

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

**Βασιλάκος Χρήστος, Χατζόπουλος Ιωάννης*, Καλαμποκίδης Κώστας και
Παπαπαναγιώτου Ευάγγελος**

*Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ,
811 00 Μυτιλήνη*

Λέξεις κλειδιά: Δασικές Πυρκαγιές, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας ανήκουν στην κατηγορία των Μεσογειακών οικοσυστημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από εύφλεκτη βλάστηση που ευνοεί τη συχνή εμφάνιση μεγάλων δασικών πυρκαγιών. Η κινητοποίηση για επισήμανση και αντιμετώπιση πυρκαγιάς αποτελεί, περισσότερο ή λιγότερο, ένα τυχαίο περιστατικό στη χώρα μας γιατί δεν έχει γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα της πυρανίχνευσης. Στη φάση της ανίχνευσης χάνεται πολύτιμος χρόνος, στον οποίο αν προστεθεί και ο χρόνος πρόσβασης της υπηρεσίας, τότε τις περισσότερες φορές η προσβολή στο μέτωπο της πυρκαγιάς είναι πολλή καθυστερημένη. Μέσα από αυτήν την εργασία γίνεται προσπάθεια να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα δίκτυο ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) (Βασιλάκος, 1999).

Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να προσεγγιστούν και να μελετηθούν σε τρία βασικά στάδια:

- Προληπτική πυροπροστασία.
- Επιχειρησιακή αντιμετώπιση και καταστολή.
- Προστασία, αναγέννηση και διαχείριση καμένων εκτάσεων.

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, ως ένα δυναμικό εργαλείο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα παραπάνω στάδια παρέχοντας τις επεξεργασμένες πληροφορίες που χρειάζονται για μία ολοκληρωμένη διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων.

Κατά την πρόληψη – πυροπροστασία, τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εντοπισμό των επικίνδυνων περιοχών και στη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας, έτσι ώστε τα μέτρα προφύλαξης να εντατικοποιηθούν σε συγκεκριμένες περιοχές. Επίσης, με τη βοήθεια των ΓΣΠ είναι δυνατή η χωροθέτηση σταθμών πυρανίχνευσης, τόσο επανδρωμένων όσο και αυτόματων.

* Υπεύθυνος συγγραφέας για τη σχετική αλληλογραφία.

Κατά την καταστολή, τα ΓΣΠ βοηθούν στο συντονισμό των δυνάμεων πυρόσβεσης. Παρέχουν στοιχεία (π.χ. μετεωρολογικά) σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιώντας βάσεις δεδομένων που έχουν πληροφορίες για την καύσιμη ύλη, τις κλιματικές συνθήκες και την τοπογραφία μπορούν να υπολογίσουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς με διάφορα μοντέλα διάδοσής της.

Μετά την πυρκαγιά, χρησιμοποιώντας ΓΣΠ οι υπεύθυνοι διαχείρισης μπορούν να υπολογίσουν τη δασική έκταση που έχει καεί και να εκπονήσουν ένα σχέδιο ολοκληρωμένης προστασίας και διαχείρισής της .

Σε αυτή την εργασία εξετάζεται πως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο για το σχεδιασμό συστήματος βέλτιστης πυρανίχνευσης μιας περιοχής. Με τον όρο βέλτιστη εννοείται η κατάλληλη χωροθέτηση των σταθμών πάνω στο ανάγλυφο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να καλύπτεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη περιοχή με τους λιγότερους σταθμούς.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΥΡΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

Παράμετροι Χωροθέτησης

Η χωροθέτηση επίγειων σταθμών πυρανίχνευσης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους. Σε ένα δίκτυο σταθμών λαμβάνεται υπόψη η εδαφοκάλυψη και το ανάγλυφο (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους ή ΨΜΕ) της περιοχής.

Εδαφοκάλυψη – Χρήσεις Γης

Αποτελεί την κύρια παράμετρο χωροθέτησης γιατί καθορίζει την έκταση που μπορεί να βρίσκονται οι επικίνδυνες περιοχές έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιών. Οι περιοχές αυτές μπορεί να είναι:

- Περιοχές με πλούσια και εύφλεκτη βλάστηση / καύσιμη ύλη.
- Περιοχές που συνορεύουν με αγροτικές εκτάσεις, χωματερές και πεδία βολών στρατού ή γενικότερα περιοχές με έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα.

Πηγή για την εδαφοκάλυψη μιας περιοχής είναι αναλογικοί χάρτες του Υπουργείου Γεωργίας, οι οποίοι όμως είναι αμφιβόλου ακρίβειας λόγω παλαιότητάς των. Νέες τεχνικές εξαγωγής καύσιμης ύλης έχουν αναπτυχθεί βασιζόμενες στην ταξινόμηση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων (LANDSAT-TM). Με τη χρήση λογισμικών επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι δυνατόν να επισημανθούν και να χαρτογραφηθούν οι επικίνδυνες περιοχές ώστε να πυρανιχνευτούν με ένα δίκτυο σταθμών.

Ανάγλυφο – Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Ως ψηφιακό μοντέλο εδάφους ορίζεται η προσέγγιση της επιφάνειας του εδάφους με αριθμητικές τιμές θέσης και υψομέτρου διακεκριμένων σημείων (ψηφιακά δεδομένα), οι οποίες χρησιμοποιούνται κατάλληλα για τη δημιουργία μαθηματικής συνάρτησης (μοντέλου) που εκφράζει ικανοποιητικά τη συνεχή επιφάνεια του εδάφους (Χατζόπουλος, 1996).

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους δημιουργείται με δύο τρόπους:

- i. Απευθείας από τα τοπογραφικά δεδομένα που συλλέγονται στο έδαφος με σημεία ελέγχου ευρισκόμενα σε ακανόνιστες θέσεις και αποστάσεις, οπότε το μοντέλο είναι μια επίπεδη επιφάνεια που ορίζεται από τρία σημεία (τρίγωνα).
- ii. Έμμεσα από τα αρχικά δεδομένα με την παρεμβολή και τον προσδιορισμό νέων σημείων τα οποία βρίσκονται σε κανονικές θέσεις και αποστάσεις (π.χ. κάναβος).

Το ανάγλυφο του εδάφους (ΨΜΕ) επηρεάζει άμεσα την πιθανότητα εκδήλωσης και τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς και αποτελείται από επιμέρους στοιχεία όπως ο προσανατολισμός (έκθεση ως προς τον ορίζοντα), η κλίση και το υψόμετρο. Επίσης το ανάγλυφο αποτελεί το υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα γίνει η ανάλυση ορατότητας που έχει κάθε σταθμός. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι δυνατόν να παραχθεί από ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών, με μειονέκτημα την παλαιότητα των στοιχείων αλλά και τη μη διαθεσιμότητά τους σε ορισμένες περιοχές για λόγους εθνικής ασφάλειας. Η φωτογραμμετρία έχει τη δυνατότητα να παράγει ΨΜΕ από στέreo αεροφωτογραφίες και στέreo δορυφορικές εικόνες με επιθυμητή ακρίβεια. Οι πρόσφατες αεροφωτογραφίες παράγουν φωτογραμμετρικά ΨΜΕ που απεικονίζει το πραγματικό ανάγλυφο με μεγάλη ακρίβεια και σχετικά υψηλό κόστος λόγω των πολλαπλών αεροφωτογραφιών που χρειάζονται. Οι στέreo-δορυφορικές εικόνες διαφόρων συστημάτων όπως SPOT, JERS-1, IRS, παράγουν φωτογραμμετρικά ΨΜΕ που απεικονίζει επίσης το πραγματικό ανάγλυφο με καλή ακρίβεια και χαμηλό κόστος

Τρόποι Πυρανίχνευσης

Πυρανίχνευση σε μια περιοχή μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

1. Επανδρωμένα παρατηρητήρια. Τα παρατηρητήρια αυτά λειτουργούν συνήθως με εποχιακό προσωπικό κατά τους θερινούς μήνες. Επειδή η επίβλεψη βασίζεται στην ανθρώπινη όραση, οι παρατηρητές έχουν μικρή ακτίνα επόπτευσης (και κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας), η οποία αυξάνεται μόνο με τη χρήση κυαλιών. Μειονέκτημα επίσης είναι, το υψηλό λειτουργικό κόστος (μισθοί προσωπικού, συντήρηση κλπ.). Βασικό πλεονέκτημα αυτών των σταθμών παρατήρησης είναι η μη ύπαρξη εσφαλμένων συναγευμάτων, εφόσον βέβαια η ανίχνευση του καπνού και της φωτιάς είναι ορατή.
2. Περιπολίες. Όπως και τα παρατηρητήρια, οι περιπολίες πραγματοποιούνται κατά τη θερινή περίοδο. Οι περιπολίες μπορεί να είναι πεζές, εποχούμενες ή εναέριας. Οι πεζές περιπολίες έχουν πολύ μικρή ακτίνα δράσης, η οποία περιορίζεται από τη βλάστηση και την τοπογραφία του εδάφους. Συνίστανται κυρίως στην πρόληψη και όχι στην έγκυρη ανίχνευση. Οι εποχούμενες περιπολίες όσον αφορά στην παρατήρηση έχουν την ίδια ακτίνα δράσης με τις πεζές περιπολίες, μπορούν να κινηθούν στο οδικό δίκτυο που υπάρχει στην περιοχή ενώ αποτελούν και τις μονάδες πρώτης επέμβασης. Οι εναέριας περιπολίες έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης περιοχής κάλυψης σε μικρό χρόνο αλλά έχουν μεγάλο κόστος ανά ώρα πτήσης.
3. Αυτόματοι ανιχνευτές. Διάφοροι τύποι ανιχνευτών και φωτογραφικών μηχανών έχουν ερευνηθεί για τη χρησιμότητά τους στην ανάπτυξη επίγειων συστημάτων πυρανίχνευσης, όπως αισθητήρες στοιχείων CCD (Charge Coupled Device),

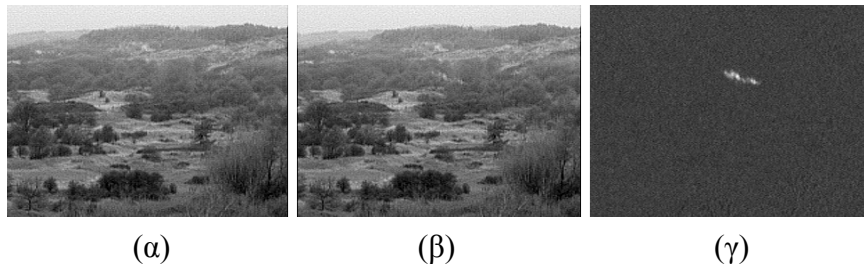
υπέρυθροι ανιχνευτές (IR), ανιχνευτές τύπου LIDAR (LIght Detection And Ranging) και RADAR. Τα RADAR μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανίχνευση των αναταράξεων που δημιουργούνται στη στήλη αέρα πάνω από τη φωτιά, ενώ οι ανιχνευτές τύπου LIDAR εκπέμπουν ακτίνες laser για την ανίχνευση των συστατικών του καπνού. Παρόλη την αποτελεσματικότητα των δυο παραπάνω τεχνικών, το υψηλό κόστος λόγω της περαιτέρω έρευνας που απαιτείται αλλά και το υψηλό κόστος συντήρησης τις καθιστούν προς το παρόν μη επιχειρησιακές.

Οι υπέρυθροι ανιχνευτές ανιχνεύουν τη θερμότητα για αυτό και είναι κατάλληλοι για συστήματα πυρανίχνευσης. Ωστόσο, πολλές πυρκαγιές αρχίζουν στο έδαφος και συχνά οι εστίες τους κρύβονται από δέντρα και άλλα αντικείμενα. Για αυτό το λόγο, οι υπέρυθροι ανιχνευτές που βρίσκονται σε επίγειες πλατφόρμες δεν βλέπουν τη φωτιά παρά μόνο όταν φτάσει στις κορυφές των δέντρων. Ένα άλλο μειονέκτημα των υπέρυθρων ανιχνευτών είναι η χαμηλή ορατότητα που έχει στο υπέρυθρο φάσμα ο καπνός στην αρχή μιας φωτιάς. Η στήλη καπνού δεν περιέχει αρκετά συστατικά έτσι ώστε να είναι ανιχνεύσιμος από υπέρυθρα συστήματα, ενώ ήδη μπορεί να εντοπιστεί στο ορατό φάσμα.

Ο ανιχνευτής που περιέχει αισθητήρα στοιχείων CCD καταγράφει το ορατό και το κοντινό υπέρυθρο. Έτσι, ανιχνεύει τη φωτιά μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τον καπνό. Εφόσον ο καπνός ανυψώνεται πάντα πάνω από τη φωτιά ο εντοπισμός του είναι άμεσος, εξαρτώμενος όμως από τις τοπικές καιρικές συνθήκες, ενώ η εστία φωτιάς δεν είναι ορατή. Συνεπώς, η ανίχνευση φωτιάς με αισθητήρες στοιχείων CCD είναι περισσότερο εφικτή και αξιόπιστη σε σύγκριση με τους υπέρυθρους ανιχνευτές δίνοντας μικρούς χρόνους επίσημανσης (De Vries and Kemp, 1993).

Ένα τέτοιο σύστημα έχει κατασκευαστεί και μελετηθεί από το Εργαστήριο Φυσικής και Ηλεκτρονικής του Ολλανδικού Οργανισμού Εφαρμοσμένης Επιστημονικής Έρευνας (TNO), η αρχή λειτουργίας του οποίου είναι η εξής:

Ο αισθητήρας σαρώνει την περιοχή με βάση τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, και δημιουργεί υψηλής ευκρίνειας ψηφιακές εικόνες. Η σάρωση γίνεται σε συχνά και περιοδικά χρονικά διαστήματα και κάθε εικόνα που δημιουργείται συγκρίνεται με τις προηγούμενες με τη βοήθεια ειδικού αλγόριθμου (Εικόνα 1). Μόλις εντοπιστεί κάποια διαφορά θα σημαίνει συναγερμός.



Εικόνα 1. (α) Αρχική εικόνα. (β) Η ίδια περιοχή 15 sec αργότερα. (γ) Η διαφορά των δύο εικόνων και ο εντοπισμός του καπνού (Den Breejen *et al.*, 1998).

Ωστόσο, στο φυσικό περιβάλλον πολλοί από αυτούς του συναγερμούς είναι πιθανόν να μην είναι πραγματικοί. Λόγοι οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν σε ψευδή συναγερμό είναι:

- Διαφορετικός φωτισμός από τον ήλιο (π.χ. λόγω κίνησης των σύννεφων).
- Κίνηση του ήλιου στη διάρκεια της ημέρας.
- Κινήσεις που καταγράφονται στις εικόνες, όπως για παράδειγμα κίνηση των δέντρων από τον άνεμο.
- Ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως αυτοκίνητα, άνθρωποι κλπ.
- Πουλιά και άλλα ζώα.

Ανάλυση Ορατότητας (Visibility Analysis)

Ο καθορισμός για το αν μια περιοχή είναι ορατή από μια ή πολλές μεμονωμένες θέσεις, ή μια άλλη περιοχή και το αντίστροφο, είναι διαδικασία με την οποία ασχολούνται οι αρχιτέκτονες πεδίου εδώ και πολλά χρόνια. Η λειτουργία αυτή έχει ενσωματωθεί σε πολλά εμπορικά πακέτα γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών τα οποία έχουν την δυνατότητα να επεξεργάζονται ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Οι δύο κύριοι τύποι ψηφιακών μοντέλων εδάφους που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση ορατότητας είναι η κανονική διγραμμική σε κάναβο και τα τριγωνικά ακανόνιστα δίκτυα.

Πολλοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για τον αυτόματο υπολογισμό του πεδίου οράσεως (viewshed). Μια ορατή περιοχή καθορίζεται ορίζοντας ένα σημείο ως το σημείο όρασης και υπολογίζοντας τη γραμμή ενόρασης (line of sight) προς οποιοδήποτε άλλο σημείο της υπό μελέτη περιοχής (target points). Αν η επιφάνεια του εδάφους βρίσκεται ψηλότερα από τη γραμμή ενόρασης τότε ο στόχος δεν είναι ορατός, ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι ορατός. Το αποτέλεσμα μιας ανάλυσης ορατότητας έχει τις περισσότερες φορές δυαδική μορφή, δηλαδή η τοποθεσία που είναι ορατή καταγράφεται συνήθως ως μονάδα (1) ενώ αυτή που δεν είναι καταγράφεται ως μηδέν (0). Στη χωροθέτηση σταθμών πυραυλίνευσης η περιοχή που είναι ορατή δεν περιορίζεται από την απευθείας γραμμή ενόρασης προς την εστία της φωτιάς αλλά ο παρατηρητής, άνθρωπος ή αυτόματος, μπορεί εύκολα να δει μια δασική πυρκαγιά όπου η επιφάνεια του εδάφους είναι κάτω από τη γραμμή ενόρασης της εστίας, ανιχνεύοντας τον καπνό (Fisher, 1996).

Κριτήρια Εύρεσης Σταθμών Παρατήρησης

Μετά από δοκιμές, διαπιστώθηκε ότι τα σημεία που έχουν καλύτερο πεδίο όρασης σε μια περιοχή είναι :

- Τα υψηλότερα σημεία.
- Τα χαμηλότερα σημεία.
- Τα σημεία όπου αλλάζει η κλίση του εδάφους.

Τα υψηλότερα και τα χαμηλότερα σημεία έχουν το καλύτερο πεδίο όρασης όταν η κλίση του εδάφους μειώνεται με συνεχή τρόπο από το μεγαλύτερο προς το χαμηλότερο υψόμετρο. Αν η κλίση του εδάφους αυξάνεται από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο σημείο τότε θα δημιουργηθεί μια "τυφλή" περιοχή. Τυφλή περιοχή εννοούμε την περιοχή που δεν είναι ορατή.

Ανάλυση Ορατότητας στο ΓΣΠ Arc/Info

Μέσα στο ΓΣΠ Arc/Info υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί ανάλυση ορατότητας σε ένα ΨΜΕ με μορφή κανάβου (lattice), καθορίζοντας πόσα σημεία παρατήρησης μπορούν να γίνουν ορατά από κάθε περιοχή του κανάβου ή ποιες περιοχές μπορούν να παρατηρηθούν από κάθε σημείο παρατήρησης.

Τα πρωτογενή στοιχεία που χρειάζονται για την ανάλυση είναι:

- ΨΜΕ σε μορφή κανάβου που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ορατότητας.
- Επικάλυψη (coverage) που περιέχει σημεία ή γραμμές που χρησιμοποιούνται ως σημεία παρατήρησης. Αυτό δίνει την δυνατότητα κατά την ανάλυση ορατότητας, να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο οι σημειακοί σταθμοί πυρανίχνευσης, π.χ. επανδρωμένα παρατηρητήρια, αλλά και οι περιπολίες, πεζές, εποχούμενες και εναέριες μέσω των γραμμικών στοιχείων.

Παράμετροι των Παρατηρητών για την Ανάλυση Ορατότητας

Κάθε παρατηρητής μπορεί να έχει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία θα προσδιορίζουν το πεδίο ενόρασής του (field of view – FOV). Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να ενσωματωθούν στον πίνακα των ιδιοτήτων που έχει η επικάλυψη των σημείων για τον έλεγχο της ανάλυσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- Ύψομετρο εδάφους στο οποίο βρίσκεται ο παρατηρητής. Για επίγειους σταθμούς πυρανίχνευσης δεν χρειάζεται να προσδιοριστεί από το χρήστη αυτό το χαρακτηριστικό γιατί η ανάλυση μπορεί να προσδιορίσει αυτόματα το υψόμετρο του εδάφους στο οποίο βρίσκεται ο παρατηρητής μέσω παρεμβολής. Για τις εναέριες περιπολίες, αυτό το χαρακτηριστικό προσδιορίζει το ύψος πτήσης.
- Ύψος πάνω από το έδαφος στο οποίο βρίσκεται ο παρατηρητής. Είναι πολύ σημαντική ιδιότητα γιατί δίνει τη δυνατότητα να τοποθετηθεί ο παρατηρητής σε ένα τέτοιο ύψος ώστε να μπορεί να ξεπεράσει τα τοπικά εμπόδια όπως δέντρα, κτίρια και έντονες αλλαγές του ανάγλυφου. Μέσω αυτού του χαρακτηριστικού, μπορεί να δηλωθεί το επιθυμητό ύψος του πύργου παρατήρησης.
- Ύψος πάνω από το έδαφος στο οποίο βρίσκεται ο στόχος. Για τις πυρκαγιές είναι σημαντικό, διότι μπορούμε να δώσουμε το ύψος στο οποίο μπορεί να ανιχνευτεί ο καπνός.
- Γωνίες που ορίζουν το οριζόντιο και το κάθετο πεδίο ενόρασης.
- Ελάχιστη και μέγιστη απόσταση ανίχνευσης.

Οι γωνίες και η απόσταση που καθορίζουν το οριζόντιο και το κάθετο πεδίο ενόρασης εξαρτώνται κυρίως από το είδος του παρατηρητή. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να είναι κοινά για όλους τους παρατηρητές ή ο καθένας να έχει τα δικά του. Αυτό εξαρτάται από το είδος του παρατηρητή. Για παράδειγμα, ο άνθρωπος, έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, που καθορίζονται και από τον εξοπλισμό που διαθέτει (π.χ. κυάλια), σε σύγκριση με έναν αυτόματο ανιχνευτή τα χαρακτηριστικά του οποίου καθορίζονται από τον κατασκευαστή αλλά και τον τρόπο με τον οποίο θα τοποθετηθεί και θα χρησιμοποιηθεί ο ανιχνευτής.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

Η περιοχή που επιλέχθηκε για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση ορατότητας με στόχο τη χωροθέτηση ενός δικτύου πυραυλιχνευτών είναι η Αποθήκα, στη νότιο-δυτική πλευρά του κόλπου Καλλονής της νήσου Λέσβου. Η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτεται από φρύγανα και μακκία βλάστηση, καθώς και βραχώδεις εκτάσεις, όπου εμφανίζονται πυρκαγιές μικρής έντασης αλλά μεγάλης ταχύτητας. Η έναρξη πυρκαγιών στην περιοχή οφείλεται κυρίως στο πεδίο βολής του στρατού που υπάρχει στην περιοχή καθώς και σε εμπρησμούς για τη μετατροπή της περιοχής σε βοσκότοπους.

Δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους

Για τη δημιουργία του ΨΜΕ, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Επικάλυψη Ισοϋψών → Τριγωνικό ακανόνιστο Δίκτυο (TIN) → ΨΜΕ σε μορφή κανάβου

Δημιουργήθηκαν ΨΜΕ με μεταβλητό άνοιγμα κελιών (cell size) από 2 έως 40 m. Μετά από δοκιμές διαπιστώθηκε ότι το άνοιγμα του κελιού δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης, ενώ όσο πιο μικρό είναι το άνοιγμα τόσο περισσότερη υπολογιστική ισχύς και χρόνος χρειάζεται. Έτσι επιλέχθηκε ως άνοιγμα κελιού τα 30 m για το ΨΜΕ που προήλθε από ισοϋψείς 20 m, και άνοιγμα κελιού 2 m για το ΨΜΕ που προήλθε από ισοϋψείς 4 m. Τα 30 m ως άνοιγμα κελιού χρησιμοποιούνται περισσότερο σε εφαρμογές που σχετίζονται με δασικές πυρκαγιές και στατιστική ανάλυση (Kalabokidis and Omi, 1995).

Για τη δημιουργία ΨΜΕ από εικόνες του δορυφόρου SPOT ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Στερεο-ζεύγος εικόνων SPOT → Αυτόματος συσχετισμός (matching) →
Εξαγωγή στοιχείων σε μορφή Z,X,Y → Τριγωνικό ακανόνιστο Δίκτυο (TIN) →
ΨΜΕ σε μορφή κανάβου

Αν και υπήρχε η δυνατότητα να ληφθούν απευθείας ΨΜΕ σε μορφή κανάβου από τον αυτόματο συσχετισμό, αυτό δεν προτιμήθηκε γιατί υπήρχαν κελιά χωρίς υψομετρική τιμή (NO DATA).

Αλγόριθμος Βέλτιστης Χωροθέτησης Δικτύου Ανιχνευτών Δασικών Πυρκαγιών

Ο αλγόριθμος, που για λόγους διασύνδεσης αναπτύχθηκε σε γλώσσα Arc/Info Macro Language (AML), έχει ως στόχο τη βέλτιστη χωροθέτηση δικτύου πυραυλιχνευτών, δηλαδή τη χωροθέτηση με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε τη μέγιστη κάλυψη της περιοχής με τους λιγότερους ανιχνευτές.

Το πρόγραμμα, αρχικά δημιουργεί για καθένα παρατηρητή μια ξεχωριστή επικάλυψη. Στη συνέχεια πραγματοποιεί ανάλυση ορατότητας για τον καθένα ξεχωριστά. Κατόπιν

υπολογίζει όλους του πιθανούς συνδυασμούς, το πλήθος των οποίων δίνεται από τον τύπο:

$$N(\rho) = \frac{v!}{\rho!(v - \rho)!}$$

όπου v ο συνολικός αριθμός το υποψήφιας θέσεων και ρ ο αριθμός των παρατηρητών που έχει ο εξεταζόμενος συνδυασμός ($\rho = 1 \dots v$).

Έπειτα, δημιουργεί τις περιοχές ορατότητας συνολικά, του εξεταζόμενου συνδυασμού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της λογικής πράξης OR πάνω στα αποτελέσματα της ανάλυσης ορατότητας των επιμέρους παρατηρητών του συνδυασμού. Για κάθε συνδυασμό με τον ίδιο αριθμό παρατηρητών κρατείται (αποθηκεύεται) αυτός με τη μεγαλύτερη κάλυψη.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Χάρτη 1 και από τον Πίνακα 1 γίνεται κατανοητό πως το ύψος παρατήρησης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Αυξάνοντας το ύψος παρατήρησης, αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό και η ορατή περιοχή εφόσον, η κάθετη γωνία όρασης είναι σταθερή.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα μεταβαλλόμενου ύψους παρατήρησης.

	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	
	Ύψος παρατήρησης 1 m	Ύψος παρατήρησης 10 m
Μη ορατή περιοχή	68,7420	56,3391
Ορατή περιοχή	2,2662	14,6691

Για την πυρανίχνευση, όπως έχει αναφερθεί, είναι πολύ σημαντική παράμετρος το ύψος του στόχου γιατί έχει εφαρμογή στην ανίχνευση του καπνού. Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 2 είναι κατανοητό ότι όσο ψηλότερα είναι ο στόχος τόσο πιο εύκολα γίνεται ορατός.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα μεταβαλλόμενου ύψους στόχου.

	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)		
	Στόχος στο έδαφος	Ύψος στόχου 10 m	Ύψος στόχου 25 m
Μη ορατή περιοχή	69,9453	69,2667	68,5485
Ορατή περιοχή	1,0629	1,7415	2,4597

Για το κάθετο πεδίο ενόρασης, η μείωση της γωνίας πάνω από τον ορίζοντα δημιουργεί μη ορατή περιοχή, όχι κοντά στον παρατηρητή, η έκταση της οποίας εξαρτάται από την κλίση του εδάφους (στόχο). Η μικρή κλίση θα δώσει μεγάλη μη ορατή περιοχή και αντίστροφα. Η αυξομείωση της γωνίας κάτω από τον ορίζοντα δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου όταν ο παρατηρητής είναι κοντά στο έδαφος.

Στον Χάρτη 2 φαίνεται πως μεταβάλλεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης ορατότητας όταν αλλάζουμε το ΨΜΕ. Αν και τα δύο ΨΜΕ προήλθαν από ψηφιοποίηση ισοϋψών από χάρτες κλίμακας 1:5000, δηλαδή και τα δύο ΨΜΕ έχουν αρχική ακρίβεια σύμφωνα με τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού $\pm 1,2$ m, υπάρχει διαφορά στο αποτέλεσμα μεταξύ του ΨΜΕ που δημιουργήθηκε από ισοϋψείς 20 m και του ΨΜΕ που δημιουργήθηκε από ισοϋψείς 4 m. Η διαφορά οφείλεται στα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται από την παρεμβολή για τη μετατροπή από τη μια σε μια άλλη μορφή ΨΜΕ. Έτσι διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Ορατή περιοχή σε ΨΜΕ που δημιουργήθηκε από ισοϋψείς 4 m και 20 m.
- Ορατή περιοχή σε ΨΜΕ που δημιουργήθηκε μόνο από ισοϋψείς 20 m.
- Ορατή περιοχή σε ΨΜΕ που δημιουργήθηκε μόνο από ισοϋψείς 4 m.

Πιο ακριβή αποτελέσματα στην ανάλυση δίνονται από τις ισοϋψείς των 4 m γιατί το ΨΜΕ ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα. Λαμβάνοντας υπόψη όμως την παλαιότητα των χαρτών, αλλά κυρίως και το χρόνο που χρειάζεται κανείς για να δημιουργήσει ένα ΨΜΕ προερχόμενο από ισοϋψείς 4 m, δεν συνίσταται η χρήση τους για μια τέτοια εφαρμογή. Μετά από δοκιμές στη συγκεκριμένη περιοχή διαπιστώθηκε ότι η περιοχή που λαμβάνεται ως ορατή με ΨΜΕ από ισοϋψείς 4 m, ενώ δεν είναι ορατή στο ΨΜΕ από ισοϋψείς 20 m, είναι περίπου 4% της συνολικής ορατής περιοχής. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από το ανάγλυφο της κάθε περιοχής και για την ανάλυση ορατότητας πυρανίχνευσης θεωρείται αμελητέο.

Η ανάλυση ορατότητας που πραγματοποιήθηκε στο ΨΜΕ από το δορυφόρο SPOT, δεν έδωσε τα ίδια αποτελέσματα. Όπως φαίνεται από τον Χάρτη 3, υπάρχουν περιοχές που το υψόμετρο έχει υπολογιστεί από το συσχετισμό με λάθος μεγαλύτερο από 50 m. Για την ανάλυση ορατότητας κρίνεται σημαντικό διότι έστω και μια περιοχή 30X30 m για την οποία έχει υπολογιστεί υψόμετρο 50 m πάνω από το πραγματικό, θα δημιουργήσει μια μη ορατή περιοχή ή οποία στην πραγματικότητα δεν θα υφίσταται. Αυτά τα σημεία είναι εύκολο να εντοπιστούν μετά από παρατήρηση, έτσι ώστε να απομονωθούν και να επαναυπολογιστεί το υψόμετρο από τα γειτονικά σημεία, με παρεμβολή και όχι με συσχετισμό.

Εφαρμογή Αλγορίθμου Βέλτιστης Κάλυψης

Για την περιοχή μελέτης έγινε τυχαία επιλογή 9 σημείων με ομοιόμορφη κατανομή. Για τους 9 υποψήφιους παρατηρητές δόθηκαν οι εξής τιμές των παραμέτρων:

- Ύψος παρατηρητή 10 m.
- Ύψος στόχου 30 m.
- Μέγιστη ακτίνα όρασης 4000 m.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περιοχή της Αποθήκας σε ΨΜΕ που προήλθε από ψηφιοποίηση ισοϋψών 20 m.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα αλγορίθμου βέλτιστης χωροθέτησης.

Αριθμός παρατηρητών	Παρατηρητές στον καλύτερο συνδυασμό	Κάλυψη περιοχής (κελιά)	Ποσοστό Κάλυψης (%)
1	5	31909	55,56
2	1,5	41272	71,86
3	1,2,5	47364	82,47
4	1,2,5,8	50010	87,07
5	1,2,5,7,8	51294	89,31
6	1,2,5,7,8,9	52409	91,26
7	1,2,5,6,7,8,9	52809	91,95
8	1,2,4,5,6,7,8,9	52962	92,21
9	1,2,3,4,5,6,7,8,9	52967	92,23

Από τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί ένα πολύ καλό ποσοστό κάλυψης της περιοχής με πάνω από 5 παρατηρητές. Στο Χάρτη 4 παρουσιάζεται ο καλύτερος συνδυασμός 6 παρατηρητών και η περιοχή που καλύπτουν. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η κάλυψη της περιοχής που έχει ο κάθε παρατηρητής ξεχωριστά. Παρατηρούμε ότι η επιλογή δεν γίνεται αρχίζοντας από τον παρατηρητή με την μεγαλύτερη κάλυψη και ενσωματώνοντας μετά τους παρατηρητές σύμφωνα με την περιοχή που καλύπτουν ο καθένας ξεχωριστά. Δηλαδή αν κάποιος παρατηρητής έχει μεγάλο ποσοστό κάλυψης δεν ενσωματώνεται σε έναν συνδυασμό αν έχει μεγάλη αλληλοεπικάλυψη με τους άλλους παρατηρητές του συνδυασμού.

Πίνακας 4. Κάλυψη περιοχής για κάθε παρατηρητή.

Παρατηρητής	Κάλυψη περιοχής (κελιά)
1	17011
2	16695
3	6663
4	14424
5	31909
6	9240
7	14878
8	8727
9	9360

Αξίζει να σημειωθεί ότι:

- Υπάρχει περίπτωση κάποια άλλη εξάδα παρατηρητών να δίνουν μεγαλύτερη κάλυψη, όπως επίσης ένας άλλος συνδυασμός με λιγότερους παρατηρητές να δίνει την ίδια ή μεγαλύτερη κάλυψη. Αυτοί οι παρατηρητές δεν ανήκουν στους συγκεκριμένους 9. Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να λάβει ως υποψήφιο παρατηρητή κάθε σημείο πάνω στο ΨΜΕ αλλά πρακτικά κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Όσους περισσότερους υποψήφιους παρατηρητές δώσουμε τόση μεγαλύτερη πιθανότητα έχουμε να πάρουμε την ιδεώδη ρ-άδα παρατηρητών που θα έχει τη μεγαλύτερη κάλυψη με κόστος τεράστια υπολογιστική ισχύ και απαιτούμενο χρόνο.
- Οι συγκεκριμένοι 9 παρατηρητές έχουν σταθερές τιμές παραμέτρων. Αυτό που μεταβάλλεται είναι η θέση τους στο ανάγλυφο. Είναι δυνατό μέσω του αλγορίθμου, όπως μοντελοποιείται η θέση, να μοντελοποιούνται και οι τιμές των παραμέτρων.

Έτσι ως αποτέλεσμα θα έχουμε, εκτός από τη θέση του παρατηρητή, και τις τιμές των παραμέτρων που πρέπει να έχει για να ισχύσει το κριτήριο πάνω στο οποίο είναι βασισμένος ο αλγόριθμος. Αυτό έχει ως εφαρμογή την εγκατάσταση μικτού δικτύου (π.χ. επανδρωμένα παρατηρητήρια μαζί με αυτόματους πυρανίχνευτές κτλ).

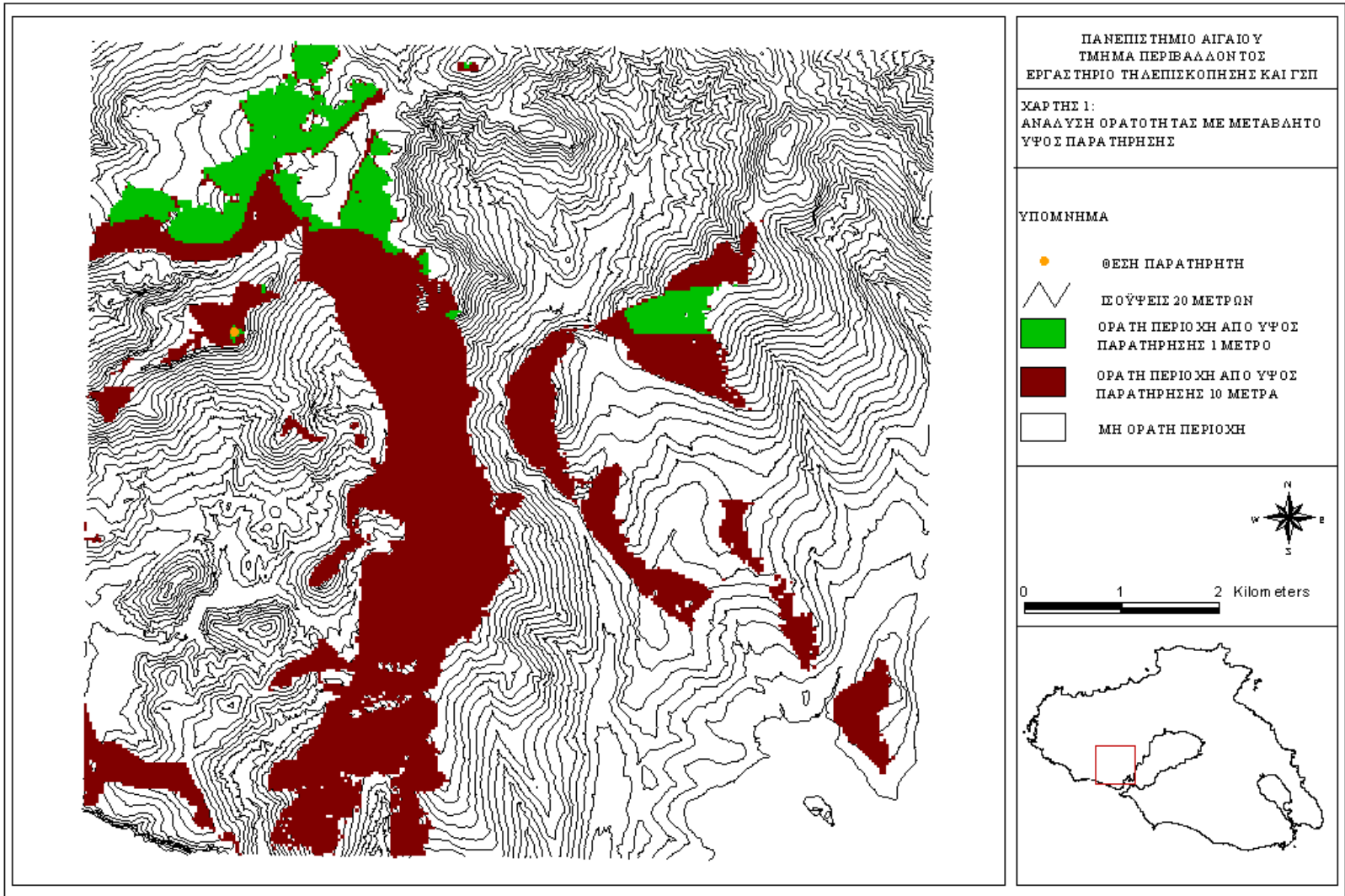
- Το πρόγραμμα δεν λαμβάνει απόφαση για τη χωροθέτηση αλλά βοηθάει στη λήψη της απόφασης. Τα ποσοστά κάλυψης όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα αυξάνονται με μικρότερο βαθμό όσο αυξάνονται οι παρατηρητές. Ενδεχομένως όσο αυξάνονται οι παρατηρητές μέσα στο συνδυασμό, αυξάνεται παράλληλα και το ποσοστό αλληλοεπικάλυψης.
- Όπως είναι κατασκευασμένος ο αλγόριθμος, μπορεί να έχει εφαρμογή χρησιμοποιώντας ως προεπιλεγμένα σημεία κάποια ήδη υπάρχοντα παρατηρητήρια, ενώ οι υπόλοιπες υποψήφιες θέσεις να είναι κάποια σημεία σε μεγάλο ύψος από το έδαφος (π.χ. πυλώνες της ΔΕΗ πάνω στους οποίους είναι εφικτό να εγκατασταθούν αυτόματοι πυρανίχνευτές και να μεταδίδουν την πληροφορία μέσω των καλωδίων).

Συμπερασματικά, ο χρόνος επισήμανσης και επέμβασης επηρεάζει σημαντικά το χρόνο της κατάσβεσης. Με ένα σωστά χωροθετημένο σύστημα πυρανίχνευσης επιτυγχάνεται γρήγορη προειδοποίηση για την έναρξη της πυρκαγιάς στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, εξασφαλίζοντας συνεχή επιτήρηση και υψηλή αξιοπιστία.

Εκτός από τη χωροθέτηση ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η αξιοπιστία και η απόδοση των επανδρωμένων παρατηρητηρίων. Μπορεί τώρα η σύγχρονη τεχνολογία να αντικαταστήσει τους δασοφύλακες με αυτόματα συστήματα πυρανίχνευσης. Οι υπέρυθροι ανίχνευτές και ο εντοπισμός καπνού μέσα από εικόνες που λαμβάνονται από αισθητήρες στοιχείων CCD, είναι αυτοί που έχουν περισσότερο εφαρμογή όχι μόνο σε ερευνητικό αλλά και σε επιχειρησιακό επίπεδο με πολύ καλά αποτελέσματα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ







- Βασιλάκος Χ. 1999. Σχεδιασμός δικτύου ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.
- De Vries J.S., Kemp R.A.W. 1993. Surveillance sensor for autonomous wildfire detection. *In Proceedings SPIE Symposium, Orlando, Florida, USA.*
- Den Breejen E., Breuers M., Cremer F., Kemp R., Roos M., Schutte K., De Vries J.S. 1998. Autonomous forest fire detection. *In Proceedings III International Conference on Forest Fire Research and 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, 16-20 November 1998, Luso, Portugal. Vol II, pp. 2003-2012.*
- Fisher P.F. 1996. Extending the applicability of viewsheds in landscape planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62(11): 1297-1302
- Kalabokidis K.D., Omi P.N. 1995. Isarithmic analysis of forest fire fuelbed arrays. *Ecological Modelling* 80: 47-55.
- Χατζόπουλος Ι.Ν. 1996. Χαρτογραφία και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

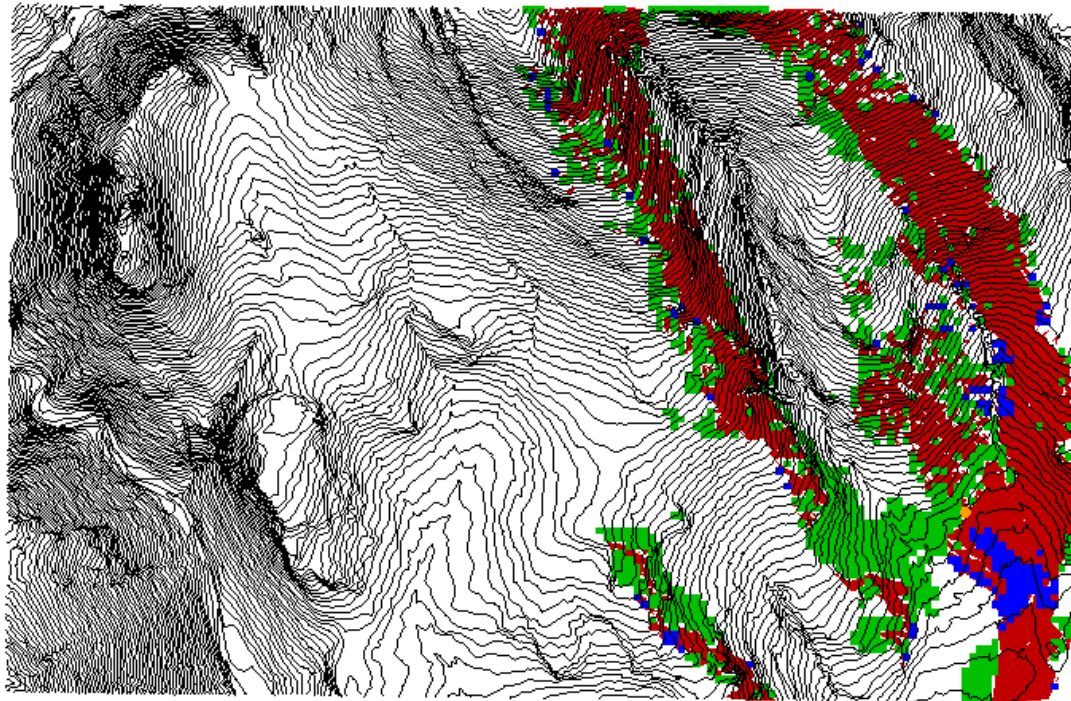
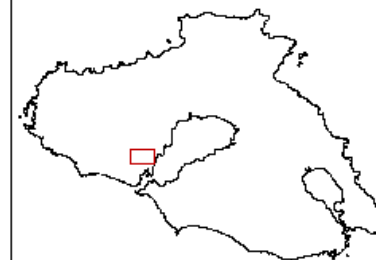
ΧΑΡΤΗΣ 2:
ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΜΕΤΑΒΑΝΤΟ ΨΜΕ

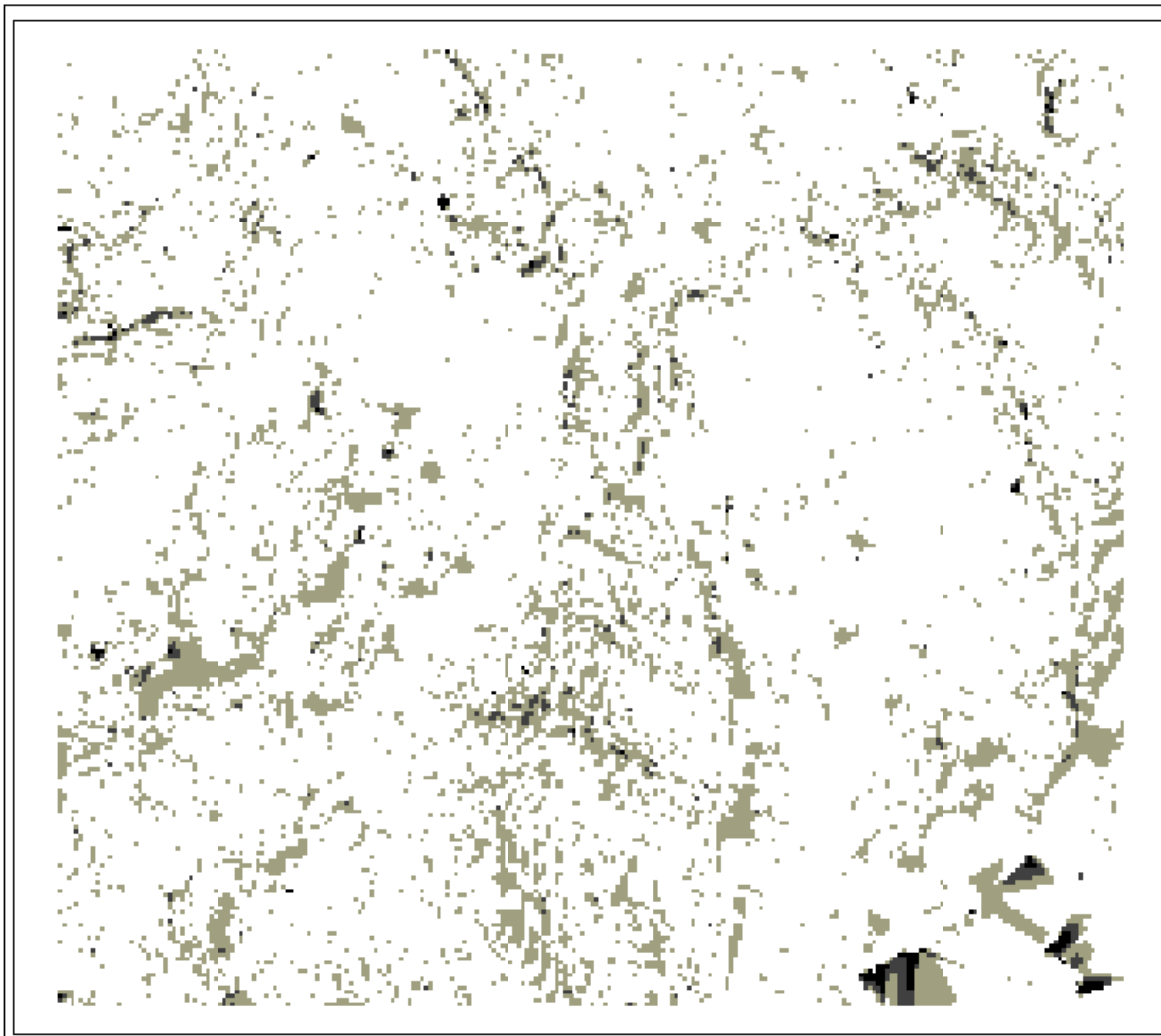
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  ΘΕΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
-  ΙΣΟΥΨΕΙΣ 4 ΜΕΤΡΩΝ
-  ΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΕ ΨΜΕ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΤΩΝ 4 ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ 20 ΜΕΤΡΩΝ
-  ΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΟΝΟ ΣΕ ΨΜΕ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΙΣΟΥΨΕΙΣ 20 ΜΕΤΡΩΝ
-  ΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΟΝΟ ΣΕ ΨΜΕ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΙΣΟΥΨΕΙΣ 4 ΜΕΤΡΩΝ
-  ΜΗ ΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ



0 500 1000 Meters







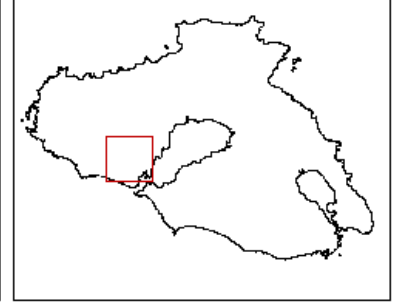
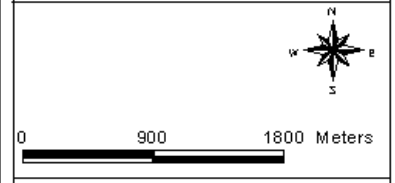


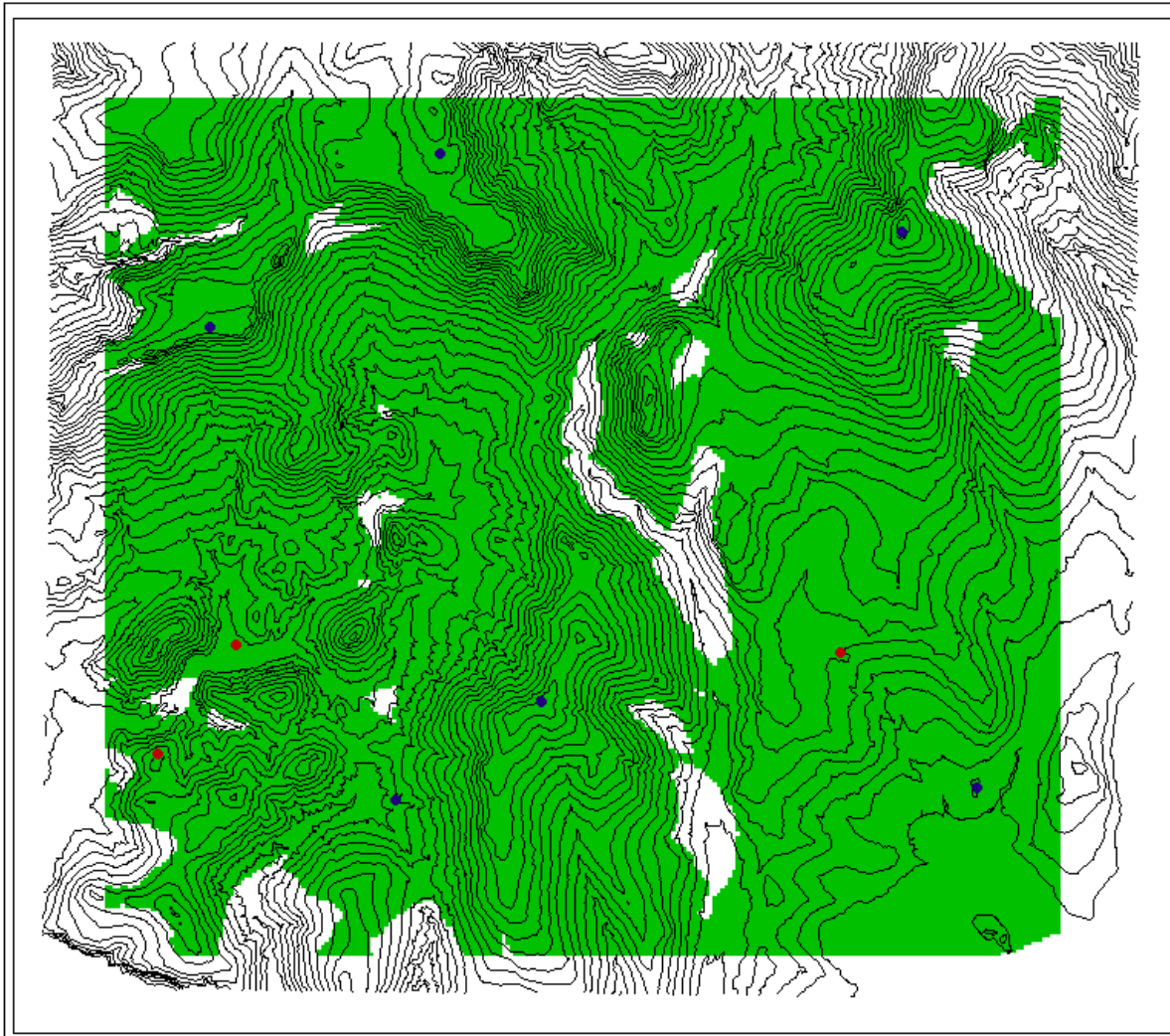
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

ΚΑΡΤΗΣ 3:
ΑΠΟΔΥΤΗ ΤΙΜΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ
ΜΕΤΑΒΥΨΗΜΕ ΑΠΟ SPOT ΚΑΙ ΨΗΜΕ ΑΠΟ
ΚΑΡΤΕΣ 1:5000 ΤΗΣ Γ.Υ.Σ.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  0-15 ΜΕΤΡΑ
-  15.1-30 ΜΕΤΡΑ
-  30.1-50 ΜΕΤΡΑ
-  >50 ΜΕΤΡΑ





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
 ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩ

ΧΑΡΤΗΣ 4:
 ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 6 ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΩΝ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΘΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΩΝ ΚΑΛΥΤΕΡΟΥ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥ
- ΘΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΩΝ ΠΟΥ ΔΕΝ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΥΠΟΨΗ
- ΙΣΟΨΕΙΣ 20 ΜΕΤΡΩΝ
- ΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
- ΜΗ ΟΡΑΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

