

ΑEGIS: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Καθηγητής Κώστας Δ. Καλαμποκίδης
Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 811 00 Μυτιλήνη
τηλ. 22510-36436 – φαξ 22510-36439 – email kalabokidis@aegean.gr

Περίληψη

Το ερευνητικό πρόγραμμα AEGIS (<http://aegis.aegean.gr>) είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός Διαδικτυακού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Web-GIS) για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών. Το σύστημα παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες 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 (<http://meteo.aegean.gr>) και προγνωστικούς χάρτες. Η δημιουργία χαρτών βλάστησης και εδαφοκάλυψης βασίστηκε κυρίως σε πρόσφατες δορυφορικές εικόνες του πολυφασματικού δορυφόρου RapidEye και σε επικουρικά δεδομένα όπως το σύστημα ταξινόμησης βλάστησης CORINE 2000 και χάρτες διαχειριστικών μελετών. Το σύστημα AEGIS αναπτύχθηκε σε επτά 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 Κρήτης, Μεσσηνίας και Καστοριάς. Το AEGIS ενσωματώνει μεθοδολογίες χωρικής εκτίμησης του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και μοντελοποίησης της συμπεριφοράς πυρκαγιών, με τη συνεργασία μίας από τις κορυφαίες επιστημονικές ομάδες παγκοσμίως στον τομέα των εξειδικευμένων λογισμικών πυρκαγιών από το [USDA Missoula Fire Sciences Laboratory](#), Montana, Η.Π.Α. Τα μαθηματικά μοντέλα που εφαρμόστηκαν βασίζονται σε μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης όσον αφορά την πιθανή έναρξη μίας πυρκαγιάς, καθώς και σε μεθόδους προσομοίωσης της συμπεριφοράς μίας πυρκαγιάς με τον αλγόριθμο Minimum Travel Time και το σύστημα FlamMap. 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. Ένα από τα πλεονεκτήματα του AEGIS είναι ότι καθίστανται προσβάσιμα σε όλους τους χρήστες τα ίδια μοντέλα και τα ίδια δεδομένα χωρίς να πρέπει να διανέμεται το λογισμικό τους, ενώ το σύστημα μπορεί να συντηρείται και να αναπτύσσεται τακτικά. Οι προσφερόμενες λειτουργίες του AEGIS γίνονται δωρεάν προσβάσιμες στις τοπικές πυροσβεστικές και δασικές υπηρεσίες και στις αρχές πολιτικής προστασίας για την αποτελεσματικότερη υποστήριξη της οργάνωσης καινοτόμων, έγκαιρων και έγκυρων επιχειρησιακών σχεδίων αντιμετώπισης δασικών πυρκαγιών. Ο συνδυασμός της διαδικτυακής πλατφόρμας του AEGIS και της εφαρμογής AEGIS App για κινητές συσκευές τύπου Windows Phone (ως ένα συνοδευτικό εργαλείο στην πλατφόρμα) προσφέρει πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, ειδικότερα για τις μονάδες πυρόσβεσης στο πεδίο εξέλιξης των πυρκαγιών. Το ερευνητικό πρόγραμμα συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από εθνικούς πόρους στο πλαίσιο της Πράξης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του ΕΣΠΑ 2007-2013, μέσω της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ).

1. Εισαγωγή

Το ερευνητικό πρόγραμμα AEGIS στόχευσε στην ανάπτυξη ενός Διαδικτυακού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Web-GIS) για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, με σκοπό την υπό προϋποθέσεις μείωση των προκαλούμενων ανθρώπινων, περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών απωλειών. Οι προσφερόμενες λειτουργίες του AEGIS γίνονται προσβάσιμες δωρεάν στις τοπικές πυροσβεστικές και δασικές υπηρεσίες και στις αρχές πολιτικής προστασίας, μέσω μίας εύχρηστης και σύγχρονης διαδικτυακής πλατφόρμας (<http://aegis.aegean.gr>). Το AEGIS φιλοδοξεί να συνεισφέρει στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, παρέχοντας πρόσβαση σε ένα μεγάλο πλήθος από δεδομένα και λειτουργίες.

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του AEGIS είναι ότι καθίστανται προσβάσιμα σε όλους τους φορείς χρήστες τα ίδια μοντέλα και τα ίδια δεδομένα χωρίς να πρέπει να διανέμεται το λογισμικό, ενώ το σύστημα μπορεί να συντηρείται ή να αναβαθμίζεται και να αναπτύσσεται τακτικά, έτσι ώστε να υπάρχουν τα καλύτερα δυνατά δεδομένα για την επίτευξη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων. Παρ' όλα αυτά, όταν οι χρήστες χρησιμοποιούν τα μοντέλα θα πρέπει να αντιλαμβάνονται ότι τα αποτελέσματά τους είναι μόνο προβλέψεις και προσομοιώσεις, και ότι πρέπει να παρεμβαίνουν ή να τα προσαρμόζουν στηριζόμενοι στη δική τους εμπειρία και γνώση. Το πρόγραμμα AEGIS θα μπορούσε να λειτουργήσει ως οδηγός και για άλλες Μεσογειακές χώρες ώστε να αναπτύξουν το λογισμικό που χρειάζονται για να διαχειριστούν αποτελεσματικά τις πυρκαγιές τους.

Το έργο υλοποιήθηκε με την πολύτιμη και αγαστή συνεργασία μίας από τις κορυφαίες επιστημονικές ομάδες παγκοσμίως στον τομέα των αλγορίθμων συμπεριφοράς πυρκαγιών και στον προγραμματισμό των εξειδικευμένων λογισμικών, η οποία εδρεύει στις ΗΠΑ. Στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας, πραγματοποιήθηκαν συναντήσεις με τους ερευνητές Dr. Mark Finney, Dr. Robert Keane και Dr. Alan Ager από το παγκοσμίου φήμης USDA Missoula Fire Sciences Laboratory της Πολιτείας Μοντάνα των ΗΠΑ καθώς και τον περίφημο USDA Pacific Northwest Research Station της Πολιτείας Όρεγκον των ΗΠΑ, ως εξωτερικών εμπειρογνομόνων του ερευνητικού προγράμματος. Μας δόθηκε και η μοναδική ευκαιρία να συνεργαστούμε με την έρευνα της Microsoft Research, η οποία παρείχε δωρεάν τους υπολογιστικούς πόρους από το Microsoft Azure for Research Award Program.

Το σύστημα AEGIS αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε σε επτά διαφορετικές περιοχές μελέτης (υψηλού κινδύνου, μεγάλης αξίας και έντονης χρήσης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος που σε συνολική έκταση καλύπτουν περίπου το 10% της Ελλάδας), κάθε μία από τις οποίες καλύπτει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών συνθηκών, είτε κοινωνικοοικονομικών (π.χ. αγροτικές και αστικές περιοχές, διαφορές στην πληθυσμιακή σύνθεση και στο μέγεθος κ.α.) είτε περιβαλλοντικών (π.χ. κλίμα, βλάστηση, τοπογραφία). Οι περιοχές εφαρμογής περιλαμβάνουν τα νησιά της Ρόδου και της Λέσβου, τη Χαλκιδική (με το Άγιο Όρος), τη Δυτική Αττική και τους νομούς Χανίων Κρήτης, Μεσσηνίας και Καστοριάς.

2. Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Χάρτες

Ένας από τους βασικούς στόχους του έργου ήταν η συλλογή δεδομένων, χωρικών και μη, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία μίας πλήρους Βάσης Γεωγραφικών Δεδομένων (ΒΓΔ) για κάθε περιοχή μελέτης. Η οργάνωσή τους 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.

Η δημιουργία αναλυτικών χαρτών βλάστησης και εδαφοκάλυψης βασίστηκε κυρίως σε πρόσφατες δορυφορικές εικόνες του πολυφασματικού δορυφόρου RapidEye, χωρικής διακριτικής ικανότητας 5 m με πέντε φασματικά κανάλια, αλλά και σε μία σειρά επικουρικών δεδομένων όπως το σύστημα ταξινόμησης βλάστησης CORINE 2000 και χάρτες διαχειριστικών μελετών. Με συνδυασμό διαδικασιών πολυφασματικής επιβλεπόμενης ταξινόμησης και φωτοερμηνείας δημιουργήθηκαν χάρτες εδαφοκάλυψης μεγάλης χωρικής ανάλυσης και ακρίβειας.

Ένα δίκτυο Αυτόματων Τηλεμετρικών Μετεωρολογικών Σταθμών (ΑΤΜΟΣ) συνδεδεμένων με το AEGIS καταγράφουν, ανακτούν και αποθηκεύουν μετεωρολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Επιπρόσθετα, οι τελικοί χρήστες και τα μοντέλα τροφοδοτούνται με προγνωστικά μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η σχετική υγρασία, η βροχόπτωση και η νεφοκάλυψη, προερχόμενα από το μοντέλο χωρικής πρόβλεψης καιρού SKIRON (ανά 1 ώρα για πέντε ημέρες και μέγεθος κελιού τα 5 km). Τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες δίδονται επίσης στο Διαδίκτυο: <http://meteo.aegean.gr>, από ένα on-line και real-time δίκτυο εννέα ΑΤΜΟΣ (τύπου Campbell και τύπου Davis), το οποίο οργανώθηκε, συντηρείται και λειτουργεί πλήρως.

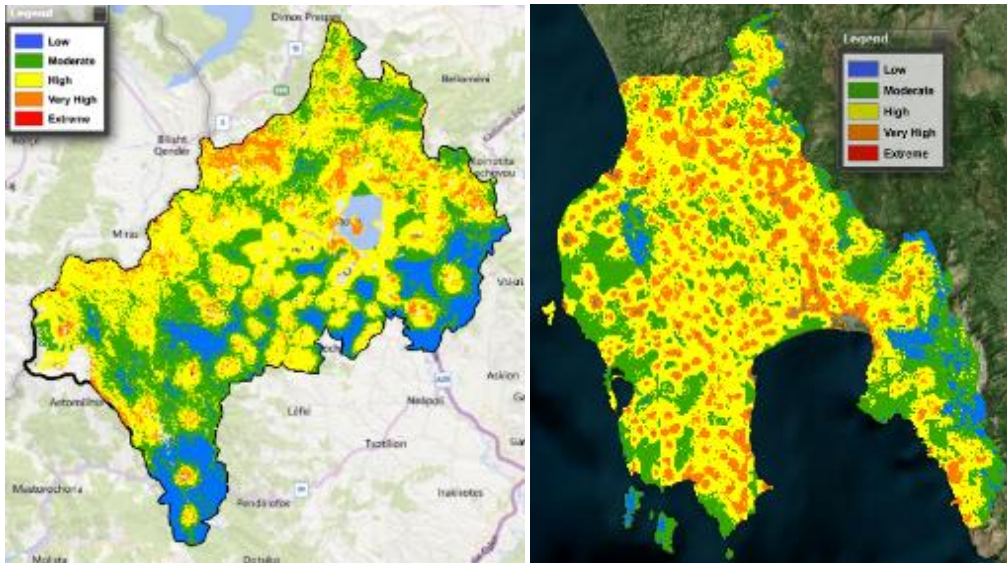
3. Μοντελοποίηση Κινδύνου και Συμπεριφοράς Πυρκαγιών

Αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία χωρικής εκτίμησης του κινδύνου δασικών πυρκαγιών, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τον κίνδυνο έναρξης μίας δασικής πυρκαγιάς όσο και την πιθανή διάδοσή της. Τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν βασίζονται σε μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης (Tsekouras et al. 2015) όσον αφορά την πιθανή έναρξη μίας πυρκαγιάς, καθώς και σε μεθόδους προσομοίωσης της συμπεριφοράς μίας πυρκαγιάς όσον αφορά την πιθανή καμένη έκταση (Kalabokidis et al. 2016).

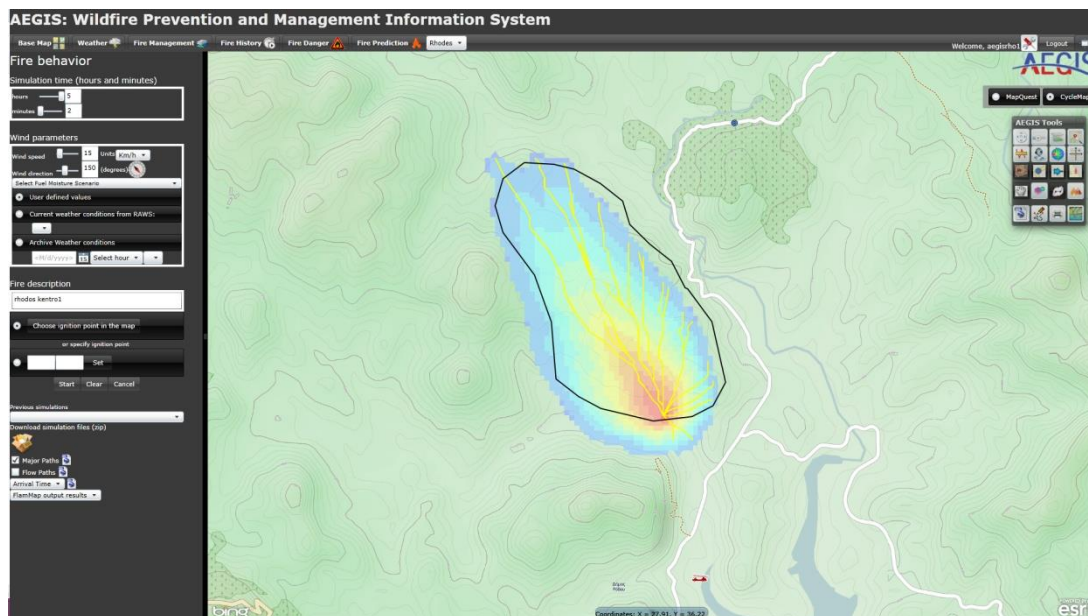
Οι χάρτες παρουσιάζουν τον κίνδυνο, υπό τις τρέχουσες μετεωρολογικές συνθήκες, σε πέντε διαβαθμίσεις (από χαμηλό έως ακραίο) και παρέχονται στους τελικούς χρήστες ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα προ-κατασταλτικά μέτρα, με στόχο τη μείωση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών (Εικόνα 1). Ο χάρτης κινδύνου παράγεται καθημερινά λαμβάνοντας υπόψη τις μετεωρολογικές συνθήκες και ισχύει για την επόμενη ημέρα της ημερομηνίας προετοιμασίας και ώρα 3 μ.μ.

Διενέργεια προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιάς μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας του συστήματος AEGIS μπορεί να επιτρέψει στους εμπλεκόμενους φορείς δασοπροστασίας να υπερβούν τις δυσκολίες που ανακύπτουν από την έλλειψη γνώσης ή την περιπλοκότητα της χρήσης των συστημάτων εκτίμησης συμπεριφοράς πυρκαγιών. Το σύστημα AEGIS χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Minimum Travel Time (MTT) και το σύστημα FlamMap (Ager et al. 2011), επιτρέποντας σε πολλούς χρήστες παράλληλα να μπορούν να πραγματοποιήσουν προσομοιώσεις εισάγοντας έναν ελάχιστο αριθμό δεδομένων όπως είναι η διάρκεια της πυρκαγιάς, το σημείο έναρξης, η περιεχόμενη υγρασία καύσιμης ύλης και οι μετεωρολογικές συνθήκες (Kalabokidis et al. 2016). Δεδομένα όπως η τοπογραφία και τα φορτία καύσιμης ύλης εισάγονται αυτόματα στο σύστημα. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίζονται οι κύριες διαδρομές εξάπλωσης, ο χρόνος

άφιξης σε συγκριμένες θέσεις, η θερμική ένταση του μετώπου και η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς (Εικόνα 2).



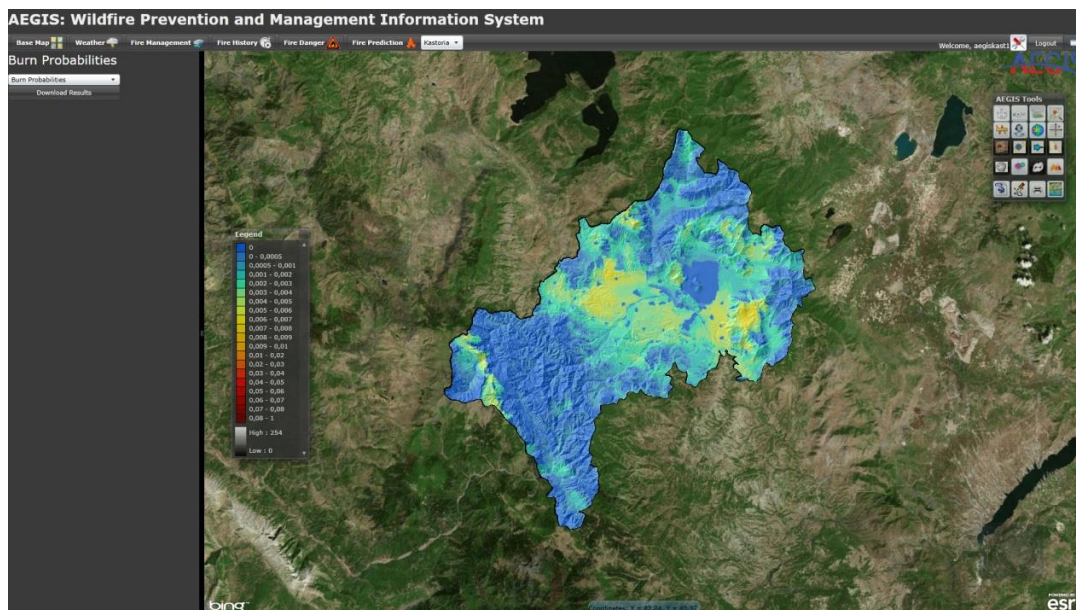
Εικόνα 1: Χαρτογραφική μοντελοποίηση του κινδύνου πυρκαγιάς όπως απεικονίζεται μέσα από την πλατφόρμα του AEGIS, για δύο από τις περιοχές μελέτης.



Εικόνα 2: Αποτελέσματα προσομοίωσης εξάπλωσης μίας πραγματικής πυρκαγιάς (κύριες ροές διάδοσης και χρόνος άφιξης), μέσα από την πλατφόρμα του AEGIS, σε σχέση με την τελική καμένη έκτασή της (με μαύρη γραμμή απεικονίζεται η πραγματική περίμετρος).

Η εύχρηστη παρουσίαση των αποτελεσμάτων επιτυγχάνεται μέσω του λογισμικού ArcGIS Server. Ο αλγόριθμος MTT εφαρμόζεται επιχειρησιακά στις ΗΠΑ, ενσωματωμένος μέσα στο Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων Δασικών Πυρκαγιών (WFDS) και είναι ιδανικός για τις πυρκαγιές σε Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα όπου συχνά παρατηρούνται πυρκαγιές σχετικά μικρής διάρκειας. Ο αλγόριθμος MTT χρησιμοποιείται για τον στοχαστικό υπολογισμό των πιθανοτήτων καύσης (Εικόνα 3) και

της έντασης καύσης που μπορεί να αντιμετωπίσει μία περιοχή, μέσω διεξαγωγής χιλιάδων προσομοιώσεων πυρκαγιών (Kalabokidis et al. 2015). Οι υπολογισμοί αυτοί πραγματοποιούνται όταν κατά τη διάρκεια της αντιτυρικής περιόδου μεταβάλλονται μεσοπρόθεσμα οι μετεωρολογικές συνθήκες ή/και το χωρικό πρότυπο των σημείων έναρξης πυρκαγιών. Με τη διεξαγωγή προσομοιώσεων συμπεριφοράς πυρκαγιάς μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας του AEGIS, οι φορείς δασοπροστασίας έχουν ένα ακόμη εργαλείο στη διάθεσή τους που μπορεί να βοηθήσει στην αποτελεσματικότερη στήριξη αποφάσεων για την πρόληψη και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών.



Εικόνα 3: Χάρτης πιθανοτήτων καύσης για μία περιοχή μελέτης, όπως απεικονίζεται στην πλατφόρμα του AEGIS.

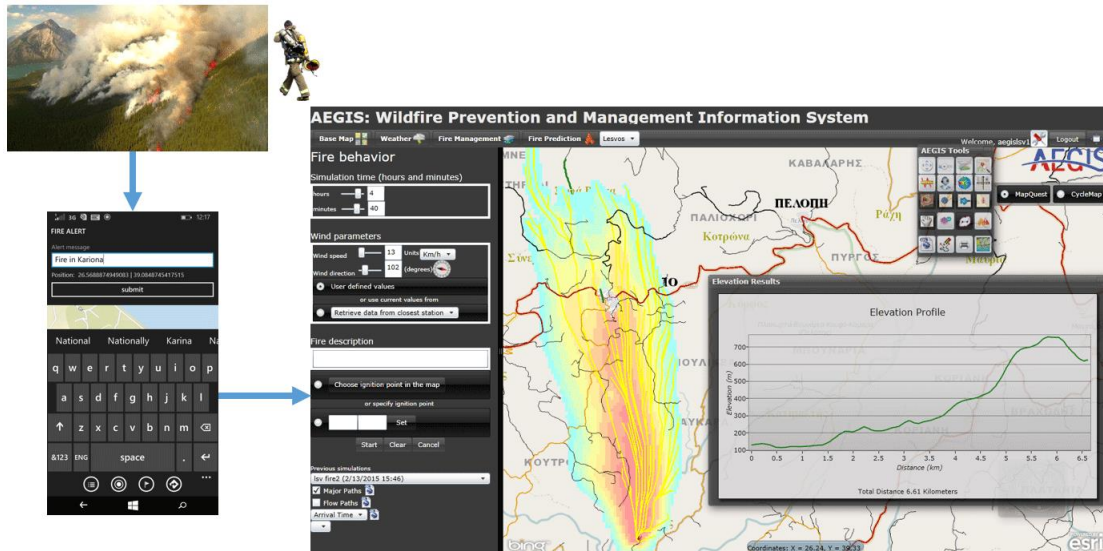
4. Διαδικτυακό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

Όλες οι λειτουργικότητες του AEGIS γίνονται προσβάσιμες δωρεάν στις τοπικές υπηρεσίες δασοπυρόσβεσης και στις αρχές μέσω ενός κατάλληλου, εύχρηστου και λειτουργικού διαδικτυακού περιβάλλοντος (<http://aegis.aegean.gr>). Το σύστημα παρέχει πρόσβαση σε δεδομένα πρόβλεψης πυρκαγιών (κίνδυνο και συμπεριφορά), καθώς επίσης επιπλέον πληροφορίες όπως κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες, οδικά δίκτυα, χρήσεις και κάλυψη γης, θέσεις υδροληψίας, πυροσβεστικές δυνάμεις, δορυφορικές εικόνες, τύπους βλάστησης, τοπογραφία και μετεωρολογικά δεδομένα (με ροή σε πραγματικό χρόνο και προγνωστικούς χάρτες).

Εργαλεία όπως ο υπολογισμός κοντινότερων διαδρομών σε θέσεις υδροληψίας και η δρομολόγηση (routing) μεταξύ επιθυμητών σημείων βοηθούν τους τελικούς χρήστες να έχουν πρόσβαση σε χρήσιμες πληροφορίες. Η διαδικτυακή πλατφόρμα του AEGIS μπορεί υπό προϋποθέσεις να υποστηρίξει τις αρμόδιες υπηρεσίες πολιτικής προστασίας στην οργάνωση καινοτόμων, έγκαιρων και έγκυρων επιχειρησιακών σχεδίων για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση και διαχείριση των δασικών πυρκαγιών.

Παράλληλα με τη διαδικτυακή πλατφόρμα, η εφαρμογή AEGIS App για κινητές συσκευές τύπου Windows Phone, λειτουργεί ως ένα συνοδευτικό εργαλείο στην πλατφόρμα (Εικόνα 4), όπου ο πυροσβέστης μπορεί να στείλει το σημείο έναρξης μίας νέας πυρκαγιάς που βλέπει εκείνη τη στιγμή να εξελίσσεται (Athanasios et al. 2015). Ένα

από τα καινοτόμα στοιχεία που ενσωματώνει η εφαρμογή είναι ότι δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης κάποιων από τις λειτουργίες της μέσω φωνητικών εντολών. Ο συνδυασμός της διαδικτυακής πλατφόρμας του AEGIS και της εφαρμογής AEGIS App προσφέρει πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, ειδικότερα για τις μονάδες πυρόσβεσης στο πεδίο εξέλιξης των πυρκαγιών.

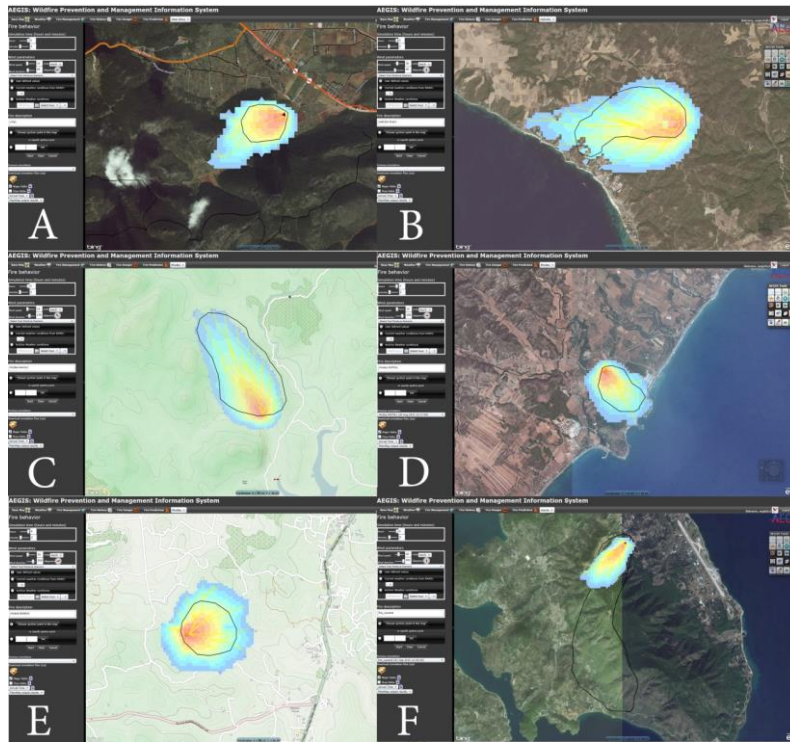


Εικόνα 4: Η εφαρμογή AEGIS App σε παράλληλη λειτουργία με την πλατφόρμα του AEGIS.

Ο πυρήνας της εκτέλεσης των προσομοιώσεων κινδύνου και συμπεριφοράς πυρκαγιών και της προετοιμασίας των μετεωρολογικών χαρτών διεξάγεται παράλληλα μέσα στις εικονικές μηχανές (Virtual Machines) σε περιβάλλον Υψηλής Υπολογιστικής Απόδοσης (High Performance Computing) και Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Computing) με το λογισμικό Microsoft Azure (Kalabokidis et al. 2016). Αυτή η σύγχρονη και τεχνολογικά προηγμένη μεθοδολογία ταιριάζει στις ανάγκες του AEGIS, επειδή εμπεριέχει ένα υψηλό ποσοστό πολυπλοκότητας υπολογισμών και αυξημένη διακίνηση δεδομένων, επιτυγχάνοντας έτσι τη δραστική μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας αφού η δέσμευση των εικονικών μηχανών γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου. Από το οικονομικό όφελος που προκύπτει, μπορεί να γίνει επένδυση στην καλύτερη στελέχωση του προσωπικού πυρόσβεσης αλλά και στην ενίσχυση της σχετικής επιχειρησιακής έρευνας για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών.

Το σύστημα του AEGIS αξιολογήθηκε, τόσο στην εκδοχή της πλατφόρμας όσο και στην εφαρμογή για κινητές συσκευές, κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου του 2015 με πολύ καλά αποτελέσματα και υψηλό βαθμό επιτυχίας. Υπήρξαν τρία επίπεδα αξιολόγησης και δοκιμών της καλής λειτουργίας: 1) από τους τελικούς χρήστες σε επίπεδο επιδείξεων και δοκιμών, 2) επιχειρησιακές δοκιμές προσομοιώσεις πραγματικών πυρκαγιών οι οποίες συνέβησαν κατά το καλοκαίρι του 2015 και έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων (Εικόνα 5), ενώ παράλληλα δοκιμάστηκε και η ακρίβεια του κινδύνου πυρκαγιάς με έλεγχο της κατηγορίας κινδύνου για το σημείο έναρξης και το μέγεθός της καθώς και σύγκριση με τον αντίστοιχο δείκτη κινδύνου της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας, και 3) διορθώσεις/ συμπληρώσεις και προσθήκες

από την ερευνητική ομάδα του AEGIS και τη διαρκή αλληλεπίδραση της ομάδας με τους τελικούς χρήστες.



Εικόνα 5: Αποτελέσματα προσομοιώσεων έξι πραγματικών πυρκαγιών που συνέβησαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού 2015 σε τέσσερις από τις περιοχές μελέτης.

Βιβλιογραφία

1. Ager A.A., Vaillant N.M. and Finney M.A. 2011. Integrating fire behavior models and geospatial analysis for wildland fire risk assessment and fuel management planning. *Journal of Combustion* 19/572452.
2. Athanasios N., Karagiannis F., Palaiologou P., Vasilakos C. and Kalabokidis K. 2015. AEGIS App: wildfire information management for Windows phone devices. *Procedia Computer Science* 56:544-549.
3. Kalabokidis K., Palaiologou P., Gerasopoulos E., Giannakopoulos C., Kostopoulou E. and Zerefos C. 2015. Effect of climate change projections on forest fire behavior and values-at-risk in southwestern Greece. *Forests* 6:2214-2240.
4. Kalabokidis K., Ager A., Finney M., Athanasios N., Palaiologou P. and Vasilakos C. 2016. AEGIS: a wildfire prevention and management information system. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16:643-661.
5. Tsekouras G., Manousakis A., Vasilakos C. and Kalabokidis K. 2015. Improving the effect of fuzzy clustering on RBF network's performance in terms of particle swarm optimization. *Advances in Engineering Software* 82:25-37.

Το έργο υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» μέσω της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.