

Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών (AEGIS)

Κώστας Καλαμποκίδης¹, Χρήστος Βασιλάκος², Νίκος Αθανάσης³, Παλαιολόγος Παλαιολόγου⁴, Γιώργος Τσεκούρας⁵

¹ Καθηγητής

Τηλ.: 22510-36436, e-mail: kalabokidis@aegean.gr

² Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό

Τηλ.: 22510-36435, e-mail: chvas@aegean.gr

³ Μεταδιδάκτορας Ερευνητής

Τηλ.: 22510-36437, e-mail: athanasis@geo.aegean.gr

⁴ Υποψήφιος Διδάκτορας

Τηλ.: 22510-36435, e-mail: palaiologou.p@aegean.gr

Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, 811 00 Μυτιλήνη

⁵ Αναπληρωτής Καθηγητής

Τηλ.: 22510-36631, e-mail: gtsek@ct.aegean.gr

Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας & Επικοινωνίας, Λόφος Πανεπιστημίου, 811 00 Μυτιλήνη

Λέξεις κλειδιά: **Δασικές Πυρκαγιές, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), Διαδίκτυο (Web), Γεω-Πληροφορική**

Περίληψη

Το ερευνητικό πρόγραμμα AEGIS (<http://aegis.aegean.gr>) έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός Διαδικτυακού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Web-GIS) για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών. Το σύστημα θα παρέχει πρόσβαση σε δεδομένα πρόβλεψης πυρκαγιών (κίνδυνο και συμπεριφορά φωτιάς), καθώς επίσης και επιπλέον πληροφορίες όπως οδικά δίκτυα, χρήσεις και κάλυψη γης, κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες, θέσεις υδροληψίας, πυροσβεστικές δυνάμεις, δορυφορικές εικόνες, τύπους βλάστησης, τοπογραφία και μετεωρολογικά δεδομένα με ροή σε πραγματικό χρόνο και προγνωστικούς χάρτες. Το σύστημα AEGIS αναπτύσσεται σε επτά (7) περιοχές μελέτης υψηλού κινδύνου, μεγάλης αξίας και έντονης χρήσης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της χώρας μας, που περιλαμβάνουν τα νησιά της Ρόδου και της Λέσβου, τη Χαλκιδική, τη Δυτική Αττική και τους νομούς Χανίων, Μεσσηνίας και Καστοριάς. Το AEGIS ενσωματώνει μεθοδολογίες χωρικής εκτίμησης του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και μοντελοποίησης της συμπεριφοράς πυρκαγιών, με τη συνεργασία μιας από τις κορυφαίες επιστημονικές ομάδες παγκοσμίως στον τομέα των εξειδικευμένων λογισμικών πυρκαγιών από το USDA Missoula Fire Sciences Laboratory, Montana, Η.Π.Α. Η δομή των αλγορίθμων στηρίζεται σε τεχνικές παράλληλης επεξεργασίας, όπως του υπολογιστικού νέφους (Cloud Computing) και υψηλής υπολογιστικής απόδοσης (High Performance Computing) με την ευγενική χορηγία της Microsoft Research, ώστε να εξασφαλιστεί η ισχύς και ταχύτητα των υπολογισμών. Οι προσφερόμενες λειτουργίες του AEGIS θα είναι δωρεάν προσβάσιμες στις τοπικές πυροσβεστικές και δασικές υπηρεσίες και στις αρχές πολιτικής προστασίας. Το πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από εθνικούς πόρους στο πλαίσιο της Πράξης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του ΕΣΠΑ 2007-2013 με δικαιούχο τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.

Abstract

The research project AEGIS (<http://aegis.aegean.gr>) targets on developing a Web-GIS wildfire prevention and management information system. The system will provide access to wildfire prediction data (risk and behavior), as well as additional spatial and descriptive information regarding the road network, land-use / land-cover types, socio-economic activities, water availability sites, firefighting units, satellite images, vegetation types, topography and meteorological data (real-time data streams and forecast maps). The AEGIS system is under development for seven (7) study areas of Greece with high-hazard, high-value and high-use of their forest and human resources, including the islands of Rhodes and Lesbos, Chalkidiki, West Attika, Chania, Messenia and Kastoria. The AEGIS integrates methods for the spatial estimation of wildfire ignition risk and fire behavior modeling, in cooperation with one of the leading scientific groups worldwide in the field of specialized wildfire software from USDA Missoula Fire Sciences Laboratory, Montana, USA. Algorithms are based on parallel processing techniques such as Cloud Computing and High Performance Computing (sponsored by Microsoft Research), ensuring that the required recourses are available for rapid execution of calculations. The offered functionalities of the AEGIS will be provided for access free of charge to the local firefighting and forestry services and civil protection authorities. The AEGIS research project is co-financed by the European Union and the Greek State within the framework of the Action ARISTEIA of NSRF 2007-2013, with beneficiary the General Secretariat for Research and Technology.

1. Εισαγωγή

Με την εμφάνιση και διάδοση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), οι φορείς αντιμετώπισης δασικών πυρκαγιών άρχισαν σε παγκόσμιο επίπεδο να αξιοποιούν μοντέλα της επιστήμης των πυρκαγιών βασισμένα στις νέες τεχνολογίες με σκοπό τη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων στήριξης και λήψης αποφάσεων. Εφαρμογές όπως το Canadian Wildland Fire Information System, το USA Wildland Fire Decision Support System (WFDSS) και το European Forest Fire Information System (EFFIS), ενσωματώνουν και προσφέρουν πληροφορίες όπως χάρτες κινδύνου έναρξης και πρόβλεψης συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών, δορυφορικές εικόνες των καμένων εκτάσεων, μετεωρολογικούς χάρτες, δεδομένα διαχείρισης δασικών πυρκαγιών κ.α. (McInerney *et al.* 2013, Pence and Zimmerman 2011). Οι δυνατότητές τους συνεισφέρουν στην αποτελεσματική οργάνωση στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος, μέσα από τον έγκαιρο εντοπισμό νέων εστιών πυρκαγιάς και την εκτίμηση του πιθανού κινδύνου, τις συστηματικές παρατηρήσεις των βιοφυσικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων καθώς και τη στήριξη των αποφάσεων.

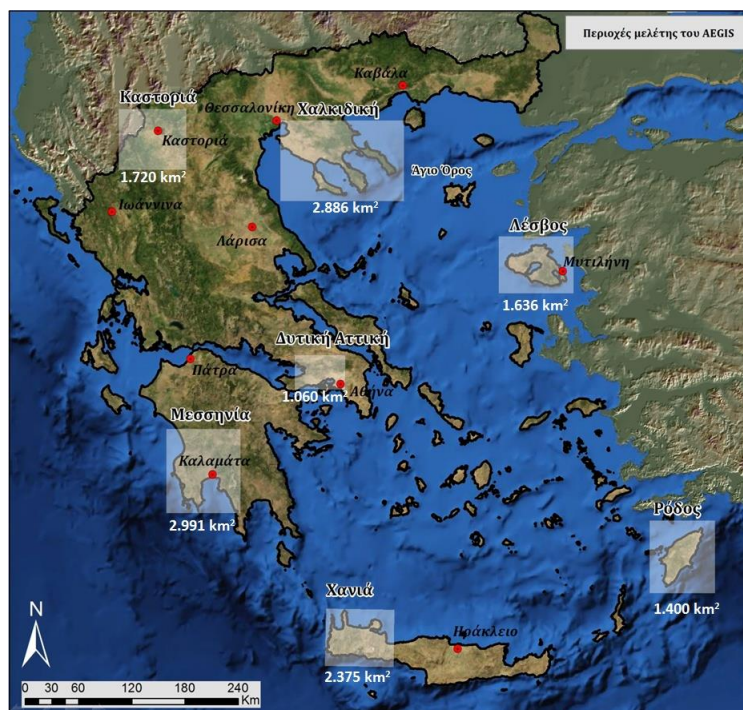
Στην Ελλάδα, οι πυρκαγιές αποτελούν τον πλέον καταστροφικό φυσικό κίνδυνο, μαζί με τις πλημμύρες και τους σεισμούς. Το ισχύον επιχειρησιακό σύστημα δεν περιλαμβάνει κάποιο εξειδικευμένο λογισμικό που να ενσωματώνει λειτουργίες που μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών. Δεν υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιών από τις πυροσβεστικές υπηρεσίες, ούτε ακόμα και σε τοπικό επίπεδο το οποίο θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω εκτέλεσης γνωστών λογισμικών προσομοιώσεων, ανεπτυγμένων κυρίως στη Β. Αμερική και στην Ευρώπη. Επίσης οι ανάγκες των τελικών χρηστών απαιτούν συστήματα που μπορούν να υποστηρίξουν παράλληλες προσομοιώσεις διάδοσης πυρκαγιών χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένη γνώση και εμπειρία στην εφαρμογή των μοντέλων διάδοσης πυρκαγιάς και στη διαχείριση των υπολογιστικών πόρων. Επιπλέον, η χρήση αυτών των συστημάτων απαιτεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη την οποία δεν διαθέτουν οι τοπικές υπηρεσίες αντιμετώπισης των πυρκαγιών (Kalabokidis *et al.* 2014). Από την άλλη, ένα σύγχρονο σύστημα διαχείρισης δασικών πυρκαγιών δεν μπορεί να στηρίζεται για τον υπολογισμό του κινδύνου και της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς σε συστήματα και μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί *per se* για άλλες χώρες επειδή δεν λαμβάνουν υπόψη τις τοπικές ιδιαιτερότητες του κλίματος, της βλάστησης και της ανθρωπογεωγραφίας στην Ελλάδα.

Σε αυτό το πλαίσιο, το σύστημα AEGIS θα αποτελεί ένα σύγχρονο τεχνολογικά, χαμηλού κόστους και εύκολης λειτουργικότητας σύστημα διαχείρισης πληροφοριών δασικών πυρκαγιών, ανεξάρτητο από εμπορικά λογισμικά για τους τελικούς χρήστες. Οι κύριες εκροές του AEGIS θα είναι ένα σύστημα ποσοτικής εκτίμησης του κινδύνου έναρξης και διάδοσης δασικών πυρκαγιών και ενός συστήματος μοντελοποίησης της συμπεριφοράς πυρκαγιών, με την καίρια συνεργασία μιας από τις κορυφαίες επιστημονικές ομάδες παγκοσμίως στον τομέα των εξειδικευμένων λογισμικών πυρκαγιών από το USDA Missoula Fire Sciences Laboratory, Montana, Η.Π.Α. Ο αλγόριθμος εκτίμησης του κινδύνου βασίζεται σε προηγούμενη έρευνα ενσωματώνοντας τροποποιήσεις και επικαιροποιήσεις (Vasilakos *et al.* 2007, 2009). Βασίζεται σε μεθόδους Τεχνητής Νοημοσύνης και συγκεκριμένα αξιολογήθηκαν τρεις διαφορετικές δομές Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ). Για τον υπολογισμό του κινδύνου έναρξης δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιείται το πρόσφατο ιστορικό των πυρκαγιών (>2004) για κάθε περιοχή μελέτης, μέσω του οποίου έγινε προσπάθεια να αναγνωριστούν τα χωρικά πρότυπα των πυρκαγιών βασιζόμενα σε μια σειρά χωρικών και μη παραμέτρων.

Η μοντελοποίηση της προσομοίωσης της διάδοσης πυρκαγιάς μέσω του AEGIS βασίζεται στον αλγόριθμο του Ελάχιστου Χρόνου Διάδοσης - Minimum Travel Time (MTT) (Finney 2002). Ο αλγόριθμος MTT εφαρμόζεται επιχειρησιακά στις Η.Π.Α. (Andrews 2009) ενσωματωμένος μέσα στο Σύστημα Λήψεων Αποφάσεων Δασικών Πυρκαγιών (WFDRS) και μπορεί να είναι ιδανικός για τις πυρκαγιές σε Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα όπου παρατηρούνται συχνά πυρκαγιές μικρής διάρκειας. Οι υπολογισμοί του MTT εφαρμόζονται μέσω ενός Web-GIS συστήματος όπου πολλοί χρήστες παράλληλα μπορούν να πραγματοποιήσουν προσομοιώσεις εισάγοντας έναν ελάχιστο αριθμό δεδομένων όπως είναι η διάρκεια της πυρκαγιάς, το σημείο έναρξης και οι μετεωρολογικές συνθήκες. Εκτός από τις οριζόμενες από τον χρήστη μετεωρολογικές συνθήκες, το σύστημα AEGIS έχει τη δυνατότητα να κάνει χρήση είτε των πραγματικών μετεωρολογικών συνθηκών που παρέχονται από ένα δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών εγκατεστημένο στις περιοχές μελέτης ή δεδομένων πρόγνωσης που παρέχονται από σύστημα πρόγνωσης μετεωρολογικών συνθηκών για τις επόμενες 120 ώρες. Τέλος, ο αλγόριθμος MTT χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς των πιθανοτήτων καύσης μιας περιοχής από χιλιάδες πιθανά περιστατικά πυρκαγιών. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται όταν κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου μεταβάλλονται μεσοπρόθεσμα οι μετεωρολογικές συνθήκες ή/και το χωρικό πρότυπο των σημείων έναρξης πυρκαγιών

1.1. Περιοχές μελέτης

Το σύστημα AEGIS αναπτύσσεται σε επτά (7) περιοχές μελέτης υψηλού κινδύνου, μεγάλης αξίας και έντονης χρήσης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της χώρας μας, που περιλαμβάνουν τα νησιά της Ρόδου και της Λέσβου, τη Χαλκιδική, τη Δυτική Αττική και τους νομούς Χανίων, Μεσσηνίας και Καστοριάς (Εικόνα 1). Κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από συνδυασμό κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών συνθηκών οι οποίες καλύπτουν το σύνολο του Ελλαδικού χώρου, συνεπώς μια επέκταση του συστήματος και στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος είναι εφικτή μετά από σχετικές τροποποιήσεις. Η Λέσβος καλύπτεται κυρίως από δάση πεύκης και ελαιώνες, εκτός από τη δυτική περιοχή που καλύπτεται από χορτολίβαδα. Παρόμοια σύσταση έχει και η Χαλκιδική, αν και παρουσιάζονται αρκετές περιοχές αμπελώνων και άλλων αγροτικών εκτάσεων ενώ οι παραλιακές κυρίως περιοχές έχουν μεγαλύτερη ανοικοδόμηση και παρατηρείται μεγαλύτερη πίεση για αλλαγή χρήσεων γης. Μεγάλη πίεση δέχονται και οι περιοχές της Δυτικής Αττικής λόγω γειτνίασης με την μητροπολιτική περιοχή των Αθηνών ενώ ο τουρισμός στις περιοχές των Χανίων και της Ρόδου αυξάνουν την ανθρωπογενή πίεση και την τρωτότητα αυτών των περιοχών. Τέλος, λιγότερες πυρκαγιές αλλά μεγάλης έντασης και έκτασης μπορούν να παρουσιάζονται στη Μεσσηνία και στην ορεινή περιοχή της Καστοριάς.



Εικόνα 1. Περιοχές μελέτης του AEGIS

Στα πλαίσια του προγράμματος συλλέχθηκαν από τις καταγραφές των κατά τόπους Διευθύνσεων Δασών και τα επίσημα στοιχεία της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας τα σημεία έναρξης των δασικών πυρκαγιών για τις χρονιές που ήταν διαθέσιμα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται ο αριθμός των πυρκαγιών που ταυτοποιήθηκαν και χαρτογραφήθηκαν, καθώς και η καμένη έκτασή τους.

Πίνακας 1. Ανάλυση των πυρκαγιών για τις περιοχές μελέτης

Περιοχή Μελέτης	Έκταση Περιοχής (km ²)	Αριθμός Πυρκαγιών	Καμένη Έκταση (στρέμματα)
Ρόδος	1.400	712 (1978-2013)	482.000
Λέσβος	1.636	925 (1974-2013)	96.000
Χαλκιδική	2.886	621 (1974-2013)	145.000
Δυτική Αττική	1.060	520 (1984-2013)	108.000
Χανιά	2.375	949 (1990-2013)	74.200
Μεσσηνία	2.991	929 (1990-2013)	327.000
Καστοριά	1.720	801 (1994-2013)	63.000

2. Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων

Ένας από τους βασικούς στόχους του έργου AEGIS ήταν η συλλογή δεδομένων, χωρικών και μη, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία μιας πλήρους Βάσης Γεωγραφικών Δεδομένων (ΒΓΔ) για κάθε περιοχή μελέτης. Την τελευταία δεκαετία στην Ελλάδα έχουν υλοποιηθεί ερευνητικά ή/και επιχειρησιακά προγράμματα μέσω των οποίων έχει δημιουργηθεί, συγκεντρωθεί και αναλυθεί πλήθος δεδομένων και πληροφοριών. Πρώτη πηγή δεδομένων ήταν οι φορείς, δημόσιοι και ιδιωτικοί, στους οποίους διερευνήθηκε η διαθεσιμότητα των δεδομένων. Τα χωρικά δεδομένα που αναζητήθηκαν περιλαμβάνουν οδικά δίκτυα, τύπους βλάστησης, μοντέλα καύσιμης ύλης, θέσεις υδροληψίας, τοπογραφία, θέσεις δυνάμεων δασοπυρόσβεσης, κοινωνικές υποδομές, αστικές περιοχές, δεδομένα από δασικές διαχειριστικές μελέτες κ.α. Η οργάνωση των δεδομένων έγινε σε 11 ευρείες κατηγορίες, βάσει των οποίων ταξινομήθηκαν εντός των τελικών ΒΓΔ: γεωφυσικά δεδομένα, χρήσεις γης, ιστορικό πυρκαγιών, διοικητική διαίρεση, περιοχές υψηλού κινδύνου, δίκτυα και υποδομές, σημεία υδροληψίας, περιοχές υψηλής προστασίας, ονομασίες περιοχών, αντιπυρικές υποδομές, και ψηφιδωτά δεδομένα και χάρτες.

Μετά την παραλαβή των δεδομένων ακολούθησε η αξιολόγησή τους. Όσα δεδομένα δημιουργήθηκαν σύμφωνα με την Οδηγία 2007/2/ΕΚ (INSPIRE) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, θεωρήθηκε ότι πληρούν τις προϋποθέσεις και χρειάστηκε η ελάχιστη δυνατή επεξεργασία. Δεδομένα τα οποία δεν πληρούσαν τις κατάλληλες προϋποθέσεις είτε διορθώθηκαν είτε δημιουργήθηκαν εκ νέου. Για τη δημιουργία των νέων δεδομένων καθορίστηκαν οι προδιαγραφές τους, περιλαμβάνοντας τόσο τον τύπο (πολυγωνικά, γραμμικά, σημειακά, 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. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ87). 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).

Δημιουργήθηκαν και συμπληρώθηκαν περιγραφικές πληροφορίες που συνοδεύουν τα χωρικά δεδομένα. Ακολούθησε η μετεπεξεργασία των περιγραφικών πληροφοριών βάσει συγκεκριμένων προδιαγραφών για τον ίδιο τύπο δεδομένων στις ΒΓΔ των διαφορετικών περιοχών μελέτης, με χρήση λογισμικών GIS. Σε αυτό το στάδιο ομογενοποιήθηκαν οι περιγραφικές πληροφορίες. Για παράδειγμα, η κατηγοριοποίηση του οδικού δικτύου ακολουθεί την ίδια κωδικοποίηση για όλες τις περιοχές μελέτης, ενώ παράλληλα αποδίδει ορθά όλους τους τύπους δρόμων που μπορούν να βρεθούν. Σε κάθε νέο δεδομένο που δημιουργήθηκε, αλλά και σε όσα έλειπε η πληροφορία, προστέθηκαν μεταδεδομένα βασισμένα στην οδηγία INSPIRE τα οποία δίνουν βασικές πληροφορίες σχετικά με την πηγή προέλευσής τους καθώς και για τον τύπο, τρόπο δημιουργίας, χρονικό επεξεργασίας, υπεύθυνο δημιουργίας κ.α. Η ύπαρξη μεταδεδομένων θα επιτρέψει τη χρήση και διαχείρισή τους από τους φορείς από τους οποίους προήλθαν τα πρωταρχικά δεδομένα και πληροφορίες και από τους τελικούς χρήστες του AEGIS, στους οποίους θα παραχωρηθούν μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος.

Τέλος, βρίσκεται σε εξέλιξη η διαδικασία δημιουργίας αναλυτικών χαρτών βλάστησης και εδαφοκάλυψης που βασίζεται κυρίως σε πρόσφατες δορυφορικές εικόνες του πολυφασματικού δορυφόρου RapidEye χωρικής διακριτικής ικανότητας 5 m, πέντε φασματικών καναλιών με εύρος 440-850 nm (μπλε, πράσινο, ερυθρό, ερυθρό άκρο και εγγύς υπέρυθρο), αλλά και σε μια σειρά επικουρικών δεδομένων όπως το σύστημα ταξινόμησης βλάστησης CORINE 2000 και χάρτες διαχειριστικών μελετών. Με συνδυασμό διαδικασιών πολυφασματικής επιβλεπόμενης ταξινόμησης και φωτοερμηνείας δημιουργούνται χάρτες εδαφοκάλυψης

μεγάλης χωρικής ανάλυσης και ακρίβειας. Για την υποστήριξη της παραπάνω διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες πεδίου σε όλες τις περιοχές μελέτης ώστε να αναγνωριστούν οι διαφορετικοί τύποι εδαφοκάλυψης. Από αυτά τα δεδομένα εξάγονται τα δεδομένα εκπαίδευσης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων και αξιοποιούνται στον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Η δημιουργία των χαρτών εδαφοκάλυψης αναμένεται να ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος του 2014.

3. Εκτίμηση Κινδύνου Πυρκαγιών

Σε προηγούμενη ερευνητική προσέγγιση αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου δασικών πυρκαγιών όπου το κύριο αποτέλεσμα είναι ο Δείκτης Έναρξης Πυρκαγιάς (ΔΕΠ) ο οποίος βασίζεται σε τρεις άλλους δείκτες: τον Μετεωρολογικό Δείκτη Κινδύνου (ΜΔΚ), τον Βλαστητικό Δείκτη Κινδύνου (ΒΔΚ) και τον Κοινωνικο-Οικονομικό Δείκτη Κινδύνου (ΚΟΔΚ). Όλοι οι επιμέρους δείκτες είναι δυναμικοί, δηλαδή μεταβάλλονται στον χρόνο και στον χώρο. Η σχέση μεταξύ εμφάνισης της φωτιάς και των παραμέτρων-μεταβλητών που ενσωματώνονται στους παραπάνω δείκτες, βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα και μοντελοποιήθηκε με τη χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης και συγκεκριμένα των ΤΝΔ. Η δυνατότητα εκπαίδευσης των ΤΝΔ τα καθιστά ένα αποτελεσματικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε γεωγραφική έκταση. Επιπλέον, τα ΤΝΔ έχουν τη δυνατότητα επανεκπαίδευσης για κάθε περιοχή μελέτης προσθέτοντας τις καινούργιες πυρκαγιές κάθε αντιπυρικής περιόδου (Vasilakos *et al.* 2007, 2009).

Στα πλαίσια του AEGIS αναπτύχθηκε μια νέα μεθοδολογία εκτίμησης του κινδύνου η οποία βασίστηκε στην προηγούμενη ερευνητική προσέγγιση ενσωματώνοντας αλλαγές που κρίθηκαν απαραίτητες μετά τη σχεδόν 10ετή εφαρμογή του συστήματος εκτίμησης κινδύνου. Οι αλλαγές αυτές συνοψίζονται στα εξής:

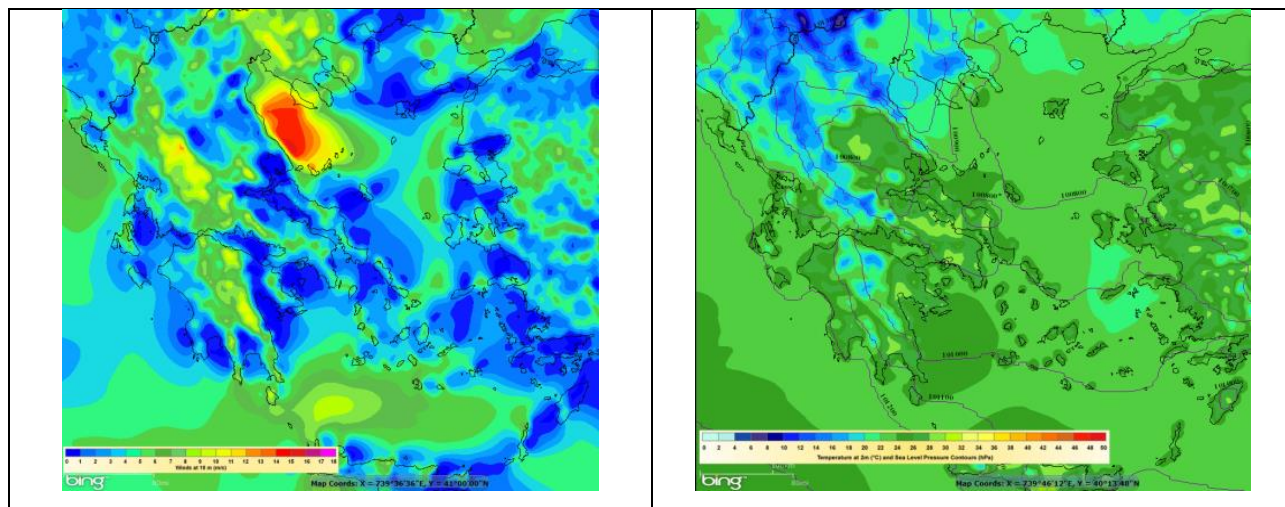
- Ανάπτυξη και υπολογισμός ενός μόνο δείκτη κινδύνου ΔΕΠ χωρίς τον επιμέρους υπολογισμό των τριών δεικτών ΜΔΚ, ΒΔΚ, ΚΟΔΚ. Αυτό έχει ως συνέπεια τον γρηγορότερο υπολογισμό, ενώ πλέον ο υπολογισμός δεν θα βασίζεται στην υποκειμενική σύγκριση της σημαντικότητας των επιμέρους δεικτών κατά την εφαρμογή της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεράρχησης. Τέλος, από την εμπειρία της προηγούμενης εφαρμογής διαπιστώθηκε ότι ο ΔΕΠ δεν ήταν τόσο χρονικά δυναμικός όσο αναμενόταν, λόγω του γεγονότος ότι οι χρονικά δυναμικές μεταβλητές λαμβάνονταν υπόψη στους επιμέρους δείκτες και η επιρροή τους μειωνόταν στον τελικό ΔΕΠ.
- Αλλαγή στον αριθμό και την κωδικοποίηση των μεταβλητών που θα ληφθούν υπόψη. Θα υπάρχει διαφοροποίηση στις μεταβλητές που θα ληφθούν υπόψη ανά περιοχή μελέτης δεδομένου ότι κάποιες κρίσιμες παράμετροι εμφάνισης πυρκαγιάς, π.χ. σιδηροδρομικό δίκτυο, εμφανίζονται σε ορισμένες από αυτές.
- Αλλαγή στις μεθόδους ανάλυσης. Συγκεκριμένα αναπτύχθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι. Η πρώτη μέθοδος βασίζεται σε πιθανοθεωρητικά νευρωνικά δίκτυα όπου θα χρησιμοποιείται η λογιστική σιγμοειδής συνάρτηση ενεργοποίησης, η δεύτερη μέθοδος θα βασίζεται στα νευρωνικά δίκτυα Kohonen και τέλος, η τρίτη μέθοδος στα νευρωνικά δίκτυα συναρτήσεων ακτινικής βάσης.

Οι παράμετροι οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στη μοντελοποίηση αναφέρονται στον Πίνακα 2. Οι χωρικές παράμετροι δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα των ΒΓΔ μέσω λειτουργιών των GIS, ενώ οι μετεωρολογικές συνθήκες δημιουργήθηκαν από το μη-υδροστατικό μοντελοποίησης SKIRON/Eta (RAMS) του Τμήματος Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών (Kallos *et al.* 1997) (Εικόνα 2). Στην εκτίμηση του ΔΕΠ χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι πυρκαγιές από το 2004 και μετά λόγω της διαθεσιμότητας μετεωρολογικών συνθηκών από το μοντέλο SKIRON.

Η εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιών βασίζεται στον ΔΕΠ ο οποίος ερμηνεύεται ως πιθανότητα έναρξης πυρκαγιάς. Έως σήμερα δοκιμάστηκαν και αξιολογήθηκαν σε ορισμένες περιοχές δύο γενικές μέθοδοι οι οποίες αποτελούν δύο διαφορετικές δομές ΤΝΔ. Οι δομές αυτές περιγράφονται στη συνέχεια καθώς και τα αποτελέσματα για ορισμένες περιοχές μελέτης. Για τις υπόλοιπες περιοχές καθώς και για την εφαρμογή των ΤΝΔ Kohonen, η διαδικασία εκπαίδευσης συνεχίζεται.

Πίνακας 2. Παράμετροι συστήματος εκτίμησης κινδύνου έναρξης πυρκαγιών

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης
Συντεταγμένη Χ	m
Συντεταγμένη Υ	m
Μήνας	-
Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου	m
Απόσταση από αστικές περιοχές	m
Απόσταση από ηλεκτροφόρες γραμμές	m
Απόσταση από κύριο οδικό δίκτυο	m
Απόσταση από δευτερεύον οδικό δίκτυο	m
Απόσταση από χωματερές	m
Απόσταση από αγροτικές περιοχές	m
Άνεμος	m/sec
Βροχόπτωση	mm βροχής την προηγούμενη ώρα
Σχετική υγρασία	%
Θερμοκρασία	°C
Ημέρα της εβδομάδος	Σαββατοκύριακο ή καθημερινή



Εικόνα 2: Προγνωστικές μετεωρολογικές συνθήκες ανέμου (αριστερά) και θερμοκρασίας (δεξιά)

3.1. Πιθανοθεωρητικά Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΠΤΝΔ)

Στα πλαίσια των ΠΤΝΔ αξιολογήθηκαν διάφορες μέθοδοι εκπαίδευσης για ΤΝΔ ώστε να επιλεγούν αυτά που θα εμφανίσουν την καλύτερη εκπαίδευση για κάθε περιοχή μελέτης. Δημιουργήθηκαν ΤΝΔ ενός κρυφού επιπέδου και δοκιμάστηκαν οι εξής μέθοδοι εκπαίδευσης:

- Levenberg-Marquardt backpropagation (Hagan and Menhaj 1994)
- BFGS quasi-Newton backpropagation (Dennis and Schnabel 1983)
- Resilient backpropagation (Riedmiller and Braun 1993)

- d. Scaled conjugate gradient backpropagation (Moller 1993)
- e. Gradient descent backpropagation, δοκιμάζοντας και τις παραλλαγές του momentum και του μεταβαλλόμενου ρυθμού μάθησης (Hagan *et al.* 1996).

Ως συνάρτηση ενεργοποίησης, η οποία χρειάζεται για την εφαρμογή της μη-γραμμικότητας στο δίκτυο, θα χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σιγμοειδής συνάρτηση στην έξοδο του ΤΝΔ:

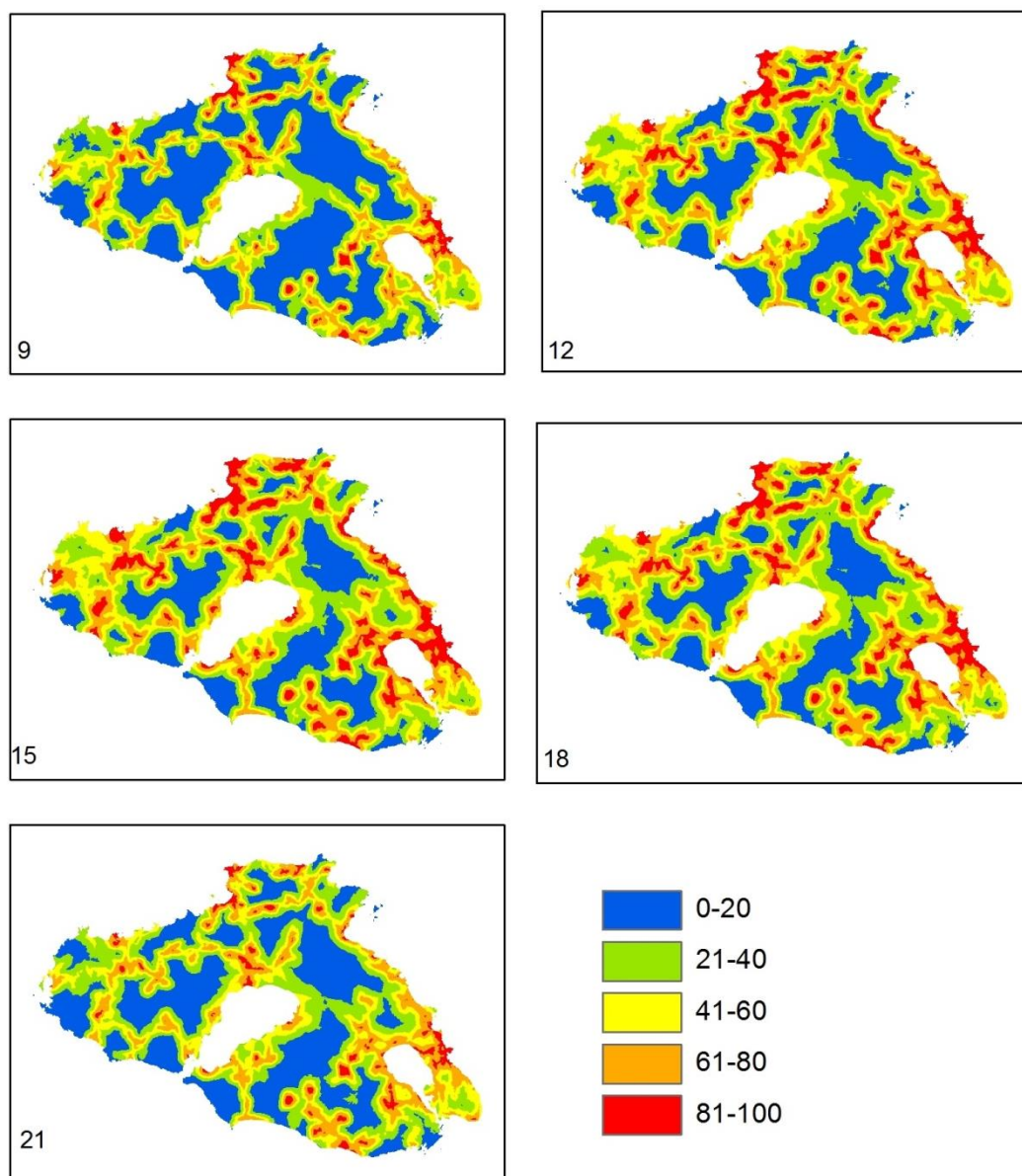
$$f(x) = \frac{I}{1 + e^{-\alpha x}}$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται επίσης και λογιστική σιγμοειδής συνάρτηση και χρησιμοποιείται και στη λογιστική παλινδρόμηση. Αυτή η συνάρτηση προσεγγίζει το 1, για μεγάλες και θετικές τιμές του x, και το 0 για μεγάλες και αρνητικές τιμές του x, και είναι κατάλληλη για την εμφάνιση ή μη δασικών πυρκαγιών επειδή η εξαρτημένη μεταβλητή έχει δυαδική τιμή 0 ή 1. Επίσης, η χρήση μιας τέτοιας συνάρτησης ως συνάρτησης ενεργοποίησης επιτρέπει να ερμηνευτεί το αποτέλεσμα ως πιθανότητα (Bishop 1995) καθώς και να αποφευχθούν επιδράσεις από θόρυβο των δεδομένων, σε αντίθεση με τη χρήση της συνάρτησης "identity" ή οποιασδήποτε άλλης γραμμικής συνάρτησης. Για τον υπολογισμό της τιμής ενεργοποίησης από το επίπεδο εισόδου προς το κρυφό επίπεδο επεξεργασίας δοκιμάστηκαν η λογιστική σιγμοειδής, η υπερβολική εφασπόμενη σιγμοειδής και η γραμμική συνάρτηση. Τα δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν είτε ανεπεξέργαστα, είτε μετασχηματισμένα στο διάστημα [-1,1] ή μετασχηματισμένα έτσι ώστε η μέση τιμή για κάθε είσοδο να ισούται με 0 και η τυπική απόκλιση με 1.

Μετά από πολλές δοκιμές, τα πρώτα αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά τόσο αξιολογώντας τα σύμφωνα με τα δεδομένα επαλήθευσης όσο και χαρτογραφικά. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα για τις περιοχές Λέσβου και Μεσσηνίας. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται μια δοκιμαστική χαρτογραφική αποτύπωση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς για την περιοχή της Λέσβου και η χρονική και χωρική κατανομή του στη διάρκεια μιας ημέρας με συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Παρατηρείται ότι ο κίνδυνος αυξομειώνεται σημαντικά στην έκταση του νησιού, ενώ τις πρωινές και βραδινές ώρες μεταβάλλεται λόγω της αλλαγής των μετεωρολογικών συνθηκών. Τους επόμενες μήνες αναμένονται τα τελικά αποτελέσματα και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών δημιουργίας των χαρτών εκτίμησης κινδύνου και για τις επτά περιοχές μελέτης.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα εκπαίδευσης ΠΤΝΔ για τις περιοχές Λέσβου και Μεσσηνίας

	Λέσβος	Μεσσηνία
Μέθοδος εκπαίδευσης	scaled conjugate gradient backpropagation	resilient backpropagation
Συνάρτηση ενεργοποίησης μεταξύ εισόδου και κρυφού επιπέδου επεξεργασίας	λογιστική σιγμοειδής	υπερβολική εφασπόμενη σιγμοειδής
Αριθμός κόμβων επεξεργασίας στο κρυφό επίπεδο	13	11
Μετασχηματισμός δεδομένων εισόδου	μετασχηματισμός στο διάστημα [-1,1]	μετασχηματισμός με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1
Εποχές εκπαίδευσης	65	13
Αριθμός δεδομένων (εκπαίδευσης / επαλήθευσης)	534 / 134	635 / 159
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) (εκπαίδευσης / επαλήθευσης)	11,2% / 9,7%	13,2% / 9,5%
Ποσοστό σωστής ταξινόμησης σημείων πυρκαγιών (εκπαίδευσης / επαλήθευσης)	87,4% / 87,1%	85,3% / 89,5%
Ποσοστό σωστής ταξινόμησης σημείων μη πυρκαγιών (εκπαίδευσης / επαλήθευσης)	86 % / 85,9%	79,4% / 85,5%



Εικόνα 3. Χαρτογραφική αποτύπωση του κινδύνου έναρξης δασικών πυρκαγιών (0-100) για την περιοχή της Λέσβου σύμφωνα με τη μέθοδο των ΠΤΝΔ για πέντε διάφορες ώρες της ημέρας (9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00)

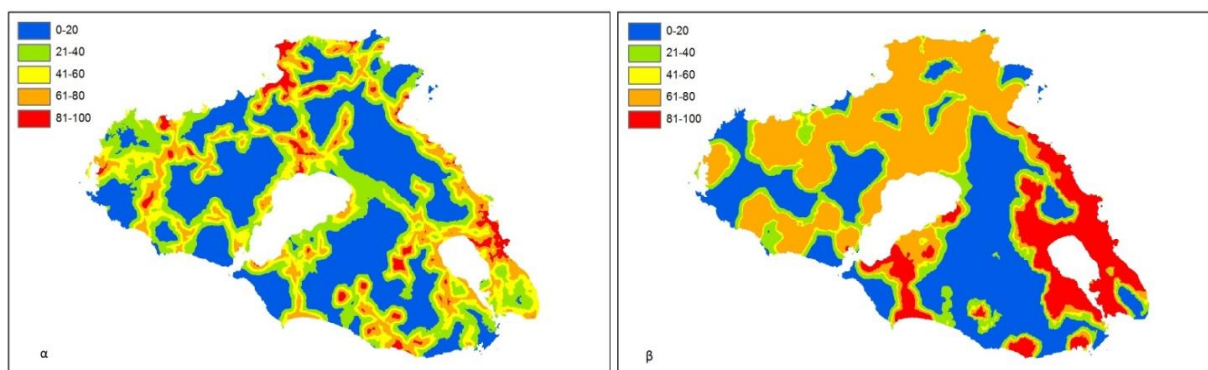
3.2. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα Συναρτήσεων Ακτινικής Βάσης (RBF δίκτυα)

Στα πλαίσια του AEGIS διερευνούνται επιπλέον καινοτόμοι τρόποι εκπαίδευσης ενός νευρωνικού δικτύου συναρτήσεων ακτινικής βάσης, έτσι ώστε η έξοδός του να παρέχει τη δεσμευμένη πιθανότητα (posteriori probability) μιας κατανομής δεδομένων ως προς μια κλάση, η οποία είναι εκ των προτέρων γνωστή. Τα νευρωνικά δίκτυα συναρτήσεων ακτινικής βάσης είναι νευρωνικά δίκτυα τριών στρωμάτων (Haykin 1999):

- Το στρώμα εισόδου που αποτελείται από κόμβους εισόδου και η μοναδική τους λειτουργία είναι η διασύνδεση του δικτύου με το περιβάλλον του.
- Το κρυφό στρώμα που αποτελείται από τους νευρώνες του δικτύου, όπου κάθε νευρώνας περιγράφεται από μια μη γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης. Το στρώμα αυτό εφαρμόζει ένα μη γραμμικό μετασχηματισμό στα δεδομένα της εισόδου και προωθεί τα αποτελέσματα στο επόμενο επίπεδο. Ο αριθμός των νευρώνων του κρυφού επιπέδου είναι από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του νευρωνικού δικτύου.

- c. Το στρώμα εξόδου που είναι γραμμικό και δίνει την έξοδο του νευρωνικού δικτύου ως αποτέλεσμα της διέγερσής του από την είσοδο.

Τα πρώτα αποτελέσματα για τις περιοχές Λέσβου και Μεσσηνίας δείχνουν ότι αν και η μέθοδος αποδίδει ικανοποιητικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του κινδύνου, εντούτοις η ακρίβεια της μεθοδολογίας δεν προσεγγίζει την ακρίβεια των ΠΤΝΔ. Συγκεκριμένα για την περιοχή της Μεσσηνίας, το βέλτιστο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν 19,3% και 21,1% για τα δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης, αντίστοιχα. Τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης ήταν 70,13% και 67,58% για τα δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης, αντίστοιχα, και στα οποία λαμβάνονται τόσο τα σημεία πυρκαγιών όσο και τα σημεία μη-πυρκαγιών. Για την περιοχή της Λέσβου το βέλτιστο μέσο τετραγωνικό σφάλμα ήταν 19,2% και 18,9% για τα δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης, αντίστοιχα. Τα ποσοστά σωστής ταξινόμησης ήταν 69,74% και 68,79% για τα δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης, αντίστοιχα, και στα οποία λαμβάνονται τόσο τα σημεία πυρκαγιών όσο και τα σημεία μη-πυρκαγιών. Ενδιαφέρον προς περαιτέρω αξιολόγηση παρουσιάζει η διαφορετικότητα της χαρτογραφικής αποτύπωσης του κινδύνου όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 η οποία εμφανίζει τον κίνδυνο για συγκεκριμένη ημέρα και ώρα με τις δύο μεθοδολογίες που αναφέρθηκαν.



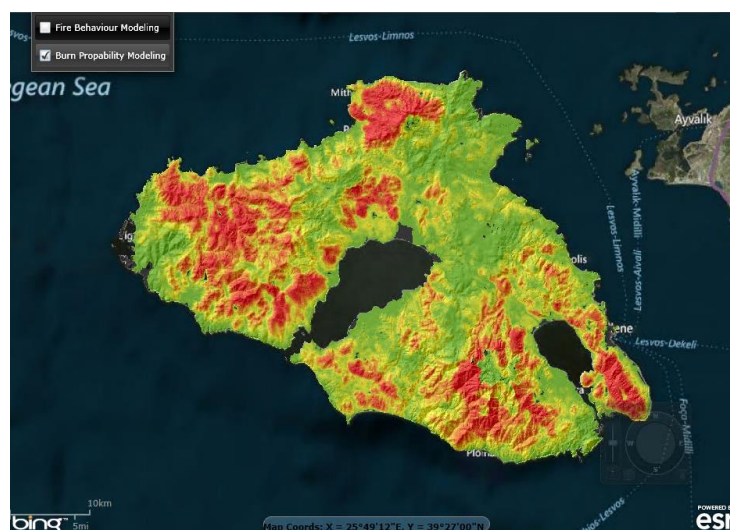
Εικόνα 4. Συγκριτική χαρτογραφική απόδοση του κινδύνου έναρξης δασικών πυρκαγιών για την περιοχή της Λέσβου σύμφωνα με τη μέθοδο α) των Πιθανοθεωρητικών Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και β) Τεχνητών Νευρωνικών Συναρτήσεων Ακτινικής Βάσης

4. Προσομοίωση Συμπεριφοράς Πυρκαγιών

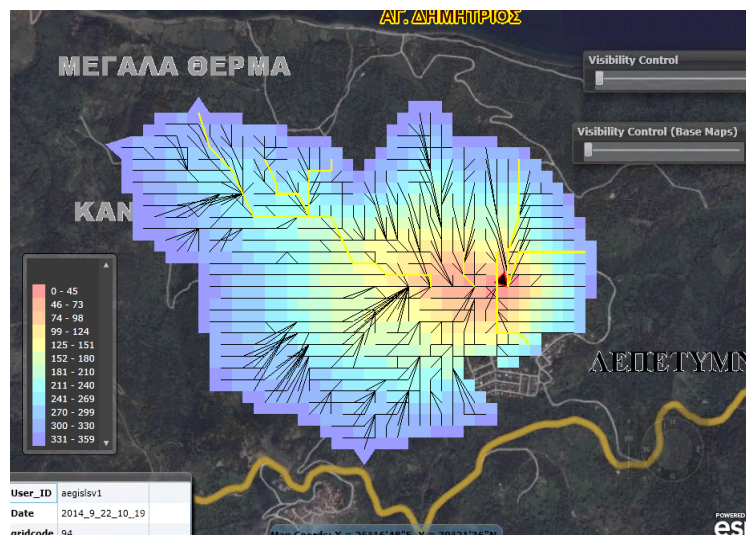
Μία επιπλέον λειτουργία του συστήματος AEGIS είναι η δυνατότητα προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιών βασισμένη στον αλγόριθμο MTT. Ο αλγόριθμος μπορεί να προσομοιώνει με ακρίβεια δασικές πυρκαγιές της περιοχής της Μεσογείου που είναι σχετικά μικρότερης διάρκειας σε σχέση με αυτές των Η.Π.Α. όπου έως σήμερα έχει εφαρμοστεί. Η μεθοδολογία προσομοιώσεων με τον MTT έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει τόσο την παραμόρφωση του σχήματος της πυρκαγιάς όσο και την ανταπόκριση σε χρονικά μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, με έμφαση στα μοντέλα τεχνικών ανάλυσης κελιών. Η διάδοση της πυρκαγιάς υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης του Rothmel (1972), ενώ η έναρξη και εξάπλωση των επικόρυφων πυρκαγιών αξιολογείται βάσει της εργασίας του Van Wagner (1977). Οι περιμετροί φωτιάς που δημιουργούνται από τον MTT είναι παρόμοιες με αυτές της διαστολής μετώπου κύματος (wave front expansion) (Richards 1990, Finney 2002) αλλά είναι υπολογιστικά πιο αποδοτικές. Διατηρώντας όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες σταθερές, ο αλγόριθμος MTT ψάχνει για το ταχύτερο μονοπάτι εξάπλωσης κατά μήκους ίσων τμημάτων που συνδέονται από κόμβους (Finney 2006) και προβάλλει την επίδραση του τοπογραφικού μοντέλου και τη διάταξη της καύσιμης ύλης στην εξάπλωση της πυρκαγιάς. Ο αλγόριθμος MTT αναπαράγει την εξάπλωση της πυρκαγιάς με βάση την αρχή του Huygens, όπου η επέκταση της πυρκαγιάς αναπαριστάται με ένα διάνυσμα ή ένα μήκος κύματος (Richards 1990, Finney 2002). Μέσω εκτεταμένων δοκιμών έχει αποδειχτεί ότι η αρχή του Huygens, που αρχικά είχε ενσωματωθεί στο FARSITE (Finney 1998) και στη συνέχεια στον αποδοτικότερο αλγόριθμο MTT, μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την εξάπλωση της φωτιάς και να αναπαράγει μεγάλες περιοχές πυρκαγιάς σε ετερογενή τοπία (Ager *et al.* 2010).

Εκτός του υπολογισμού διάδοσης μιας πυρκαγιάς, ο αλγόριθμος MTT έχει τη δυνατότητα να εκτιμήσει τις πιθανότητες καύσης μιας περιοχής, προσομοιώνοντας τη διάδοση εξαιρετικά μεγάλου αριθμού πυρκαγιών. Ως πιθανότητα καύσης ορίζεται η εκτίμηση της πιθανότητας να καεί ένα pixel δίνοντας ένα τυχαίο σημείο έναρξης της πυρκαγιάς υπό συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Σε αντίθεση με παλαιότερες μεθόδους, ο αλγόριθμος MTT δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις Monte Carlo μεγάλου αριθμού πυρκαγιών (>50.000) για να αξιολογηθεί η πιθανότητα και η ένταση καύσης για μεγάλες περιοχές (>2 εκατομμύρια ha) (Ager and Finney 2009).

Οι Εικόνες 5 και 6 απεικονίζουν αποτελέσματα πιθανοτήτων καύσης και εξάπλωσης της πυρκαγιάς μέσα από τη διαδικτυακή πλατφόρμα του AEGIS, όπως αυτά υπολογίζονται από τον αλγόριθμο MTT. Οι πιθανότητες καύσης της Εικόνας 5 έχουν υπολογιστεί για την περιοχή μελέτης της Λέσβου με βάση 100.000 σημεία έναρξης πυρκαγιών. Οι χάρτες πιθανοτήτων καύσης δημιουργούνται με τρόπο αυτοματοποιημένο μέσα από την ίδια την πλατφόρμα από χιλιάδες προσομοιούμενα περιστατικά πυρκαγιών (Εικόνα 5), ενώ οι τελικοί χρήστες χρειάζεται να εισάγουν τις παραμέτρους της προσομοίωσης (διάρκεια, ένταση και διεύθυνση ανέμου) για τον υπολογισμό της εξάπλωσης μιας συγκεκριμένης πυρκαγιάς (Εικόνα 6). Στην Εικόνα 6 απεικονίζονται τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης εξάπλωσης πυρκαγιάς. Από τα διαθέσιμα αποτελέσματα, φαίνονται οι ροές εξάπλωσης της πυρκαγιάς (με κίτρινο απεικονίζονται οι ταχύτερες) και ο χρόνος άφιξης της πυρκαγιάς σε κάθε σημείο της περιοχής (σε σχέση με την ώρα έναρξης).



Εικόνα 5. Οπτικοποίηση πιθανοτήτων καύσης για την περιοχή της Λέσβου μέσα από τη διαδικτυακή πλατφόρμα του AEGIS



Εικόνα 6. Οπτικοποίηση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς μέσα από τη διαδικτυακή πλατφόρμα του AEGIS

5. Ανάπτυξη Διαδικτυακής Πλατφόρμας

Οι προσφερόμενες λειτουργίες του AEGIS θα είναι προσβάσιμες στις τοπικές πυροσβεστικές και δασικές υπηρεσίες και στις αρχές πολιτικής προστασίας μέσω μιας εύχρηστης και σύγχρονης διαδικτυακής πλατφόρμας, χωρίς να απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις μοντελοποίησης του κινδύνου και της συμπεριφοράς των πυρκαγιών. Επιπλέον, μια υπό κατασκευή εφαρμογή (app) για κινητά τύπου Windows Phone θα παρέχει στους χρήστες πρόσβαση στις βασικές υπηρεσίες και εργαλεία της βασικής πλατφόρμας

του AEGIS. Μέσω ενός κατάλληλου εύχρηστου και λειτουργικού διαδικτυακού περιβάλλοντος και δίχως την εγκατάσταση ειδικών λογισμικών, η διαδικτυακή πλατφόρμα θα παρέχει πρόσβαση σε πλήθος δεδομένων / υπηρεσιών ανάλυσης πυρκαγιών (κίνδυνος και συμπεριφορά), κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες, τύπους βλάστησης, θέσεις υδροληψίας κ.α.. Επιπρόσθετα, θα δίνεται πρόσβαση σε πληροφορίες μετεωρολογικών συνθηκών τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και σε επίπεδο πρόγνωσης με χάρτες βασισμένους στα αποτελέσματα του μοντέλου SKIRON. Εργαλεία όπως ο υπολογισμός κοντινότερων διαδρομών σε θέσεις υδροληψίας και η δρομολόγηση (routing) μεταξύ επιθυμητών σημείων θα βοηθήσει τους τελικούς χρήστες να έχουν πρόσβαση σε χρήσιμες πληροφορίες που θα συμβάλουν στον σχεδιασμό ενός αποτελεσματικότερου επιχειρησιακού σχεδίου αντιμετώπισης και διαχείρισης δασικών πυρκαγιών.

Η διαδικτυακή πλατφόρμα του AEGIS αποτελεί μια εφαρμογή στο πρότυπο Silverlight με τη χρήση της προγραμματιστικής διεπαφής ArcGIS API for Silverlight. Η συγκεκριμένη προγραμματιστική διεπαφή επιτρέπει ενσωμάτωση γεωγραφικών υπηρεσιών γεω-ανάλυσης (geo-processing) και χαρτογραφικής απεικόνισης (mapping services) που παρέχονται από τον γεωγραφικό εξυπηρετητή ArcGIS Server χρησιμοποιώντας και την πλατφόρμα δορυφορικών χαρτών υψηλής χωρικής ανάλυσης Bing Maps. Η Silverlight εφαρμογή που αναπτύχθηκε προσφέρεται μέσα από τον κεντρικό διαδικτυακό εξυπηρετητή IIS (Internet Information Services) της πλατφόρμας του AEGIS. Ο ίδιος εξυπηρετητής φιλοξενεί και το σύστημα διαχείρισης μετεωρολογικών δεδομένων που αποθηκεύει τις τρέχουσες μετεωρολογικές συνθήκες στη σχεσιακή βάση δεδομένων. Για τη διαχείριση αυτή χρησιμοποιείται το ανοικτού λογισμικού σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων PostgreSQL.

Ο πυρήνας της εκτέλεσης των προσομοιώσεων, της προετοιμασίας των μετεωρολογικών χαρτών και του υπολογισμού του κινδύνου πυρκαγιάς εκτελείται παράλληλα μέσα στις εικονικές μηχανές (Virtual Machines) σε περιβάλλον Υψηλής Υπολογιστικής Απόδοσης (High Performance Computing) και Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Computing). Με την παράλληλη επεξεργασία, ένας μεγάλος αριθμός επεξεργασιών χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα / παράλληλα ώστε να εξασφαλιστεί τόσο η δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) όσο και η αποδοτικότητα (efficiency) των υπολογισμών. Αυτή η σύγχρονη και τεχνολογικά προηγμένη μεθοδολογία υπολογισμών ταιριάζει απόλυτα στις ανάγκες της εφαρμογής του AEGIS επειδή εμπεριέχει ένα υψηλό ποσοστό πολυπλοκότητας υπολογισμών και αυξημένη διακίνηση δεδομένων. Αν πολλαπλοί χρήστες επιθυμούν να διεξάγουν ταυτόχρονα προσομοιώσεις, κάθε προσομοίωση θα διεξαχθεί σε μια από τις διαθέσιμες εικονικές μηχανές. Τη στιγμή που μια από τις εικονικές μηχανές ολοκληρώσει μια προσομοίωση μπορεί να ξεκινήσει την επόμενη, εφόσον υπάρχει προσομοίωση σε εκκρεμότητα. Οι υπό εκκρεμότητα προσομοιώσεις αποθηκεύονται σε μια σχεσιακή βάση του Υπολογιστικού Νέφους Microsoft Azure. Η αποθήκευση των γεωγραφικών δεδομένων πραγματοποιείται σε γεω-βάσεις μέσω ενός εξυπηρετητή ArcGIS ενώ η δημοσιοποίηση των χωρικών υπηρεσιών γεω-ανάλυσης και των χαρτογραφικών υπηρεσιών υποστηρίζεται από το λογισμικό ArcMap.

6. Συμπεράσματα - Συζήτηση

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει το σύστημα AEGIS και τα έως τώρα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε κατά την ανάπτυξή του με σκοπό τη συμβολή στη μείωση των προκαλούμενων ανθρώπινων, περιβαλλοντικών και υλικών απωλειών από δασικές πυρκαγιές. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η ανάπτυξη χωρικών και μη βάσεων δεδομένων που είναι σημαντικές για την εκτίμηση του κινδύνου και της συμπεριφοράς των πυρκαγιών, συμπεριλαμβανομένων και των πληροφοριών διαχείρισης πυρκαγιών. Για τα δεδομένα της βλάστησης, ήταν πολύ σημαντικό να αποκτηθούν οι πιο σύγχρονοι και αξιόπιστοι χάρτες βλάστησης ή να δημιουργηθούν από την αρχή με μεθόδους συνδυασμού δεδομένων πεδίου και δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Στους χάρτες τύπων εδαφοκάλυψης βασίζεται η δημιουργία χαρτών μοντέλων καύσιμης ύλης και δασικής δομής οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση συμπεριφοράς πυρκαγιών και στην εκτίμηση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών.

Το AEGIS ενσωματώνει μια νέα μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιών βασισμένο σε μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης. Η μοντελοποίηση πραγματοποιείται για κάθε περιοχή ξεχωριστά ώστε να αναγνωριστούν τα χωρικά πρότυπα του κινδύνου ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες που έχει κάθε περιοχή μελέτης. Τα πρώτα αποτελέσματα παρουσιάζουν αρκετά ικανοποιητική αναγνώριση αυτών των προτύπων, η οποία αποτυπώνεται από την υψηλή ακρίβεια της εκπαίδευσης των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων αλλά και τη χαρτογραφική απόδοση του κινδύνου. Το σύστημα εκτίμησης της διάδοσης μιας πυρκαγιάς που ενσωματώθηκε στην πλατφόρμα βασίστηκε στον αλγόριθμο MTT, ο οποίος μπορεί και παράγει αξιόπιστες προσομοιώσεις των πρώτων ωρών διάδοσης μιας πυρκαγιάς. Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε ένα περιβάλλον παράλληλης επεξεργασίας συνδυάζοντας την τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους Microsoft Azure και της πλατφόρμας υψηλής υπολογιστικής απόδοσης της Microsoft. Ο συνδυασμός αυτών των υπολογιστικών πόρων έχει ως αποτέλεσμα την έγκαιρη πραγματοποίηση υπολογισμών και δημιουργίας χαρτών πρόγνωσης διάδοσης μιας πυρκαγιάς. Μέσα από την αξιοποίηση του υπολογιστικού νέφους, το συνολικό κόστος λειτουργίας της εφαρμογής μειώνεται δραστικά, αφού η δέσμευση των εικονικών μηχανών του Νέφους θα γίνεται μόνο κατά

τη διάρκεια της πυρικής περιόδου. Πάγια έξοδα συντήρησης υπολογιστών, αναβάθμισης λογισμικών και διαχείρισης της εφαρμογής μειώνονται σημαντικά. Από το οικονομικό όφελος που προκύπτει, μπορεί να γίνει επένδυση στην καλύτερη στελέχωση του προσωπικού πυρόσβεσης αλλά και στην ενίσχυση της σχετικής έρευνας για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών.

Σε επιχειρησιακό επίπεδο, οι λειτουργίες του συστήματος μπορούν να βοηθήσουν τις τοπικές αρχές που απασχολούνται με τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών στην εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών για τον σχεδιασμό ενός αποτελεσματικότερου επιχειρησιακού σχεδίου για τη διαχείριση και πρόληψη των δασικών πυρκαγιών. Οι προβλέψεις της συμπεριφοράς πυρκαγιάς παρέχονται μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Web-GIS, εξαλείφοντας την ανάγκη εγκατάστασης ειδικού λογισμικού και δεδομένων στους σταθμούς εργασίας των τελικών χρηστών. Κατά την εξέλιξη ενός πραγματικού γεγονότος, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει παράλληλες προσομοιώσεις της εξάπλωσης της πυρκαγιάς ενσωματώνοντας διάφορα σενάρια μετεωρολογικών συνθηκών ή χρησιμοποιώντας τις πραγματικές μετεωρολογικές συνθήκες από τους κοντινότερους μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι ενσωματωμένοι στο σύστημα. Συμπερασματικά, η πλατφόρμα AEGIS (που αναπτύσσεται με τη συνδρομή κορυφαίων διεθνών ερευνητικών ομάδων στον τομέα των πυρκαγιών) μπορεί να υποστηρίξει τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας και δασοπυρόσβεσης στην οργάνωση καινοτόμων, έγκαιρων και έγκυρων σχεδίων για τη διαχείριση των πυρκαγιών.

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 προς τους δημόσιους και άλλους φορείς για την εν γένει συνεργασία.

Βιβλιογραφία

- Ager, A., Finney, M., 2009. "Application of wildfire simulation models for risk analysis", Geophysical Research Abstracts, 11 (EGU2009-5489, 2009; EGU General Assembly 2009).
- Ager A.A., Vaillant N.M., Finney M.A., 2010. "A comparison of landscape fuel treatment strategies to mitigate wildland fire risk in the urban interface and preserve old forest structure". *Forest Ecology and Management*, Vol. 259, 1556-1570.
- Andrews P.L., 2009. "BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Variables". General Technical Report RMRS-GTR-213 USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Bishop C.M., 1995. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Dennis J.E., Schnabel R.B., 1983. *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Finney M.A., 2002. "Fire growth using minimum travel time methods", *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 32, 1420-1424.
- Finney M.A., 2006. "An overview of FlamMap fire modeling capabilities", In Proceedings of Fuels Management-How to Measure Success, Portland Oregon, USA, 28-30 March, pp. 213-220.
- Hagan M.T., Menhaj M., 1994. "Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 5, No. 6, 989-993.
- Hagan, M.T., Demuth H.B., Beale M.H., 1996. *Neural Network Design*, Boston, MA: PWS Publishing.
- Haykin S., 1999. *Neural networks: a comprehensive foundation*. Prentice Hall.
- Kalabokidis K., Athanasis N., Vasilakos C., Palaiologou P. 2014. "Porting of a wildfire risk and fire spread application into a cloud computing environment", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 28, No 3, 541-552.
- Kallos G., Nickovic S., Jovic D., Kakaliagou O., Papadopoulos A., Misirlis N., Boukas L., & Mimikou N., 1997. "The ETA model operational forecasting system and its parallel implementation". In Proceedings of the 1st Workshop on Large-Scale Scientific Computation. Varna, Bulgaria 7-11 June 1997. Bulgaria: Publishing house of the Bulgarian Academy of Sciences.

- McInerney D., San-Miguel-Ayaz J., Corti P., Whitmore C., Giovando C., & Camia A., 2013. "Design and function of the european forest fire information system", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.79, No 10, 965-973.
- Moller M.F., 1993. "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning", *Neural Networks*, Vol. 6, No 4, 525-533.
- Pence M., Zimmerman T., 2011. "The wildland fire decision support system: Integrating science, technology, and fire management", *Fire Management Today*, Vol. 71, 18-22.
- Richards, G.D., 1990. "An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution". *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 30, 1163-1179.
- Riedmiller M., Braun H., 1993. "A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm," Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks.
- Rothermel R.C., 1972. "A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels". Research paper INT-115. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Vasilakos C., Kalabokidis K., Hatzopoulos J., Kallos G., Matsinos Y. 2007. "Integrating new methods and tools in fire danger rating". *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 16, No 3, 306-316.
- Vasilakos C., Kalabokidis K., Hatzopoulos J., Matsinos I. 2009. "Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network", *Natural Hazards*, Vol. 50, No 1, 125-143.