

# Χωροθέτηση Πύργων Παρατήρησης Δασικών Πυρκαγιών με χρήση Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

**Δανάη Υφαντή, Δημήτρης Καϊμάρης**

*Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας & Ανάπτυξης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,  
54636, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.*

*E-mail: [danai.yfanti@gmail.com](mailto:danai.yfanti@gmail.com), [kaimaris@auth.gr](mailto:kaimaris@auth.gr)*

**Περίληψη:** Στην ιστορία των σύγχρονων κοινωνιών, ένα από τα προβλήματα που ανήκουν στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών με μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον είναι οι δασικές πυρκαγιές. Επηρεάζονται από ποικίλους φυσικούς παράγοντες, όπως, η κλιματική αλλαγή, καθώς και από ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως, ο εμπρησμός. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, επιστήμες όπως η Τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ προσφέρουν στον τομέα της πρόληψης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών.

Η εργασία αφορά στο σχεδιασμό ενός αυτόματου συστήματος πυρανίχνευσης, χαμηλού κόστους, για την έγκαιρη ανίχνευση και κατ' επέκταση την πρόληψη της δασικής πυρκαγιάς. Για την ορθή λειτουργία του απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εύρεση κατάλληλων θέσεων εγκατάστασης πύργων παρατήρησης (που θα φέρουν το σύστημα), και θα επιτρέπουν τη βέλτιστη ορατότητα της δασικής περιοχής. Μελετήθηκαν δώδεκα (12) δασικές περιοχές της Ελλάδας. Δεδομένα υποβάθρου ήταν οι δορυφορικές εικόνες Landsat ETM+, vector αρχεία των προστατευόμενων περιοχών, και το ανάγλυφο των δασικών περιοχών. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Erdas Imagine 2014<sup>®</sup> και η επέκταση Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS<sup>®</sup>. Το τελικό προϊόν είναι το αποτέλεσμα της χωρικής ανάλυσης της ορατότητας των θέσεων παρατήρησης σε κάθε δασική περιοχή, επιτρέποντας τελικά τον προσδιορισμό του ποσοστού κάλυψης και της “αποτελεσματικότητας” του συστήματος πυρανίχνευσης.

## 1. Εισαγωγή

Οι πιέσεις και αλλαγές που δέχεται καθημερινά το δομημένο και φυσικό περιβάλλον, προκαλούν έντονες διαταραχές στον κοινωνικό και οικονομικό τομέα, αλλά και στην ομαλή λειτουργία του οικοσυστήματος. Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών ανήκει στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών, που οφείλεται κατά

κύριο λόγο σε ανθρωπογενείς παράγοντες και φυσικά αίτια, παρουσιάζοντας αυξητική τάση τις τελευταίες δεκαετίες. Από στατιστικές μελέτες προκύπτει ότι οι Μεσογειακές χώρες αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο των δασικών πυρκαγιών σε μεγαλύτερο βαθμό. Ως αποτέλεσμα είναι η επιτακτική ανάγκη ύπαρξης ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισής τους, με στόχο την πρόληψη, αντιμετώπιση και αποκατάσταση των ζημιών που προκαλούνται. Η διαχείριση αφορά τις δραστηριότητες προστασίας τόσο των ανθρώπων και των ιδιοκτησιών, όσο και των δασικών περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη το τρίπτυχο της βιώσιμης ανάπτυξης (οικονομία/κοινωνία/περιβάλλον). Στόχος είναι η θέσπιση αναπτυξιακών στρατηγικών και μέτρων μείωσης εκδήλωσης αυτών των περιστατικών, αλλά και της προετοιμασίας των δυνάμεων κατάσβεσης σε κατάσταση ετοιμότητας, ώστε να υπάρξει έγκαιρη αντιμετώπιση.

Στον τομέα της διαχείρισης, κύρια σημασία έχουν οι διαδικασίες της πρόληψης και ανίχνευσης, οι οποίες πρέπει να αξιοποιούν σύγχρονα μέσα και τεχνολογίες υποστήριξης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ποικίλα συστήματα τόσο για την επιτήρηση των καμένων εκτάσεων, όσο και για την ανίχνευση των πυρκαγιών με επίγεια και δορυφορικά μέσα. Το χαρακτηριστικό, κοινό σημείο των συστημάτων αυτών, είναι η ικανότητά τους για ανίχνευση της δασικής πυρκαγιάς μέσω της αναγνώρισης του καπνού κατά τη διάρκεια της ημέρας, και της φλόγας της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια της νύχτας (Hamden et al., 1973). Στην εργασία αυτή προτείνεται ένα αυτόματο και αυτόνομο σύστημα πυρανίχνευσης χαμηλού κόστους. Με τη βοήθεια των ΣΓΠ εντοπίζονται οι βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης του συστήματος σε δασικές περιοχές της Ελλάδας. Η ικανότητα και επιτυχία του έγκειται στην ύπαρξη αισθητήρων στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα, με δυνατότητα εντοπισμού καπνού και φωτιάς. Για την υλοποίηση της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το Erdas Imagine 2014<sup>®</sup> για την οριοθέτηση των δασικών περιοχών μέσω της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, και η επέκταση Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS<sup>®</sup> για τον προσδιορισμό των βέλτιστων σημείων (σταθμών) παρατήρησης. Το σύστημα στηρίζεται στη λογική της εμπροσθοτομίας για την εύρεση των συντεταγμένων X και Y της εστίας, η οποία παρατηρείται από δύο τουλάχιστον πύργους (σημεία ή σταθμούς παρατήρησης).

### **1.1. Δασικές πυρκαγιές και κλιματική αλλαγή**

Τα δάση και τα δασικά οικοσυστήματα είναι αναπόσπαστο κομμάτι του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος και του φυσικού οικοσυστήματος. Διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην καθημερινότητα των αγροτικών και αστικών κοινοτήτων, με την παροχή τόσο αγαθών όσο και υπηρεσιών. Η βιώσιμη διαχείριση των δασών αποσκοπεί στην καταπολέμηση της ερημοποίησης, της αποψίλωσης των δασών, και στην προστασία τους από φυσικές καταστροφές, όπως η διάβρωση του εδάφους, οι πυρκαγιές και πλημμύρες. Όμως, αναπόσπαστο κομμάτι της “ζωής” των δασών είναι οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες αυξάνονται ραγδαία τα τελευταία χρόνια, και

είναι απειλή λόγω των καταστροφικών ζημιών και απωλειών που μπορούν να προκαλέσουν στα οικοσυστήματα και στις ανθρώπινες ζωές (Sletnes, 2010). Αποτελούν ένα διαχρονικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν πολλές χώρες παγκοσμίως. Η συχνότητα εμφάνισης μιας πυρκαγιάς είναι ο βασικός παράγοντας της αποψίλωσης των δασών, και ο ανασταλτικός παράγοντας της αναγέννησης της χλωρίδας και επιβίωσης της πανίδας. Συνεπώς, είναι δυνητικοί κίνδυνοι με φυσικές, οικολογικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Jaiswal, et al., 2002).

Οι φωτιές πλήττουν έντονα χώρες της Αμερικής και Ευρώπης. Επηρεάζουν τη σύνθεση της βλάστησης και τους βιοχημικούς κύκλους του πλανήτη, όπως του διοξειδίου του άνθρακα. Η σύνθεση των δασών επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της φωτιάς, τα οποία είναι η συχνότητα, το μέγεθος, η ένταση, εποχικότητα, ο τύπος και η δριμύτητα της φωτιάς. Τα παραπάνω επηρεάζουν τις κλιματολογικές συνθήκες (Flannigan, et al., 2000) του πλανήτη. Στην πράξη, οι δασικές πυρκαγιές προσφέρουν περίπου το 20% των αερίων που πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με τους ρύπους των βιομηχανικών περιοχών (Harmon, 2009).

## **2. Διαχείριση δασικών πυρκαγιών**

Η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών σχετίζεται με την πρόληψη, όσο και με την καταστολή, αντιμετώπιση και αποκατάσταση των πυρόπληκτων δασικών οικοσυστημάτων. Χαρακτηριστικά, ως διαχείριση δασικών πυρκαγιών αναφέρονται «οι δραστηριότητες, που αφορούν την προστασία των ανθρώπων, των ιδιοκτησιών και των δασικών περιοχών από τις δασικές πυρκαγιές και τη χρήση προδιαγεγραμμένης καύσης για τη διαχείριση του δάσους και των υπόλοιπων χρήσεων γης, ακολουθώντας μια κατάσταση που λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια» (Merrill & Alexander, 1987). Το (προ)κατασταλτικό στάδιο, αφορά στην ορθολογική αξιοποίηση των μέσων κατάσβεσης και των πόρων, και τη δημιουργία προϋποθέσεων για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων, ενώ η αποκατάσταση αποσκοπεί στην ανάκαμψη του τοπίου μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών θα πρέπει να θεωρείται ως αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού του τοπίου σε κάθε περιοχή, που παρουσιάζει υψηλό κίνδυνο ανάφλεξης. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης επιτυγχάνεται μόνο στην περίπτωση όπου η πολιτική που ακολουθείται και οι πόροι σχετίζονται, κυρίως, με το στάδιο της πρόληψης (Gabban, et al., 2008).

Η πρόληψη, σε συνδυασμό με την έγκαιρη ανίχνευση, είναι τα πιο αποδοτικότερα μέτρα διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών σε σχέση με τα στάδια της καταστολής και αποκατάστασης (Dimitrakopoulos & Mitsopoulos, 2006). Η πρόληψη αποτελεί τον πρώτο στόχο της αντιπυρικής προστασίας, και θεωρείται ως ένα σύνολο ενεργειών με στόχο τη μείωση ή/και εξάλειψη της πιθανότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς,

τη μείωση της ταχύτητας και της έντασης εξάπλωσής της. Επιπλέον, ορίζει την ύπαρξη ενός μηχανισμού, ικανού να εντοπίσει γρήγορα κάθε νέα δασική πυρκαγιά που εκδηλώνεται αποστέλλοντας τις απαιτούμενες δυνάμεις για άμεση καταστολή (Καϊλίδης & Καρανικόλας, 2004). Τέλος, αντικείμενο της πρόληψης των δασικών πυρκαγιών είναι η μείωση του αριθμού των ανθρώπων που προκαλούν πυρκαγιές σε συγκεκριμένες περιοχές, μειώνοντας ταυτόχρονα και τη συχνότητα της πυρκαγιάς (Martell D. L., 2001).

Οι δασικές πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας, είναι υπεύθυνες για την καταστροφή εκατομμυρίων στρεμμάτων δασικής και γεωργικής έκτασης κάθε χρόνο. Η ύπαρξη ενός έγκαιρου εντοπισμού, θα οδηγούσε στη μείωση ή/και αποτροπή τέτοιου είδους φαινομένων, ελαχιστοποιώντας τη ζημιά που μπορεί να προκληθεί στο περιβάλλον, το οικοσύστημα ή στις απώλειες ανθρώπινων ζωών, με την ταυτόχρονη μείωση του κόστους δασοπυρόσβεσης. Σκοπός είναι ο έγκαιρος εντοπισμός αφενός της φωτιάς, ιδιαίτερα κατά το στάδιο της ανάφλεξης, και αφετέρου της ακριβούς της θέσης (Alkhatib, 2014). Όσο πιο σύντομα εντοπιστεί η πυρκαγιά και γίνει μια σωστή πληροφόρηση σχετικά με τις ακριβείς συντεταγμένες της, την προσβασιμότητα, το μέγεθός της, την έντασή της, τη δασική καύσιμη ύλη που υπάρχει στην περιοχή, και το βαθμό κινδύνου και ρίσκου που θα αντιμετωπίσουν οι δυνάμεις κατάσβεσης, τόσο πιο εύκολα και με ασφάλεια θα μπορούν οι δασοπυροσβέστες να απαλείψουν την απειλή (Martell D. L., 2001).

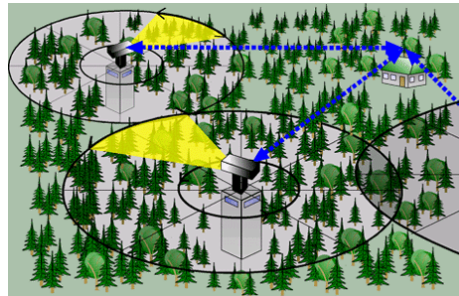
Υπάρχει διεθνώς πληθώρα συστημάτων ανίχνευσης και παρακολούθησης της φωτιάς σε δάση, τα οποία ελέγχονται από τις αρμόδιες αρχές. Αποτελούνται από παρατηρητές, είτε με τη μορφή περιπολιών, είτε με τη μορφή πύργων παρακολούθησης, καθώς και από αερομεταφερόμενα και δορυφορικά μέσα. Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί νέα συστήματα, μέσω των οποίων προωθείται η ανίχνευση και παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών, όπως αισθητήρες. Πρόκειται για αυτόματα ή ημιαυτόματα συστήματα (σχ. 1) παρακολούθησης (Alkhatib, 2014).

## **2.1. Συστήματα πυρανίχνευσης**

Παραδοσιακά το κομμάτι του εντοπισμού στηριζόταν στην ανθρώπινη παρατήρηση, η οποία διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, στην άμεση και έμμεση. Στην άμεση, ο εντοπισμός πραγματοποιείται από παρατηρητές, διασκορπισμένους σε διαφορετικά σημεία της περιοχής πάνω σε πύργους παρατήρησης. Η έμμεση αφορά την παρατήρηση με τη χρήση απομακρυσμένων συστημάτων, με δυνατότητα λήψης εικόνας ή βίντεο. Σκοπός είναι η αυτοματοποιημένη παρατήρηση πυρκαγιών με ελάχιστο ποσοστό σφάλματος. Σήμερα υπάρχουν ποικίλες προσεγγίσεις στον τομέα της αυτόματης ανίχνευσης, όπου ως πιο αποδοτικά θεωρούνται τα συστήματα με χρήση βίντεο στο ορατό φάσμα (Vuko, et al., 2006). Απαραίτητη προϋπόθεση και άωτερος σκοπός των αυτόματων συστημάτων πυρανίχνευσης είναι η σύγκλιση του χρό-

νου ανίχνευσης και ανάφλεξης, ώστε να τεθεί επιτυχώς η προσπάθεια αντιμετώπισης της πυρκαγιάς (Harnden, et al., 1973). Παραδείγματα συστημάτων στην Ευρώπη είναι το FUEGO (Martin-Rico, et al., 2001) ή το RISK-EOS (Desmazieres & Paganini, 2007). Επίσης, στα δορυφορικά συστήματα συγκαταλέγεται το Fire M3 System (Fire Monitoring, Mapping and Modelling) (Lee, et al., 2002).

Επιπλέον, γίνεται λόγος για αισθητήρες και συστήματα τα οποία στοχεύουν στην ανίχνευση των δασικών πυρκαγιών, όπως ο αισθητήρας CCD (Kuhrt, et al., 2000), οι αισθητήρες που αξιοποιούν την υπέρυθη ακτινοβολία, το LIDAR που ανιχνεύει συστατικά του καπνού, καθώς και τα RADAR. Μεταξύ άλλων, ενδεικτικά αναφέρονται τα συστήματα FireWatch (Γερμανία) (σχ. 1), FireHawk (Ν. Αφρική), Forest-Watch (Καναδάς), UraFire (Γαλλία), IP-NAS και IFFED (Κροατία) (Kolaric, et al., 2008). Το χαρακτηριστικό, κοινό, σημείο αυτών των συστημάτων είναι η ικανότητά τους για ανίχνευση της δασικής πυρκαγιάς μέσω της αναγνώρισης του καπνού κατά τη διάρκεια της ημέρας, και της φλόγας της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια της νύχτας.



**Σχήμα 1:** Σύστημα πυρανίχνευσης FireWatch (Alkhatib, 2014).

Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια εξέλιξης προτείνοντας συστήματα με μικρό κόστος και μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Λόγος γίνεται για τα ασύρματα δίκτυα με αισθητήρες Wireless Sensor Networks (WSN) (σχ. 2). Αποτελούνται από αισθητήρες (π.χ. θερμικούς) που τοποθετούνται πάνω σε ζώα συγκεκριμένων δασικών περιοχών, και από ψηφιακές κάμερες εγκατεστημένες σε διάφορα σημεία της περιοχής. Όλο το σύστημα (το οποίο είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο) λειτουργεί σε συνεργασία με ασύρματο δίκτυο, στο οποίο αποστέλλονται δεδομένα και πληροφορίες των αισθητήρων. Ταυτόχρονα, αναπτύσσονται αλγόριθμοι οι οποίοι αξιοποιούν τα δεδομένα σημειακών αισθητήρων που αναγνωρίζουν την υγρασία και τη θερμοκρασία. Πρόκειται για μια τεχνολογία πολλά υποσχόμενη, συνοδευόμενη, όμως, από υψηλό κόστος (Martinez-de Dios, et al., 2011).



**Σχήμα 2:** Σύστημα ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN) (Alkhatib, 2014).



γόμενης ενέργειας, και ένα ηλεκτρονικό υποσύστημα το οποίο θα διαχειρίζεται την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Βαγιονά, 2015). Ένα τέτοιο σύστημα (π.χ. τύπου Luxor LX 250P, με κόστος μονάδας περίπου 9,000€, URL 1) θα τροφοδοτεί όλα τα μέρη με ηλεκτρική ενέργεια.

- **Πύργος ελέγχου (2):** Πρόκειται για πυλώνες που θα φέρουν στην κορυφή τους σύστημα πυρανίχνευσης. Θα είναι κατασκευασμένοι από σίδηρο και θα έχουν ύψος 35 μέτρων. Στην κορυφή θα υπάρχει μια βάση περιστροφής εφοδιασμένη με αισθητήρες, και στο πλάι του πυλώνα θα υπάρχει ο ηλιακός συλλέκτης και ο πομπός ασύρματου δικτύου.
- **Συντεταγμένες θέσης πύργου (3):** Οι πύργοι θα κατασκευαστούν σε θέσεις συγκεκριμένων συντεταγμένες X, Y και σε συγκεκριμένο υψόμετρο Z (στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987). Αυτές οι θέσεις προσδιορίζονται από τον χρήστη κατά τη διάρκεια της ανάλυσης της ορατότητας για την εύρεση των κατάλληλων θέσεων, που παρέχεται από την επέκταση Spatial Analyst.
- **Ασύρματο δίκτυο (4):** Θα εξασφαλίζει τη μεταφορά των λαμβανόμενων δεδομένων από τους αισθητήρες. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός δικτύου επικοινωνιών είτε με 3G συνδέσεις ή ασύρματο δίκτυο ISDN (Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών). Το δίκτυο θα επιτρέπει τη σύνδεση πλήθους γραμμών, για ταυτόχρονη ψηφιακή μετάδοση ήχου, βίντεο, εικόνες και άλλων μορφών δεδομένων μέσω του τηλεφωνικού δικτύου (URL 2).
- **Βάση περιστροφής (5):** Οι πυλώνες θα διαθέτουν στην κορυφή τους μια βάση περιστροφής, η οποία θα μπορεί να κινηθεί στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα, όλο το 24ωρο. Κάθε 4-6 λεπτά την ημέρα, και κάθε 8-12 λεπτά τη νύχτα θα ολοκληρώνεται μια πλήρη περιστροφή 360°, με κατακόρυφη κλίση +33° έως -83°, και με βήματα 10°. Στη βάση περιστροφής θα προσαρμοστούν δύο αισθητήρες, μία οπτική και μία υπέρυθρη κάμερα, με ακτίνα θέασης 10 χιλιομέτρων. Επιπλέον, η βάση θα διαθέτει ψηφιακό γωνιόμετρο και θα είναι προσανατολισμένη (η ένδειξη 0°) στον γεωγραφικό βορρά. Μέσω του πομπού και της σύνδεσης ISDN, η βάση καθώς κινείται θα αποστέλλει τις οριζόντιες γωνίες στο Κέντρο Ελέγχου. Η μέση τιμή για κάθε πύργο κυμαίνεται περίπου στις 30,000€ (URL 3).
- **Υπέρυθρη κάμερα (6):** Η θερμική υπέρυθρη κάμερα (π.χ. τύπου M100-Thermal/Infrared Imaging Camera, σχ. 4) περιστρεφόμενη θα συλλέγει εικόνες όλο το 24ωρο. Οι εικόνες, την ίδια στιγμή της λήψης, θα αποστέλλονται στο Κέντρο ελέγχου (σημείο 8 στο σχ. 3) μέσω του ασύρματου δικτύου, όπου με τη βοήθεια αλγορίθμου (διατίθεται δωρεάν) που διακρίνει στην εικόνα τη φωτιά ή τον καπνό, θα δίνεται εντολή



*Σχήμα 4: Υπέρυθρη θερμική κάμερα τύπου M100 (URL 4).*

ακινητοποίησης της κάμερας στο σημείο του συμβάντος (Kolaric, et al., 2008). Η τιμή μιας θερμικής κάμερας που καλύπτει της απαιτήσεις της έρευνας είναι περίπου 2,800€.

- **Οπτική κάμερα (7):** Η οπτική κάμερα θα λειτουργεί στο ορατό φάσμα και θα αποστέλλει βίντεο στο κέντρο ελέγχου όλο του 24ωρο. Επίσης, θα επιτρέπεται το ‘κλειδωμα’ της κάμερας στο σημείο του συμβάντος, και η αποστολή φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης (π.χ. χρήση κάμερας 24.2 Megapixel, με δυνατότητα λήψης βίντεο υψηλής ευκρίνειας Full HD 1.920X1.080, πιν.3, URL 5). Μια προσεγγιστική τιμή παρόμοιων καμερών είναι 1,000€.

Σε κάθε περίπτωση, και οι δυο τύποι κάμερας είναι απαραίτητοι. Στον κεντρικό υπολογιστή του κέντρου ελέγχου θα είναι εγκαταστημένος ο αλγόριθμος εντοπισμού καπνού, όπου σύμφωνα με τους Andreucci και Arbolino (1993) έχει δημιουργηθεί για τον εντοπισμό των παραμέτρων που συνθέτουν τον καπνό και την αναγνώριση της ύπαρξής του. Στο σημείο εντοπισμού του καπνού ή της φωτιάς, το σύστημα «κλειδώνει» στη συγκεκριμένη θέση. Ο αλγόριθμος έχει δημιουργηθεί στα πλαίσια ακαδημαϊκής έρευνας, και μπορεί επεξεργαστεί τις εικόνες της θερμικής υπέρυθρης και οπτικής κάμερας (Andreucci & Arbolino, 1993).

- **Κέντρο ελέγχου (8):** Το κέντρο ελέγχου εκτελεί πολλαπλές λειτουργίες, και η ύπαρξή του είναι καθοριστική για τη λειτουργία του συστήματος πυρανίχνευσης. Μέσω της ασύρματης σύνδεσης, εμπλουτίζεται το λογισμικό του κεντρικού υπολογιστή με εικόνες και βίντεο των αισθητήρων των πύργων. Οι εγκατεστημένοι αλγόριθμοι θα επιτρέψουν την ανίχνευση της φωτιάς και την ενεργοποίηση του συναγερμού, με ταυτόχρονη ακινητοποίηση των αισθητήρων στο σημείο του συμβάντος. Οι γωνίες που λαμβάνονται από τους πύργους, θα επιτρέψουν με τη βοήθεια της εμπροσθοτομίας τον εντοπισμό της θέσης (συντεταγμένες X, Y) της φωτιάς, πάνω σε ένα σύγχρονο χαρτογραφικό υπόβαθρο, στην οθόνη του κεντρικού υπολογιστή.
- **Συναγερμός (9):** Την τελική απόφαση για την ύπαρξη μιας δασικής πυρκαγιάς και την αποστολή σήματος συναγερμού στην Πυροσβεστική Υπηρεσία αναλαμβάνει το Κέντρο ελέγχου. Επίσης, οι εργαζόμενοι χρειάζεται να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν αν το σήμα συναγερμού είναι εσφαλμένο ή όχι, για την αποστολή μέσω κατάσβεσης της πυρκαγιάς. Το κέντρο έχει την ικανότητα της γενικότερης διαχείρισης και λειτουργίας των αισθητήρων όλων των πύργων.
- **Εμπροσθοτομία (10) και X,Y θέσης πυρκαγιάς (11):** Ακολουθώντας τη λογική της εμπροσθοτομίας, τα συστήματα είναι προσανατολισμένα προς το Βορρά και κινούνται δεξιόστροφα. Κάτι τέτοιο αποσκοπεί στον υπολογισμό των γωνιών «κλειδώματος» κάθε συστήματος, και κατ’ επέκταση στον προσδιορισμό των συντεταγμένων της πυρκαγιάς.

Το ποσό, που κατά προσέγγιση προκύπτει από το προτεινόμενο σύστημα, κυμαίνεται περίπου στα 45,000€.



#### 4. Επιλογή περιοχών μελέτης

Η χωροθέτηση σημείων πυρανίχνευσης και κατ' επέκταση η ανάλυση ορατότητας, πραγματοποιήθηκε σε δώδεκα (12) περιοχές της Ελλάδας, που επιλέχθηκαν ως πιο κατάλληλες με βάση τα εξής κριτήρια:

- η επικινδυνότητα ανάφλεξης της περιοχή (με βάση τη μελέτη των στοιχείων των προηγούμενων ετών),
- η ύπαρξη δασικής περιοχής μεγάλης έκτασης,
- η ένταξη σε κάποιο δίκτυο προστασίας (NATURA2000, εθνικός δρυμός, εθνικό πάρκο, καταφύγιο άγριας ζωής, αισθητικό δάσος, λοιπές περιοχές κάποιου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος),
- το υψόμετρο της περιοχής.



*Σχήμα 5: Οι περιοχές της Ελλάδας (σε κόκκινο κύκλο), που επιλέχθηκαν για τη χωροθέτηση των πύργων παρατήρησης.*

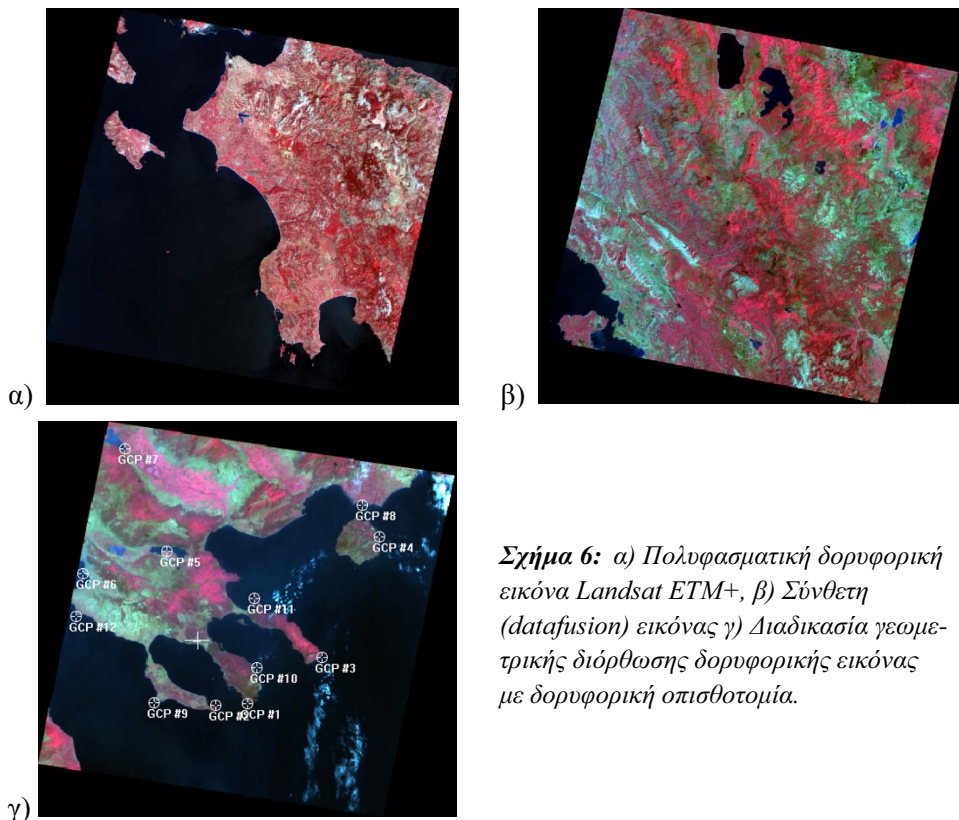
Οι περιοχές (σχ. 5) οι οποίες μελετήθηκαν είναι: ο Εθνικός Δρυμός του Ολύμπου, Εθνικός Δρυμός Οίτη, Εθνικός Δρυμός Πάρνηθας, τα Λευκά Όρη, η οροσειρά της Πίνδου, το Όρος Όσσα, το σύμπλεγμα που αποτελείται από το Καταφύγιο Άγριας Ζωής Ταράτσα-Αετοφωλιά, το Όρος Όθρυς, το Βαθύ Γκρέκι, η Κοινότητα της Ανάβρας (νοτιοδυτική πλευρά του Νομού Μαγνησίας και βορειοανατολική πλευρά του Νομού Φθιώτιδας), το Καταφύγιο Άγριας Ζωής Αγιάνης-Ανάθεμα-Δάκρυσμα - Καγιαμπάση - Αηδονοχώρι και το Δάσος Στεφανινών (βόρεια της Ασπροβάλτας και δυτικά του Στρυμονικού κόλπου), το Καταφύγιο Άγριας Ζωής Τσιρλονέρι-Ορτάρι στο όρος Δίρφη με το Αισθητικό του Δάσος και το ΚΑΖ με το σύμπλεγμα Καδίτικο-Πασιότικα/Καδίου-Αγ. Βλάσσιου-Μανίκια (Βόρειο τμήμα της Εύβοιας), το ΚΑΖ Αρκουδόρεμα - Χαλίκι (Πιάνας-Χρυσοβιτσίου) και το ΚΑΖ του Προφήτη Ηλία (Δυτικά της Τρίπολης), το Όρος Χορτιάτης, το Όρος Καϊμακτσαλάν ή Βόρας.

#### 4.1. Επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων

Αξιοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat ETM+. Τα δεδομένα αποτελούνται από μία παγχρωματική εικόνα με χωρική ανάλυση 15m, και εικόνες (διάυλοι) που συνθέτουν την πολυφασματική εικόνα με ανάλυση 30m. Οι μήνες λήψης είναι από τον Μάιο έως τον Αύγουστο, του 1999 και του 2000.

Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Erdas Imagine 2014<sup>®</sup> για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, και την εξαγωγή του δείκτη βλάστησης NDVI. Οι δορυφορικές εικόνες έχουν ως προβολικό σύστημα (προεπιλογή) το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς WGS 1984 Web Mercator, UTM Zone 35. Μετά την εισαγωγή των δορυφορικών εικόνων της κάθε περιοχής στο λογισμικό, έγινε μετατροπή του Προβολικού Συστήματος στο αντίστοιχο της Ελλάδας (Greek Grid, ΕΓ-ΣΑ 1987). Αξιοποιήθηκαν οι διάυλοι 1-5 και 7, οι οποίοι ενοποιούνται για τη δημιουργία της πολυφασματικής (multispectral) εικόνας. Το αποτέλεσμα της σύνθεσης των έξι (6) διαύλων είναι μια πολυφασματική εικόνα 8-bits (σχ. 6.α). Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η σύνθετη εικόνα (σχ. 6.β), ώστε να βελτιωθεί η χωρική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση των σύνθετων εικόνων, πέρα από την αλλαγή του προβολικού συστήματος, είναι η γεωμετρική διόρθωσή τους. Έτσι, επι-



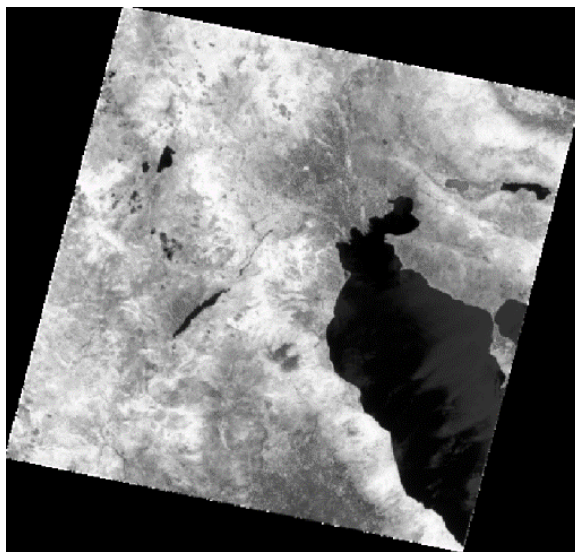
**Σχήμα 6:** α) Πολυφασματική δορυφορική εικόνα Landsat ETM+, β) Σύνθετη (datafusion) εικόνας γ) Διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης δορυφορικής εικόνας με δορυφορική οπισθοτομία.

λέχθηκε ικανός αριθμός GCPs (Ground Control Points), οι συντεταγμένες των οποίων στο ΕΓΣΑ '87 λήφθηκαν από τον ιστότοπο του Κτηματολογίου Α.Ε (URL 6) (σχ. 7.γ). Τα σφάλματα ήταν κατά μέσο όρο μικρότερα του 1 pixel, δηλαδή λιγότερο των 15m.

Τελικό στάδιο της χρήσης του Erdas Imagine 2014<sup>®</sup> ήταν η παραγωγή του Κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI για όλες τις περιοχές μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης στηρίζεται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη και στην ανάκλασή της από τα φυτά λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED).$$

Όπου NIR η εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος και RED η κόκκινη ορατή περιοχή του φάσματος.

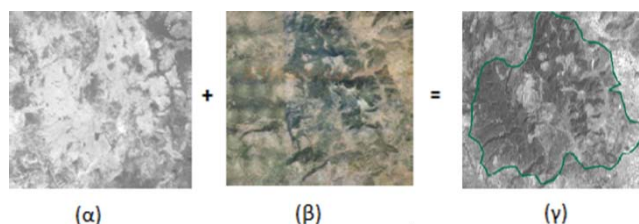


*Σχήμα 7: Απεικόνιση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI.*

Ο δείκτης παρουσιάζει ισχυρή σχέση με την ποσότητα της υγιής βλάστησης, ανεξάρτητα από των ειδών που υπάρχουν (Gamon, et al., 1995), ενώ λειτουργεί με μειωμένη απόδοση στις επιδράσεις της διακύμανσης της διάχυσης του φωτισμού, που προκαλείται από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (Holben, et al., 1986). Οι εικόνες παρουσιάζονται με διαβαθμίσεις του γκρι, όπου όσο πιο σκούρα η περιοχή, τόσο πιο άγονη είναι. Αντίθετα, οι περιοχές με πιο λευκή απόχρωση, υποδηλώνουν την ύπαρξη δάσους ή γενικότερα της βλάστησης (σχ. 7).

Για την εύρεση των κατάλληλων θέσεων χωροθέτησης των πύργων παρατήρησης στις περιοχές μελέτης, αξιοποιείται η επέκταση Spatial Analyst του ArcGIS<sup>®</sup>. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε μια σειρά δεδομένων, όπως, οι σύνθετες γεωμετρικά διορθωμένες δορυφορικές εικόνες, καθώς και οι ισοϋψείς καμπύλες (ανάλυση κα-

νάβου 100x100m και υψόμετρο ακριβείας 5m) για την αναπαράσταση του αναγλύφου. Απαραίτητη διαδικασία είναι η οριοθέτηση των δασικών εκτάσεων στις οποίες θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή (σχ. 8). Βασικό εργαλείο οριοθέτησης αποτέλεσε η εικόνα NDVI, που έχει παραχθεί για κάθε περιοχή, και συγκρίθηκε με τις ορθοανηγμένες εικόνες του Κτηματολογίου ΑΕ.



**Σχήμα 8:** Οριοθέτηση δασικής έκτασης μέσω βοηθητικών εικόνων. (α) ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) και (β) εικόνα από το Κτηματολόγιο ΑΕ. Η σύγκρισή τους επιτρέπει τον προσδιορισμό του ορίου του δάσους.

Το εργαλείο ανάλυσης ορατότητας προϋποθέτει την μετατροπή του ΨΜΕ (Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους) από vector σε raster αρχείο (μέσω του εργαλείου *Topo to raster*), ώστε να επιτραπεί από το τελευταίο η αναγνώριση των υψομέτρων και η παραγωγή της ορατότητας.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η ανάλυση ορατότητας, που προκύπτει από την τοποθέτηση των σημείων παρατήρησης. Έτσι χρησιμοποιείται το εργαλείο *viewshed*, όπου προσδιορίζονται τα κελιά της εικόνας του ΨΜΕ τα οποία μπορούν να γίνουν ορατά από ένα ή παραπάνω σημεία θέασης. Κάθε κελί της εικόνας που λαμβάνει μία τιμή, η οποία υποδηλώνει πόσοι παρατηρητές μπορούν να το δουν από κάθε τοποθεσία. Τα σημεία παρατήρησης καταγράφονται ως σημειακά. Για την ορθή λειτουργία του εργαλείου ορίζονται από το χρήστη οι παράμετροι *Offseta* ως 35 μ. (το ύψος των πύργων παρατήρησης), και *Radius2* ως 10.000m (η ακτίνα θέασης). Επίσης, στον πίνακα ιδιοτήτων κάθε πύργου καταγράφονται οι συντεταγμένες των σημείων θέασης X, Y, Z (σε ΕΓΣΑ '87) (σχ. 9).

x coor	y coor	OFFSETA	RADIUS2	z factor
383838,426	4409143,01	35	10000	1230
389262,396	4402329,98	35	10000	1400
384169,156	4413905,52	35	10000	600
400407,991	4405075,03	35	10000	400

**Σχήμα 9:** Παράμετροι που τέθηκαν στον πίνακα ιδιοτήτων των σημείων παρατήρησης για την εφαρμογή του εργαλείου ανάλυσης ορατότητας.

#### 4.2. Χωροθέτηση σημείων παρατήρησης/ανάλυση ορατότητας

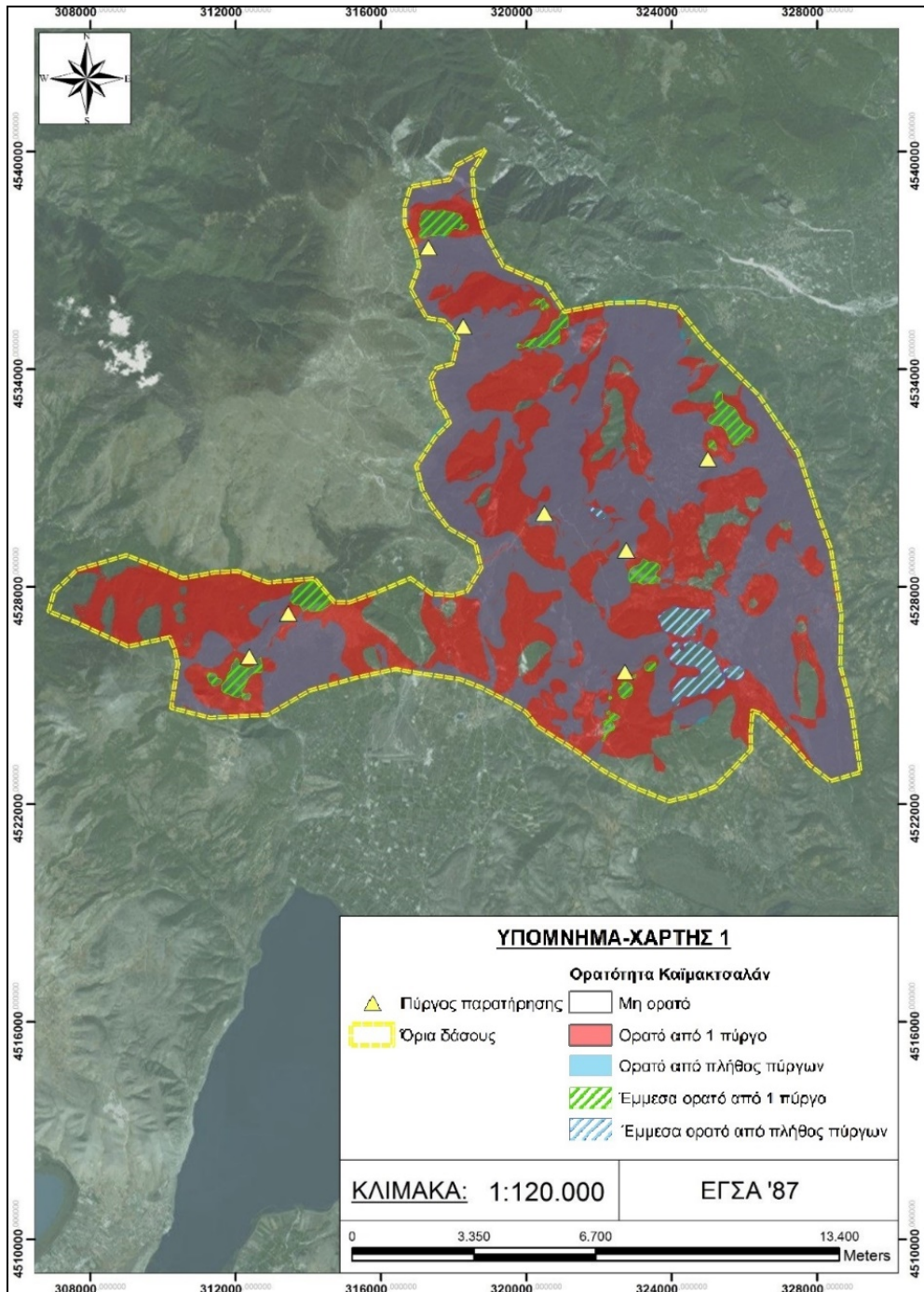
Μετά από σειρά δοκιμών προέκυψε το τελικό προϊόν, στο οποίο παρουσιάζονται οι περιοχές που είναι ορατές από έναν ή από δύο τουλάχιστον πύργους. Παρατηρήθηκε ότι οι καταλληλότερες θέσεις των πύργων είναι εκείνες που βρίσκονται σε

αρκετά μεγάλο υψόμετρο ή σε αρκετά χαμηλά υψόμετρα ή στις κορυφές των βουνών. Τα υψηλότερα και τα χαμηλότερα σημεία εξασφαλίζουν καλύτερο πεδίο όρασης, όταν η κλίση του εδάφους είναι ομαλή.

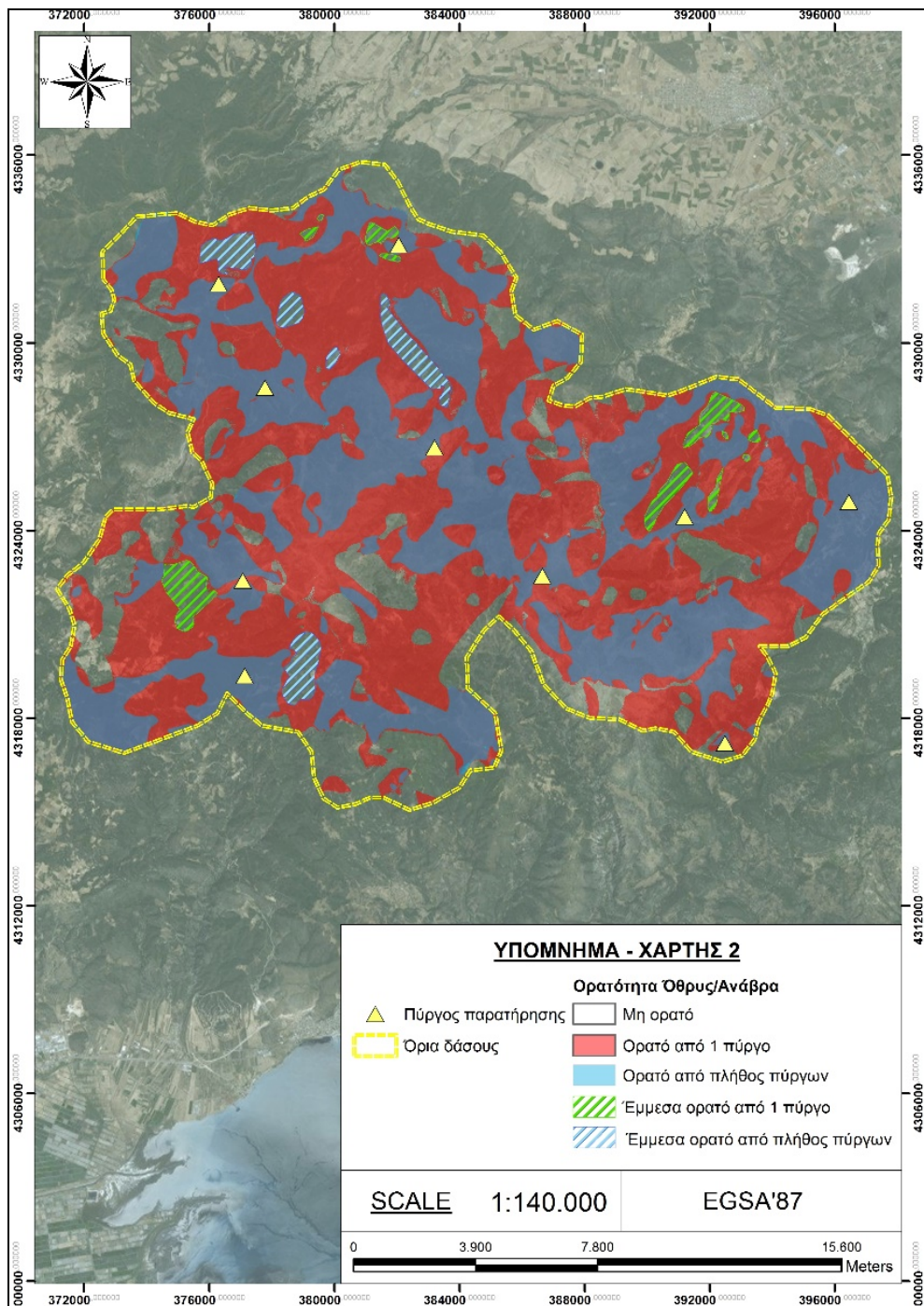
Πραγματοποιήθηκε ανάλυση του ποσοστού κάλυψης της ορατότητας από τα σημεία παρατήρησης σε σχέση με το εμβαδό που καταλαμβάνει κάθε δασική περιοχή. Για την υλοποίηση εφαρμόστηκε η ανάλυση ορατότητας για κάθε πύργο παρατήρησης ξεχωριστά. Το αποτέλεσμα μία εικόνα raster με δύο (2) κλάσεις, την ορατή και τη μη ορατή περιοχή. Ωστόσο, η έκταση που καταλαμβάνει κάθε κλάση υπολογίζεται σε ψηφίδες, οι οποίες με κατάλληλη τροποποίηση εκφράζουν το εμβαδό της ορατότητας σε Km<sup>2</sup>. Ως ποσοστό κάλυψης κάθε περιοχής είτε από έναν, είτε από περισσότερους πύργους, κρίθηκε το 80%, ενώ αυστηρά το ποσοστό κάλυψης από δύο τουλάχιστον πύργους κρίθηκε το 50%. Εκτός αυτών, υπάρχουν “τυφλές” περιοχές οι οποίες μπορούν να είναι έμμεσα ορατές από έναν ή περισσότερους πύργους, οι οποίοι θα καταγράφουν μόνο τη διεύθυνση του συμβάντος. Οι “τυφλές” περιοχές είναι εκείνες που σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς, λόγω της θέσης των πύργων, καθίστανται έμμεσα ορατές λόγω του αναδυόμενου καπνού. Αυτές οι περιοχές παρατηρούνται όταν π.χ. μεταξύ δύο πύργων παρεμβάλλεται χαράδρα (σχ. 10 και 11). Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης ορατότητας για όλα τα δάση που μελετήθηκαν (πιν. 1).

**Πίνακας 1:** Ποσοστό ορατότητας των σημείων παρατήρησης.

A/A	Περιοχή	Δασική έκταση (km <sup>2</sup> )	Κάλυψη ορατότητας (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψη μόνο από έναν πύργο (%)	Ποσοστό επικάλυψης από δύο ή περισσότερους πύργους (%)	Ποσοστό έμμεσα ορατής κάλυψης (%)	Τελικό ποσοστό κάλυψης (%)
1	Πίνδος	899.13	739.14	31.19	51.02	3.16	85.37
2	Ανάβρα	333.12	209.21	17.45	64.46	5.74	87.65
3	Όσσα	335.03	268.65	29.55	51.32	2.63	83.5
4	Καϊμακτσαλάν	158.51	134.33	20.85	63.89	3.64	88.38
5	Λευκά Όρη	49.02	41.97	18.05	67.58	8.86	94.49
6	Όλυμπος	164.02	133.93	29.63	52.03	11.82	93.48
7	Χορτιάτης	273.36	223.32	30.04	51.65	4.21	85.9
8	Ανάθεμα	198.39	170.77	18.42	67.66	4.85	90.93
9	Εύβοια	68.66	62.16	18.57	72.96	2.80	94.33
10	Πάρνηθα	103.18	89.61	25.38	61.47	2.42	89.27
11	Οίτη	141.40	113.59	18.66	61.67	5.59	85.92
12	Αρκουδόρεμα/ Χαλίκι	466.95	375.13	3.48	76.85	2.44	82.77



**Σχήμα 10:** Ανάλυση ορατότητας στην περιοχή του Καϊμακτσαλάν με εγκατάσταση οκτώ (8) πύργων με ύψος 35m και 10Km ακτίνα θέασης. Υπόβαθρο οι ορθοανηγμένες εικόνες του Κτηματολογίου ΑΕ.



**Σχήμα 11:** Ανάλυση ορατότητας στο Όρος Όθρυς με εγκατάσταση δέκα (10) πύργων με ύψος 35m και 10Km ακτίνα θέασης. Υπόβαθρο οι ορθοαναηγμένες εικόνες του Κτηματολογίου.

## 5. Συμπεράσματα

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα πολιτικό και κοινωνικό ζήτημα, λόγω της συχνότητας εμφάνισής τους, αλλά και των καταστροφικών συνεπειών στο ανθρωπογενές περιβάλλον και στα οικοσυστήματα. Ο ανθρώπινος παράγοντας καθίσταται σε μεγάλο βαθμό υπαίτιος για την πρόκληση τέτοιου είδους καταστροφών, εξαιτίας ενεργειών που οφείλονται είτε σε αμέλεια, είτε σε πρόθεση. Οι δασικές πυρκαγιές και το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, χαρακτηρίζονται από αλληλένδετη σχέση κατά την οποία η κλιματική αλλαγή ασκεί παγκόσμια επίδραση στα στάδια ανάπτυξης των δασών, επιδεινώνοντας τον κίνδυνο της ανάφλεξης. Μέσα από στατιστικές αναλύσεις εντοπίζεται διακύμανση στην εμφάνιση δασικών πυρκαγιών ανά την υφήλιο. Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας παρουσιάζεται αυξητική τάση, τόσο στον αριθμό των πυρκαγιών, όσο και στο σύνολο των καμένων εκτάσεων. Ως περισσότερο επιρρεπείς κρίνονται οι Μεσογειακές χώρες, λόγω των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο ορθός σχεδιασμός της διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών. Προκύπτει ότι οι βασικότεροι συντελεστές της διαχείρισης είναι τα στάδια της πρόληψης και της ανίχνευσης. Η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών θα πρέπει να θεωρείται ως αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού του τοπίου, σε κάθε περιοχή που παρουσιάζει υψηλό κίνδυνο ανάφλεξης. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης επιτυγχάνεται μόνο στην περίπτωση όπου η πολιτική που ακολουθείται και οι πόροι αφορούν, κυρίως, το στάδιο της πρόληψης. Η εξέλιξη των τεχνολογικών συστημάτων λειτούργησε ως έναυσμα για την αξιοποίηση και βελτίωση των μέσων απεικόνισης, και της χαρτογράφησης των φυσικών και ανθρωπογενών αλλαγών. Κύριες επιστήμες που αντιμετωπίζουν το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών, και ικανοποιούν το στάδιο της πρόληψης και της ανίχνευσης είναι, η Τηλεπισκόπηση και τα ΣΓΠ. Την ανάγκη για πρόληψη και εντοπισμό των δασικών πυρκαγιών ικανοποιούν αυτόματα ή ημιαυτόματα συστήματα πυρανίχνευσης, τα οποία συναντώνται σε όλο τον κόσμο και λειτουργούν ανασταλτικά στην εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς.

Για την διεκπεραίωση της εφαρμογής αξιοποιήθηκαν τα εργαλεία της Τηλεπισκόπησης και των ΣΓΠ (συγκεκριμένα η επέκταση Spatial Analyst του λογισμικού ArcGIS®). Τα ΣΓΠ χρησιμοποιήθηκαν αφενός για την προσαρμογή, και μετά από κατάλληλη επεξεργασία, για την αξιοποίηση του ΨΜΕ, και αφετέρου για την απεικόνιση της ορατότητας από τους πύργους που εγκαταστάθηκαν σε διάφορα σημεία, εντός των ορίων των δασικών εκτάσεων, σε 12 περιοχές της Ελλάδας. Από την ανάλυση ορατότητας διαπιστώθηκε ότι για την κάλυψη των περιοχών από συστήματα πυρανίχνευσης, σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς, απαιτείται η εγκατάσταση πύργων με ύψος 35m από την επιφάνεια του εδάφους, όπου θα αποτελούνται από σύστημα αισθητήρων με ακτίνα θέασης 10Km. Ως ποσοστό κάλυψης κάθε περιοχής είτε από έναν, είτε από περισσότερους πύργους, κρίθηκε το 80%, ενώ



αυστηρά το ποσοστό κάλυψης από δύο τουλάχιστον πύργους κρίθηκε το 50%. Εκτός αυτών, υπάρχουν “τυφλές” περιοχές οι οποίες μπορούν να είναι έμμεσα ορατές από έναν ή περισσότερους πύργους, οι οποίοι θα καταγράφουν μόνο τη διεύθυνση του συμβάντος. Οι “τυφλές” περιοχές είναι εκείνες που σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς, λόγω της θέσης των πύργων, καθίστανται έμμεσα ορατές λόγω του αναδύομενου καπνού. Αυτές οι περιοχές παρατηρούνται όταν π.χ. μεταξύ δύο πύργων παρεμβάλλεται χαράδρα. Επίσης, προέκυψε η ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος έγκαιρης πυρανίχνευσης με αισθητήρες για τον εντοπισμό καπνού ή/και φωτιάς. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση του ποσοστού κάλυψης της ορατότητας από τα σημεία παρατήρησης σε σχέση με το εμβαδό που καταλαμβάνει κάθε δασική περιοχή. Για την υλοποίηση εφαρμόστηκε η ανάλυση ορατότητας για κάθε πύργο παρατήρησης ξεχωριστά. Το αποτέλεσμα είναι μία εικόνα raster με δύο (2) κλάσεις, την ορατή και τη μη ορατή περιοχή. Συνολικά για τις δώδεκα (12) περιοχές που μελετήθηκαν αριθμούνται 109 πύργοι, με οικονομικό προϋπολογισμό κατά προσέγγιση 3,3 εκατ. €.

## Βιβλιογραφία

### (α) Δημοσίευση σε περιοδικό:

- Alkhatib, A., 2014. *A review on Forest Fire Detection Techniques*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 1-7
- Andreucci, F. and Arbolino, V., 1993. *Smoke plume model*. Il Nuovo Cimento C, 01 January, 16(1):51-65.
- Dale, V. Joyce, L., McNulty, S., Neilson, R., Ayres, M., Flannigan, M., Hanson, P., Irland, L., Lugo, A., Peterson, C., Simberloff, D., Swanson, F., Stocks, B., Wotton, B., 2001. *Climate Change and forest disturbances*. BioScience, 51(9):723-734.
- Flannigan, M., Stocks, B., Wotton, B., 2000. *Climate change and forest fire*. The Science of the Total Environment, 4 March, 262(3): 221-229.
- Gamon, J., Field, C., Goulden, M., Griffin, K., Hartley, A., Joel, G., Penuelas, J., Valentini, R., 1995. *Relationships between NDVI, canopy structure and photosynthesis in three Californian vegetation types*. Ecological Applications, 5(1): 28-41.
- Harmon, K., 2009. *Wildfires fuel climate change*. Scientific American, 12: 1-3.
- Harnden, B., Maher, P., Martin, G., 1973. *Forest fire detection systems design*. Management Science, 20(4): 617-628.
- Holben, B., Kimes, D., Fraser, R., 1986. *Directional reflectance in AVHRR red and near-infrared bands for three cover types and varying atmospheric conditions*. Remote Sensing of Environment, 19(3): 213-236.
- Jaiswal, K., Mukherjee, S., Raju, D., Saxena, R., 2002. *Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4(1):10-12.

- Kolaric, D., Skala, K., Dubravic, A., 2008. *Integrated system for forest fire early detection and management*. Periodicum Biologorum, 110(2): 205-211.
- Kuhr, E., Behnke, T., Jahn, H., Hetzheim, H., Knollenberg, J., Mertens, V., 2000. *Autonomous early warning systems for forest fires tested in Brandenburg*. Forest fire news, 22: 84-90.
- Lee, B., Alexander, M., Hawkes, B., Lynham, T., Stocks, B., Englefield, P., 2002. *Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada*. Computers and Electronics in Agriculture, 37(1-3): 185-198.
- Martin-Rico, C., Gonzalo, J., Mariani, A., Leibrandt, W., 2001. *FUEGO system concept*. Acta Astronautica, 48(1): 45-56.
- Martinez-de Dios, J. R., Merino, L., Caballero, F., Ollero, A., 2011. *Automatic forest-fire measuring using ground stations and unmanned aerial systems*. Sensors, 11(6): 6328-6353.
- Tobin, M., 2014, *Visualizing Environmental Trends*. EcoWest, 6:115-125.
- Vuko, T., Stipanicev, D., Krstinic D., Stula, M., Bodrozic, L., 2006. *Forest fire protection by Advanced Video Detection System-Croatian experiences*, Academia,43:1-10.

#### **(β) Δημοσίευση σε πρακτικά συνεδρίων:**

- Desmazieres, Y., and Paganini, M., 2007. *RISK-EOS, flood and forest risk information service*. Proc. Symp. SP-636 Envisat Symposium, ESA, Italy, pp. 1-4.
- Δημητρακόπουλος, 2008. *Η συμβολή της δασολογικής επιστήμης στην αντιμετώπιση της καταστροφής από τις πυρκαγιές. Πρακτ. Συμπο. "Το Δα-sos, η ελπίδα για ένα ανθρώπινο μέλλον", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 5-9.*

#### **(γ) Βιβλία:**

- Dimitrakopoulos, A. and Mitsopoulos, I., 2006. *Global forest resources assessment 2005-reports on fires in the Mediterranean region*, Forestry Department, Rome, 38 pp.
- Dlamini, W., 2010. *Natural and Anthropogenic Disasters: vulnerability, preparedness and mitigation*, Springer, West Bengal, 611 pp.
- European Commission, 2014. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2013*. European Union, Luxembourg, 103 pp.
- European Environment Agency, 2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*. EEA, Copenhagen, 253 pp.
- Gabban, A., San-Miguel-Ayanz, J., Viegas, D., 2008. *Assessment of forest fire risk in the European Mediterranean region: comparison of satellite-derived and meteorological indices*. Joint Research Centre, European Communities, Italy, 145 pp.
- Johann G Goldammer, C. d. R., 2004. *Wildland Fire Handbook of Sub-Saharan Africa*. Global Fire Management Center, Freiburg, 428 pp.
- Martell D. L., 2001. *Forest fire management: Forest fires: behavior and ecological effects*. Academic Press, Ontario, 594 pp.

- Merrill D., Alexander, M., 1987. *Glossary of Forest Fire Management Terms*. National Research Council. Ottawa, 91 pp.
- NWCG, 2014. *Glossary of wildland fire terminology*. Data Standards and Terminology Subcommittee, Boise, 190 pp.
- Καϊλίδης, Δ. και Καρανικόλας, Π., 2004. *Δασικές πυρκαγιές 1900-2000*. Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 434 σελ.
- Καϊμάρης, Δ., 2014. *Τηλεπισκόπηση: θεωρητική προσέγγιση και εργαστηριακές ασκήσεις*. Εκδόσεις Ζήτη, 278 σελ.
- Ξανθόπουλος, Γ., 2009. *Δασοπροστασία και δασοπυρόσβεση*, WWF Ελλάς, Αθήνα, 153 σελ.

**(γ) Διδακτορική, μεταπτυχιακή διατριβή, κ.λ.π.:**

- Bennett, M., Stephen, A., Parker, B., Marty, L., Perleberg, A., Schnepf, C., Mahoney, L., 2010. *Reducing fire risk on your forest property*. Oregon State University, 40 pp.
- Βαγιωνά, 2015. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας βασικές έννοιες, κριτήρια Χωροθέτησης, εφαρμογή ΑΙΔ για τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ*, ΑΠΘ, 42 σελ.
- Πυρίντσος, 2007. *Τεχνικές Τηλεπισκόπησης και GIS στη δημιουργία χάρτη κινδύνου πυρκαγιάς στο Χολομώντα Χαλκιδικής*, ΑΠΘ, 85 σελ.
- Στυλιανίδης, 2010. *Γεωδαισία-Τοπογραφία*, ΑΠΘ, 151 σελ.

**(δ) Ηλεκτρονικές πηγές:**

- URL 1: <http://www.skroutz.gr/c/426/fotovoltaika.html?keyphrase=luxor+lx-250p>
- URL 2: <https://www.ote.gr/web/guest/business/products-services/network-services-and-business-internet/ote-internet-presence/ote-isdn-office-new>
- URL 3: <http://www.firelookout.org/lookouts-for-sale.htm>
- URL 4: [http://www.alibaba.com/product-detail/M100-thermal-imaging-camera-for-sale\\_1976362732.html](http://www.alibaba.com/product-detail/M100-thermal-imaging-camera-for-sale_1976362732.html)
- URL 5: <http://www.nikonusa.com/en/Nikon-Products/Product/dslr-cameras/D7200.html>
- URL 6: <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>