα και πληροφορίες από διεθνείς και ελληνικές διαδικτυακές βάσεις δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά, ελέγχθηκαν για την ακρίβειά τους, διορθώθηκαν όπου ήταν δυνατό και συμπληρώθηκαν με περιγραφικές πληροφορίες. Τέλος, δημιουργήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο και οι λεκάνες απορροής του νησιού, χρησιμοποιώντας το DEM του δορυφόρου ASTER (ASTER GDEM v2) χωρικής ανάλυσης 30 m. Η κατηγοριοποίηση του υδρογραφικού δικτύου έγινε με τη μέθοδο Strahler. Τέλος, από το DEM προέκυψαν οι ισοϋψείς καμπύλες της περιοχής ισοδιάστασης 100 m, οι κλίσεις, η έκθεση-προσανατολισμός και η σκίαση αναγλύφου.

2.1.2. Οργάνωση δεδομένων

Η οργάνωση των δεδομένων έγινε σε 11 ευρείες κατηγορίες, βάσει των οποίων θα ταξινομηθούν εντός των τελικών ΒΓΔ, δηλαδή: Γεωφυσικά Δεδομένα, Χρήσεις Γης / Δασικά Δεδομένα, Ιστορικό Πυρκαγιών, Διοικητική Διάρθρωση, Περιοχές Υψηλού Κινδύνου, Δίκτυα και Υποδομές, Σημεία Υδροληψίας, Περιοχές Υψηλής Προστασίας, Ονομασίες Περιοχών, Αντιπυρικές Υποδομές, και Ψηφιδωτά Δεδομένα και Χάρτες (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Κατηγορίες και δεδομένα που περιλαμβάνει η ΒΓΔ της νήσου Ρόδου

Κατηγορίες Δεδομένων	Δεδομένα	
1. Γεωφυσικά δεδομένα	Αιγιαλοί / Παραλίες, Ακτογραμμή, Ισοϋψείς	Λεκάνες Απορροής, Υδρογραφικό Δίκτυο
2. Χρήσεις γης	Αγροκτήματα / Αγροτικές Περιοχές, Καταγραφή Βλάστησης, Καταφύγια Θηραμάτων, Περιοχές NATURA 2000	Προστατευόμενες Περιοχές και Περιβαλλοντικοί Τόποι, Χρήσεις Γης / Εδαφοκάλυψη, Χρήσεις Γης CORINE 2000
3. Περιοχές υψηλής προστασίας	Αγροτικές Εγκαταστάσεις, Αρχαιολογικοί Χώροι, Βιοτεχνίες / Αποθήκες, Γήπεδα, Ιστορικά Μνημεία και Θρησκευτικοί Τόποι, Κατοικίες εκτός Οικισμών	Νοσοκομεία, Ξενοδοχεία, Σχολεία, Υποσταθμοί ΔΕΗ, Χώροι Αναψυχής / Περιοχές Φυσικού Κάλους, Χώροι Καταφυγής Εκτάκτων Αναγκών
4. Διοικητική διαίρεση	Οικισμοί από Πρόσφατες Ορθοεικόνες, Όρια Δήμων (Καλλικράτης)	Όρια Δήμων (Καποδίστριας), ΟΤΑ
5. Περιοχές υψηλού κινδύνου	Θέσεις Δεξαμενών Καυσίμων, Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων, Πεδία Βολής	Χωματερές, Κατασκηνώσεις / Κάμπινγκ
6. Δίκτυα και υποδομές	Αεροδρόμια, Ελικοδρόμια, Μετεωρολογικοί Σταθμοί	Μονοπάτια, Οδικό Δίκτυο

7. Σημεία υδροληψίας	Αντλιοστάσια, Γεωτρήσεις, Δεξαμενές, Κρουνοί	Πηγές, Πισίνες, Υδρομάστευση, Φράγματα / Λιμνοδεξαμενές
8. Ιστορικό πυρκαγιών	Καμένες Εκτάσεις	Περιστατικά Πυρκαγιών
9. Ονομασίες περιοχών	Ποτάμια / Ρέματα, Τοπωνύμια, Όρη / Λόφοι, Μνημεία / Αρχαιολογικοί Χώροι	Οικισμοί, Ακρωτήρια / Παραλίες, Κορυφές
10. Αντιπυρικές υποδομές	Πυροφυλάκια, Αντιπυρικές Ζώνες, Περίπολα / Οχήματα σε Περιπολία	Πυροσβεστικοί Σταθμοί / Κλιμάκια, Περιοχή Ευθύνης Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, Περιοχή Ευθύνης Δασαρχείων
11. Ψηφιδωτά δεδομένα και χάρτες	Έκθεση / Προσανατολισμός, Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου, Σκίαση Αναγλύφου	Κλίση, Δορυφορικές Εικόνες, Τοπογραφικοί Χάρτες

2.2. Ιστορικό πυρκαγιών και χαρτογράφησή τους

Τα σημεία έναρξης των δασικών πυρκαγιών από το 1978 έως και το 2013 προήλθαν από έρευνα στα αρχεία καταγραφών της ΔΔ και της ΠΥ, ενώ η σχετική τους θέση εντοπίστηκε και καταγράφηκε επάνω στους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:50.000. Στο αρχείο περιλαμβάνονται στοιχεία σχετικά με τη θέση, τον ΟΤΑ, την ημερομηνία και ώρα έναρξης, τη σχετική καμένη έκταση σε στρέμματα και τον τύπο βλάστησης της έκτασης που αποτεφρώθηκε. Κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης των περιστατικών προέκυψαν δυσκολίες ως προς την εύρεση του πραγματικού σημείου έναρξης της εκάστοτε πυρκαγιάς μιας και οι πληροφορίες που δίνονται στα δελτία δεν περιλαμβάνουν συντεταγμένες παρά μόνο τη σχετική θέση της ευρύτερης περιοχής (τοπωνύμια). Ως αποτέλεσμα, ο χάρτης σημείων έναρξης περιστατικών πυρκαγιών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο ως ενδεικτικός της χωρικής κατανομής.

Δημιουργήθηκαν δύο χωρικές επιφάνειες, μια στην οποία απεικονίζεται η πυκνότητα των σημείων έναρξης πυρκαγιών και μια με την απεικόνιση της καμένης έκτασης/km² που προκάλεσαν, υπολογισμένες με τη μέθοδο Kernel Density Smoothing – KDS (Koutsias *et al.* 2004). Η μέθοδος KDS είναι μια από τις πιο χρήσιμες μεθόδους χωρικής ανάλυσης με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και η βασική λογική της είναι ότι το πρότυπο κατανομής σημείων σε έναν χώρο έχει κάποια πυκνότητα για οποιαδήποτε τοποθεσία της περιοχής μελέτης, όχι απλά και μόνο για τις θέσεις όπου υπάρχει κάποιο καταγεγραμμένο γεγονός. Αυτή η πυκνότητα υπολογίζεται από την καταμέτρηση ενός αριθμού γεγονότων σε μια περιοχή, ή Kernel, με κέντρο την τοποθεσία όπου θα γίνει η εκτίμηση και παρέχει έναν πολύ καλό τρόπο για να οπτικοποιηθεί ένα πρότυπο σημείων και να προσδιοριστούν οι «θερμές περιοχές» (hot spots). Κατά την υλοποίηση της μεθόδου ορίστηκε μέγεθος ανεύρεσης σημείων έναρξης πυρκαγιών τα 4 km.

2.3. Χαρτογράφηση βλάστησης με μεθόδους δορυφορικής τηλεπισκόπησης

Για τη χαρτογράφηση της βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου RapidEye διαφορετικών εποχών λήψης, με ημερομηνίες λήψεως 04/05/2012 και 26/09/2012. Έπειτα από φωτοερμηνεία της περιοχής μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη πως το σχήμα της ταξινόμησης θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσο τις τάξεις που είναι σημαντικές για την ανάλυση, όσο και αυτές που είναι διακριτές από τα ίδια τα δεδομένα, προέκυψε ένα σύστημα 14 τάξεων χρήσης γης σύμφωνα με τη δυνατότητα φασματικής τους αναγνώρισης από τα δεδομένα που υπήρχαν διαθέσιμα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Κατηγορίες ταξινόμησης χρήσεων γης

Κατηγορία χρήσης γης	Περιγραφή
1. Αστικές χρήσεις και καλλιέργειες	Περιοχές όπου επικρατούν κυρίως καλλιέργειες και αστικά συμπλέγματα – Κατηγοριοποίηση βάσει του χάρτη χρήσεων γης CORINE 2000 σε αρόσιμη γη, σπυροφόρα δέντρα, ελαιώνες, αμπέλια και λοιπές αγροτικές εκτάσεις. Οι αστικές περιοχές χαρτογραφήθηκαν με φωτοερμηνεία σε ορθοεικόνες.
2. Γυμνά εδάφη	Περιοχές με λίγη βλάστηση, βραχώδεις, άγονες ή ανθρωπογενούς επέμβασης (λατομεία, εργοτάξια, χώροι απόθεσης υλικών)
3. Φρύγανα, θάμνοι	Περιοχές με φρύγανα ή/και θάμνους
4. Δάση πυκνής τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνής τραχείας πεύκης
5. Δάση πυκνού κυπαρισσιού	Περιοχές με πυκνή παρουσία κυπαρισσιών
6. Μικτά δάση κυπαρισσιού και τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία πυκνού κυπαρισσιού και πυκνής τραχείας πεύκης
7. Δάση αραιής τραχείας πεύκης	Περιοχές με παρουσία αραιής τραχείας πεύκης
8. Δάση αραιής τραχείας πεύκης με φρύγανα	Δάση αραιής τραχείας πεύκης με παρουσία φρυγάνων ή/και θάμνων
9. Μικτά δάση αραιού κυπαρισσιού και αραιής τραχείας πεύκης	Περιοχές με αραιή τραχεία πεύκη και με αραιό κυπαρίσσι
10. Παραποτάμια βλάστηση	Βλάστηση που βρίσκεται σε τέλματα, έλη, όχθες ποταμών ή ρυακιών
11. Καμένες εκτάσεις	Περιοχές μετά από πρόσφατο περιστατικό πυρκαγιάς
12. Καμένη πεύκη	Πρόσφατα καμένες περιοχές με διακριτά καμένα δένδρα
13. Υδάτινες επιφάνειες	Λίμνες (φυσικές ή τεχνητές)
14. Ακρογιαλιές	Παραλίες οργανωμένες ή μη

Για τη βελτίωση της εικόνας στον πολυφασματικό χώρο, με αντικειμενικό σκοπό τη βέλτιστη διάκριση των κλάσεων, εφαρμόστηκαν τεχνικές προ-ταξινόμησης λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων καθώς και το ό,τι τα δεδομένα αφορούν μεγάλη σε έκταση περιοχή μελέτης ($\approx 1400 \text{ km}^2$). Μια σημαντική μεταβλητή που δημιουργήθηκε είναι ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης του ερυθρού άκρου (Red_Edge NDVI), η οποία προστέθηκε ως νέο επιπλέον κανάλι στην εικόνα:

$$NDVI_{red_edge} = (NIR - R_{red_edge}) / (NIR + R_{red_edge})$$

Η χρήση των καναλιών NDVI συνέβαλε τόσο στην ενίσχυση της δυνατότητας διαχωρισμού των τύπων εδαφοκάλυψης, όσο και στην ανάλυση της ετήσιας διακύμανσης των δραστηριοτήτων της χλωροφύλλης και ανάπτυξης της πράσινη βιομάζας.

Με τη χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης, το φαινόμενο εμφάνισης μικτών χρήσεων εντός ενός εικονοστοιχείου μειώνεται, όμως από την άλλη πλευρά παρατηρείται φασματική διακύμανση των εικονοστοιχείων εντός μιας κατηγορίας, γεγονός που μειώνει την ακρίβεια μιας ταξινόμησης. Έτσι, εφαρμόστηκαν αντικειμενοστραφείς προσεγγίσεις ταξινόμησης (object-oriented techniques). Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε η τεχνική κατάτμησης της εικόνας η οποία υποδιαιρέσει την εικόνα σε παρακείμενες μάζες / συστάδες (clumps) εικονοστοιχείων σε σχέση με μέτρα φασματικής ομοιότητας / ανομοιότητας και σχήματος. Η προσέγγιση αυτή ενδείκνυται για δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης αλλά χρησιμοποιείται επίσης και σε περιοχές μελέτης με μεγάλη έκταση. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε τμηματοποίηση της περιοχής μελέτης ανάλογα με τη φυσιογραφία της περιοχής. Ο κύριος σκοπός αυτού του βήματος ήταν να υποδιαιρεθεί η περιοχή σε φυσιογραφικά ομοιογενείς ζώνες για να αποφευχθεί η σύγχυση μεταξύ των υπογραφών των πεδίων εκπαίδευσης σε ολόκληρη την περιοχή, και έτσι να βελτιωθεί η τελική ακρίβεια της ταξινόμησης, όπως προτείνεται από τους Stuckens *et al.* (2000). Τα εικονοστοιχεία ενοποιήθηκαν σε αντικείμενα και πάνω σε αυτά πραγματοποιήθηκε φωτοερμηνεία και

ταξινόμηση (manual classification), για τη δημιουργία «μάσκας» που να αφορά περιοχές μη φυσικής βλάστησης των περιοχών μελέτης (ανθρωπογενές περιβάλλον).

Ακολούθησε η εφαρμογή επιβλεπόμενης ασαφούς ταξινόμησης προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων (τεχνική ασαφούς συνόλου – fuzzy set technique). Η ασαφής ταξινόμηση λειτουργεί με τη χρήση της συμμετοχικότητας, όπου η τιμή ενός εικονοστοιχείου καθορίζεται από το κατά πόσο κοντά είναι σε μια κλάση από ό,τι σε μια άλλη. Δημιουργήθηκαν δύο επιθέματα ταξινόμησης για κάθε εικόνα και μέσω της μεθόδου της ασαφούς συνέλιξης πραγματοποιήθηκε η συνέλιξη των εικονοστοιχείων που συμμετείχαν σε πολλαπλές κατηγορίες. Έπειτα, εφαρμόστηκαν τεχνικές μετά-ταξινόμησης (post-classification techniques) χρησιμοποιώντας φίλτρα για την εξομάλυνση της εικόνας και την απόδοση της κυρίαρχης τάξης. Στην ουσία πρόκειται για τεχνικές επαναταξινόμησης συνάφειας. Σε δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, όταν μέσα σε μια κυρίαρχη τάξη εμφανίζονται μικρότερες χωρικές συγκεντρώσεις άλλων τύπων βλάστησης ενδέχεται αυτές να μην αποτελούν σφάλματα αλλά να αναπαριστούν τη γήινη πραγματικότητα. Με τη χρήση όμως φίλτρων εξομάλυνσης μπορούν να προκύψουν ομοιογενείς ομάδες ταξινόμησης που να αναπαριστούν καλύτερα, σύμφωνα με την ανθρώπινη αντίληψη, τους τύπους εδαφοκάλυψης. Εφαρμόστηκε ένα φίλτρο πλειοψηφίας (majority filter) με πυρήνα 3x3, καθώς και ένα φίλτρο αντικειμένων εύρεσης συνδεδεμένων μερών στο όριο μεταξύ των τάξεων με την επέκταση ή/και συρρίκνωση τους κατά 3 εικονοστοιχεία στην κατεύθυνση x ή y.

Τέλος χρησιμοποιήθηκε η εποχική επίδραση, όσον αφορά στην ορθή αποτύπωση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης. Υπολογίστηκε η μέγιστη ανάπτυξη της πράσινης βιομάζας που παρατηρείται την άνοιξη (Red_Edge NDVI Μαΐου), καθώς και η ελάχιστη κατά την ξηρότερη περίοδο (Red_Edge NDVI Σεπτεμβρίου). Μέσω της υπέρθεσής τους και της χρήσης τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών (change detection techniques), οριστικοποιήθηκαν οι κατηγορίες χρήσης γης της περιοχής μελέτης.

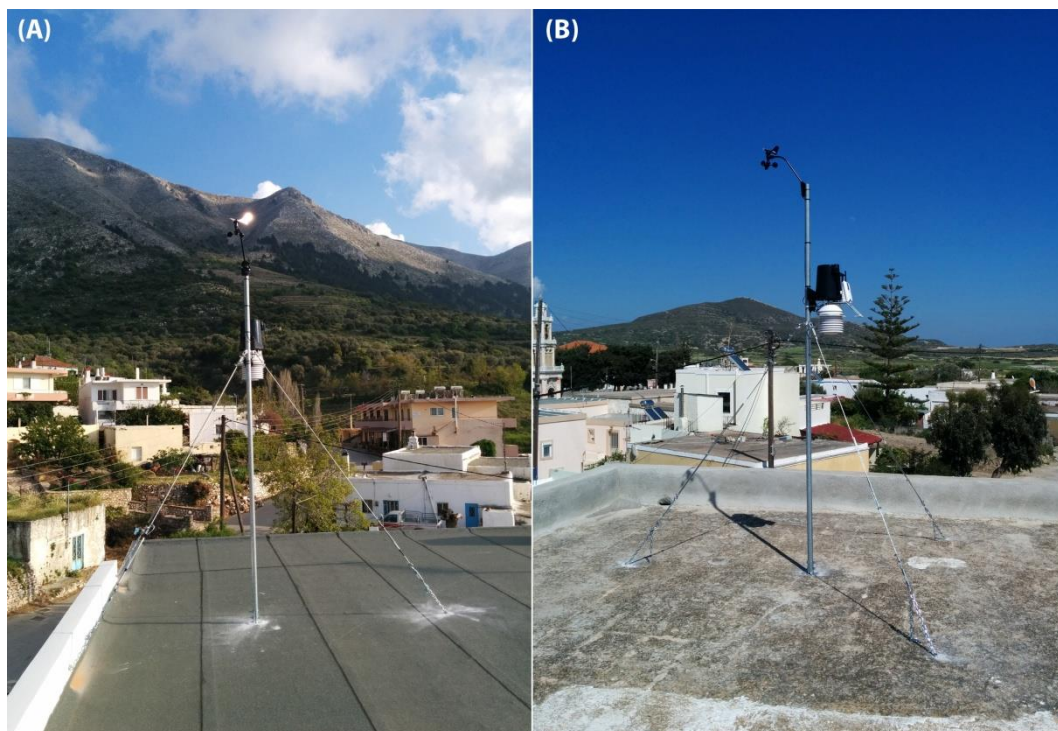
2.4. Επιτόπια έρευνα και δειγματοληπτικές καταγραφές των τύπων βλάστησης, καύσιμης ύλης και δασικής δομής

Κατά την περίοδο 1-4/8/2013 διενεργήθηκαν δειγματοληψίες για τη συλλογή και απογραφή των τύπων εδαφοκάλυψης, δεδομένων μοντέλων καύσιμης ύλης (MKY) και δασικής δομής. Είναι σπάνιο να βρεθούν προϋπάρχοντα χωρικά δεδομένα καύσιμης ύλης από άλλες πηγές, λόγω του γεγονότος ότι στην Ελλάδα δεν έγινε μια οργανωμένη προσπάθεια να μελετηθούν ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά οι δασώδεις εκτάσεις και ιδιαίτερα οι περιοχές κάλυψης από κωνοφόρα δάση. Άρα ήταν αναγκαίο να διεξαχθεί έρευνα πεδίου βάσει σχεδιασμού, για την απόκτηση της απαραίτητης πληροφορίας για τη βλάστηση των περιοχών. Η απογραφή της δασικής δομής και των MKY επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης GPS, φωτογραφιών, εμπειρικής περιγραφής και καταγραφής της υπάρχουσας κατάστασης, καθώς και με λήψεις δειγμάτων. Συνολικά διανύθηκαν περισσότερα από 500 km διαδρομής ώστε να καλυφτεί το σύνολο του νησιού. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αξιοποιήθηκαν αρχικά στην παραγωγή του νέου χάρτη βλάστησης του νησιού, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία θεματικών επιφανειών που θα επιτρέψουν τη διεξαγωγή χωρικών προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιών (χάρτες MKY, συγκόμωση, ύψους έναρξης κόμης, πυκνότητας κόμης και ύψους συστάδας).

3. Αυτόματοι Τηλεμετρικοί Μετεωρολογικοί Σταθμοί

Στα πλαίσια του AEGIS εγκαταστάθηκαν δύο ATMOΣ τύπου DAVIS WIRELESS VANTAGE PRO2 (Fan Aspiration) στα κοινοτικά καταστήματα του Έμπωνα (http://meteo.aegean.gr/rhodes_emponas.html) και της Κατταβιάς (http://meteo.aegean.gr/rhodes_kattavia.html), προσφέροντας διαδικτυακή παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών σε πραγματικό χρόνο και πρόσβαση στο ιστορικό των καταγραφών τους. Η κάθε μονάδα αποτελείται από βροχόμετρο, αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας, βαρόμετρο, ανεμόμετρο / ανεμοδείκτη και αισθητήρα καταγραφής ηλιακής ακτινοβολίας (Εικόνα 1). Η εγκατάσταση έγινε σε συνεργασία με τον Δήμο Ρόδου και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, το οποίο προέβη στην εγκατάσταση ενός ακόμα σταθμού στη Λίνδο. Οι τρεις νέοι σταθμοί προσφέρουν ευρεία κάλυψη όσον

αφορά τις καταγραφές μετεωρολογικών παραμέτρων για το κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού, ενώ συνδυαζόμενοι με τους άλλους δύο που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα (αεροδρόμιο και πόλη της Ρόδου) συμπληρώνουν την κάλυψη για ολόκληρο το νησί.



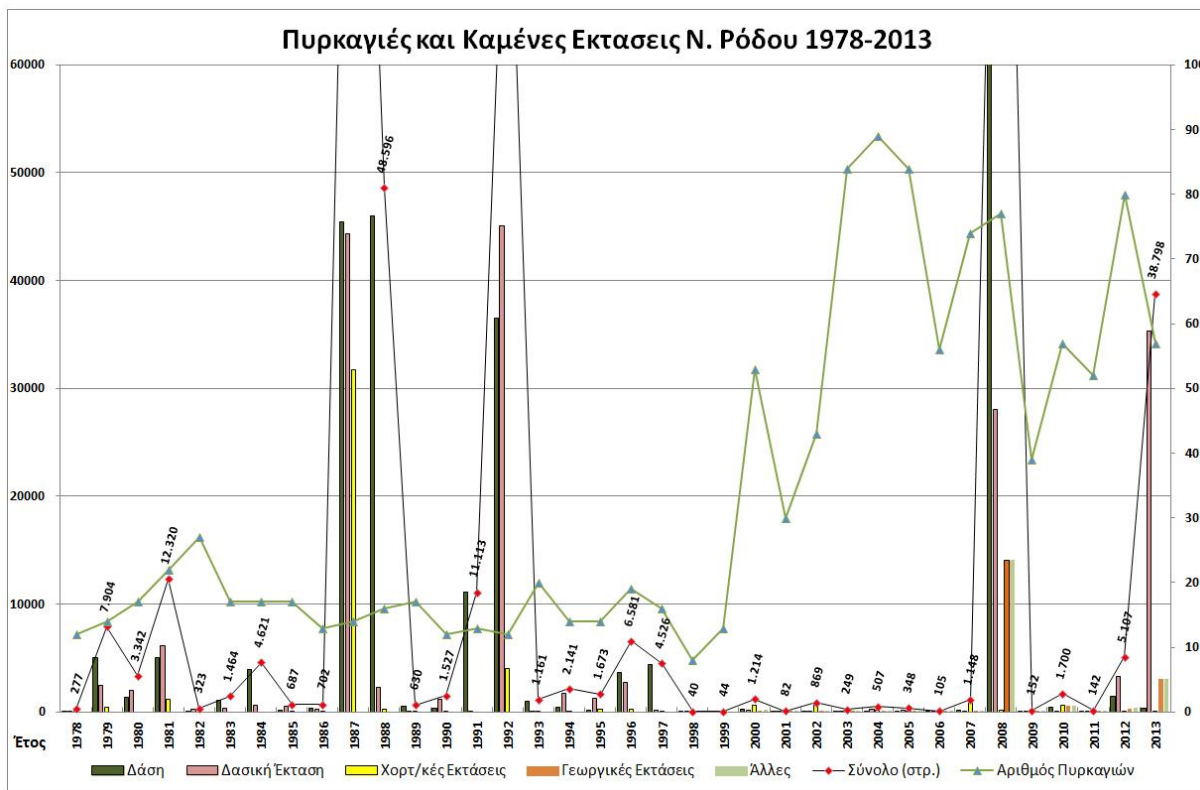
Εικόνα 1. Αυτόματος τηλεμετρικός μετεωρολογικός σταθμός Έμπωνα (Α) και Καταβιάς (Β)

4. Αποτελέσματα

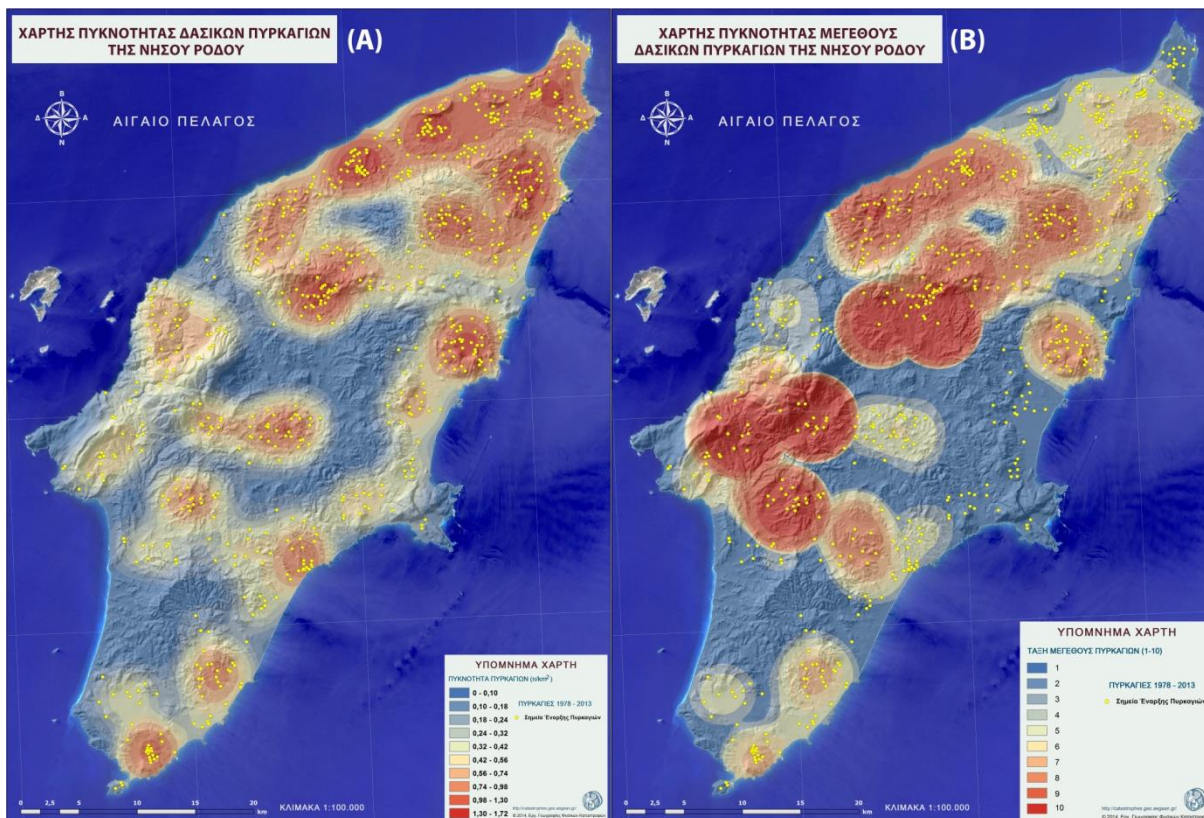
4.1. Στατιστικά πυρκαγιών και χωρική κατανομή τους

Από την ανάλυση των στοιχείων και δεδομένων της ΠΥ και της ΔΔ προέκυψε ότι τα τελευταία 35 έτη έλαβαν χώρα περισσότερα από 1.200 περιστατικά πυρκαγιών τα οποία αποτέφρωσαν 490.000 στρέμματα. Από αυτά, εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν περίπου 700 περιστατικά. Συγκεκριμένα, από τα στοιχεία της ΔΔ για την περίοδο 1978-1999 καταγράφηκαν περίπου 350 περιστατικά πυρκαγιών τα οποία αποτέφρωσαν περίπου 320.000 στρέμματα. Από τα στοιχεία της ΠΥ για την περίοδο 2000 έως 2013 καταγράφηκαν 875 περιστατικά πυρκαγιών (εκ των οποίων 360 με >1 στρέμμα και 114 με >10 στρέμματα καμένης έκτασης), τα οποία αποτέφρωσαν συνολικά 175.000 στρέμματα (Εικόνα 2). Περαιτέρω, από τα στοιχεία της ΠΥ κατά τη διάρκεια των περιόδων του χειμώνα, άνοιξης, καλοκαιριού και φθινοπώρου καταγράφηκαν 103, 195, 323 και 254 περιστατικά πυρκαγιών αντίστοιχα, με 12.200, 14.000, 156.000 και 3.200 καμένα στρέμματα αντίστοιχα. Αν εξαιρεθεί η μεγάλη πυρκαγιά του χειμώνα του 2008 η οποία αποτέφρωσε 12.000 στρέμματα, διαπιστώνουμε ότι τόσο τον χειμώνα όσο και το φθινόπωρο οι καμένες εκτάσεις είναι αμελητέες, ενώ σημαντικές είναι κατά την άνοιξη. Παρ' όλα αυτά, το πλήθος τους ακόμα και τον χειμώνα είναι σημαντικό.

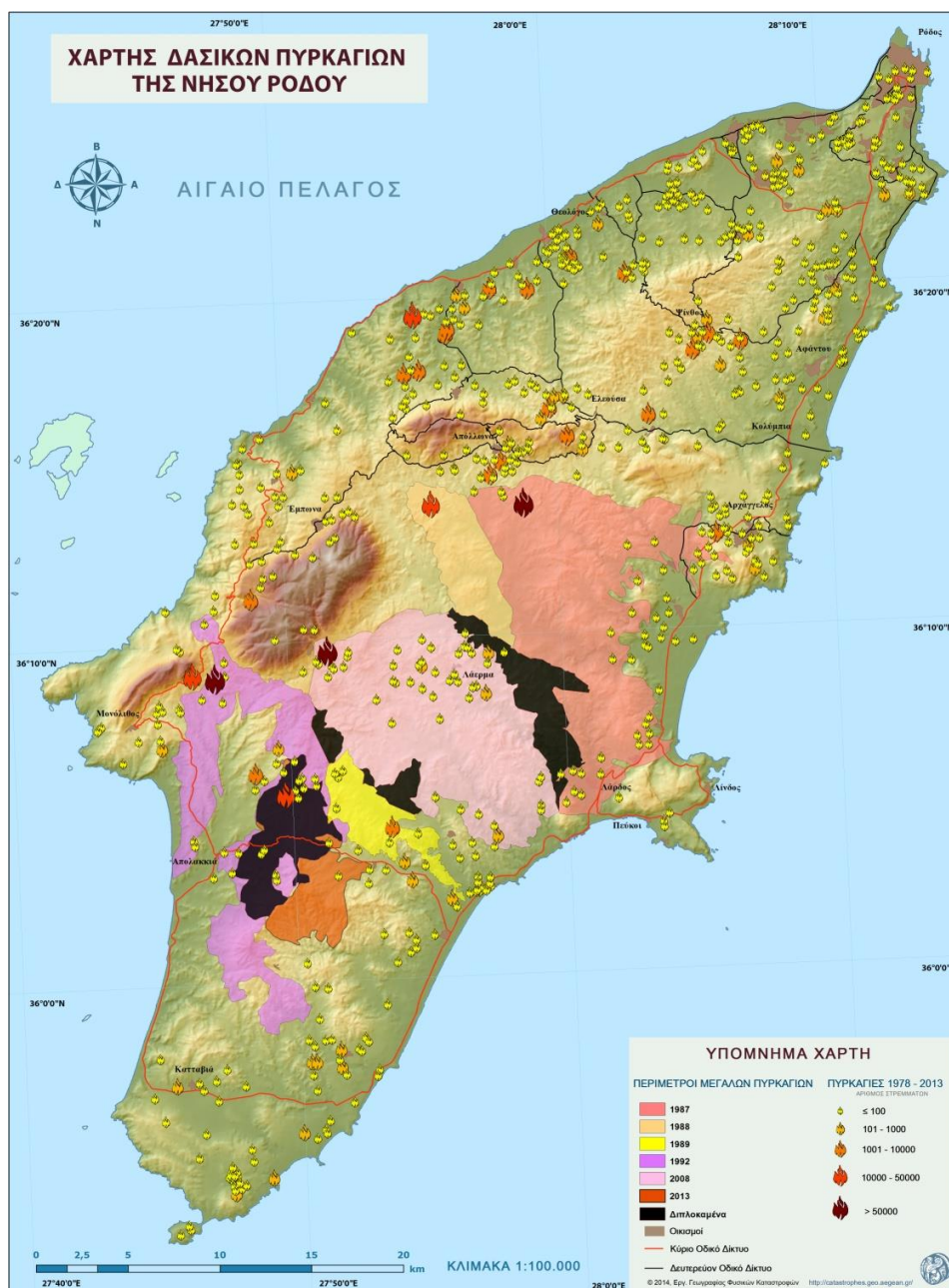
Από τα αποτελέσματα των Εικόνων 3 και 4 προκύπτει ότι στο κεντρικό και νότιο τμήμα της Ρόδου σημειώνονται πυρκαγιές με μικρότερη συχνότητα αλλά μεγαλύτερη καμένη έκταση. Οι μεγαλύτερες πυρκαγιές συνέβησαν στις 9/8/1987 στον Άγιο Γεώργιο Απόλλωνα (120.000 στρέμματα), στις 23/9/1988 στα Μαύρα Νερά Έμπωνα (35.000 στρέμματα), στις 24/9/1992 στα Μονοσύρια Σιάννων (85.500 στρέμματα), στις 22/7/2008 στον Άγιο Ισίδωρο και 4/12/2008 στον Σάλακο Αρχαίας Καμείρου (92.200 και 12.000 στρέμματα αντίστοιχα), και 22/7/2013 στον Ίστριο (38.000 στρέμματα).



Εικόνα 2. Στατιστικά για τον αριθμό και το μέγεθος των καμένων εκτάσεων της νήσου Ρόδου για την περίοδο 1978-2013



Εικόνα 3. Πυκνότητα περιστατικών πυρκαγιών (Α) και πυκνότητα μεγέθους πυρκαγιών (Β) ανά km² που προέκυψαν μέσω ανάλυσης με την μέθοδο Kernel Density Smoothing



Εικόνα 4. Σημεία έναρξης πυρκαγιών κατά μέγεθος και περιμέτροι μεγάλων δασικών πυρκαγιών για την περίοδο 1978-2013

4.2. Χάρτης τύπων βλάστησης και εδαφοκάλυψης νήσου Ρόδου

Από τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της βλάστησης της νήσου Ρόδου (Εικόνα 5), προκύπτει ότι το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού καλύπτεται από δάσος αραιής πεύκης (347.000 στρέμματα) και ακολουθούν οι λοιπές αγροτικές εκτάσεις (267.000 στρέμματα), οι θαμνοσκεπείς εκτάσεις με έντονη και συχνή παρουσία νεαρών ατόμων τραχείας πεύκης (270.000 στρέμματα), οι χορτολιβαδικές, άγονες και φρυγανοσκεπείς εκτάσεις (157.500 στρέμματα), οι θαμνοσκεπείς εκτάσεις με παρουσία φρυγάνων (105.000 στρέμματα) και το πυκνό δάσος τραχείας πεύκης (94.000 στρέμματα). Εκτεταμένες εκτάσεις καλύπτονται από ελαιώνες (71.500 στρέμματα), αροτραίες εκτάσεις (40.000 στρέμματα), αμπέλια (8.300 στρέμματα), κυπαρίσσια (6.000 στρέμματα) και σπιρωφόρα δέντρα (5.900 στρέμματα). Επιπλέον, άνω των 25.000 στρεμμάτων καλύπτονται από δομημένες εκτάσεις και οικισμούς.



Εικόνα 5. Χάρτης βλάστησης νήσου Ρόδου όπως προέκυψε από ανάλυση σε εικόνες του δορυφόρου Rapideye

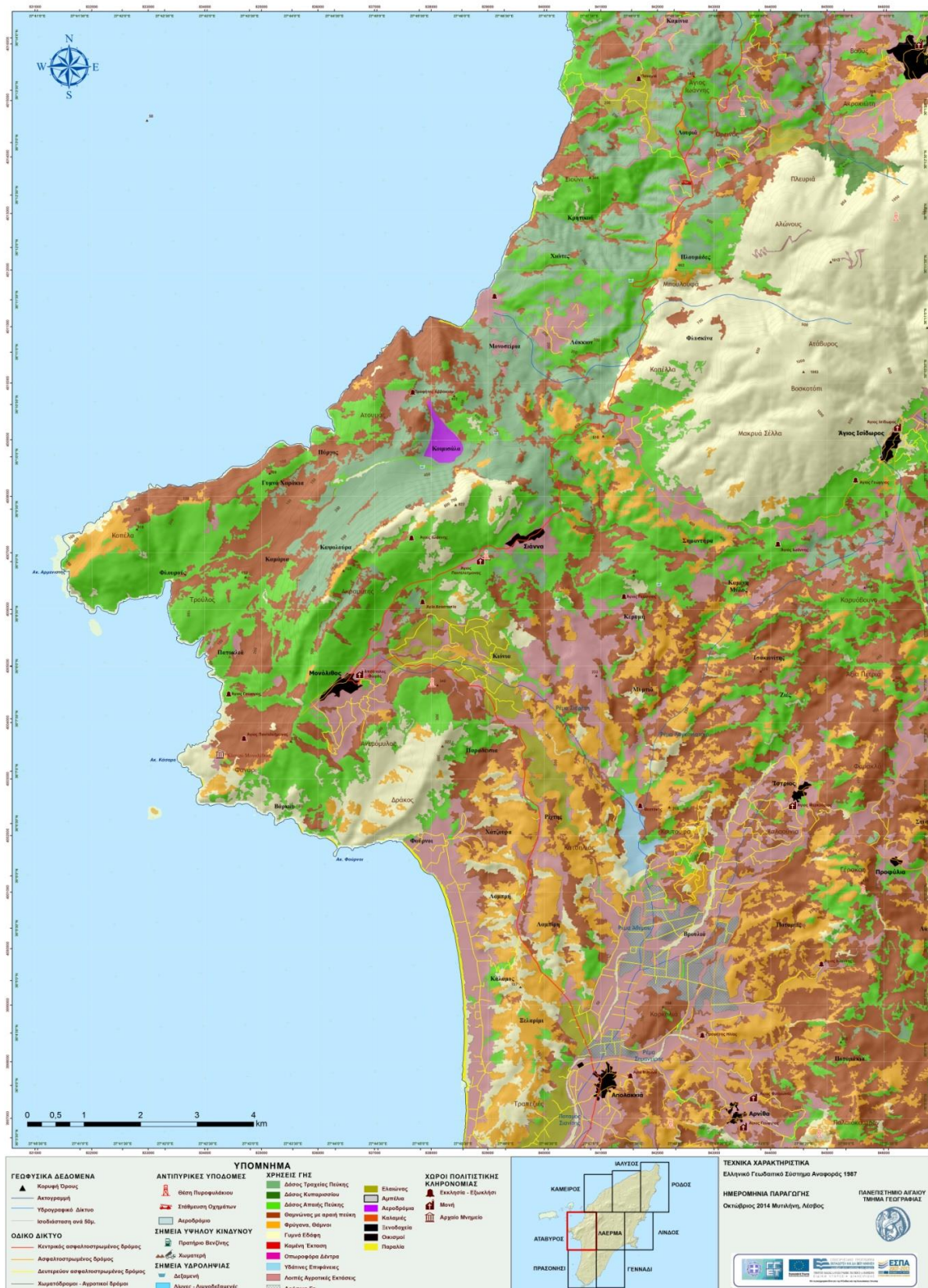
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι από τη συνολική έκταση του νησιού (1.410.000 στρέμματα), το 58% καλύπτεται με δάση και δασικές εκτάσεις, το 28% με γεωργικές εκτάσεις και καλλιέργειες διαφόρων ειδών και το 12% με χορτολιβαδικές, άγονες και φρυγανοσκεπείς εκτάσεις.

4.3. Θεματικοί χάρτες αντιπυρικών υποδομών

Το τελευταίο στάδιο της ανάλυσης πραγματοποιήθηκε τη χαρτοσύνθεση και απεικόνιση των δεδομένων σε θεματικούς χάρτες αντιπυρικών υποδομών. Με τη βοήθεια καννάβου χωρίστηκε η περιοχή μελέτης σε οκτώ τμήματα και δημιουργήθηκαν χάρτες κλίμακας 1:20.000 στους οποίους απεικονίζεται το κατηγοριοποιημένο οδικό δίκτυο, τα πυροφυλάκια, οι δεξαμενές, εκκλησίες και μνημεία, τοπωνύμια, το υδρογραφικό δίκτυο, η ακτογραμμή, το ανάγλυφο του εδάφους και οι τύποι βλάστησης και εδαφοκάλυψης. Στην Εικόνα 6 απεικονίζεται ένας από τους εννέα συνολικά χάρτες.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΝΗΣΟΥ ΡΟΔΟΥ

ΦΥΛΛΟ ΧΑΡΤΗΣ 4: ΑΤΤΑΒΥΡΟΣ



Εικόνα 6. Χάρτης αντιπυρικών υποδομών νήσου Ρόδου

5. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία είναι τμήμα του ερευνητικού προγράμματος AEGIS και θα διανεμηθούν στους φορείς και τις δημόσιες υπηρεσίες που έχουν την ευθύνη για τον

σχεδιασμό και την οργάνωση της Πολιτικής Προστασίας της νήσου Ρόδου. Η αξιοποίηση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν αναμένεται ότι θα συμβάλει στη βελτίωση του επιχειρησιακού σχεδιασμού αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών και φυσικών καταστροφών, στη μείωση του χρόνου αντίδρασης, στην καλύτερη οργάνωση του προ-κατασταλτικού σχεδιασμού και στην έγκαιρη προειδοποίηση με στόχο την ελάττωση των καταστροφών, στον περιορισμό της έκτασης των περιστατικών, στην ελαχιστοποίηση του οικονομικού κόστους και στη μείωση των προκληθέντων περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ευχαριστίες

Η εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του έργου με τίτλο «AEGIS: Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών» (με κωδικό 1862), που υλοποιείται στο πλαίσιο της Πράξης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» με Δικαιούχο τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο-ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους. Εκφράζουμε και τις ευχαριστίες μας στον Δήμο Ρόδου, στη Διεύθυνση Δασών Δωδεκανήσου και στην Πυροσβεστική Υπηρεσία Ρόδου για την εν γένει συνεργασία.

Βιβλιογραφία

- Eitel, J.U.H., Vierling, L.A., Litvak, M.E., Long, D.S., Schulthess, U., Ager, A.A., Krofcheck, D.J., and Stoscheck, L., 2011. Broadband, Red-Edge Information from Satellites Improves Early Stress Detection in a New Mexico Conifer Woodland. *Remote Sensing of Environment*, 115 (12), 3640–3646.
- Falkowski, M.J., Gessler, P.E., Morgan, P., Hudak, A.T., and Smith, A.M.S., 2005. Characterizing and Mapping Forest Fire Fuels Using ASTER Imagery and Gradient Modeling. *Forest Ecology and Management*, 217, 129–146.
- Koutsias N, Kalabokidis K.D., and Allgower, B., 2004. Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods. *Natural Resource Modeling*, 17(4), 359-375.
- Recio, J., Helmholtz, P., and Müller, S., 2011. Potential Evaluation of Different Types of Images and their Combination for the Classification of GIS Objects Cropland and Grassland. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-4, 251–257.
- Riaño, D., and Chuvieco, E., 2002. Generation of Fuel Type Maps from Landsat TM Images and Ancillary Data in Mediterranean Ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 1315, 1301–1315.
- Schuster, C., Förster, M., and Kleinschmit, B., 2012. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 33(17), 5583–5599.
- Sousa, C.H.R., Souza, C.G., Zanella, L., and Carvalho, L.M.T., 2012. Analysis of RapidEye red edge band for image segmentation and classification. Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012 - Rio de Janeiro - Brazil, p.518.
- Stuckens, J., Coppin, P.R., and Bauer, M.E., 2000. Integrating Contextual Information with per-Pixel Classification for Improved Land Cover Classification. *Science*, 296, 282-296.
- Tapsall, B., Milenov, P., and Tasdemir, K., 2010. Analysis of RapidEye imagery for annual landcover mapping as an aid to European Union (EU) common agricultural policy, in: W. Wagner, B. Szekely (Eds.), ISPRS TC VII Symposium 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, 5–7 July, Vienna, Austria, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII, Part 7B, 2010, pp. 568–573.