ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

DeSurvey-IP

A Surveillance System for Assessing and Monitoring Desertification

www.desurvey.net

European Commission 6th Framework Programme:
Global Change & Ecosystems.Integrated Project Contract No.003950

Ημερίδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων του χρηματοδοτούμενου από το 6ο Πρόγραμμα Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ευρωπαϊκού Ολοκληρωμένου Έργου DESURVEY

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΗΜΕΡΙΔΑΣ

"Κατανόηση, Αποτίμηση και Παρακολούθηση της Ερημοποίησης"

19 Μαΐου, 2010

Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων

Επιμέλεια Έκδοσης: Δρ. Γαβριήλ Ξανθόπουλος

Σεπτέμβριος 2010

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόγραμμα

Ημερίδας παρουσίασης των αποτελεσμάτων του έργου DESURVEY

“Κατανόηση, Αποτίμηση και Παρακολούθηση της Ερημοποίησης”

19 Μαΐου, 2010

Ώρα	Ομιλητές	Τίτλοι εργασιών
09:00-09:30	Εγγραφή	
09:30-09:45	Κωνσταντίνος Τσιμπούκας, πρόεδρος ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.	Χαιρετισμός
09:45-10:00	Νικόλαος Γιάσογλου, τέως πρόεδρος Εθνικής Επιτροπής κατά της Ερημοποίησης	Ερημοποίηση: Από τις μελέτες στις εφαρμογές
10:00-11:00	Juan Puigdefábregas Tomás (συντονιστής του έργου DESURVEY)	Πρόοδος στην αποτίμηση της ερημοποίησης: Το έργο DESURVEY
11:00-11:30	Διάλειμμα	
11:30-11:45	Χρήστος Γιαννακόπουλος Έφη Κωστοπούλου, Κωνσταντίνος Βαρώτσος, Αχιλλέας Πληθάρας	Επιπτώσεις της αλλαγής κλίματος στις αγροτικές και δασικές περιφέρειες της Ελλάδας
11:45-12:00	Κωνσταντίνος. Σούλης, Μανώλης Ψωμιάδης, Πέτρος Κερκίδης	Δημιουργία και δοκιμή ενός χωρικά κατανεμημένου συνεχούς υδρολογικού μοντέλου για την εκτίμηση της ερημοποίησης
12:00-12:15	Γεώργιος Τσιουρλής	Τάσεις ερημοποίησης στην κεντρική Κρήτη
12:15-12:30	Βασίλειος Παπαναστάσης	Κτηνοτροφία και ερημοποίηση: Η περίπτωση της επαρχίας Λαγκαδά, Θεσσαλονίκης
12:30-12:45	Χριστάκης Ευαγγέλου	Σύστημα βόσκησης και ερημοποίηση στα μεσογειακά λιβάδια
12:45-13:00	Γαβριήλ Ξανθόπουλος, Μιχαήλ Ξανθάκης	Ένα μοντέλο πυρκαγιών-βόσκησης-ερημοποίησης για την περιοχή της Μεσογείου
13:00-13:15	Δημήτρης Χουβαρδάς, Χριστάκης Ευαγγέλου, Ulf Helldén, Βασίλειος Παπαναστάσης	Προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του κτηνοτροφικού κεφαλαίου και της λιβαδικής παραγωγής σε Μεσογειακά λιβάδια
13:15-13:30	Γαβριήλ Ξανθόπουλος, Μιχαήλ Ξανθάκης, Χρήστος Βονιτσάνος	Εξέλιξη της δασικής κάλυψης στην Αττική και εκτίμηση των τάσεων ερημοποίησης εξ’ αιτίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων, βόσκησης και πυρκαγιών.
13:30-14:15	Συζήτηση στρογγυλής τραπέζης & Συμπεράσματα	Σχέδιο δράσης για την αξιοποίηση νέων προσεγγίσεων, μεθόδων και εργαλείων για την Κατανόηση, Αποτίμηση και Παρακολούθηση της Ερημοποίησης στην Ελλάδα

Ημερίδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων του έργου DESURVEY

"Κατανόηση, Αποτίμηση και Παρακολούθηση της Ερημοποίησης"

19 Μαΐου, 2010

Χαιρετισμός Προέδρου του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

καθ. Κωνσταντίνου Τσιμπούκα

Αξιότιμες κυρίες, αξιότιμοι κύριοι

Με χαρά σας καλωσορίζω στο Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων

και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας όπου σήμερα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του ερευνητικού έργου με τον τίτλο «Ένα σύστημα για την Αποτίμηση και Παρακολούθηση της Ερημοποίησης», που για συντομία ονομάζεται DESURVEY.

Ο κίνδυνος της ερημοποίησης μεγάλων εκτάσεων του πλανήτη μας είναι ένα από τα μείζονα περιβαλλοντικά προβλήματα των καιρών μας. Είναι ένα πρόβλημα που επιτείνεται με την αύξηση του πληθυσμού της γης, ιδίως σε περιοχές όπως η Αφρική όπου πολλά οικοσυστήματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα, αλλά και με πρακτικές χρήσης της γης που δεν είναι μακροπρόθεσμα βιώσιμες. Ένα πρόβλημα που σε συνδυασμό με την αλλαγή του κλίματος γίνεται όλο και πιο εφιαλτικό απαιτώντας από εμάς την κατά το δυνατό καλύτερη κατανόηση, παρακολούθηση και πρόβλεψή του με στόχο την λήψη των κατάλληλων μέτρων, τόσο τεχνικών όσο και μέτρων πολιτικής, ώστε να προλάβουμε καταστροφικές και συχνά μη αναστρέψιμες εξελίξεις.

Το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, ως ένας από τους βασικότερους φορείς έρευνας για την αγροτική και δασική παραγωγή και τη γενικότερη διαχείριση της υπαίθρου χώρας στην Ελλάδα έχει από χρόνια δείξει σαφές και έντονο ενδιαφέρον για το πρόβλημα της ερημοποίησης και Ινστιτούτα του έχουν συμμετάσχει ενεργά σε Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα που αφορούσαν το αντικείμενο αυτό. Το έργο DESURVEY έδωσε την ευκαιρία σε δύο από τα Ινστιτούτα μας, το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων εδώ στην Αθήνα και το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών της Θεσσαλονίκης, συμμετέχοντας ως εταίροι στη μεγάλη ερευνητική προσπάθεια που καταβλήθηκε να συνεισφέρουν με νέα ευρήματα και εργαλεία αλλά και να ενημερωθούν για τις νεώτερες τεχνολογίες που θα μας βοηθήσουν να αντιμετωπίσουμε καλύτερα το πρόβλημα στο μέλλον.

Πιστεύω, ότι στα πλαίσια της παρούσας ημερίδας όλοι οι παρευρισκόμενοι θα έχουν κάτι καινούριο να μάθουν από όσα 39 φορείς από 10 Ευρωπαϊκές και 6 τρίτες χώρες ανακάλυψαν και δημιούργησαν μέσα στα πέντε έτη που διήρκεσε το έργο DESURVEY.

Η χώρα μας που αναγκαστικά εξαιτίας της παρούσας οικονομικής κρίσης θα χρειαστεί να αυξήσει τις προσπάθειές της στον πρωτογενή τομέα της παραγωγής, οπωσδήποτε θα πρέπει να δώσει έμφαση στην αγροτική και δασική παραγωγή που παραδοσιακά, σε ένα πλεονεκτικό κλιματικά περιβάλλον, αποτέλεσαν πηγή πλούτου και ευκαιριών εργασίας. Η εντατικοποίηση όμως της παραγωγής και η εισαγωγή νέων μεθόδων καλλιεργειών και γενικότερα διαχείρισης της γης, αν δεν γίνουν σωστά, συχνά κρύβουν σοβαρούς κινδύνους όπως αυτόν της υποβάθμισης του περιβάλλοντος ή ακόμη και της ερημοποίησης.

Το ΕΘΙΑΓΕ, αλλά και όλοι οι φορείς που έχουν στις αρμοδιότητές τους τη διαχείριση, την έρευνα και την εκπαίδευση για το περιβάλλον και την αγροτική ανάπτυξη, στελέχη των οποίων νομίζω είναι οι περισσότεροι από εσάς, οφείλουν να έχουν σαν στόχο τους την υποστήριξη αυτής της ανάπτυξης, εξασφαλίζοντας όμως παράλληλα ότι δεν θα γίνουν λάθη διαχείρισης που θα στοιχίσουν στην μακροχρόνια οικολογική ισορροπία και θα οδηγήσουν σε υποβάθμιση. Υπό αυτό το πρίσμα πρέπει να δοθεί έμφαση στην Κατανόηση, Αποτίμηση, την Παρακολούθηση και τον γρήγορο εντοπισμό κάθε τάσης υποβάθμισης πριν αυτή οδηγήσει σε Ερημοποίηση. Πιστεύω ότι με τα ερευνητικά ευρήματα και τα εργαλεία παρακολούθησης που θα παρουσιαστούν σήμερα θα είμαστε στο μέλλον σε καλύτερη θέση για να το επιτύχουμε.

Κλείνοντας εύχομαι καλή επιτυχία στις εργασίες της ημερίδας σας, επιτυχία στην ολοκλήρωση του έργου και, εφόσον υπάρξει συνέχεια με νέο έργο που θα προχωρήσει την έρευνα για την ερημοποίηση παραπέρα, να έχουν τα Ινστιτούτα μας την ευκαιρία να συνεργαστούν και πάλι εποικοδομητικά με όλους τους εταίρους όπως και στα πλαίσια του DESURVEY.

Ερημοποίηση: Από τις Μελέτες στις Εφαρμογές

Νικόλαος Γιάσογλου
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ειδικές μελέτες, έρευνες και απογραφές αποτελούν απαραίτητο υπόβαθρο για τον σχεδιασμό και εφαρμογή προγραμμάτων αντιμετώπισης της ερημοποίησης, τόσο σε ευρέα όσο και σε στενά γεωγραφικά πλαίσια. Συνήθως το φαινόμενο δεν γίνεται αντιληπτό από τους μη ειδικούς μέχρις ότου φθάσει στο απροχώρητο.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν ολοκληρωθεί πολλές έρευνες, χαρτογραφήσεις και μελέτες, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Σημαντικό μέρος αυτών έχει χρηματοδοτηθεί από την Ε.Ε. το πλείστο όμως εξ αυτών παραμένει αχρησιμοποίητο ενώ η ερημοποίηση επεκτείνεται. Μέχρι προσφάτως οι έρευνες και μελέτες είχαν τομεακό χαρακτήρα και αφορούσαν φυσικές παραμέτρους. Η αξιοποίηση τους όμως απαιτεί σύνθετα προσαρμοστικά συστήματα με ίση βαρύτητα σε κοινονωνικο-οικονομικές παραμέτρους.

Κύριοι στόχοι των διαδικασιών αντιμετώπισης του φαινομένου είναι **α.** η πρόληψη και επέκτασή του και **β.** η αναβάθμιση των περιοχών που το έχουν υποστεί. Οι δε αποτελεσματικότεροι τρόποι καταπολέμησης του είναι η αποτροπή και η αναστροφή των συνεπειών του. Απαιτείται η στροφή από τις μη αειφορικές προς αειφορικές πρακτικές αξιοποίησης των κοινωνικο-οικονομικών, εδαφικών, υδατικών, φυτικών και ζωικών πόρων. Οι πόροι αυτοί τελούν, σε ευαίσθητες περιοχές, υπό καθεστώς αστάθειας και υποβαθμίζονται σχετικά εύκολα

Η διαχείριση των ανωτέρω περιοχών πρέπει να σχεδιάζεται και να εφαρμόζεται στα πλαίσια σχεδίων δράσεως κατά της ερημοποίησης. Επίσης να διέπεται από τις ακόλουθες αρχές:

Ικανοποίηση των κοινωνικών αναγκών τηρουμένων των κανόνων της αειφορίας. Εφαρμογή ολοκληρωμένων συστημάτων χωρίς διάσπαση σε επί μέρους τομείς.

Προσαρμογή διαχειριστικών προγραμμάτων στις τοπικές συνθήκες.

Αξιοποίηση συγχρόνων γνώσεων και μέσων.

Εξασφάλιση οικονομικών μέσων, θεσμικών και διοικητικών υποδομών.

Καθορισμό χρονικών και γεωγραφικών προτεραιοτήτων.

Ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών.

Αποδοχή των μέσων και θεσμικών προσαρμογών από όλους τους εμπλεκομένους.

Διαμόρφωση και πιστή μακροχρόνια εφαρμογή πολιτικής.

Οι βασικές διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν είναι:

Εφαρμογή σχεδίων δράσεως κατά της ερημοποίησης στα πλαίσια γενικού καθορισμού χρήσεων γης και ολοκληρωμένων αναπτυξιακών προγραμμάτων.

Προσαρμογή των δράσεων προς συγκεκριμένους εύκολα προσδιορίσιμους φυσικούς και κοινωνικο-οικονομικούς δείκτες.

Θεσμοθέτηση και ενεργοποίηση οργάνων παρακολούθησης και εφαρμογής των μέτρων και σχετικών φαινομένων.

Πρόοδος στην αποτίμηση της ερημοποίησης: Το έργο DESURVEY

Juan Puigdefαbregas Tomαs
Estacicσn Experimental Zonas Aridas.
Avda. Sacramento, s/n. La Capada de San Urbano. 04120 Almeria (Spain).
Tel. +34 950 281045. Fax : +34 950 277100

Το DeSurvey είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που προσφέρει μια παγκόσμια λύση στην διάγνωση και καταγραφή της εξέλιξης του φαινομένου της ερημοποίησης. Ενσωματώνει μια ευέλικτη ομάδα εργαλείων λογισμικού (suite of tools) που άρχισαν να εφαρμόζονται σε αρκετές χώρες για να αυξήσουν την ικανότητά τους για την αντιμετώπιση της επιτήρησης της ερημοποίησης σε πρωτοφανή επίπεδα απόδοσης, αξιοπιστίας και οικονομικής αποτελεσματικότητας.

Η ερημοποίηση είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο που επηρεάζει περισσότερες από 100 χώρες και 2.6 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Ο σχεδιασμός αποτελεσματικών δράσεων για τον μετριασμό της ερημοποίησης απαιτεί αξιόπιστα εργαλεία για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τους παράγοντες ενεργοποίησής της, την κατάσταση των πόρων και τη βιωσιμότητα των απειλούμενων συστημάτων χρήσης της γης.

Το DeSurvey είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα που χρηματοδοτεί η Ευρωπαϊκή Ένωση με 7,8 εκατομμύρια €, διάρκειας από τις 11 Μαρτίου 2005 έως τις 10 Οκτωβρίου 2010. Ενσωματώνει μια κοινοπραξία από 37 επιστημονικές και τεχνικές οργανώσεις από 10 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και 6 άλλες χώρες. Στόχος του είναι να αναπτύξει ένα πρωτότυπο, ευέλικτο, χαμηλού κόστους και πολλαπλής κλίμακας (multi-scale) σύστημα επιτήρησης της ερημοποίησης.

Το **Σύστημα Επιτήρησης** έχει σαν στόχο να βοηθήσει στους διαχειριστές της γης και τους φορείς που χαράζουν πολιτική, με την παροχή έγκαιρης προειδοποίησης και ικανότητας παρακολούθησης πράγμα που θα επιτρέψει την λήψη διορθωτικών αποφάσεων πριν επέλθουν ανεπανόρθωτες συνέπειες εξ αιτίας της ερημοποίησης. Για το σκοπό αυτό, αναπτύσσονται εργαλεία και προσαρμόζονται στις απαιτήσεις των μελλοντικών χρηστών που είναι Οργανισμοί όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) του ΟΗΕ, οι αρχές για τα Εθνικά Σχέδια της Σύμβασης για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης και της Ξηρασίας των Ηνωμένων Εθνών (UNCCD) και οι τοπικές κοινοπραξίες ενδιαφερόμενων φορέων σε περιοχές που έχουν υψηλό κίνδυνο να πληγούν στην Νότια Ευρώπη, τις χώρες της Μαγκρέμπ, τη Σενεγάλη, την ΒΑ Κίνα και την Κεντρική Χιλή.

Πρόοδος του σχεδιασμού και της εφαρμογής του Συστήματος Επιτήρησης DeSurvey

Ένας βρόγχος ανάδρασης μεταξύ των βιοφυσικών και κοινωνικο-οικονομικών δραστηριοτήτων είναι ο ακρογωνιαίος λίθος για την ολοκλήρωση του συστήματος επιτήρησης με δυναμικό τρόπο στα τρία κύρια εργαλεία του, της παρακολούθησης των επιπτώσεων της διαταραχής και τα αποτελέσματα των προγραμμάτων μετριασμού της, της πρόβλεψης της υποβάθμισης του εδάφους στο χώρο κάτω από διάφορα κλιματικά/οικονομικά σενάρια και της εκτίμησης της βιωσιμότητας των απειλούμενων συστημάτων χρήσης γης. Τα ανωτέρω τρία εργαλεία είναι αυτοδύναμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα για να συγκεντρωθούν πληροφορίες είτε για μία μόνο πτυχή της παρούσας και της μελλοντικής κατάστασης της ερημοποίησης ή για δύο ή τρεις πτυχές από κοινού, ώστε να επιτευχθεί μια συνολική προοπτική του φαινομένου.

Η **Εκτίμηση Βιωσιμότητας** είναι η χαμηλότερη σε απαιτήσεις δεδομένων και η υψηλότερη στην ευελιξία αντιμετώπισης των τοπικών συνθηκών. Η δύναμή της βρίσκεται στην μακροπρόθεσμη χρονική κλίμακα. Μπορεί να θεωρηθεί ως προκαταρκτικό εργαλείο για τον προσδιορισμό των πλέον επικίνδυνων και μη αειφόρων γήινων συστημάτων χρήσης γης. Έχει εφαρμοστεί στην πράξη σε εσωτερικές αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις στην Κεντρική Ισπανία, σε συστήματα βόσκησης στη Βόρεια Ελλάδα και σε κάποιες οάσεις στο Νότιο Μαρόκο.

Στις τρεις περιπτώσεις τονίστηκε η σημασία του κόστους ευκαιρίας σαν εναλλακτική λύση έναντι των μη αειφόρων χρήσεων γης. Στην Κεντρική Ισπανία, το εύρος διακύμανσης του υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας της υπεράντλησης θα είναι μετά βίας ανεκτό τόσο από τον ανθρώπινο πληθυσμό όσο και από τους φυσικούς υγροτόπους και ποτάμια. Στις οάσεις της Μαγκρέμπ, η δημογραφική αύξηση σε συνδυασμό με την επενδυτική ικανότητα που αυξάνεται εξ αιτίας της εισροής χρημάτων από τους μετανάστες διαταράσσουν τους πόρους των υπόγειων υδάτων, αυξάνουν την αλατότητα του εδάφους και ο υπερπληθυσμός απλώνει την υποβάθμιση στις γύρω στέπες λόγω εξάπλωσης της γεωργίας. Η σταθερότητα των συστημάτων ελεύθερης βοσκής της Βόρειας Ελλάδας εμφανίζεται σφιχτά δεμένη με την πολιτική επιδοτήσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την ισορροπία χόρτων και θάμνων. Άλλες εφαρμογές υλοποιούνται στη Σενεγάλη, τη Χιλή και την Κίνα.

Το **εργαλείο παρακολούθησης** έχει ήδη εφαρμοστεί στην Ιβηρική χερσόνησο και εφαρμόζεται στις χώρες της Μαγκρέμπ, στη Βόρεια Σενεγάλη, στη Βόρεια Κίνα και στην Κεντρική Χιλή (La Serena). Συνδυάζει την ταυτοποίηση και χαρτογράφηση συνδρόμων ερημοποίησης με την εκτίμηση της υποβάθμισης του εδάφους στο χώρο συμπεριλαμβανομένης της παρούσας κατάστασης του και της άμεσης μελλοντικής τάσης. Η πρώτη εμπειρία εφαρμογής στην Ιβηρική σκιαγραφεί την έκταση της γεωλογικής και κληρονομικής υποβάθμισης της γης από παρελθόντα επεισόδια ερημοποίησης, καθώς και το «πρασίνισμα» σαν αποτέλεσμα της εγκατάλειψη των γεωργικών εκμεταλλεύσεων στο υγρό βορειοδυτικό ήμισυ της χερσονήσου. Στο νοτιοανατολικό τομέα, έχει εντοπιστεί ανθεκτικότητα με τη βιομάζα της βλάστησης να παρακολουθεί διαχρονικά τη βροχόπτωση, ενώ η πραγματική τρέχουσα υποβάθμιση έχει αποδειχθεί αραιή και λιγότερο εκτεταμένη από ό,τι εθεωρείτο μέχρι σήμερα.

Στο νοτιοανατολικό τομέα, ανθεκτικότητα έχει εντοπιστεί από βιομάζα βλάστησης παρακολουθώντας βροχόπτωση μέσα στο χρόνο, ενώ η πραγματική τρέχουσα υποβάθμιση έχει αποδειχθεί αραιή και λιγότερο εκτεταμένη από ό,τι εθεωρείτο μέχρι σήμερα. Ο αντίκτυπος των δυνάμεων που μπορούν να οδηγήσουν σε ερημοποίηση στην μέχρι σήμερα υποβάθμιση της γης είναι ακόμα μικρός και εμφανίζεται περισσότερο ως ένας κίνδυνος παρά ως ένα σύμπτωμα. Ο αντίκτυπος των τρεχουσών οδηγών ερημοποίησης για την υποβάθμιση του εδάφους είναι ακόμα μικρός και εμφανίζεται ως κίνδυνος παρά σαν ένα σύμπτωμα.

Μεσοπρόθεσμη **πρόβλεψη** της ερημοποίησης εφαρμόζεται στην Ιβηρική Χερσόνησο, την Ιταλία και την Τυνησία. Παρέχει μια χωρική απεικόνιση, σε μικρή κλίμακα, των οικονομικών και κλιματικών οδηγών της απερήμωσης, καθώς και των συνδυασμένων αποτελεσμάτων τους όσον αφορά επιλεγμένους δείκτες, όπως ο ρυθμός διάβρωσης του εδάφους, οι δημογραφικές παραμέτρους, οι αλλαγές χρήσης γης ή το υδατικό ισοζύγιο. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να διερευνηθεί η πορεία της ερημοποίησης στο χώρο σε τρέχουσες ή υποθετικές συνθήκες. Στο πλαίσιο αυτό, έχει αποδειχθεί ότι οι επιπτώσεις των αλλαγών στην περιφερειακών και εθνικών γεωργικών πολιτικών ή η εισβολή νέων απαιτήσεων για γεωργικά προϊόντα, όπως στην περίπτωση αύξησης της ζήτησης των βιοκαυσίμων, είναι ζωτικής σημασίας σαν μηχανισμοί ξεκινήματος υποβάθμισης της γης.

Όροι χρήσης και εφαρμογής

Το σύστημα επιτήρησης έχει ολοκληρωθεί με επιστημονικούς και τεχνικούς όρους και έχει εφαρμοστεί σε διάφορες χώρες με την εκπαιδευτική βοήθεια των ομάδων του DeSurvey που ήσαν υπεύθυνες για καθεμία από τις τρεις προαναφερθείσες διαδικασίες που περιγράφηκαν παραπάνω. Οι ενδιαφερόμενοι χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν με το Συντονιστή του έργου για το σκοπό αυτό. Από τον Οκτώβριο του 2009, εκδόσεις του συστήματος προσανατολισμένες στο χρήστη είναι διαθέσιμες και ειδικά μαθήματα κατάρτισης οργανώθηκαν σε δύο κύκλους σεμιναρίων στην Σαραγόσα της Ισπανίας ώστε να βελτιωθεί η δυνατότητα εφαρμογής του συστήματος. Μάλιστα σχεδιάζονται επιλογές που θα διατηρήσουν την εκπαιδευτική αυτή δραστηριότητα πέρα από τη διάρκεια του έργου DeSurvey.

Λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τους όρους χρήσης και εφαρμογής του Συστήματος Επιτήρησης της Ερημοποίησης DeSurvey θα δημοσιευθούν πριν την ολοκλήρωση του έργου στο δικτυακό του τόπο www.desurvey.net.

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις αγροτικές και δασικές περιφέρειες της Ελλάδας στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον

Χρήστος Γιαννακόπουλος[1], Έφη Κωστοπούλου[1], Κωνσταντίνος Β. Βαρώτσος[1] και Αχιλλέας Πληθάρας[2]

(1) Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

(2) WWF Ελλάς

Εισαγωγή

Σε αυτή τη μελέτη επιχειρείται η πρόβλεψη επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο άμεσο μέλλον (2021-2050) για τις δασικές και αγροτικές περιοχές του ελλαδικού χώρου. Για κάθε περιοχή εξετάζονται σχετικοί κλιματικοί δείκτες. Έτσι, για παράδειγμα, οι δείκτες για τις δασικές περιοχές είναι σχετικά διαφορετικοί από τους δείκτες για τις αγροτικές. Για κάθε μια από τις κατηγορίες προεπιλέγονται 10 αντιπροσωπευτικές περιοχές με συγκεκριμένα κριτήρια που βασίστηκαν στα στοιχεία της απογραφής του 2001 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας:

- Αγροτικές περιοχές, βάσει του αριθμού απασχολούμενων στον πρωτογενή τομέα.
- Δασικές περιοχές, βάσει του μεγέθους, της σπουδαιότητάς τους και του καθεστώτος προστασίας. Εν προκειμένω, επιχειρείται εξέταση των κλιματικών συνθηκών του μέλλοντος στους δέκα εθνικούς δρυμούς.

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RACMO2, που αναπτύχθηκε στο Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (KNMI) (Lenderink et al. 2003; 2007), με διακριτική ικανότητα 0.25 μοιρών (25 χιλιομέτρων περίπου). Τα δεδομένα του μοντέλου δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του κοινοτικού προγράμματος ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org), όπου συμμετέχει και το Εθνικό Αστεροσκοπείο, και έχει σαν αντικείμενο τη μοντελοποίηση ακραίων κλιματικών φαινομένων και τη μελέτη αβεβαιότητάς τους. Τα δεδομένα καλύπτουν μία χρονική περίοδο 30 ετών 1961-1990 για το παρόν κλίμα, και μια μελλοντική χρονική περίοδο 2021-2050 για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής βασισμένο στο σενάριο A1B της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την αλλαγή του κλίματος (IPCC), (Nakicenovic et al. 2000). Σε καθεμία από τις δασικές και αγροτικές επιλεγμένες περιοχές, υπολογίζονται οι αλλαγές σε σχετικούς κλιματικούς δείκτες μεταξύ της μελλοντικής (2021-2050) και της περιόδου αναφοράς (1961-1990).

1. Γεωργικές περιοχές

Μια εκτεταμένη ανάλυση των κλιματικών παραμέτρων που σχετίζονται με τις γεωργικές ανάγκες και τις απαιτήσεις σε νερό, όπως είναι ο μέσος όρος βροχοπτώσεων και η διάρκεια ξηρασίας πραγματοποιήθηκε για τις πιο σημαντικές γεωργικές περιοχές της Ελλάδας. Διερευνήθηκαν οι μεταβολές στον αριθμό εμφάνισης ακολουθιών υγρών και ξηρών ημερών, καθώς και στη διάρκεια των επεισοδίων ξηρασίας. Ουσιαστικές αλλαγές σε κάποιους από αυτούς τους δείκτες αναδεικνύουν σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες στις περιοχές της παρούσας μελέτης. Για παράδειγμα, αυξητικές τάσεις όσον αφορά τον αριθμό των συνεχόμενων ξηρών ημερών, μπορεί να υποδεικνύουν την ενίσχυση του προβλήματος της ξηρασίας και της ερημοποίησης. Η ερημοποίηση συνεπάγεται υποβάθμιση της γης σε άνυδρες, ημι-άνυδρες και ξηρές με χαμηλή υγρασία περιοχές, η οποία προκαλείται από ένα συνδυασμό κλιματολογικών επιδράσεων (επίμονες συνθήκες ζέστης και ξηρασίας) και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (όπως η εντατική καλλιέργεια, η υπερβόσκηση, η αποψίλωση και οι κακές πρακτικές άρδευσης). Η μελέτη παρουσιάζει τις διαφοροποιήσεις μεταξύ της μελλοντικής (2021-2050) και της παρούσας (1961-1990) περιόδου.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά υπολογίστηκαν οι αλλαγές στην διάρκεια των περιόδων ξηρασίας στις επιλεγμένες γεωργικές περιοχές της Ελλάδας, δηλαδή τις αλλαγές στην διάρκεια των περιόδων όπου οι βροχοπτώσεις είναι λιγότερες από 1mm την ημέρα (Σχήμα 1α). Η διάρκεια των ξηρών περιόδων αυξάνεται. Η μικρότερη διακύμανση, λιγότερο από 10 ημέρες αύξηση, παρατηρείται στις γεωργικές περιοχές της δυτικής Ελλάδας (Αχαΐα, Ηλεία, Μεσσηνία, Αιτωλοακαρνανία). Στην Λάρισα και στο νότιο Ηράκλειο παρουσιάζεται μια αύξηση της τάξης των 10 ημερών, ενώ στις Σέρρες, στην Πέλλα και στο βόρειο Ηράκλειο η αύξηση είναι της τάξης των 15-20 ημερών. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρήθηκαν στην Φθιώτιδα και στην Εύβοια, κυρίως στις βόρειες περιοχές, όπου αναμένονται περισσότερες από 25 επιπλέον ξηρές ημέρες.

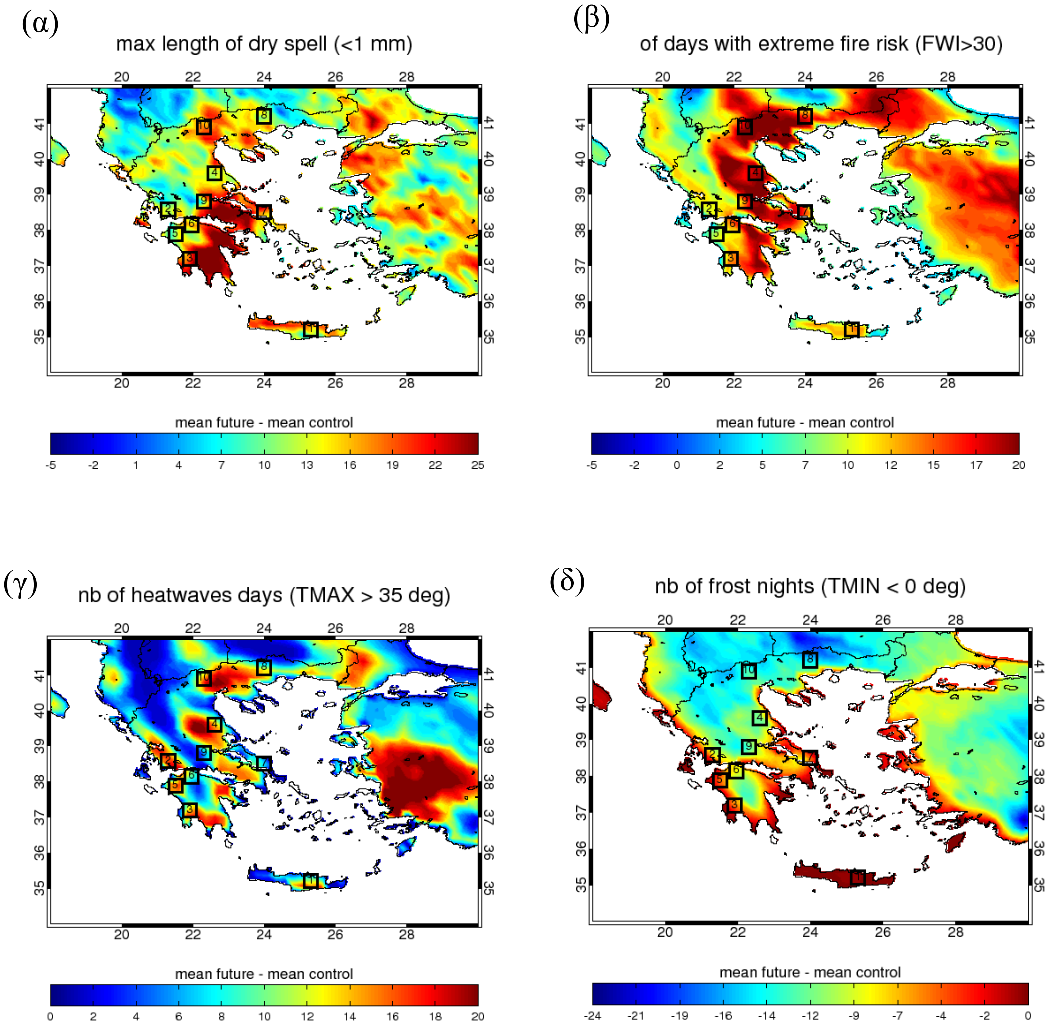
Επίσης υπολογίστηκαν οι αλλαγές στον αριθμό των ημερών με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς (Σχήμα 1β), μια παράμετρος που είναι σημαντική για γεωργικές περιοχές με δέντρα (όπως ελιές, πορτοκαλιές, αχλαδιές). Είναι γεγονός ότι ο κίνδυνος για φωτιά αυξάνεται ουσιαστικά παντού.

Παρόλα αυτά, η πιο σημαντική αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς προβλέπεται να εμφανιστεί στις γεωργικές περιοχές των Σερρών, της Πέλλας, της Φθιώτιδας και της Λάρισας, όπου αναμένονται πάνω από 20 επιπλέον μέρες το χρόνο με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς. Μια παράταση της περιόδου με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς κατά 15 ημέρες είναι εμφανής στις περιοχές της Εύβοιας και του Ηρακλείου, ενώ μέτριες αυξήσεις της τάξης των 10 ημερών παρουσιάζονται στις δυτικές περιοχές της χώρας: Αχαΐα, Ηλεία, Μεσσηνία, Αιτωλοακαρνανία.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν οι αλλαγές όσον αφορά τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία βρίσκεται πάνω από τους 35^{o}C (Σχήμα 1γ), κάτι που επίσης αναμένεται να έχει επίδραση στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Είναι φανερό ότι αυτή η παράμετρος αυξάνεται σε όλες τις επιλεγμένες γεωργικές περιοχές. Όπως αναμενόταν, οι περιοχές των Σερρών και της Λάρισας παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αυξήσεις που φτάνουν μέχρι και τις 20 περισσότερες μέρες το χρόνο. Μετριότερες διαφοροποιήσεις της τάξης των 15 ημερών παρατηρούνται στις υπόλοιπες περιοχές.

Κατόπιν υπολογίστηκαν οι αλλαγές στον αριθμό των νυχτερινών παγετών ανά έτος (Σχήμα 1δ). Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική για τις αγροτικές περιοχές, ειδικότερα σε περιοχές που υπάρχουν ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως είναι τα εσπεριδοειδή (πορτοκαλιές και λεμονιές). Μείωση της τάξης των 15 ημερών και άνω είναι εμφανείς στην Πέλλα, ακολουθούμενες από μειώσεις κατά 10-15 ημέρες στις Σέρρες, τη Λάρισα και τη Φθιώτιδα. Μικρότερες μειώσεις παρατηρήθηκαν στις υπόλοιπες εξεταζόμενες περιοχές, κυρίως γιατί αυτές χαρακτηρίζονται ούτως η άλλως από μικρό αριθμό νυχτερινών παγετών.

Τέλος, μελετήθηκαν οι ποσοστιαίες μεταβολές των εποχιακών βροχοπτώσεων για τις επιλεγμένες γεωργικές περιοχές της Ελλάδας. Οι απεικονίσεις είναι διαφορετικές για κάθε εποχή. Μειώσεις παρατηρούνται σχεδόν σε κάθε εποχή, εκτός από το φθινόπωρο, όπου υπάρχουν εμφανείς αυξήσεις. Επιλέχθηκε η παρουσίαση των αλλαγών που αναμένονται στις βροχοπτώσεις του χειμώνα (Σχήμα 2α) και του φθινοπώρου (Σχήμα 2β), διότι οι μεταβολές είναι αντιφατικές σε αυτές τις εποχές και επιπλέον διότι η ελληνική γεωργία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις φθινοπωρινές και τις χειμωνιάτικες βροχοπτώσεις. Οι χειμερινές βροχοπτώσεις μειώνονται στις μελετούμενες γεωργικές περιοχές, με πιο σημαντικές μειώσεις κατά 15% στις περιοχές των Σερρών, της Πέλλας και του Ηρακλείου.



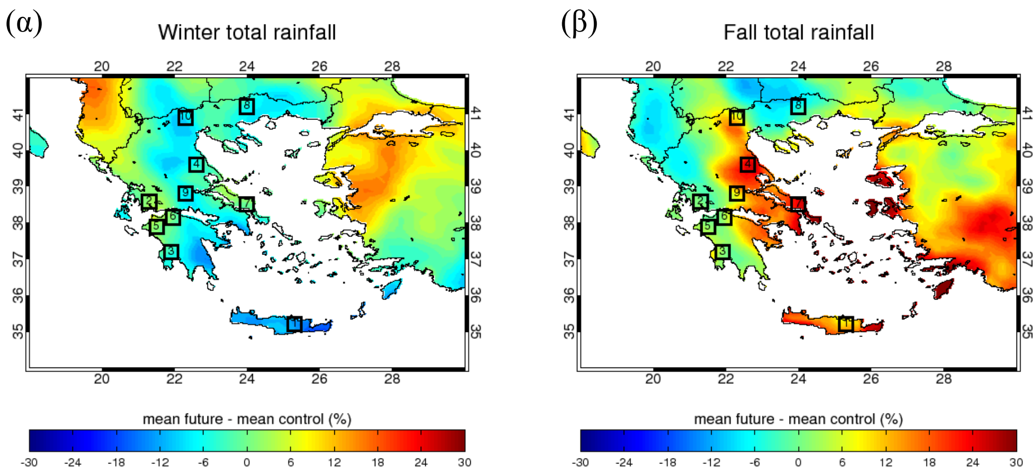
Σχήμα 1. Διαφοροποιήσεις στον αριθμό ημερών στη μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990 σε επιλεγμένες αγροτικές περιοχές στην Ελλάδα (α) στη διάρκεια της ξηρής περιόδου, (β) στον αριθμό ημερών με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς, (γ) στον αριθμό ημερών με θερμοκρασίες άνω των 35 ^{o}C, (δ) στον αριθμό παγετών. Αρίθμηση περιοχών στο χάρτη αντίστοιχη με την αρίθμηση περιοχών στον *Πίνακα 1*

Figure 1. Variations in the number of days between the periods 2021-2050 and 1961-1990 in selected rural areas in Greece (a) during the dry season, (b) the number of days with an increased fire risk, (c) the number of days with temperatures above 35 ° C, (d) the number of frost. Numbering of areas on the map corresponds to the numbered regions in *Table 1*

Οι άλλες περιοχές παρουσιάζουν μειώσεις της τάξης του 5-10%. Οι ποσοστιαίες μεταβολές των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων είναι διαφορετικές από αυτές των χειμερινών. Στις περισσότερες αγροτικές περιοχές παρουσιάζεται μια αύξηση των βροχοπτώσεων. Πιο συγκεκριμένα, στις περιοχές της Λάρισας και της Εύβοιας θα αυξηθούν κατά 20%, ενώ στις περιοχές της Πέλλας και του Ηρακλείου κατά 15%, ακολουθούμενες από την Φθιώτιδα με μια αύξηση της τάξης του 10%. Στις περιοχές των Σερρών, της Αχαΐας, της Ηλείας, της Μεσσηνίας και της Αιτωλοακαρνανίας δεν παρουσιάζονται μεταβολές όσον αφορά τις φθινοπωρινές βροχοπτώσεις. Κατά την διάρκεια των άλλων εποχών παρατηρούνται μειώσεις παρόμοιες με αυτές του χειμώνα, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η συνολική εικόνα καταλήγει σε μικρές συνολικές μειώσεις των ετήσιων βροχοπτώσεων σε όλες τις περιοχές.

Πίνακας 1. *Συμπεράσματα για την γεωργία (κόκκινο: αύξηση, μπλε: μείωση).*
Table 1. *Conclusions for agriculture (red: increase, blue: reduction).*

	Διάρκεια ξηρής περιόδου (μέρες)	Κίνδυνος πυρκαγιάς (μέρες)	Μέρες $>35^{o}$ C	Νυχτερινοί παγετοί (μέρες)	Χειμερινές βροχοπτώσεις (%)	Φθινοπωρινές βροχοπτώσεις (%)
1. Ηράκλειο	10-20	15	15	-	15	15
2.Αιτωλοακαρνανία	10	10	15	-	5-10	-
3. Μεσσηνία	10	10	15	-	5-10	-
4.Λάρισα	10-15	20	20	10-15	5-10	20
5.Ηλεία	10	10	15	-	5-10	-
6.Αχαΐα	10	10	15	-	5-10	-
7.Εύβοια	>25	15	15	-	5-10	20
8.Σέρρες	15-20	20	20	10-15	15	-
9.Φθιώτιδα	20	20	15	10-15	5-10	10
10.Πέλλα	15-20	20	15	15	15	15



Σχήμα 2. Ποσοστιαίες μεταβολές στις (α) χειμερινές και (β) φθινοπωρινές βροχοπτώσεις (%) μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990 για επιλεγμένες αγροτικές περιοχές στην Ελλάδα. Αρίθμηση περιοχών στο χάρτη αντίστοιχη με την αρίθμηση περιοχών στον *Πίνακα 1*.

Figure 2. Percentage changes in (a) winter and (b) autumn precipitation (%) between the periods 2021-2050 and 1961-1990 in selected rural areas in Greece. Numbering of areas on the map corresponds to the numbered regions in Table 1.

2. Δασικές περιοχές

Τα δάση της Μεσογείου πλήττονται σε σταθερή βάση από μεγάλο αριθμό πυρκαγιών. Περίπου 50.000 πυρκαγιές καταστρέφουν από 700.000 έως 1.000.000 εκτάρια (7-10 εκ. στρέμματα) δασικών εκτάσεων ετησίως, προκαλώντας τεράστιες οικονομικές και οικολογικές καταστροφές. Η καταστροφή των δασών αποτελεί μείζον θέμα καθώς ως συνέπειες αυτού παρατηρούνται φαινόμενα όπως πλημμύρες, διάβρωση του εδάφους και επακόλουθη μείωση της γονιμότητας του. Οι δασικές πυρκαγιές όπως κάθε άλλη φυσική διαδικασία ενός οικοσυστήματος, επηρεάζονται πολύ εύκολα από την κλιματική αλλαγή καθώς η εξάπλωση της φωτιάς εξαρτάται άμεσα από την υγρασία της καύσιμης ύλης, που με τη σειρά της καθορίζεται από τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου. Παράλληλα η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών συνθηκών αναμένεται να έχει μεγάλη επίπτωση στην τρωτότητα των δασών από πυρκαγιές.

Μία εκτενής ανάλυση των κλιματικών παραμέτρων που έχουν άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στις δασικές περιοχές παρατίθεται στις επόμενες σελίδες, για τις σημαντικότερες προστατευόμενες δασικές περιοχές στην Ελλάδα, τους 10 εθνικούς δρυμούς της χώρας.

Υπολογίστηκαν οι αλλαγές στη μέση ελάχιστη χειμερινή θερμοκρασία. Η άνοδος αυτής μπορεί να επηρεάσει τα δάση που είναι συνηθισμένα σε ψυχρότερες συνθήκες. Αν οι συνθήκες γίνουν απαγορευτικές για ορισμένες κατηγορίες δασών (π.χ. δάση ελάτης), ενδέχεται αυτά να εξαφανιστούν από συγκεκριμένο υψόμετρο και να αρχίσουν να αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Οι Εθνικοί Δρυμοί θα έχουν περίπου κατά 1^{o}C θερμότερες ελάχιστες θερμοκρασίες το χειμώνα. Αυτή η άνοδος της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερη στους δρυμούς Βίκου-Αώου, Πίνδου, Πρεσπών, Παρνασσού και Όλυμπου όπου η αύξηση θα φτάσει τους 1,3^{o}C (Σχήμα 3α).

Οι μέσες μέγιστες θερινές θερμοκρασίες αυξάνονται περισσότερο από τις αντίστοιχες ελάχιστες χειμερινές. Αυτή η αύξηση ξεπερνά τους 1,5^{o}C φτάνοντας σε μερικές περιπτώσεις τους 2^{o}C. Οι περιοχές που επηρεάζονται περισσότερο είναι οι εθνικοί δρυμοί Βίκου-Αώου, Πίνδου, Ολύμπου, Οίτης, Πρεσπών, δηλαδή οι δρυμοί που βρίσκονται στο εσωτερικό της χώρας μακριά από την επίδραση της θάλασσας. Αντίθετα, περιοχές που επηρεάζονται από τη θαλάσσια αύρα παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες μεταβολές στις αντίστοιχες θερμοκρασίες. Τέτοιες περιοχές είναι τα Λευκά Όρη στην Κρήτη, ο Αίνος στην Κεφαλονιά και οι δρυμοί Σούνιο και Πάρνηθα στην Αττική (Σχήμα 3β).

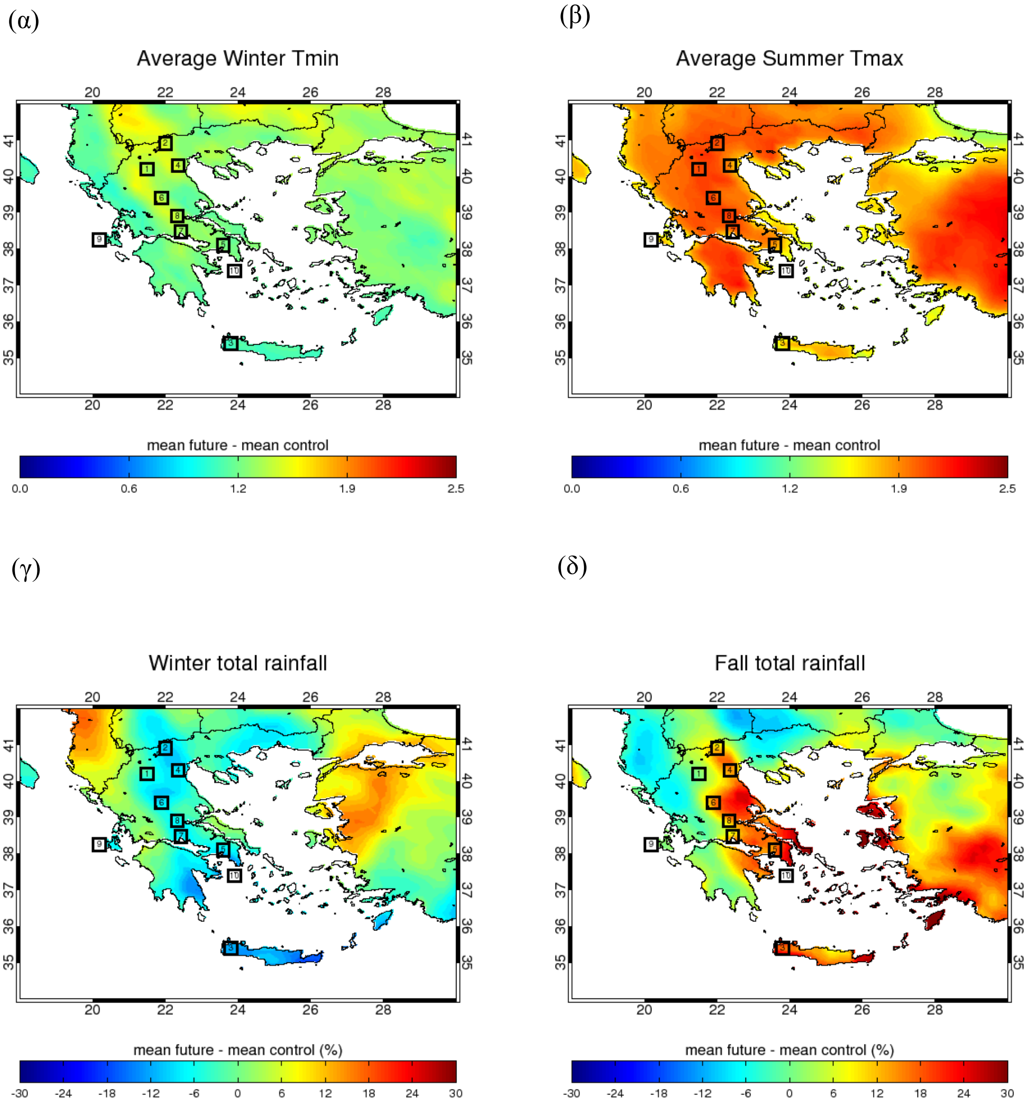
Οποιαδήποτε αλλαγή του υδρολογικού κύκλου που αφορά τη βροχόπτωση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις για την επιβίωση των δασών. Οι περισσότερες περιοχές των εθνικών δρυμών παρουσιάζουν μείωση στη χειμερινή βροχόπτωση. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση των βροχοπτώσεων φτάνει το 15% για τους δρυμούς Ολύμπου, Λευκών Ορέων, Αίνου και Πρεσπών. Μικρότερη μείωση βροχοπτώσεων που δε ξεπερνά το 10% παρατηρείται στους δρυμούς της Αττικής και σε αυτούς της Οίτης και του Παρνασσού. Οι δρυμοί Βίκου-Αώου και Πίνδου είναι οι μόνες περιοχές όπου δεν παρουσιάζονται αλλαγές στα πρότυπα των χειμερινών βροχοπτώσεων (Σχήμα 3γ). Όσον αφορά στη φθινοπωρινή βροχόπτωση (Σχήμα 3δ) το πρότυπο βροχόπτωσης ακολουθεί αντίστροφη μεταβολή σε σχέση με αυτό του χειμώνα. Οι περιοχές που παρουσιάζουν μείωση τον χειμώνα εμφανίζουν αύξηση στη φθινοπωρινή βροχόπτωση. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση κατά 15% των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων είναι εμφανής σε Πρέσπες, Όλυμπο, Σούνιο, Πάρνηθα, Παρνασσό και Οίτη. Τα Λευκά Όρη στην Κρήτη εμφανίζουν αύξηση κατά 10%. Αντίθετα οι δρυμοί Βίκου-Αώου και Πίνδου θα εμφανίσουν μείωση της τάξης του 5%. Για τον δρυμό του Αίνου στην Κεφαλονιά δεν προβλέπονται αλλαγές στη βροχόπτωση.

Πίνακας 2. *Συμπεράσματα για τους Εθνικούς Δρυμούς (κόκκινο : αύξηση , μπλε : μείωση).*
Table 2. Conclusions for National Parks (red: increase, blue: reduction).

Εθνικός Δρυμός	Μεταβολή της μέσης ελάχιστης χειμερινής θερμοκρασίας (°C)	Μεταβολή της μέσης μέγιστης θερινής θερμοκρασίας (°C)	Χειμερινή Βροχόπτωση (%)	Φθινοπωρινή Βροχόπτωση (%)	Κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς (ημέρες)	Διάρκεια περιόδων ανομβρίας (ημέρες)
1.Αίνος	1	1.5	15	-	5	15
2.Βίκος - Αώος	1.3	2	-	10	10	7
3.Πίνδος	1.3	2	-	10	10	7
4.Όλυμπος	1.3	2	15	15	10	7
5.Οίτη	1	2	10	15	15	7
6.Παρνασσός	1.3	1.5	10	15	10	15
7.Πάρνηθα	1	1.5	10	15	15	15
8.Σούνιο	1	1	10	15	10	7
9.Πρέσπες	1.3	2	15	15	10	15
10.Λευκά Όρη	1	1.5	15	10	10	15

Σχετικά με τον κίνδυνο πυρκαγιάς, οι περισσότερες περιοχές εμφανίζουν τάση αύξησης κατά 10 ημέρες στον αριθμό ημερών με εξαιρετικά μεγάλο κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς (Πρέσπες, Βίκος-Αώος, Πίνδος, Όλυμπος, Παρνασσός, Σούνιο, Λευκά Όρη). Μεγαλύτερη αύξηση της τάξεως των 15 ημερών ή και περισσοτέρων, αναμένεται στην Οίτη και στην Πάρνηθα ενώ ο Αίνος στην Κεφαλονιά έχει αμελητέα (αύξηση κατά 5 ημέρες) μεταβολή του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών (Σχήμα 4α).

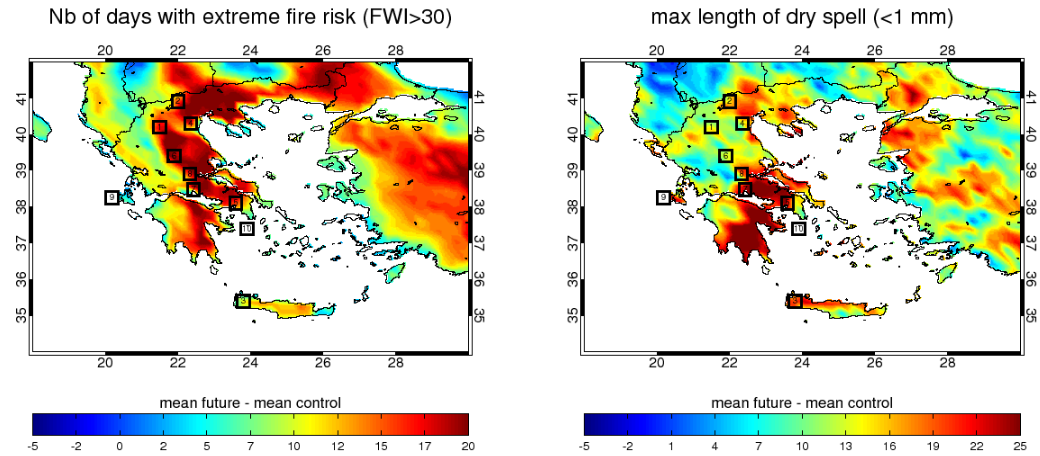
Σχετικά με τη διάρκεια των περιόδων ανομβρίας, οι ορεινοί δρυμοί σε μεγάλο ύψος στο εσωτερικό της χώρας όπως ο Όλυμπος, η Οίτη, ο Βίκος-Αώος, η Πίνδος παρουσιάζουν μικρή αύξηση περίπου 7 ημερών. Στους υπόλοιπους δρυμούς (Πάρνηθα, Πρέσπες, Παρνασσός, Αίνος, Λευκά Όρη) η αύξηση των περιόδων ανομβρίας είναι μεγαλύτερη φτάνοντας τις 15 ή και περισσότερες ημέρες. Ο δρυμός του Σουνίου εμφανίζει αύξηση της τάξης των 7 ημερών (Σχήμα 4β).



Σχήμα 3. Μεταβολές στις (α) μέσες ελάχιστες χειμερινές θερμοκρασίες, (β) μέσες μέγιστες θερινές θερμοκρασίες, (γ) στις χειμερινές βροχοπτώσεις (%), (δ) στις φθινοπωρινές βροχοπτώσεις μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990 για επιλεγμένες δασικές περιοχές στην Ελλάδα. Αρίθμηση περιοχών στο χάρτη αντίστοιχη με την αρίθμηση περιοχών στον *Πίνακα 2*.

Figure 3. Changes in (a) average minimum winter temperatures, (b) average maximum summer temperatures, (c) in winter precipitation (%) (d) autumn rainfall between the periods 2021-2050 and 1961-1990 for selected forest areas in Greece. Numbering of areas on the map corresponds to the numbered regions in Table 2.

(α) (β)



Σχήμα 4. Διαφοροποιήσεις στον αριθμό ημερών στη μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990 σε επιλεγμένες αγροτικές περιοχές στην Ελλάδα (α) στον αριθμό ημερών με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς, (β) στη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Αρίθμηση περιοχών στο χάρτη αντίστοιχη με την αρίθμηση περιοχών στον *Πίνακα 2*.

Figure 4. Variations in the number of days in between the periods 2021-2050 and 1961-1990 in selected rural areas in Greece (a) the number of days with an increased fire risk, (b) during the dry season. Numbering of areas on the map corresponds to the numbered regions in Table 2.

Οι προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων δείχνουν πως σε όλες τις υπό εξέταση και ιδίως στις βόρειες αγροτικές περιοχές αναμένονται αλλαγές στα κλιματικά δεδομένα της περιόδου 2020-2050. Έτσι, η διάρκεια των ξηρών ημερών αναμένεται να αυξηθεί σε όλες τις περιοχές, ενώ στην Εύβοια και στις βορειότερες από αυτές αναμένονται είκοσι ή και παραπάνω περισσότερες ξηρές ημέρες, πράγμα που προστάζει τη λήψη μέτρων για ορθή διαχείριση των υδάτων και πρόληψη της ερημοποίησης. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο σχετίζεται με τον κίνδυνο πυρκαγιάς που φαίνεται πως μεγαλώνει σχεδόν παντού, και ιδιαίτερα σε Σέρρες, Πέλλα, Φθιώτιδα και Λάρισα. Επιπλέον, η αναμενόμενη αύξηση των ημερών με θερμοκρασίες καύσωνα κατά 15-20 ημέρες σε όλες τις περιοχές είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα επιφέρει συνέπειες στην παραγωγικότητα ορισμένων καλλιεργειών. Μια αντιφατική εικόνα δίνεται από τις προβλέψεις για τις βροχοπτώσεις το φθινόπωρο και το χειμώνα. Ενώ, λοιπόν, το χειμώνα προβλέπεται μείωση των βροχοπτώσεων, ενδέχεται να παρατηρηθεί αύξηση στις φθινοπωρινές βροχές.

Εξετάστηκαν επίσης οι δέκα εθνικοί δρυμοί της χώρας, δηλαδή τα σημαντικότερα δασικά οικοσυστήματα. Το σημαντικότερο εύρημα της μελέτης είναι ότι θα αυξηθούν σε όλους τους εθνικούς δρυμούς οι ημέρες με υψηλό ρίσκο εμφάνισης πυρκαγιάς, από 5 ημέρες στον Αίνο της Κεφαλονιάς, έως 15 ημέρες σε Οίτη και Πάρνηθα. Οι δασικές πυρκαγιές, όμως, και γενικότερα η υγεία των δασικών οικοσυστημάτων δεν επηρεάζονται μόνο από τις υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και από τις ελάχιστες θερμοκρασίες, τις βροχοπτώσεις, τη σχετική υγρασία και τη διάρκεια περιόδων ανομβρίας. Και αυτές οι παράμετροι θα διαφοροποιηθούν στο εγγύς μέλλον. Για παράδειγμα, η μέση μέγιστη ελάχιστη θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά σχεδόν 1,3^{o}C στους δρυμούς Βίκου-Αώου, Πίνδου, Ολύμπου, Παρνασσού και Πρεσπών, η χειμερινή βροχόπτωση θα μειωθεί σχεδόν σε όλους τους δρυμούς έως και 15%, η φθινοπωρινή βροχόπτωση θα μειωθεί σε κάποιες περιπτώσεις (Βίκος-Αώος και Πίνδος) αλλά θα αυξηθεί στις υπόλοιπες κατά 10-15%, ενώ γενικά αναμένεται αύξηση των περιόδων ανομβρίας κατά μία έως δυο εβδομάδες. Όπως όλα δείχνουν οι κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας την περίοδο 2020-2050 θα επηρεάσουν καθοριστικά τα δασικά συστήματα.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε το WWF Ελλάς για τη χρηματοδότηση αυτής της μελέτης που ολοκληρωμένη μπορεί να βρεθεί στην ιστοσελίδα http://www.wwf.gr/images/pdfs/wwf-to_avrio_tis_elladas.pdf καθώς και το ευρωπαϊκό πρόγραμμα DeSurvey (www.desurvey.net) για επιπλέον χρηματοδότηση. Ευχαριστίες επίσης πηγαίνουν στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org) για την παροχή δεδομένων από περιοχικά κλιματικά μοντέλα.

Βιβλιογραφία

Lenderink G., van den Hurk B., van Meijgaard E., van Ulden A., Cuijpers H., 2003 Simulations of present day climate in RACMO2: first results and model developments. Technical report TR-252, Royal Netherlands Meteorological Institute

Lenderink GA, van Ulden B, van den Hurk B, van Meijgaard E., 2007. Summertime inter-annual temperature variability in an ensemble of regional model simulations: analysis of the surface energy budget. Clim. Change, 81: 233-247. doi:10.1007/s10584-006-9229-9

Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Jung TY, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z, 2000. Special Report on Emission Scenarios, Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, 595 p

Δημιουργία και δοκιμή ενός χωρικά κατανεμημένου συνεχούς υδρολογικού μοντέλου για την εκτίμηση της ερημοποίησης.

Κωνσταντίνος Σούλης, Μανώλης Ψωμιάδης, Πέτρος Κερκίδης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.
email: soco@aua.gr, mpsomiadis@aua.gr, lhyd2kep@aua.gr

Περίληψη

Η ερημοποίηση επηρεάζει σημαντικά τα φυσικά οικοσυστήματα, την οικονομία και τη ζωή των τοπικών κοινωνιών, ενώ από αυτή απειλείται περίπου το 35% της έκτασης της Ελλάδας. Η ερημοποίηση συνδέεται αμφίδρομα με τους υδάτινους πόρους, αφού η έλλειψη νερού και η έντονη διάβρωση των εδαφών είναι σημαντικοί παράγοντες εμφάνισης της ερημοποίησης ενώ η ερημοποίηση συνδέεται με την περαιτέρω μείωση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η Ελλάδα, αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα έλλειψης νερού και σημαντικό κίνδυνο ερημοποίησης, λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας στη χωρική και χρονική κατανομή των υδατικών της πόρων και της γεωμορφολογίας της, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις. Τα προβλήματα αναμένεται να επιδεινωθούν στο άμεσο μέλλον λόγω της έντονης οικονομικής ανάπτυξης και της αυξημένης αβεβαιότητας που προκαλεί το φαινόμενο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν ολοφάνερη την ανάγκη ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων και των γαιών στην Ελλάδα. Παρά τα οξύτατα προβλήματα όμως, η ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων δυσχεραίνεται ιδιαίτερα από την έλλειψη επαρκών δεδομένων, κυρίως υδρολογικών, μετεωρολογικών και χωρικών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός κατανεμημένου, συνεχούς, υδρολογικού μοντέλου, στο πλαίσιο ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (GIS), το οποίο μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την διαχείριση των υδατικών πόρων και την εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης στις Ελληνικές συνθήκες.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών κατά της Ερημοποίησης, αυτή ορίζεται ως η υποβάθμιση των γαιών από διάφορους φυσικούς παράγοντες και ανθρώπινες δραστηριότητες σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην μπορούν πλέον να υποστηρίξουν την ανάπτυξη της γεωργίας της κτηνοτροφίας ή των δασών, επηρεάζοντας τα φυσικά οικοσυστήματα, την οικονομία και τη ζωή των τοπικών κοινωνιών. Από την ερημοποίηση απειλούνται περίπου το 47% της στερεάς επιφάνειας της γης και το 35% της έκτασης της Ελλάδας.

Η ερημοποίηση συνδέεται άμεσα με τους υδάτινους πόρους, αφού η έλλειψη νερού και η έντονη διάβρωση των εδαφών είναι σημαντικοί παράγοντες εμφάνισης της ερημοποίησης ενώ η ερημοποίηση συνδέεται με την περεταίρω μείωση των υδατικών πόρων. Η Ελλάδα, παρότι χαρακτηρίζεται από άφθονους υδάτινους πόρους, αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα έλλειψης νερού και σημαντικό κίνδυνο ερημοποίησης, λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας στη χωρική και χρονική κατανομή των υδατικών της πόρων (Karavitis and Kerkides, 2002) και της γεωμορφολογίας της η οποία χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις.

Οξύτερα προβλήματα αντιμετωπίζουν περιοχές της ανατολικής Ελλάδας και κυρίως γεωγραφικά απομονωμένες περιοχές, στις οποίες είναι εξαιρετικά δύσκολη η μεταφορά νερού από περιοχές με πλουσιότερους υδάτινους πόρους. Παράδειγμα τέτοιων περιοχών είναι τα Ελληνικά Νησιά, στα οποία το πρόβλημα έλλειψης νερού επιδεινώνεται σημαντικά λόγω της αυξημένης τουριστικής δραστηριότητας, η οποία μάλιστα κορυφώνεται κατά την ξηρή περίοδο του έτους. Επιπρόσθετα, οι κακές πρακτικές χρήσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων που ακολουθούνται τα τελευταία χρόνια έχουν προκαλέσει τη σημαντική υποβάθμιση ακόμα και των λιγοστών διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων στις περιοχές αυτές, κυρίως μέσω του φαινομένου της υφαλμύρινσης των παράκτιων υδροφορέων. Λόγω της κακής διαχείρισης των εδαφών τους, οι περιοχές αυτές απειλούνται επίσης ιδιαίτερα από το φαινόμενο της ερημοποίησης. Τα προβλήματα που περιγράφονται παραπάνω αναμένεται να επιδεινωθούν στο άμεσο μέλλον λόγω της έντονης οικονομικής ανάπτυξης, ενώ η επίλυσή τους θα γίνεται ολοένα και δυσχερέστερη υπό το καθεστώς αυξημένης αβεβαιότητας που προκαλεί το φαινόμενο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

Γίνεται λοιπόν ολοφάνερη η ανάγκη ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων και των γαιών στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στις περιοχές που παρουσιάζουν εντονότερα προβλήματα. Ποιά είναι όμως τα προαπαιτούμενα για την ορθή διαχείριση εκτός από την πολιτική βούληση, η οποία είναι πάντα η βασική προϋπόθεση; Τα προαπαιτούμενα αυτά είναι η ύπαρξη εκτεταμένης γνώσης και εμπειρίας στη διαχείριση των υδατικών πόρων και των γαιών και η χρήση κατάλληλων εργαλείων προσαρμοσμένων στις συνθήκες της χώρας. Όλα αυτά ωστόσο βασίζονται στη χρήση επαρκών και αξιόπιστων μετεωρολογικών και υδρολογικών δεδομένων, καθώς και στην ύπαρξη αξιόπιστων χωρικών δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα οι Εδαφολογικοί και οι Γεωλογικοί χάρτες.

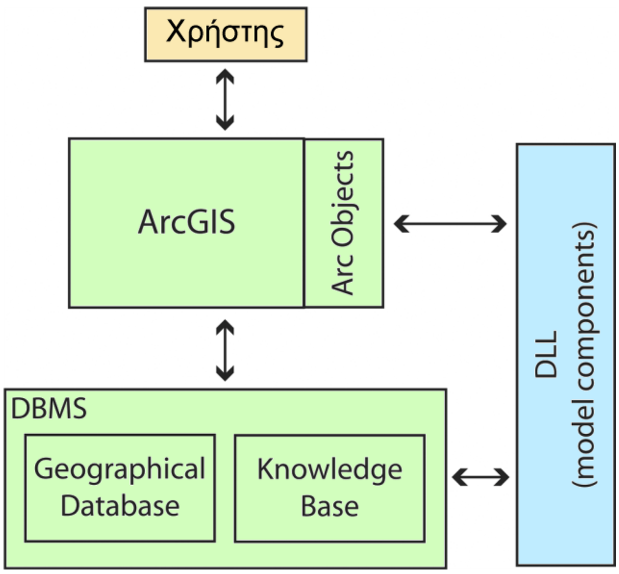
Στην Ελλάδα, παρά τα οξύτατα προβλήματα, οι παραπάνω προϋποθέσεις ικανοποιούνται σε ελάχιστο βαθμό. Σημαντικότερη έλλειψη είναι αυτή των υδρολογικών δεδομένων, ενώ σημαντικές ελλείψεις παρατηρούνται ακόμα στα διαθέσιμα μετεωρολογικά και χωρικά δεδομένα (κυρίως εδαφολογικά). Και αν η έλλειψη διαθέσιμων χωρικών δεδομένων μπορεί εν μέρει να αντιμετωπιστεί με επιτόπιες παρατηρήσεις, η αβεβαιότητα που προκαλεί η έλλειψη υδρολογικών και μετεωρολογικών παρατηρήσεων είναι πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστεί.

Απαιτείται λοιπόν η ανάπτυξη εξειδικευμένων εργαλείων, προσαρμοσμένων στις τοπικές συνθήκες και στις ανάγκες που καλούνται να καλύψουν, τα οποία να παρέχουν όσο το δυνατό πιο αξιόπιστα αποτελέσματα βασιζόμενα στα περιορισμένα διαθέσιμα δεδομένα εισόδου. Απαραίτητη προϋπόθεση για το σκοπό αυτό είναι η συστηματική ανάλυση των υδρολογικών διεργασιών που καθορίζουν το υδατικό ισοζύγιο στις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες. Είναι άρα εξίσου σημαντική η οργάνωση πλήρως εξοπλισμένων αντιπροσωπευτικών πειραματικών υδρολογικών λεκανών, με τα δεδομένα των οποίων θα γίνει εφικτή η διερεύνηση των υδρολογικών διεργασιών και η προσαρμογή των προαναφερόμενων εργαλείων στις τοπικές συνθήκες.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός κατανεμημένου, συνεχούς, υδρολογικού μοντέλου, στο πλαίσιο ενός Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (GIS). Ως υπόβαθρο για την ανάπτυξη και τη δοκιμή του υδρολογικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε μια πειραματική υδρολογική λεκάνη στον χείμαρρο Λυκόρρεμα, στην Ανατολική πλευρά του όρους Πεντέλη του νομού Αττικής, η οποία οργανώθηκε για αυτό το σκοπό. Επίσης παρουσιάζονται οι δοκιμαστικές εφαρμογές του μοντέλου οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του, της λειτουργικότητάς του, της καταλληλότητας του εννοιολογικού σχήματος που χρησιμοποιήθηκε και την αποσφαλμάτωσή του. Οι κυριότερες εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν στην πειραματική υδρολογική λεκάνη, στη νήσο Νάξο (Soulis and Dercas, 2007), και σε όλη την έκταση της Ελλάδας (Kerkides et al., 2007).

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Το λογισμικό AgroHydroLogos αποτελείται από μια κατάλληλα δομημένη γεωγραφική βάση δεδομένων, μια βάση γνώσης, ένα σύνολο εργαλείων προετοιμασίας των δεδομένων και ανάλυσης των αποτελεσμάτων και τον πυρήνα του υδρολογικού μοντέλου. Το μοντέλο αναπτύσσεται στο πλαίσιο του πακέτου λογισμικού Γ.Π.Σ. ArcGIS της εταιρίας ESRI. Η ανάπτυξή του βασίζεται στη λειτουργικότητα των ArcObjects, την οποία παρέχει το λογισμικό ArcGIS.



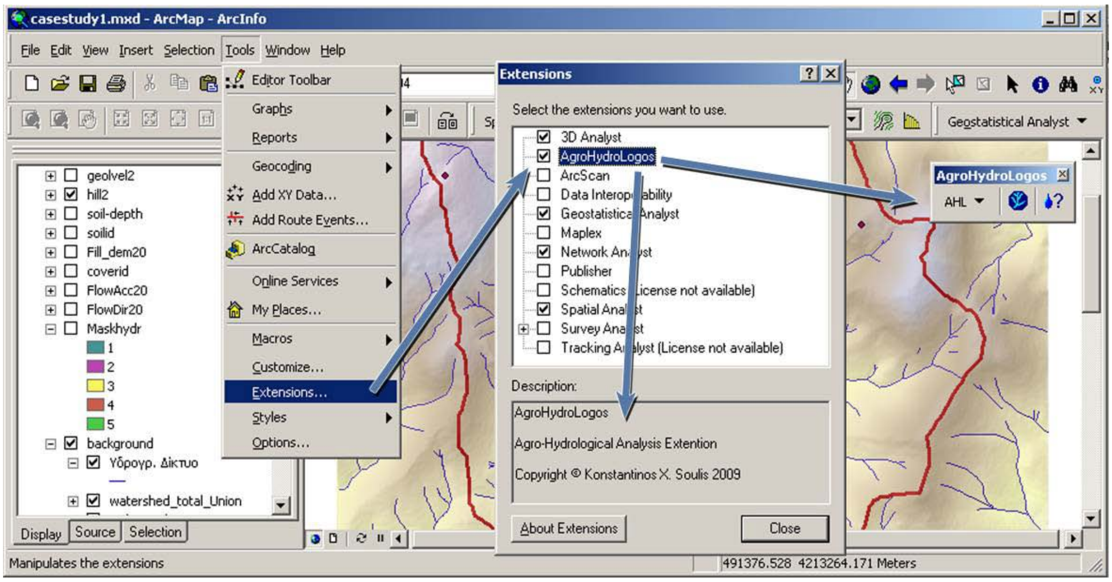
Σχήμα 1. *Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του μοντέλου.*
Figure 1. *Illustration of the model structure.*

ArcObjects ονομάζεται η βιβλιοθήκη των βασικών, ανεξάρτητων, αυτοτελών μονάδων λογισμικού (Components), η οποία παρέχει τη βασική λειτουργικότητα και αποτελεί το θεμέλιο ανάπτυξης του λογισμικού ArcGIS. Τα ArcObjects έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την αρχιτεκτονική της εταιρίας Microsoft Component Object Model (COM). Για το λόγο αυτό είναι δυνατό να διευρυνθούν, μέσω της δημιουργίας νέων μονάδων λογισμικού συμβατών με την αρχιτεκτονική Microsoft COM, χρησιμοποιώντας κάποια συμβατή γλώσσα με αυτή την αρχιτεκτονική.

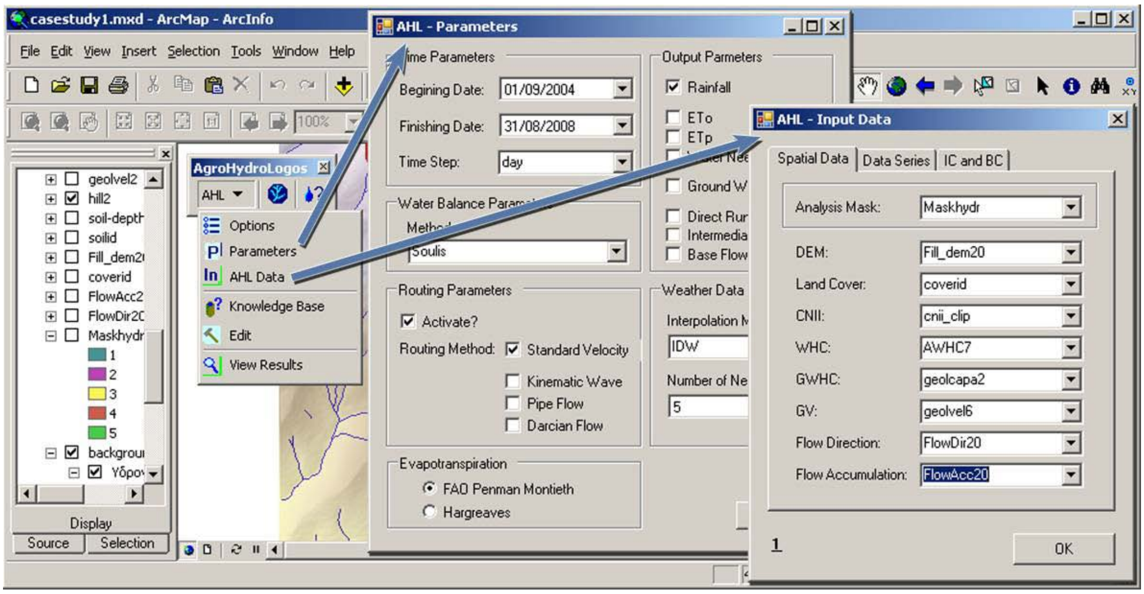
Το λογισμικό AgroHydroLogos αναπτύχθηκε σύμφωνα με το πρότυπο Microsoft COM, χρησιμοποιώντας τη λειτουργικότητα των ArcObjects και κατόπιν συνδέθηκε με το λογισμικό ArcGIS σαν επέκταση των δυνατοτήτων του (extension). Η ανάπτυξη του μοντέλου έγινε με τη χρήση τεχνικών αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (OOP - Object Oriented Programming) με τη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic .NET. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ευελιξία και καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με την ανάπτυξη χρησιμοποιώντας την εσωτερική γλώσσα Visual Basic for applications (VBA) ή άλλες γλώσσες μακροεντολών (Σχήμα 1.).

2.1 Γραφικό Περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη.

Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) του λογισμικού είναι ιδιαίτερα απλό και ακολουθεί το πρότυπο των επεκτάσεων (extentions) του ArcGIS. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης αντιμετωπίζει ένα γνώριμο περιβάλλον και μπορεί να εξοικειωθεί με αυτό πολύ γρήγορα. Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση του λογισμικού γίνεται χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη επιλογή του λογισμικού ArcGIS (Σχήμα 2 και 3). Η ίδια επιλογή, όπως φαίνεται στο σχήμα, χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση και των υπολοίπων επεκτάσεων του λογισμικού ArcGIS. Η δυνατότητα απενεργοποίησης του λογισμικού επιτρέπει την απελευθέρωση των απαιτούμενων πόρων υπολογιστή όταν αυτό δε χρησιμοποιείται. Οι βασικές λειτουργίες του λογισμικού εκτελούνται από την αντίστοιχη εργαλειοθήκη, ακολουθώντας πάντα το πρότυπο λειτουργίας του ArcGIS. Πολύ σημαντικό στοιχείο της λειτουργικότητας του λογισμικού είναι η δυνατότητα χρήσης οποιασδήποτε πηγής χωρικών δεδομένων (απλά αρχεία, απλές ή πολυχρηστικές γεωγραφικές βάσεις δεδομένων), αρκεί τα δεδομένα αυτά να μπορούν να εισαχθούν στο ArcGIS και να έχουν γεωγραφική αναφορά. Η λειτουργικότητα αυτή εξασφαλίζεται μέσω της χρήσης των αντίστοιχων εργαλείων του λογισμικού ArcGIS. Ένα επιπλέον σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η αποθήκευση όλων των επιλογών και των παραμέτρων του λογισμικού στο αρχείο του λογισμικού ArcGIS (.mxd) μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία της εφαρμογής του λογισμικού. Με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται η χωριστή αποθήκευση των παραμέτρων του ArcGIS και του υδρολογικού μοντέλου και έτσι διευκολύνεται η οργάνωση των δεδομένων.



Σχήμα 2. *Επιλογή, φόρμα ενεργοποίησης και βασική εργαλειοθήκη του λογισμικού AgroHydroLogos.*
Figure 2. *Print screen of AgroHydroLogos extention activation and toolbar.*



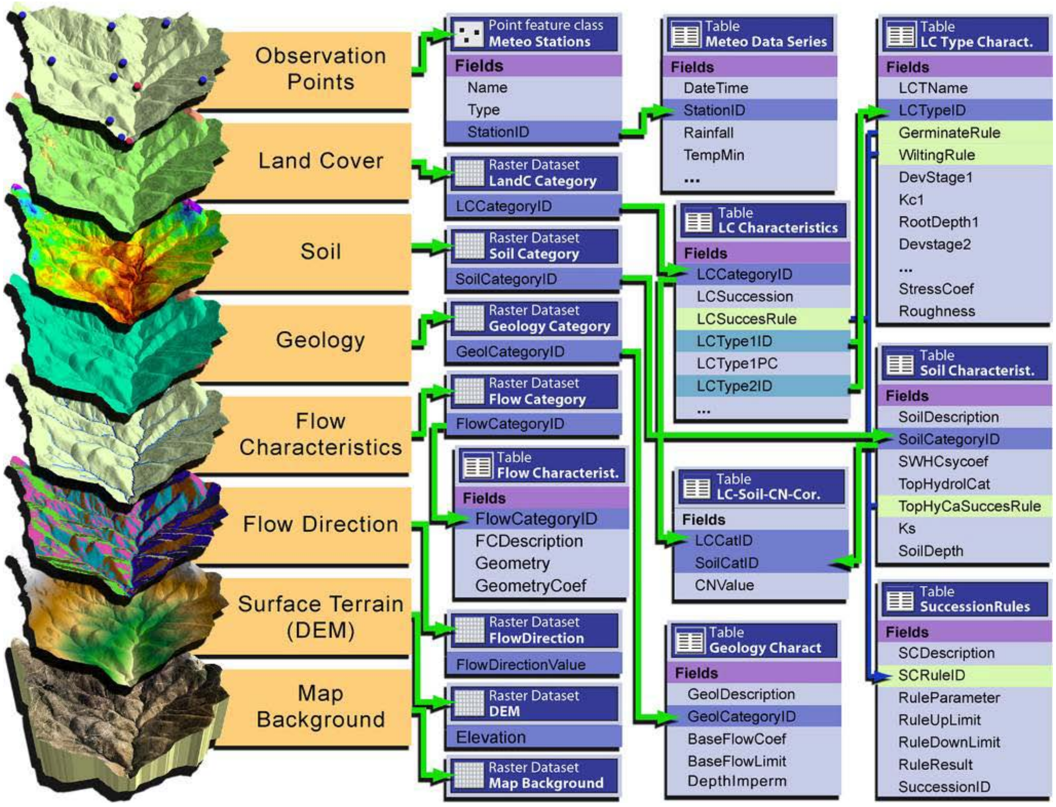
Σχήμα 2. *Βασικό μενού και διάφορες φόρμες του λογισμικού AgroHydroLogos.*
Figure 2. *Print screen of AgroHydroLogos main menu and forms.*

2.2 Γεωγραφική Βάση Δεδομένων

Το λογισμικό λειτουργεί ως τμήμα του Γ.Π.Σ. σε δυναμική σύνδεση με τη Γεωγραφική Βάση Δεδομένων. Τα δεδομένα εισόδου προέρχονται απευθείας από τη γεωγραφική βάση δεδομένων και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται επίσης σε αυτή. Κατ'αυτό τον τρόπο, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε όλες τις δυνατότητες του Γ.Π.Σ., είτε αυτές αφορούν στην προετοιμασία των δεδομένων, είτε αφορούν στη διαχείριση και αποθήκευση των δεδομένων, είτε αφορούν στην ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Οι δυνατότητες αυτές παρέχονται μέσω ενός γνώριμου και φιλικού περιβάλλοντος διεπαφής με το χρήστη. Επίσης, εξασφαλίζεται η πρόσβαση σε όλες τις δυνατότητες ενός συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων.

Ο διαφορετικός τρόπος αναπαράστασης του χώρου και του χρόνου στα Γ.Π.Σ. και στα υδρολογικά μοντέλα, αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο για την ενσωμάτωση των υδρολογικών μοντέλων στα Γ.Π.Σ. Παρότι ο χρόνος είναι ένα θεμελιώδες στοιχείο για τα υδρολογικά μοντέλα, τα υπάρχοντα λογισμικά Γ.Π.Σ. δεν περιγράφουν επαρκώς τη διάσταση του χρόνου. Για το λόγο αυτό η ανάπτυξη ενός υδρολογικού μοντέλου ενσωματωμένου στο Γ.Π.Σ. απαιτεί την ανάπτυξη ενός κοινού οντολογικού σχήματος το οποίο να είναι συμβατό με το υδρολογικό μοντέλο και με το Γ.Π.Σ.

Στη δομή της γεωγραφικής βάσης δεδομένων, η οποία σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της ανάπτυξης του παρόντος λογισμικού, τα βασικά συστατικά της υδρολογικής λεκάνης αναπαριστούνται από ένα σύνολο γεωγραφικών δομών δεδομένων (geographical data objects) όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 4. Οι δομές αυτές αποτελούνται από πλεγματικά γεωγραφικά δεδομένα τα οποία συνδέονται με αντίστοιχους πίνακες που περιέχουν τα αντίστοιχα δεδομένα για την περιγραφή των απαραίτητων ιδιοτήτων της υδρολογικής λεκάνης.



Σχήμα 4. *Σχηματική απεικόνιση της δομής της Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων*
Figure 4. *Illustration of the conceptual spatio-temporal geographical data model.*

2.3 Μετεωρολογικές Παράμετροι

Σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο ή σε απομονωμένες περιοχές, όπως τα νησιά, οι διαθέσιμες μετεωρολογικές παρατηρήσεις είναι πολύ περιορισμένες και αφορούν συνήθως θέσεις που βρίσκονται στα πεδινά τμήματα ή στις παράκτιες περιοχές. Για τους παραπάνω λόγους, οι πληροφορίες αυτές δεν χαρακτηρίζουν τη χωρική ανομοιομορφία των μετεωρολογικών παραμέτρων και δεν αντικατοπτρίζουν την επίδραση του ανάγλυφου της περιοχής (Brito E. et al., 1999).

Σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος, η διαδικασία εκτίμησης της χωρικής κατανομής των μετεωρολογικών παραμέτρων πραγματοποιείται με τη χρήση μεθόδων παρεμβολής σε συνδυασμό με τη μεταβολή των παραμέτρων ανάλογα με το ανάγλυφο.

Αναλυτικά, η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Επιλογή των μετεωρολογικών σταθμών που θα χρησιμοποιηθούν από τη γεωγραφική βάση δεδομένων.
- Επιλογή των παραμέτρων και έλεγχος της διαθεσιμότητας των δεδομένων για τις παραμέτρους αυτές.
- Επιλογή της μεθόδου παρεμβολής (Thiessen Polygons ή Inverse Distance Weight) και των παραμέτρων της μεθόδου.
- Υπολογισμός της βαρύτητας του κάθε σταθμού για το κάθε κελί του πλέγματος.
- Υπολογισμός των τιμών των παραμέτρων σε κάθε κελί του.

Με αυτή τη μεθοδολογία γίνεται εφικτός ο υπολογισμός της χωρικής κατανομής των παραμέτρων σε κάθε χρονικό βήμα, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνεται η απόδοση του μοντέλου αφού ο υπολογισμός της βαρύτητας κάθε σταθμού γίνεται μια μόνο φορά.

2.4 Χωρική Ανάλυση

Οι βασικοί στόχοι που επιτυγχάνονται με τη λειτουργία ενός υδρολογικού μοντέλου σε χωρικά κατανεμημένη μορφή είναι η περιγραφή της χωρικής μεταβολής των αποτελεσμάτων και η ελαχιστοποίηση των παραμέτρων που απαιτούν βαθμονόμηση (Schumann and Geyer, 2000).Τα συγκεντρωτικά μοντέλα, απαιτούν πολύ μικρότερη υπολογιστική ισχύ και πολλές φορές παράγουν εξίσου ακριβή αποτελέσματα με τα κατανεμημένα, με την προϋπόθεση όμως της συστηματικής βαθμονόμησής τους στην περιοχή εφαρμογής τους.

Τα αποτελέσματα όμως των χωρικά κατανεμημένων μοντέλων δεν είναι ανεξάρτητα από τη χωρική τους ανάλυση. Αντίθετα, σε πολλές εργασίες διαπιστώθηκε η ύπαρξη σχέσης μεταξύ των αποτελεσμάτων και του μεγέθους του κελιού του πλέγματος. Γενικά, τα μικρότερα μεγέθη κελιών συνεπάγονται καλύτερη ακρίβεια στην αναπαράσταση των χωρικά κατανεμημένων μεταβλητών, αλλά ταυτόχρονα συνεπάγονται πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και μεγαλύτερη απαίτηση για υπολογιστική ισχύ. Οι Zhang and Montgomery (1994), διαπίστωσαν ότι σε υδρολογικές λεκάνες με έντονες κλίσεις, οι εκτιμώμενες κλίσεις αυξάνουν όσο το μέγεθος του κελιού του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, από το οποίο υπολογίζονται, αυξάνει και ότι μεγάλα μεγέθη κελιού συνεπάγονται την μη περιγραφή των τμημάτων με έντονες κλίσεις. Οι Garbrecht and Martz 1994, Thieken 1999 και Wang et al., 2000, επίσης διαπίστωσαν ότι αυξάνοντας το μέγεθος του κελιού του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου μειώνεται η ακρίβεια αναπαράστασης του υδρογραφικού δικτύου και των ορίων των υδρολογικών λεκανών.

Παρόλα αυτά, μικρότερο μέγεθος κελιού δεν συνεπάγεται πάντα καλύτερα αποτελέσματα. Οι Zhang and Montgomery (1994), διαπίστωσαν ότι, όταν το μέγεθος κελιού του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου είναι μικρότερο από την ανάλυση των αρχικών δεδομένων από τα οποία δημιουργήθηκε, δημιουργούνται τεχνητές παραμορφώσεις, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένη αναπαράσταση των κλίσεων και της διεύθυνσης ροής.

Το μέγεθος του κελιού έχει επίσης επίδραση και στην εκτίμηση της απορροής από τα υδρολογικά μοντέλα. Αυτό οφείλεται, τόσο στην επίδραση του μεγέθους κελιού στην αναπαράσταση της γεωμορφολογίας της υδρολογικής λεκάνης, όσο και στην μεταβλητότητα των διαφόρων χαρακτηριστικών που περιγράφονται μέσα σε κάθε κελί (Rojas et al. 2008, Wu et al. 2007).

Στο περιγραφόμενο μοντέλο, το μέγεθος του κελιού εξαρτάται από την ανάλυση των δεδομένων εισόδου. Το μέγεθος κελιού του μοντέλου μπορεί να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το μέγεθος κελιού των δεδομένων εισόδου. Παρόλα αυτά, δεν έχει πραγματοποιηθεί συστηματική ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του μοντέλου στο μέγεθος του κελιού.

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

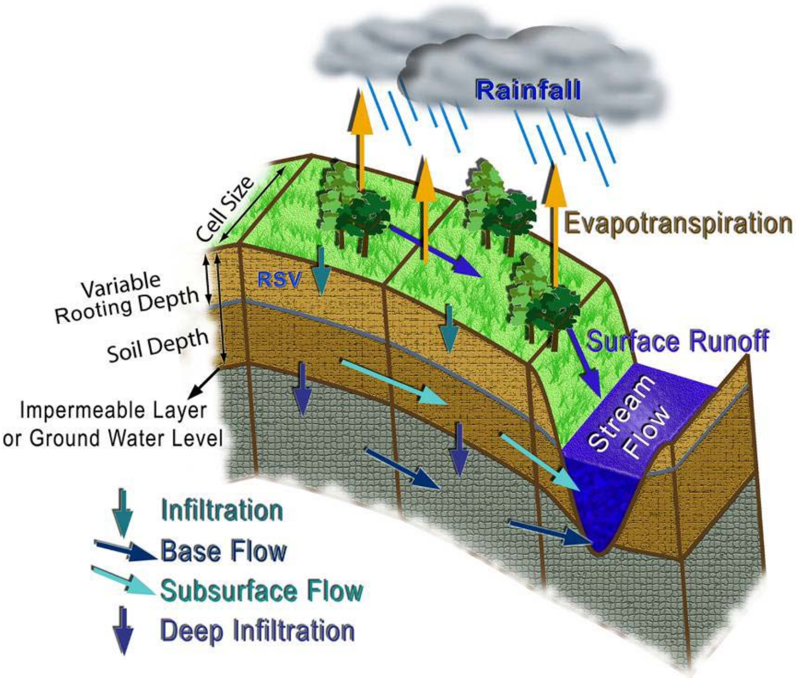
Ο πυρήνας του λογισμικού αγροϋδρολογικής ανάλυσης AgroHydroLogos είναι το υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης. Το αναπτυσσόμενο υδρολογικό μοντέλο λειτουργεί με ημερήσιο χρονικό βήμα σε λεπτομερή χωρική ανάλυση. Το ημερήσιο χρονικό βήμα επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο γιατί ενώ περιγράφει με αρκετή λεπτομέρεια τις διεργασίες που καθορίζουν το υδατικό ισοζύγιο, ταυτόχρονα επιτρέπει την προσομοίωση μεγάλων χρονικών διαστημάτων και τη χρήση ευρέως διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων, τα οποία συνήθως παρέχονται σε ημερήσιο ή μηνιαίο χρονικό βήμα. Επίσης, η χρήση ημερήσιου χρονικού βήματος, επιτρέπει τη διερεύνηση σεναρίων κλιματικής αλλαγής αφού τα σενάρια τα οποία παράγονται από τα κλιματικά μοντέλα έχουν επίσης ημερήσιο ή μηνιαίο χρονικό βήμα.

Το εννοιολογικό σχήμα που ακολουθεί το μοντέλο για την προσομοίωση των διάφορων υδρολογικών διεργασιών σχεδιάστηκε κατάλληλα ώστε να εξασφαλίζει:

- Την εκτίμηση των απαιτούμενων αποτελεσμάτων σε χωρικά κατανεμημένη μορφή σύμφωνα με τους στόχους ανάπτυξης του μοντέλου.
- Τη χρήση απλοποιημένων, αλλά τεκμηριωμένων μεθόδων, οι οποίες να βασίζονται σε όσο το δυνατό λιγότερες παραμέτρους.
- Τη χρήση παραμέτρων και δεδομένων εισόδου, τα οποία να προκύπτουν από ευρέως διαθέσιμα αρχικά δεδομένα ή από δεδομένα, τα οποία μπορούν εύκολα να καταγραφούν.
- Τη δυνατότητα χρήσης του μοντέλου σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν υδρομετρικά δεδομένα, όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας.
- Τη δυνατότητα χρήσης του μοντέλου σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές.

Με βάση την προσέγγιση που ακολουθήθηκε, υπολογίζονται σε χωρικά κατανεμημένη μορφή οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου και ταυτόχρονα παράμετροι, όπως το υδατικό στρες των φυτών και ο κίνδυνος ερημοποίησης.

Η ακολουθούμενη προσέγγιση περιλαμβάνει: το διαχωρισμό της ημερήσιας βροχόπτωσης σε άμεση απορροή και διήθηση, τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας, τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, τον υπολογισμό της τροφοδοσίας του υδροφόρου ορίζοντα και τον υπολογισμό της βασικής απορροής. Μια σχηματική απεικόνιση των διεργασιών αυτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. *Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού σχήματος του υδρολογικού μοντέλου.*
Figure 5. *Schematic representation of the model conceptual scheme.*

3.1. Υδατικό Ισοζύγιο

Το υδατικό ισοζύγιο του εδαφικού όγκου αναφοράς αποτελεί το συνδετικό παράγοντα για τον υπολογισμό όλων των συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου. Η εδαφική υγρασία είναι απαραίτητη αρχική συνθήκη για τις μεθόδους υπολογισμού της διήθησης, της άμεσης απορροής, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της βαθιάς διήθησης, ενώ έμμεσα επιδρά στον υπολογισμό της βασικής απορροής.

Ως εδαφικός όγκος αναφοράς ορίζεται το επιφανειακό εδαφικό στρώμα, το οποίο σε περιπτώσεις εδαφών με μεγάλο βάθος περιορίζεται στο βάθος του ριζοστρώματος.

Η υγρασία του εδαφικού όγκου αναφοράς καθορίζεται από την επίδραση του διηθούμενου νερού, το οποίο προκύπτει ως η διαφορά του συνολικού ύψους βροχής και της άμεσης απορροής, καθώς και από την επίδραση της εξατμισοδιαπνοής και της κίνησης του νερού σε βαθύτερα στρώματα:

$$SM_i - SM_{i-1} = P_i - Q_i - aET_i - DP_i \qquad (1)$$

όπου SM_{i-1} και SM_i (mm) είναι τα ύψη αποθηκευμένου νερού στον εδαφικό όγκο αναφοράς την προηγούμενη και την τρέχουσα ημέρα αντίστοιχα, P_i (mm) είναι το συνολικό ύψος βροχής την τρέχουσα ημέρα, Q_i (mm) είναι το ύψος της άμεσης απορροής την τρέχουσα ημέρα, αET_i (mm) είναι το ύψος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής την τρέχουσα ημέρα και DP_i (mm) είναι το ύψος της βαθιάς διήθησης την τρέχουσα ημέρα.

Κατά τη διάρκεια των υγρών εποχών, οπότε το ύψος του νερού που διηθείται είναι μεγαλύτερο από το ύψος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, το ύψος αποθηκευμένου νερού στον εδαφικό όγκο αναφοράς μπορεί να φτάσει μέχρι μια μέγιστη τιμή ίση με τη χωρητικότητα του εδαφικού όγκου αναφοράς, η οποία καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά και το βάθος της ανώτερης εδαφικής στρώσης. Κατά τη διάρκεια των ξηρών εποχών του έτους το έδαφος ξηραίνεται υπό την επίδραση της εξατμισοδιαπνοής.

Η εδαφική υγρασία, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί έναν κρίσιμο ρυθμιστικό παράγοντα για την κίνηση του νερού κατά τις διάφορες υδρολογικές διεργασίες. Υψηλές τιμές εδαφικής υγρασίας μειώνουν το ρυθμό διήθησης (η εδαφική υγρασία υπεισέρχεται στον καθορισμό του αριθμού καμπύλης CN), αυξάνουν το ρυθμό πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και επίσης αυξάνουν το ρυθμό κίνησης του νερού προς τα βαθύτερα στρώματα. Αντίθετα, χαμηλές τιμές εδαφικής υγρασίας αυξάνουν το ρυθμό διήθησης και περιορίζουν το ρυθμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της βαθιάς διήθησης (Σχήμα 5)

Το ύψος αποθηκευμένου νερού στον εδαφικό όγκο αναφοράς αποτελεί μια σημαντική αρχική συνθήκη για την εφαρμογή του μοντέλου. Η εκτίμησή του όμως είναι εξαιρετικά δύσκολη, λόγω της μεγάλης χρονικής και χωρικής ανομοιομορφίας. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί ευκολότερα σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους, κατά τις οποίες το ύψος αποθηκευμένου νερού στον εδαφικό όγκο αναφοράς τείνει στις οριακές του τιμές (ελάχιστο στο τέλος της ξηρής περιόδου και μέγιστο στο τέλος της υγρής περιόδου). Μία δεύτερη μέθοδος για την εκτίμηση της αρχικής εδαφικής υγρασίας είναι η εκτέλεση του μοντέλου για χρονική περίοδο ενός έτους και με τυχαίο αρχικό ύψος αποθηκευμένου νερού στον εδαφικό όγκο αναφοράς. Η χωρική κατανομή του ύψους αποθηκευμένου νερού στον εδαφικό όγκο αναφοράς, το οποίο θα προκύψει μετά από ένα έτος, ρυθμίζεται αυτόματα κατά την εναλλαγή ξηρών και υγρών περιόδων ανεξάρτητα από την αρχική συνθήκη.

3.2.Άμεση Απορροή

Η άμεση πορροή υπολογίζεται σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, της κάλυψης και της προηγούμενης εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο του αριθμού καμπύλης (Soil Conservation Service Curve Number method, SCS-CN).

Η μέθοδος του αριθμού καμπύλης χρησιμοποιείται ευρύτατα για την εκτίμηση της άμεσης απορροής για ένα γεγονός βροχόπτωσης. Η μέθοδος αυτή αρχικά αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας των Εδαφών του Υπουργείου Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service) και περιγράφεται αναλυτικά στο σχετικό εγχειρίδιο National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology (NEH-4) (SCS 1956, 1964, 1971, 1985, 1993).

Η μέθοδος, λόγω κυρίως της απλότητάς της, σύντομα έγινε μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές στη μελέτη της υδρολογίας μικρών υδρολογικών λεκανών (Mishra and Singh, 2006). Ο σημαντικότερος λόγος για την επιτυχία της είναι ότι λαμβάνει υπόψη τους κύριους παράγοντες που επιδρούν στο σχηματισμό άμεσης απορροής, συμπεριλαμβανομένων του τύπου του εδάφους, την κάλυψη και τη χρήση γης, των συνθηκών στην επιφάνεια του εδάφους και την προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση, ενσωματώνοντάς τους σε μια μοναδική παράμετρο, τον αριθμό καμπύλης CN. Επιπρόσθετα, είναι η μόνη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί εύκολα προσβάσιμα και καλά τεκμηριωμένα περιβαλλοντικά δεδομένα, ενώ επίσης είναι καθιερωμένη και ευρύτατα αποδεκτή στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε πολλές άλλες χώρες μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα.

Παρότι η μέθοδος SCS-CN αρχικά αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. για τον υπολογισμό πλημμυρικών απορροών σε μικρές αγροτικές λεκάνες, σύντομα εξελίχτηκε πολύ πέρα από τον αρχικό της σκοπό και η χρήση της επεκτάθηκε για διάφορες χρήσεις γης, όπως αστικές ή δασικές υδρολογικές λεκάνες (Rawls et al., 1981, Mishra and Singh, 1999). Επίσης, η χρήση της επεκτάθηκε σε εφαρμογές πέρα από τον υπολογισμό πλημμυρικών απορροών και έγινε μέρος σύνθετων συνεχών μοντέλων προσομοίωσης (π.χ. Soulis and Dercas, 2007, Geetha et al., 2008, Moretti and Montanari, 2008, Tyagi et al., 2008, κ.ά.).

Η μέθοδος SCS-CN βασίζεται στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου

$$P = I_a + F + Q \qquad (2)$$

και στη βασική παραδοχή ότι ο λόγος της απορροής προς την ωφέλιμη βροχόπτωση είναι ίσος με το λόγο της πραγματικής κατακράτησης προς τη δυνητική κατακράτηση

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \qquad (3)$$

όπου P είναι το συνολικό ύψος βροχής, I_α είναι το ύψος της αρχικής κατακράτησης, F είναι η αθροιστική διήθηση αφαιρούμενης της I_α, Q είναι το ύψος της άμεσης απορροής και S είναι η δυνητική μέγιστη κατακράτηση. Από το συνδυασμό των εξισώσεων (2) και (3) προκύπτει η βασική μορφή της εξίσωσης της μεθόδου SCS-CN

$$Q = \frac{\left(P - I_a\right)^2}{P - I_a + S} \qquad (4)$$

η οποία ισχύει για $P \geq I_a$, διαφορετικά $Q = 0$.

Βασιζόμενη σε μια δεύτερη παραδοχή, ότι δηλαδή η αρχική κατακράτηση είναι κλάσμα της δυνητικής μέγιστης κατακράτησης

$$I_a = \lambda S \qquad (5)$$

η εξίσωση (4) γίνεται

$$Q = \frac{\left(P - \lambda S\right)^2}{P + \left(1 - \lambda\right) S} \tag{6}$$

Στην εξίσωση (5) το ποσοστό της αρχικής κατακράτησης συνήθως ορίζεται σε μια συγκεκριμένη τιμή ($\lambda = 0.2$) έτσι ώστε η δυνητική μέγιστη κατακράτηση S να παραμείνει η μόνη παράμετρος της μεθόδου. Επιπρόσθετα, η δυνητική μέγιστη κατακράτηση S εκφράζεται υπό τη μορφή της αδιάστατης παραμέτρου του αριθμού καμπύλης απορροής (curve number - CN) μέσω της σχέσης

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{7}$$

όταν το S εκφράζεται σε mm και παίρνει τιμές από 0, όταν $S \to \infty$, μέχρι 100, όταν $S = 0$.

Στο υδρολογικό μοντέλο, η τιμή της παραμέτρου CN, εκτιμάται με βάση τα χαρακτηριστικά του κάθε σημείου της υδρολογικής λεκάνης. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε κανονικές συνθήκες αρχική υγρασίας, οπότε, τροποποιείται σε κάθε χρονικό βήμα με βάση την τιμή της επικρατούσας εδαφικής υγρασίας. Η τροποποιημένη τιμή CN_{act} μεταβάλλεται γραμμικά μεταξύ των τιμών *CNI* (η τιμή CN που αντιστοιχεί σε ξηρές συνθήκες) και *CNIII* (η τιμή CN που αντιστοιχεί σε υγρές συνθήκες) ανάλογα με το ποσοστό κορεσμού του εδαφικού όγκου αναφοράς *SP*.

$$CN_{act} = CNI + (CNIII - CNI)SP \tag{8}$$

3.3.Κατείσδυση

Ο υπολογισμός της ροής στην κάτω επιφάνεια του εδαφικού όγκου αναφοράς βασίζεται στην εξίσωση των Brooks and Corey (1964):

$$K = K_s \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{1/n} \tag{9}$$

όπου K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους σε κατ' όγκο υγρασία θ, θ_s είναι η κατ' όγκο υγρασία του εδάφους σε κατάσταση κορεσμού και n είναι ένας εμπειρικός συντελεστής.

Στο κάτω όριο του εδαφικού προφίλ ορίζεται ως οριακή συνθήκη η μηδενική κλίση του φορτίου πίεσης (zero pressure head gradient) που αντιστοιχεί σε ελεύθερα αποστραγγιζόμενο έδαφος. Η χρήση της ελεύθερης στράγγισης σαν οριακή συνθήκη επιλέχθηκε διότι είναι η κατάλληλη οριακή συνθήκη όταν ο υδροφόρος βρίσκεται αρκετά βαθιά σε σχέση με το κάτω όριο του εδαφικού όγκου αναφοράς.

3.4.Βασική Απορροή

Η βασική απορροή προσομοιώνεται με τη χρήση μιας εξίσωσης εκθετικής μείωσης, η οποία βασίζεται στις εργασίες των Arnold et al. (1993) και Hattermann et al. (2004):

$$Q_{b,i} = Q_{b,i-1} e^{(-a_b \Delta t)} + W_{rch}\left(1 - e^{(-a_b \Delta t)}\right) \quad όταν \quad aq > aq_q$$

$$\tag{10}$$

$$Q_{b,i} = 0 \quad όταν \quad aq \le aq_q$$

όπου $Q_{b,ι}$ είναι η βασική απορροή (mm) που παράγεται από τον υδροφόρο την ημέρα *i*, $Q_{b,ι-1}$ είναι η βασική απορροή (mm) την ημέρα *i-1*, $α_b$ είναι η σταθερά μείωσης της βασικής απορροής, $Δt$ είναι το χρονικό βήμα (1 day), W_{rch} είναι η τροφοδοσία του υδροφόρου (mm) την ημέρα *i*, aq είναι η ποσότητα του νερού που είναι αποθηκευμένη στον υδροφόρο την ημέρα *i*, και aq_q είναι το όριο της ποσότητας του νερού που είναι αποθηκευμένη στον υδροφόρο, κάτω από το οποίο δεν παρατηρείται βασική απορροή.

Η σταθερά $α_b$ είναι ένας δείκτης της απόκρισης της βασικής απορροής σε μεταβολές της αποθήκευσης νερού στον υδροφόρο (Smedema and Rycroft, 1983). Οι τιμές της κυμαίνονται από 0.1 έως 0.3 για περιοχές με αργή απόκριση και από 0.9 έως 1 για περιοχές με γρήγορη απόκριση. Παρόλα αυτά η τιμή της σταθεράς αυτής είναι δύσκολο να εκτιμηθεί από τα χαρακτηριστικά της περιοχής και συνήθως αποτελεί παράμετρο βαθμονόμησης.

3.5. Εξατμισοδιαπνοή

Ο ρυθμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες, από την κάλυψη του εδάφους και από τη διαθεσιμότητα του νερού (εδαφική υγρασία). Στο περιγραφόμενο υδρολογικό μοντέλο εκτιμάται η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ET_o, από τα μετεωρολογικά δεδομένα. Κατόπιν, εκτιμάται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, ET_p, με βάση τα χαρακτηριστικά της αντίστοιχης κατηγορίας κάλυψης του εδάφους, και τέλος εκτιμάται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, ET_a, λαμβάνοντας υπόψη την εδαφική υγρασία.

Οι μόνοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες. Συνεπώς, η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί και αυτή ως μια μετεωρολογική παράμετρος, η οποία εκτιμάται αποκλειστικά από μετεωρολογικά δεδομένα και χαρακτηρίζει το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής που οριοθετούν οι μετεωρολογικές συνθήκες, τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στη συγκεκριμένη θέση και όχι το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής συγκεκριμένων συνθηκών κάλυψης και υγρασίας εδάφους.

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, ET_o, γίνεται με τη μέθοδο FAO Penman-Monteith. Η μέθοδος αυτή έχει φυσική βάση και θεωρείται ότι υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς γρασιδιού. Οι παράμετροι που απαιτούνται περιλαμβάνονται στα συνήθη διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ή μπορούν να υπολογιστούν από αυτά. Οι κύριες μετεωρολογικές παράμετροι που απαιτούνται είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία. Όταν κάποιες από τις παραμέτρους αυτές δεν είναι διαθέσιμες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλοποιημένες μορφές της εξίσωσης ή μέθοδοι υπολογισμού των παραμέτρων αυτών (FAO, 1998).

Εναλλακτικά, στην περίπτωση που είναι διαθέσιμες μόνο μετρήσεις θερμοκρασίας, στο μοντέλο εφαρμόζεται η μέθοδος Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, ET_p, μπορεί να υπολογιστεί απευθείας χρησιμοποιώντας κλιματικά δεδομένα και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, όπως οι φυτικές αντιστάσεις, η λευκαύγεια και οι αεροδυναμικές αντιστάσεις. Οι πληροφορίες όμως για τις παραμέτρους αυτές είναι πολύ περιορισμένες, είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν και μεταβάλλονται σημαντικά κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για κάθε κατηγορία κάλυψης σχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μέσω ενός συντελεστή. Ο φυτικός συντελεστής K_c ισούται με το πηλίκο ET_p/ET_o και εκτιμάται πειραματικά για διάφορες κατηγορίες κάλυψης και για διάφορες καταστάσεις της κάλυψης κατά τη διάρκεια του έτους. Εάν είναι γνωστές οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και του φυτικού συντελεστή, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τη συγκεκριμένη κατηγορία κάλυψης προκύπτει από την εξίσωση:

$$ET_p = K_c ET_o \tag{11}$$

Η τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χαρακτηρίζει την δυνατότητα εξατμισοδιαπνοής της συγκεκριμένης επιφάνειας στις συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επάρκεια νερού στο έδαφος άμεσα διαθέσιμου προς εξάτμιση. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι δηλαδή ο μέγιστος ρυθμός εξάτμισης για τις δεδομένες συνθήκες. Στην πραγματικότητα, καθώς η υγρασία του εδάφους μειώνεται, μειώνεται επίσης και ο ρυθμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Αυτή είναι και η βασική αιτία που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Ο FAO (1998) προτείνει μία μέθοδο υπολογισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που βασίζεται στη χρήση ενός συντελεστή υδατικού στρες, K_{st}, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό μείωσης του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής ανάλογα με την τιμή της εδαφικής υγρασίας.

$$ET_a = K_{st} ET_p \tag{12}$$

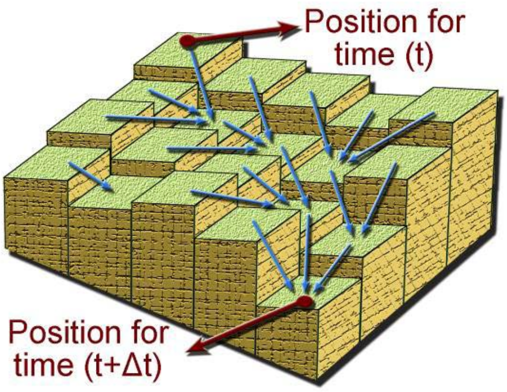
Ο συντελεστής K_{st} εξαρτάται από την εδαφική υγρασία και από τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας κάλυψης του εδάφους.

Κατά την εκτέλεση του μοντέλου, οι συντελεστές K_c και K_{st} προσδιορίζονται, για κάθε κελί του πλέγματος και για κάθε χρονικό βήμα, με τη βοήθεια πληροφοριών οι οποίες περιλαμβάνονται στη βάση γνώσης για τα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας κάλυψης του εδάφους.

3.6.Διόδευση

Η επιφανειακή απορροή σε κάθε σημείο του υδρογραφικού δικτύου για κάθε χρονικό βήμα, προκύπτει προσθέτοντας την άμεση απορροή και την βασική απορροή που φτάνουν σε αυτό το σημείο στη διάρκεια του χρονικού βήματος. Η διόδευση της άμεσης απορροής διαμέσου της επιφάνειας του εδάφους (επίγεια ροή) και διαμέσου του υδρογραφικού δικτύου πραγματοποιείται με τη χρήση μιας απλοποιημένης μεθόδου που βασίζεται στον υπολογισμό του «χρόνου διαδρομής». Ο χρόνος διαδρομής για το κάθε κελί μεταβάλλεται ανάλογα με τη συγκέντρωση ροής στο συγκεκριμένο κελί και υπολογίζεται με μια μέθοδο ανάλογη με αυτή του κινηματικού κύματος (Ragan, 1971). Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε διότι το χρονικό βήμα της μιας ημέρας δεν επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου του κινηματικού κύματος, ενώ το συνεπαγόμενο σφάλμα είναι αποδεκτό για το σκοπό του μοντέλου, ο οποίος είναι η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου και όχι η εκτίμηση της ακριβούς μορφής του υδρογραφήματος.

Σε κάθε χρονικό βήμα η άμεση απορροή που προκύπτει για κάθε κελί διοδεύεται στο αντίστοιχο κατάντη κελί, έτσι ώστε το άθροισμα των χρόνων διαδρομής των ενδιάμεσων κελιών να είναι ίσο με το χρονικό βήμα του μοντέλου (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. *Διόδευση της επιφανειακής απορροής.*
Figure 6. *Schematic representation of runoff routing method.*

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.1. Περιοχή μελέτης και δεδομένα εισόδου

Ένα ιδιαίτερα κρίσιμο στάδιο στη διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης είναι η ρύθμιση και η επαλήθευσή τους με τη χρήση πραγματικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητες πολλές πληροφορίες τόσο υδρομετεωρολογικές όσο και γεωμορφολογικές, εδαφολογικές, γεωλογικές κλπ. Τέτοιου είδους πληροφορίες, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να βρεθούν στον ελληνικό χώρο και ειδικά όταν αφορούν σε συγκροτημένα πακέτα αξιόπιστων και λεπτομερών πληροφοριών, τα οποία να διαθέτουν την απαραίτητη ακρίβεια για ερευνητικές εφαρμογές. Για το σκοπό αυτό, στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται τα δεδομένα της πειραματικής υδρολογικής λεκάνης του Τομέα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Γ.Π.Α. (Σούλης και συνεργάτες, 2007), η οποία βρίσκεται στον χείμαρρο Λυκόρρεμα, στην Ανατολική πλευρά του όρους Πεντέλη του νομού Αττικής και οργανώθηκε για αυτό το σκοπό.. Η πειραματική υδρολογική λεκάνη, έχει έκταση 7,8 Km^2 και περίμετρο 12,2 Km (Σχήμα 7a). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γεωμορφολογίας της λεκάνης είναι το έντονο ανάγλυφο και οι μεγάλες κλίσεις. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 560 m, ενώ το ελάχιστο και το μέγιστο υψόμετρό της είναι 280 m και 950 m αντίστοιχα. Η κλίση του εδάφους της λεκάνης κυμαίνεται μεταξύ 0,5% και 127% ενώ η μέση κλίση είναι 36%. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι πυκνό και περιλαμβάνει τμήματα κοίτης έως και $5^{ης}$ τάξης σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler.

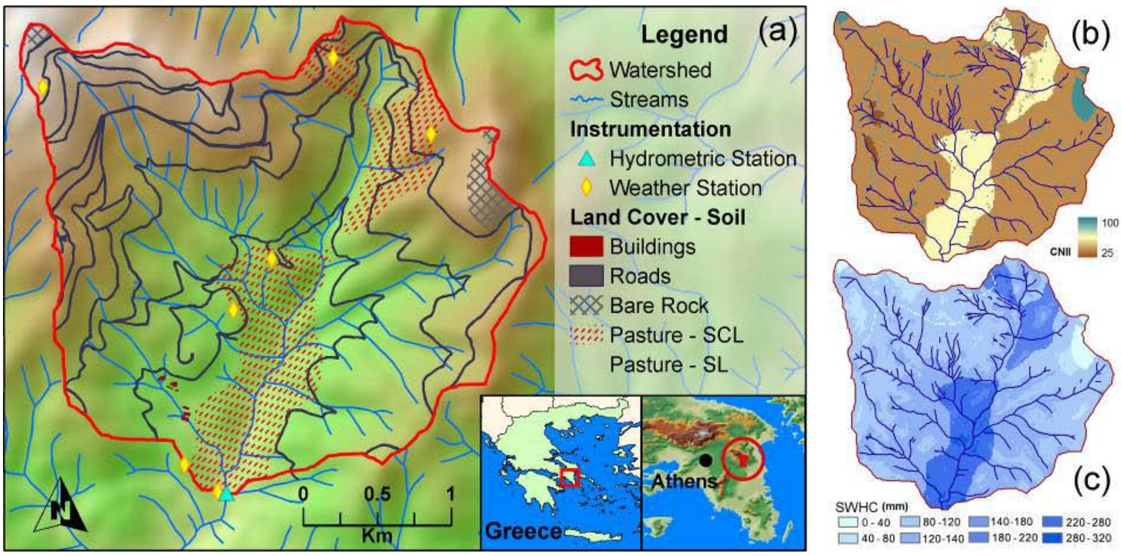
Η περιοχή χαρακτηρίζεται από Μεσογειακό ημίξηρο κλίμα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τα πέντε χρόνια που μελετάται η λεκάνη είναι 595 mm.

Γεωλογικά, η λεκάνη χαρακτηρίζεται από την παρουσία σχιστόλιθων, οι οποίοι καλύπτουν το 96% της έκτασής της, ενώ η υπόλοιπη έκταση καλύπτεται κυρίως από μάρμαρα. Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί της λεκάνης δεν είναι αδιαπέρατοι λόγω του ισχυρού τεκτονικού κατακερματισμού τους. Τα εδάφη στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης είναι χονδρόκοκκα (αμμοπηλώδη) και παρουσιάζουν πολύ μεγάλη τιμή τελικής διηθητικότητας, ενώ σε μικρά τμήματα της λεκάνης, κυρίως κοντά στην έξοδο και στις περιοχές που το μητρικό υλικό είναι το ανώτερο μάρμαρο, υπάρχουν εδάφη μέσης σύστασης (αμμοαργιλλοπηλώδη), τα οποία όμως παρουσιάζουν επίσης υψηλές τιμές τελικής διηθητικότητας. Το βάθος του εδάφους, λόγω του έντονου ανάγλυφου στην περιοχή της λεκάνης, παρουσιάζει μεγάλη ανομοιομορφία.

Σε ότι αφορά στην κάλυψη της γης, το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης παλαιότερα καλυπτόταν από πυκνό πευκοδάσος, το οποίο καταστράφηκε ολοσχερώς από την μεγάλη πυρκαγιά που το 1995 έκαψε την ανατολική πλευρά της Πεντέλης. Μέχρι και τον Αύγουστο του 2009, το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καλυπτόταν από θάμνους ενώ σε μεγάλο τμήμα της περιοχής αναγεννιόταν το παλαιό δάσος με φυσικό τρόπο ή κατόπιν αναδάσωσης. Τον Αύγουστο του 2009 η φυτοκάλυψη στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καταστράφηκε εκ νέου από δασική τη μεγάλη δασική πυρκαγιά που έκαψε περισσότερα από 200.000 στρέμματα στην Ανατολική Αττική. Τέλος, σημαντική επίδραση στην υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης έχουν το εκτεταμένο δίκτυο δασικών δρόμων (6.2% της συνολικής επιφάνειας.

Η πειραματική υδρολογική λεκάνη είναι εξοπλισμένη με πυκνό δίκτυο υδρο-μετεωρολογικών σταθμών το οποίο λειτουργεί ανελλιπώς από το Σεπτέμβριο του 2009. Ο εγκατεστημένος εξοπλισμός αποτελείται από πέντε βροχογράφους, έναν υδρομετρικό σταθμό, έναν μετεωρολογικό σταθμό και τέσσερις καταγραφείς θερμοκρασίας υγρασίας. Οι μετεωρολογικές παράμετροι καταγράφονται με χρονικό βήμα 10 λεπτών και οι υδρομετρικές με χρονικό βήμα 5 λεπτών. Στην παρούσα μελέτη προσομοιώθηκε το διάστημα από το Σεπτέμβριο του 2004 έως τον Αύγουστο του 2008.

Τα επίπεδα πληροφορίας που δημιουργήθηκαν για την εφαρμογή του μοντέλου είναι η διεύθυνση ροής, η συγκέντρωση ροής, ο αριθμός καμπύλης CN, η υδατοχωρητικότητα του εδάφους, η υδραυλική αγωγιμότητα και ο χρόνος διαδρομής της ροής, η σταθερά μείωσης της βασικής απορροής και το όριο έναρξης της βασικής απορροής (Σχήμα 7b,c).



Σχήμα 7. *(a) Χάρτης της πειραματικής υδρολογικής λεκάνης, (b) Χωρική κατανομή του αριθμού καμπύλης CN και (c) της υδατοχωρητικότητας του εδάφους..*
Figure 7. *(a) Map of the experimental watershed, (b) Spatial distribution of the CN value and (c) the available soil water holding capacity.*

4.2. Αποτελέσματα και συζήτηση

Η βαθμονόμηση σύνθετων, χωρικά κατανεμημένων μοντέλων είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία. Η εμπλοκή πολλών παραμέτρων, σε χωρικά κατανεμημένη μορφή, επιδεινώνει σημαντικά το πρόβλημα της εμφάνισης πολλών τοπικών βέλτιστων αντί ενός καθολικού βέλτιστου. Επιπρόσθετα, η βαθμονόμηση των υδρολογικών μοντέλων απαιτεί εκτεταμένα, λεπτομερή και αξιόπιστα πακέτα υδρολογικών δεδομένων. Τα μοντέλα αυτά όμως, συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν σχετικά δεδομένα ή για μελλοντικές προβλέψεις κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Στην παρούσα εφαρμογή, η αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων βασίστηκε σε μια κατάλληλη μεθοδολογία, η οποία περιλαμβάνει:

- Διάκριση των παραμέτρων ανάλογα με τη συμμετοχή τους σε διαφορετικές υδρολογικές διεργασίες.
- Προσδιορισμός της επίδρασης της κάθε διεργασίας και συνεπώς της κάθε παραμέτρου στα αποτελέσματα του μοντέλου.
- Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των μετρούμενων δεδομένων που σχετίζονται με την κάθε διεργασία και ρύθμιση των αντίστοιχων παραμέτρων βάσει των χαρακτηριστικών αυτών.
- Εκτίμηση της αβεβαιότητας προσδιορισμού της κάθε παραμέτρου και ρύθμιση των πιο αβέβαιων παραμέτρων.
- Ανάλυση της ευαισθησίας του μοντέλου στη μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων.

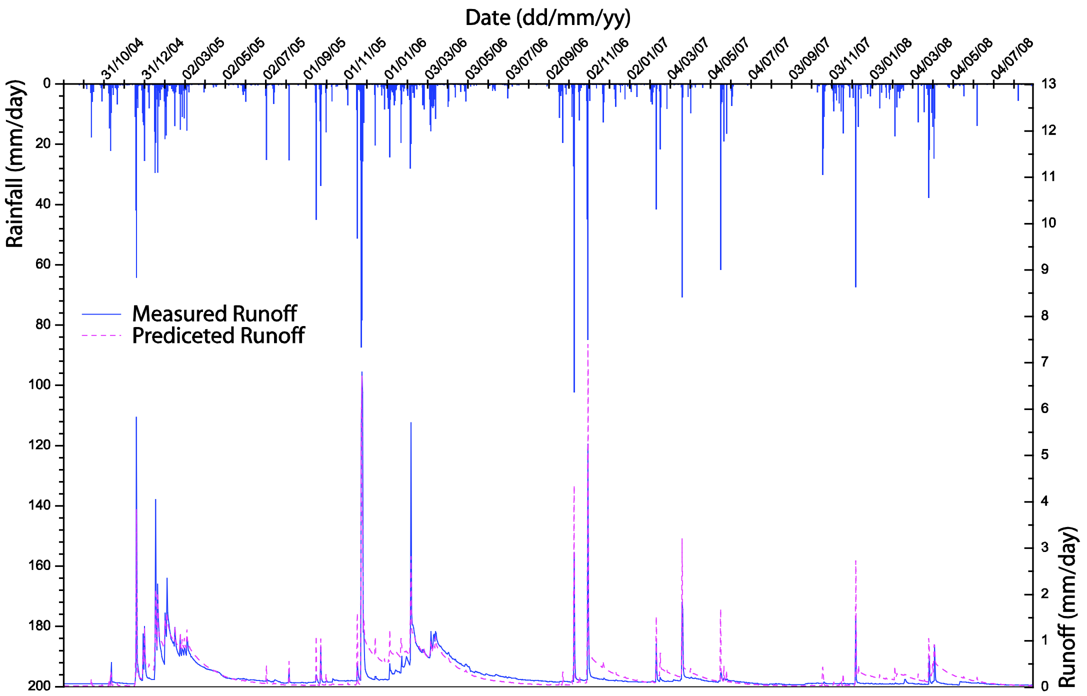
Την εφαρμογή της στρατηγικής αυτής διευκολύνει το εννοιολογικό σχήμα του υδρολογικού μοντέλου, το οποίο επιτρέπει το διαχωρισμό των παραμέτρων που υπεισέρχονται σε κάθε υδρολογική διεργασία.

Προκειμένου να δοκιμαστεί η παραπάνω στρατηγική, καθώς και να δοκιμαστεί η δυνατότητα προσαρμογής του υδρολογικού μοντέλου στις συνθήκες της πειραματικής υδρολογικής λεκάνης, το μοντέλο ρυθμίστηκε χρησιμοποιώντας μόνο το πρώτο έτος από τα διαθέσιμα δεδομένα και μόνο και μόνο για τις παραμέτρους SWHC και ab.

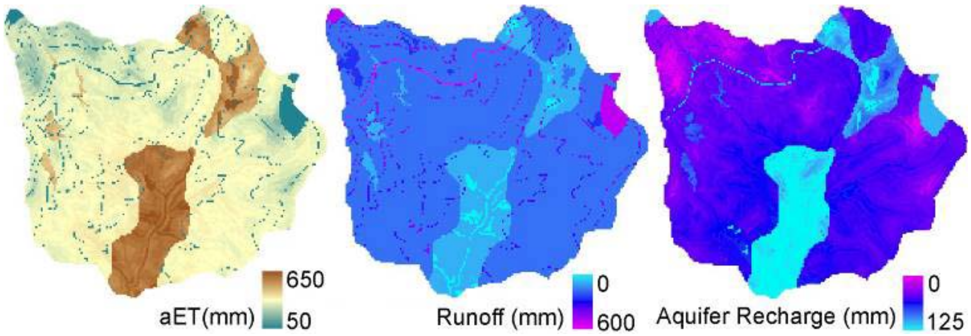
Στο Σχήμα 8 και στον Πίνακα 1 φαίνονται συγκριτικά οι μετρημένες και οι υπολογισμένες από το μοντέλο τιμές της επιφανειακής απορροής για την τελική εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου. Παρατηρείται ότι το μοντέλο προβλέπει πολύ ικανοποιητικά την επιφανειακή απορροή για τα δύο πρώτα έτη ενώ υπερεκτιμά την επιφανειακή απορροή για το τρίτο έτος και υπερεκτιμά σημαντικά την απορροή για το τελευταίο έτος. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δύο τελευταία υδρολογικά έτη, για τα οποία το υδρολογικό μοντέλο υποεκτιμά σημαντικά την επιφανειακή απορροή, είναι ιδιαίτερα ξηρά. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανά το μοντέλο αποτυγχάνει να περιγράψει κάποια υδρολογική διεργασία, η οποία έχει περιορισμένη επίδραση στα αποτελέσματα των υγρών υδρολογικών ετών, αλλά έχει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα των ξηρών ετών. Στο Σχήμα 9 απεικονίζεται ενδεικτικά η χωρική κατανομή τριών συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου. Στο σχήμα αυτό είναι εμφανής η μεγάλη χωρική μεταβλητότητα των αντίστοιχων μεγεθών, καθώς και η σύνδεση της μεταβλητότητας αυτή με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των εδαφών και της κάλυψης τους. Το γεγονός αυτό φανερώνει την σημασία της εκτίμησης των συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου σε χωρικά κατανεμημένη μορφή για εφαρμογές όπως η εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης.

Πίνακας 1. *Μετρημένες και υπολογισμένες τιμές απορροής για τέσσερα υδρολογικά έτη στην πειραματική υδρολογική λεκάνη απορροής.*
Table 1. *Total yearly measured rainfall and runoff values and total yearly predicted runoff values for 4 hydrological years in the experimental watershed.*

Υδρολογικό έτος	**Μετρημένη απορροή (mm)**	**Υπολογισμένη απορροή (mm)**	**Σφάλμα (%)**
2004 – 2005	115.7	118.2	2.1
2005 – 2006	150.6	146.6	-2.8
2006 - 2007	59.7	80.3	25.7
2007 - 2008	27.3	53.4	48.8
Σύνολο	**353.3**	**398.5**	**11.3**



Σχήμα 8. *Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και ημερήσιες μετρημένες και υπολογισμένες τιμές απορροής .*
Figure 8. *Daily rainfall values and daily measured vs. predicted runoff values.*

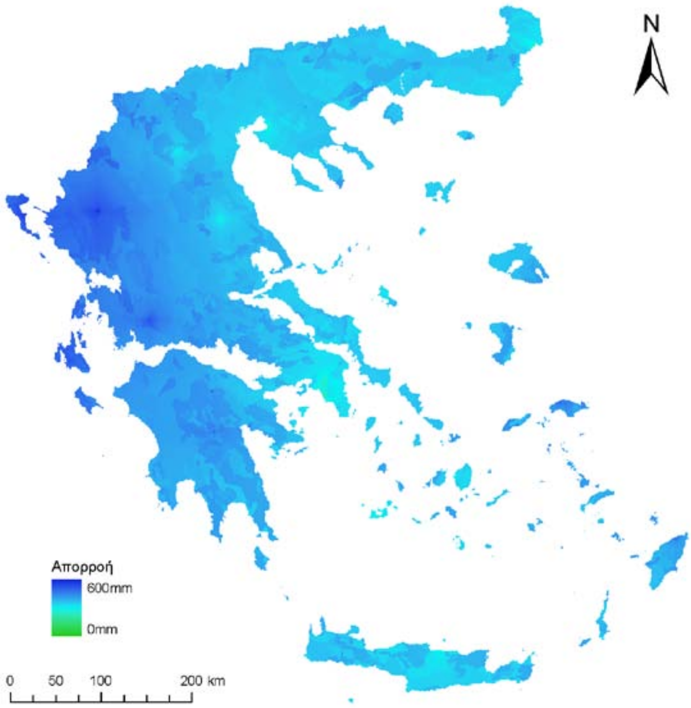


Σχήμα 9. *Υπολογισμένη χωρική κατανομή της απορροής, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της τροφοδοσίας του υδροφόρου ορίζοντα.*
Figure 9. *Predicted spatial distribution of average yearly runoff, aET and aquifer recharge.*

4.3. Άλλες εφαρμογές

Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον δοκιμαστικές εφαρμογές με σκοπό την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του, της λειτουργικότητάς του, της καταλληλότητας του εννοιολογικού σχήματος που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και των επιμέρους μεθόδων προσομοίωσης των υδρολογικών διεργασιών και τέλος την αποσφαλμάτωσή του. Η πρώτη εφαρμογή του μοντέλου πραγματοποιήθηκε στη Νήσο Νάξο. Η Νήσος Νάξος παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά με βάση τα οποία σχεδιάστηκε το μοντέλο, ενώ στην περιοχή αυτή διατίθενται τα ελάχιστα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου. Η εφαρμογή αυτή είχε ως κύριο στόχο την δοκιμή του υδρολογικού μοντέλου κάτω από πραγματικές συνθήκες (Soulis and Dercas 2007). Τα αποτελέσματα του μοντέλου στην περίπτωση αυτή έδειξαν μια γενικά καλή σύμπτωση των μετρημένων και των υπολογισμένων τιμών και επιβεβαίωσαν τη δυνατότητα χρήσης του μοντέλου σε αντίστοιχες συνθήκες.

Το υδρολογικό μοντέλο εφαρμόστηκε επίσης σε όλη την έκταση της Ελλάδας για περίοδο 30 ετών από το 1970 έως το 2000, με στόχο την εκτίμηση των συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου σε κατανεμημένη μορφή (Kerkides et al. 2007). Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα 22 μετεωρολογικών σταθμών κατανεμημένων σε όλη την Ελλάδα, τα οποία παρείχε το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.



Σχήμα 10. *Υπολογισμένη χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας επιφανειακής απορροής.*
Figure 10. *Predicted spatial distribution of average yearly runoff.*

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μέχρι τώρα εφαρμογές, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η συνέχιση της συστηματικής μελέτης της πειραματικής υδρολογικής λεκάνης, αλλά και η οργάνωση, αντιπροσωπευτικών πειραματικών υδρολογικών λεκανών σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα έντονης ερευνητικής δραστηριότητας στους τομείς της διερεύνησης των υδρολογικών διεργασιών και της ανάπτυξης μεθόδων προσομοίωσής τους, προσαρμοσμένων στις ελληνικές συνθήκες. Επίσης, Το υδρολογικό μοντέλο δείχνει να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις ελληνικές συνθήκες και να εκτιμά με ικανοποιητική ακρίβεια τις συνιστώσες του υδρολογικού ισοζυγίου.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την διαχείριση των υδατικών πόρων και την εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης. Επιπρόσθετα, η περαιτέρω ανάπτυξή του μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός σημαντικού εργαλείου για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και την αξιολόγηση προτεινόμενων στρατηγικών αντιμετώπισης και προσαρμογής.

Development and Testing of a Spatially Distributed Continuous Hydrological Model for Assessing Desertification.

K. Soulis, E. Psomiadis, P. Kerkides

Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Water Resources Management Division, Athens, Greece
email: soco@aua.gr , mpsomiadis@aua.gr , lhyd2kep@aua.gr

Abstract
Desertification seriously affects the natural ecosystems, the economy and the life of the local communities, while it threats about 35% of the surface of Greece. Desertification is bidirectional linked with water resources as aridity or soil erosion are two essential causes of desertification, while desertification is related to further water scarcity. Wide areas in Greece are facing serious water scarcity problems and increased desertification risk. Mainly due to the vast variability in the spatial and temporal distribution of water resources and also due to its geomorphology that is characterized by steep relief and big topographical slopes. These problems are expected to intensify as a result of the future socioeconomic development and the increased uncertainty caused by the climate change. The above reasons highlight the necessity of proper water resources and land management in Greece. Even though, a significant obstacle for proper water resources management in Greece is the great lack of reliable hydrological, meteorological or spatial data. In this paper the development of a new spatially distributed, continuous hydrological model in the framework of a Geographical Information Systems software package is being presented. This model is able to produce valuable information concerning water management; while it can also produce important information for the assessment of desertification risk.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arnold, J.G., P.M. Allen and G.A Bernhardt, 1993. Comprehensive surface-groundwater flow model. Journal of Hydrology, 142: 47-69.

Brito, E., L.S Pereira, B. Itier,1999. Modeling the local climate in island environments: water balance applications. Agricultural Water Management, 40: 393-403.

Brooks, R.H., and C.T. Corey, 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Paper 3 Colorado State University, Fort Collins, USA.

FAO, 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.

Garbrecht, J., L.W. Martz, 1994. Grid Size Dependency of Parameters Extracted From Digital Elevation Models. Computers & Geosciences, 20(1): 85-87.

Geetha, K., S.K. Mishra, T. I. Eldho, A. K. Rastogi, and R.P. Pandey, 2008. SCS-CN-based continuous simulation model for hydrologic forecasting. Water Resour. Manage, 22(2): 165-190.

Hargreaves, G.L., and Z.A. Samani, 1985. Reference crop évapotranspiration from temperature, Applied Engineering in. Agriculture, ASAE 1(2), 96-99.

Hattermann, F., V. Krysanova, F. Wechsung and M. Wattenbach, 2004. Integrating groundwater dynamics in regional hydrological modeling. Environmental Modelling & Software, 19: 1039–1051.

Karavitis, Ch., P. Kerkides, 2002. “Estimation of the water resources potential in the island system of Aegean Archipelago, Greece”. Water International, International Water Resources Association, Vol. 27, No. 2. pp. 243-254.

Kerkides, P., K. Soulis, E. Psomiadis, P. Giannoulopoulos, 2007. Water resources conditions assessment in Greece and their role in desertification. CEST 2007 - 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Kos Island, Greece, September 5th - 7th.

Mishra, S.K., and V.P. Singh, 1999. Another look at SCS-CN method. J. Hydrol. Eng. ASCE, 4(3): 257-264.

Mishra, S.K., and V.P. Singh, 2006. A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria. Hydrol. Process. , 20(13): 2755-2768.

Moretti, G., and A. Montanari. 2007. AFFDEF: A spatially distributed grid based rainfallerunoff model for continuous time simulations of river discharge. Environmental Modelling & Software, 22: 823-836.

Ragan R.M., 1971. “A nomograph based on kinematic wave theory for determining time of concentration for overland flow”, Report 44, MD, University of Maryland, December.

Rawls, W.J., A. Shalaby, and R.H McCuen, 1981. Evaluation of methods for determining urban runoff curve numbers. Trans. ASAE, 24: 1562-1566.

Rojas, R., M. Velleux, P.Y. Julien, and B.E. Johnson, 2008. Grid scale effects on watershed soil erosion models. Journal of Hydrologic Engineering, 13(9): 793-802.

Schumann A.H., J. Geyer, 2000. “GIS-based ways for considering spatial heterogeneity of catchment characteristics”. Physics and Chemistry of the Earth 25: 691-694.

SCS, 1993. National engineering handbook, Section 4: Hydrology, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.

Smedema, L.K., D.W. Rycroft, 1983. Land Drainage—Planning and Design of Agricultural Drainage Systems. Cornell University Press, Ithaca, NY.

Soulis, K., and N. Dercas, 2007. Development of a GIS-based spatially distributed continuous hydrological model and its first application. Water International, 32(1): 177-192.

Thieken, A.H., A. Lücke, B. Diekkrüger, O. Richter, 1999. Scaling Input Data by GIS for Hydrological Modelling. Hydrological Processes, 13(4): 611-630.

Tyagi, J.V., S.K. Mishra, R. Singh, and V.P. Singh, 2008. SCS-CN based time-distributed sediment yield model, J. Hydrol., 352(3-4): 388-403.

Wang, M., A.T. Hjelmfelt, J. Garbrecht, 2000. DEM Aggregation for Watershed Modeling. J. of the AWRA, Am. Water Res. Assoc., 36(3): 579-584.

Wu, S., J. Li, and G.H. Huang. 2007. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation. Environmental Modelling and Software, 22(9): 1250-1260.

Zhang, W., Montgomery D.R., 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulation. J. Hydrol., 102, pp. 1019-1028.

Σούλης, Κ., Ν. Δέρκας και Ι.Δ. Βαλιάντζας, 2007. Παρουσίαση πειραματικής λεκάνης απορροής στον χείμαρρο Λυκόρρεμα του όρους Πεντέλη. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Λάρισα: 18 – 20 Οκτωβρίου.

Τάσεις ερημοποίησης στην Κεντρική Κρήτη

Γεώργιος Τσιουρλής

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών
57 006 Βασιλικά, Θεσ/νίκη
E-mail: gmtsiou@fri.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υπερβόσκηση και περιστασιακά οι φωτιές παραμένουν οι κύριες δυνάμεις που διαμορφώνουν το τοπίο των Αστερουσίων και έχουν οδηγήσει στην επικράτηση υποβαθμισμένων οικοσυστημάτων ή ακόμη επιτρέψει την εγκατάσταση της ερημοποίησης. Η υποβαθμιστική - ερημοποιητική πορεία εκφράζεται από τη βαθμιαία αντικατάσταση της φυσικής δενδρώδους αείφυλλης - σκληρόφυλλης βλάστησης από χαμηλότερες φυτικές διαπλάσεις, συνήθως αραιές και αγκαθωτές, όπως είναι τα φρύγανα. Η εναλλαγή μεταξύ των διαφορετικών σταδίων, ιδιαίτερα μεταξύ των φρυγάνων, μπορεί να γίνει μετά από διαφοροποίηση των διαχειριστικών πρακτικών που δέχονται τα οικοσυστήματα.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φρυγάνων (από πυκνά με υψηλή ποικιλότητα έως αραιά με χαμηλή ποικιλότητα) που αντανακλούν διαφορετικές διαχειριστικές πρακτικές (τη βοσκητική πίεση και τη συχνότητα φωτιάς) σε συνδυασμό με τις επιδράσεις του αβιοτικού περιβάλλοντος. Ο κίνδυνος ερημοποίησης είναι αντιστρόφως ανάλογος της φυτοκάλυψής τους. Τα πολύ αραιά φρύγανα θεωρούνται ένα υποβαθμιστικό στάδιο πριν το γυμνό - ερημοποιημένο έδαφος. Τα πυκνά φρύγανα προστατεύουν επαρκώς το έδαφος από τη διάβρωση.

Ο αριθμός αιγοπροβάτων είναι πολύ μεγαλύτερος της ήδη χαμηλής βοσκοϊκανότητας των φυσικών μεσογειακών οικοσυστημάτων και είναι επιτακτική η αλλαγή των κτηνοτροφικών διαχειριστικών πρακτικών ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και η αποκατάσταση των υποβαθμισμένων περιοχών. Η προτεινόμενη διαχείριση βασίζεται: α) Στην αναστολή ή μείωση της βόσκησης στα επίπεδα της βοσκοϊκανότητας στις περιοχές όπου επικρατούν τα αραιά ή μεσαία - πυκνά φρύγανα αντίστοιχα, β) Στη ξαναχρησιμοποίηση του παραδοσιακού συστήματος εκ περιτροπής βοσκούμενων ζωνών και εκείνων που δεν βόσκονται και γ) Στην απαγόρευση της βόσκησης σε μερικά πυκνά φρύγανα ώστε να μπορέσουν να εξελιχθούν σε μακί ή δάση.

Λέξεις κλειδιά: Ερημοποίηση, υποβάθμιση γης, βόσκηση, δυναμική μεσογειακών οικοσυστημάτων, φρύγανα, Αστερούσια, Κρήτη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη Μεσογειακή λεκάνη, διαδικασίες υποβάθμισης των οικοσυστημάτων εξαιτίας ανθρωπογενών δραστηριοτήτων έχει ξεκινήσει εδώ και χιλιάδες χρόνια , με αποτέλεσμα η φυσική βλάστηση να έχει υποβαθμιστεί δραστικά από τη συνεχή χρήση της φωτιάς, της βόσκησης και της ξύλευσης. Στην Ελλάδα τέτοια φαινόμενα υποβάθμισης παρατηρούνται πιο εκτεταμένα στα νότια της χώρας και ειδικότερα στην Κρήτη. Τα φυσικά αείφυλλα δάση βελανιδιών (*Quercus* spp.) και πεύκων (*Pinus* spp.) έχουν αντικατασταθεί από μακί και φρύγανα. Τα δάση έχουν περιοριστεί, μόνο σχετικά μικρές περιοχές οι οποίες έχουν υποστεί μικρότερη διαταραχή, βρίσκονται σε σχετικά καλή οικολογική - βιολογική κατάσταση.

Η υπερβόσκηση και οι φωτιές σε συνδυασμό και με τη ξύλευση υπήρξαν ιστορικά και εξακολουθούν μέχρι σήμερα να είναι οι κύριες δυνάμεις της υποβάθμισης της βλάστησης της Κρήτης που οδηγούν στη δημιουργία υποβαθμισμένων μορφών φυτικών διαπλάσεων. Το αποτέλεσμα σήμερα είναι ότι τα φρύγανα αποτελούν την ποιο κοινή φυσική διάπλαση της Κρήτης και καλύπτουν (με κάλυψη) περίπου το 25% του νησιού.

Οι υψηλοί πληθυσμοί αιγοπροβάτων σε συνδυασμό, με τις διαχειριστικές πρακτικές που εφαρμόζονται διατηρούν τη σημερινή κατάσταση και σε πολλές περιπτώσεις οδηγούν σε περαιτέρω υποβάθμιση τα φρύγανα ή ακόμη και στην ερημοποίηση των οικοσυστημάτων.

Οι ορεινοί όγκοι της Κρήτης είναι πιο ευαίσθητοι στα φαινόμενα διάβρωσης και ερημοποίησης και αποτελούν κατάλληλες περιπτώσεις για τη μελέτη των φαινομένων αυτών και διεξαγωγής γενικότερων συμπερασμάτων όπως σε περίπτωση αλλαγής των διαχειριστικών πρακτικών στη βόσκηση.

Σ’ αυτή τη δημοσίευση περιγράφουμε το φαινόμενο της υποβάθμισης - ερημοποίησης των μεσογειακών οικοσυστημάτων του ορεινού όγκου των Αστερουσίων. Δίνεται έμφαση στις μεταβολές που παρουσιάζει η δομή και η δυναμική των φυτοκοινωνιών και παρουσιάζεται μια γενική διαχειριστική πρόταση, ώστε να ανακοπεί η περαιτέρω υποβάθμιση της περιοχής και να οδηγηθούν τα φυσικά οικοσυστήματα σε ανάκαμψη.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μεδοδολογική προσέγγιση

Τα Αστερούσια αποτελούν μια χαρακτηριστική περίπτωση σοβαρής υποβάθμισης της φυσικής βλάστησης, με έντονα σημάδια ερημοποίησης αρκετών οικοσυστημάτων. Ο κυρίαρχος μορφολογικός τύπος της βλάστησης είναι τα φρύγανα. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα διάφοροι τύποι οικοσυστημάτων και αντιπροσωπεύουν διαφορετικά στάδια υποβάθμισης από την κλιματική φυσική βλάστηση, έως τα πολύ υποβαθμισμένα φρύγανα και το γυμνό διαβρωμένο έδαφος. Η μωσαϊκότητα που παρουσιάζει το συγκεκριμένο τοπίο σε σχετικά μικρές ομοιογενείς, από αβιοτικούς παράγοντες, εκτάσεις, της επιτρέπει να θεωρήσουμε τη σημερινή κατάσταση των διαφορετικών οικοσυστημάτων ως τα διαδοχικά στάδια, με διαφορετική χρονική αφετηρία, της υποβαθμιστικής – ερημοποιητικής οικολογικής διαδοχής που συντελείται στην περιοχή, υπό την πίεση κυρίως της υπερβόσκησης και της φωτιάς.

Μετά από λεπτομερή καταγραφή όλων των τύπων οικοσυστημάτων (σε περίπου 150 σημεία του ορεινού όγκου) των Αστερουσίων σε σχέση με της βιοτικούς (τύπος βλάστησης, εκτίμηση της φυτοκάλυψης των ξυλωδών ειδών, τύπος και ένταση της βόσκηση) και αβιοτικούς παράγοντες (κλίμα, έκθεση, υψόμετρο και γεωλογικό υπόστρωμα) επιλέχθηκαν 30 σταθμοί μελέτης που αντιπροσωπεύουν όλους της βαθμούς υποβάθμισης της αρχικής κλιματικής βλάστησης, μέχρι τα πιο ερημοποιημένα οικοσυτήματα, ώστε η γεωγραφική της διασπορά να μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για το σύνολο των Αστερουσίων.

Για τη μελέτη της δομής της βλάστησης των ξυλωδών φυτών χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο της σημειακής δειγματοληψίας (line-intercept method). Για κάθε σταθμό υπολογίσαμε την ποικιλότητα των ξυλωδών ειδών με τη βοήθεια του δείκτη Shannon-Wiener.

Σ' αυτή τη δημοσίευση παρουσιάζονται μόνο τα κύρια χαρακτηριστικά των φυτοκοινωνιών και της δυναμικής της ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία υποβάθμισης και να παρουσιαστούν οι διαχειριστικές προτάσεις ανακοπής της.

Περιοχή μελέτης

Τα Αστερούσια όρη περιλαμβάνουν μια επιμήκη ζώνη με κατεύθυνση από ανατολικά προς δυτικά, μήκους 55 χιλ. και πλάτους από 5-10 χιλ., παράλληλα με την νότια ακτή της Κρήτης. Οι βόρειες πλαγιές έχουν ηπιότερα χαρακτηριστικά και χαρακτηρίζονται από την παρουσία σχιστόλιθων και φλύσχη. Αντίθετα οι νότιες ασβεστολιθικές πλαγιές είναι ιδιαίτερα απόκρημνες.

Το βουνό παρουσιάζει δύο βιοκλιματικές ζώνες. Η πρώτη, η θερμομεσογειακή, από το επίπεδο της θάλασσας ως τα 400 μέτρα στη βόρεια πλευρά και ως τα 600 στη νότια παρουσιάζει ετήσια βροχόπτωση 400 - 600 χιλιοστών. Πάνω από αυτή τη ζώνη μέχρι την κορυφή βρίσκεται η μεσομεσογειακή ζώνη με μέση ετήσια βροχόπτωση 600-800 χιλιοστά. Η θερμομεσογειακή ζώνη αντιστοιχεί στη ζώνη βλάστησης της ελιάς-χαρουπιάς (*Oleo-ceratonion*) που χαρακτηρίζεται από την παρουσία υψηλής μακκίας βλάστησης αγριελιάς (*Olea europaea* var. *sylvestris*) και χαρουπιάς (*Ceratonia siliqua*) ως κλιματικό (climax) βλαστητικό στάδιο. Η μεσομεσογειακή ζώνη συμπίπτει, στην Κρήτη, με τη βλαστητική ζώνη του πουρναριού (*Quercus coccifera*, ζώνη *Quercion cocciferis*).

Δέντρα και θάμνοι εμφανίζονται πλέον μεμονωμένα ή σε μικρές συστάδες και μόνο κατά τόπους συγκροτούν μεγαλύτερους σχηματισμούς που αποτελούν υπολείμματα της αρχικής βλάστησης.

Στις νότιες πλαγιές του βουνού μέσα στα όρια της θερμομεσογειακής ζώνης υπάρχουν κάποια υπολείμματα δενδρώδους μακκίας βλάστησης από χαρουπιές και αγριελιές καθώς και μακκία βλάστηση με σχίνους (*Pistacia lentiscus*) ή θαμνοκυπάρισσους (*Juniperus phoenicea*). Στις νότιες πλαγιές των Αστερουσίων, υπάρχει ένα δάσος τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*) που εκτείνεται, αλλού πυκνότερο και αλλού πιο αραιό, και στις δύο ζώνες από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι τα 1.000μ. Τα θερμόφιλα πευκοδάση θεωρούνται εξίσου καλά προσαρμοσμένα στις δυο κλιματικές ζώνες.

Στη μεσομεσογειακή ζώνη υπάρχει μια μικρή μόνο περιοχή με δενδρώδη μακκία βλάστηση από πουρνάρι στην περιοχή της Μονής Κουδουμά, μέσα στο πευκοδάσος, μάρτυρας του φυσικού κλιματικού δάσους. Λίγα μεμονωμένα δένδρα ή λόχμες πουρναριού επιβιώνουν ακόμα σε απρόσιτες πλαγιές ή γύρω από τα χωριά αντίστοιχα.

Τέλος, στις ψηλότερες και πλέον απόκρημνες περιοχές της νότιας πλευράς των Αστερουσίων αναπτύσσεται ένα αραιό δάσος κυπαρισσιών σε θαμνώδη μορφή (*Cupressus semperivens*) που είναι τυπική για την Κρήτη πάνω από τα 1.000 μ.

Οι βασικές κατηγορίες χρήσεων γης για την περιοχή των Αστερουσίων είναι θαμνολίβαδα - φρύγανα κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, γεωργικές εκτάσεις, οικιστικές εκτάσεις και ένα μικρό ποσοστό μακί και δασών. Στην ουσία όλες οι περιοχές των Αστερουσίων που δεν καλλιεργούνται και είναι προσιτές στα κοπάδια χαρακτηρίζονται ως βοσκότοποι και υφίστανται έντονη βόσκηση. Στις βόρειες ομαλότερες πλαγιές του βουνού βόσκουν κυρίως πρόβατα ενώ στις πιο απότομες νότιες κυρίως κατσίκες. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις περιορίζονται σε μικρά οροπέδια και σε πλαγιές με αναβαθμίδες δίπλα στους οικισμούς και ένα μέρος τους έχει εγκαταλειφθεί. Ωστόσο, είναι εμφανής η τάση αύξησης των ελαιώνων στα δυτικά Αστερούσια.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε ολόκληρη την έκταση των Αστερουσίων η φυσική βλάστηση έχει σοβαρά υποβαθμισθεί. Στη μεσομεσογειακή κλιματική ζώνη, το φυσικό κλιματικό δάσος πουρναριού δεν υπάρχει πια. Οι φωτιές ευνόησαν την ανάπτυξη ενός πευκοδάσους. Ωστόσο, οι συχνές φωτιές σε συνδυασμό με την εντατική βόσκηση εξάλειψαν το μεγαλύτερο μέρος της δενδρώδους βλάστησης και ευνόησαν την κυριαρχία των φρυγάνων. Το ίδιο συνέβηκαι στη θερμομεσογειακή ζώνη. Η κλιματική δενδρώδης μακκία βλάστηση ελιάς - χαρουπιάς αντικαταστάθηκε επίσης από δάσος τραχείας πεύκης ή υποβαθμίστηκε περαιτέρω σε μεσαίου ύψους μακί ή φρυγανική βλάστηση.

Σήμερα, περισσότερο από το 80% της κεντρικής έκτασης του βουνού καταλαμβάνεται από φρύγανα. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φρυγάνων, σύμφωνα με τη σύνθεση και τη φυτοκάλυψη των ξυλωδών ειδών, που αντανακλούν τις διαφορετικές διαχειριστικές πρακτικές βόσκησης και φωτιάς. Ο πιο κοινός τύπος φρυγάνων των Αστερουσίων είναι αυτός όπου επικρατεί η αστοιβή. Στους άλλους τύπους φρυγάνων συγκυριαρχούν επίσης το θυμάρι, οι ασφάκες και ο ασπάλαθος. Η λεπτομερή κατάταξη των φρυγανικών οικοσυστημάτων μπορεί να γίνει με βάση τη φυτοκάλυψη, την ποικιλότητα των ξυλωδών ειδών ή το συνδυασμό των δυο χαρακτηριστικών:

Οι διαφορετικές κατηγορίες φυτοκάλυψης των φρυγάνων αντανακλούν στην πραγματικότητα διαφορετικό βαθμό κινδύνου στην ερημοποίηση. Ο κίνδυνος ερημοποίησης είναι προφανώς αντιστρόφως ανάλογος της φυτοκάλυψης: Όσο μεγαλύτερη είναι η φυτοκάλυψη τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος ερημοποίησης και το αντίστροφο. Τα πολύ αραιά φρύγανα θεωρούνται ένα υποβαθμιστικό στάδιο πριν το γυμνό - ερημοποιημένο έδαφος. Τα μεσαίας φυτοκάλυψης είναι σε σχετικά καλή κατάσταση και αντιμετωπίζουν κατά περίπτωση ένα μικρό ή μεσαίο κίνδυνο ερημοποίησης. Τέλος, τα πυκνά φρύγανα είναι σε καλή ή άριστη κατάσταση λόγω των χαμηλών πιέσεων που δέχονται (μικρή βοσκητική πίεση, χαμηλή συχνότητα πυρκαγιών) με συνέπεια να μην κινδυνεύουν από υποβαθμιστικές τάσεις. Στις περιπτώσεις όπου τα φρύγανα είναι αρκετά πυκνά και καλύπτουν πάνω από 50% προστατεύουν επαρκώς το έδαφος από τη διάβρωση. Ιδιαίτερα, λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά τη διαβρωτική περίοδο των βροχών τα ξέφωτα καλύπτονται από ποώδη φυτά που συμβάλλουν και αυτά ουσιαστικά στη διατήρηση των εδαφών εφόσον τα οικοσυστήματα δεν υποστούν υψηλό φόρτος ζώων.

Διακρίνουμε φρύγανα με χαμηλή ποικιλότητα, όπου το κυρίαρχο είδος είναι η αστοιβή. Το είδος αυτό παρουσιάζει μια έντονη δυναμική στις μεταπυρικές διαδοχές και στις εγκαταλειμμένες καλλιέργειες. Επίσης, διακρίνουμε φρύγανα με μέτρια ποικιλότητα όπου κυρίαρχα είδη είναι συνήθως η αστοιβή και το θυμάρι ενώ ως συνοδά είδη εμφανίζονται ο ασπάλαθος, οι ασφάκες, η θρούμπα (*Satureja thymbra*), ο ράμνος (*Rhamnus oleoides*) και το χαμορείκι (*Erica manipuliflora*). Ακόμη, έχουμε φρύγανα με υψηλή ποικιλότητα στα οποία υπάρχει συγκυριαρχία τουλάχιστον πέντε ειδών απ' αυτά που προαναφέραμε, ωστόσο συνήθως σε ασβεστολιθικά εδάφη.

Τα φρυγανικά οικοσυστήματα των Αστερουσίων κατηγοριοποιήθηκαν περαιτέρω λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα τη φυτοκάλυψη και την ποικιλότητα ξυλωδών ειδών. Αυτές οι κατηγορίες, από τα πυκνά με υψηλή ποικιλότητα έως τα αραιά με χαμηλή ποικιλότητα φρύγανα, αντιπροσωπεύουν μια υποβαθμιστική διαδοχή που αντανακλά κυρίως τη βοσκητική πίεση, τη συχνότητα φωτιάς και το γεωλογικό υπόστρωμα.

Το μοντέλο που περιγράφει την υποβαθμιστική - ερημοποιητική που συντελείται στα Αστερούσια και αντιπροσωπεύει τη μεσογειακή ζώνη κλίματος (θερμο- και μεσομεσογειακή) της Κρήτης φαίνεται στο σχήμα 1. Οι αλλαγές μεταξύ των διαφορετικών σταδίων μπορεί να είναι αμφίδρομες μετά από αλλαγή των διαχειριστικών πρακτικών εκτός από τα ήδη ερημοποιημένα οικοσυστήματα. Η διαδικασία επιτελείται από τη βαθμιαία αντικατάσταση της αείφυλλης - σκληρόφυλλης βλάστησης από χαμηλότερες φυτικές διαπλάσεις, συνήθως αραιές και αγκαθωτές, όπως είναι τα φρύγανα. Έτσι, το πρινοδάσος αντικαθίσταται από δενδρώδη μακί ή διάφορους τύπους φρυγανικών οικοσυστημάτων (πυκνά με υψηλή ποικιλότητα έως αραιά με χαμηλή ποικιλότητα) και τελικά στο γυμνό - διαβρωμένο έδαφος. Το πευκοδάσος που εκτείνεται και στις δύο κλιματικές ζώνες μπορεί να θεωρηθεί ως δευτερογενή κλιματική βλάστηση (παρακλιματική) που ευνοήθηκε από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και ειδικότερα τις φωτιές. Επίσης, στις περιπτώσεις που για διάφορους κοινωνικο-οικονομικούς λόγους η ανθρωπογενής πίεση μειωθεί, η βλάστηση ανακάμπτει στις μη ερημοποιημένες περιοχές.

Σ' αυτή την υποβαθμιστική - ερημοποιητική πορεία διακρίνουμε γενικές αλλαγές στα οικοσυστήματα υπό, κυρίως, την πίεση της υπερβόσκησης και της φωτιάς: Αντικατάσταση των δέντρων από θάμνους, μείωση της φυτοκάλυψης, του ύψους, του μεγέθους και της ποικιλότητας των ξυλωδών ειδών και παράλληλα αύξηση της σχετικής συμμετοχής των λιγότερο βοσκούμενων ειδών, όπως η αστοιβή. Αυτές οι αλλαγές φαίνονται καθαρά μεταξύ των διάφορων οικοσυστημάτων της υποβαθμιστικής - ερημοποιητικής διαδοχής, μεταξύ των διάφορων τύπων φρυγάνων αλλά και στο επίπεδο ειδών για την αστοιβή.

Επίσης, μπορούμε να διακρίνουμε δύο τύπους υποβαθμιστικής πορείας μέσα στα φρύγανα των Αστερουσίων σε σχέση με το γεωλογικό υπόστρωμα. Και στις δύο περιπτώσεις ο πιο αναβαθμισμένος τύπος φρυγάνου είναι αυτός με υψηλή φυτοκάλυψη και υψηλή ποικιλότητα με πέντε ή περισσότερα συγκυρίαρχα είδη. Στο φλύσχη και το σχιστόλιθο η βοσκητική πίεση και οι φωτιές τείνουν να μειώσουν τη φυτοκάλυψη και να ευνοήσουν την κυριαρχία της αστοιβής. Στο ασβεστολιθικό υπόστρωμα η φυτοκάλυψη είναι γενικά χαμηλότερη από το φλύσχη και το σχιστόλιθο. Υπάρχουν φρύγανα με μέτρια φυτοκάλυψη και υψηλή ποικιλότητα με πέντε ή περισσότερα συγκυρίαρχα είδη όπου το πιο άφθονο είναι το θυμάρι. Η βοσκητική πίεση και οι φωτιές μειώνουν τη φυτοκάλυψη αλλά δεν επιδρούν ιδιαίτερα στην ποικιλότητα η οποία παραμένει σχετικά υψηλή.

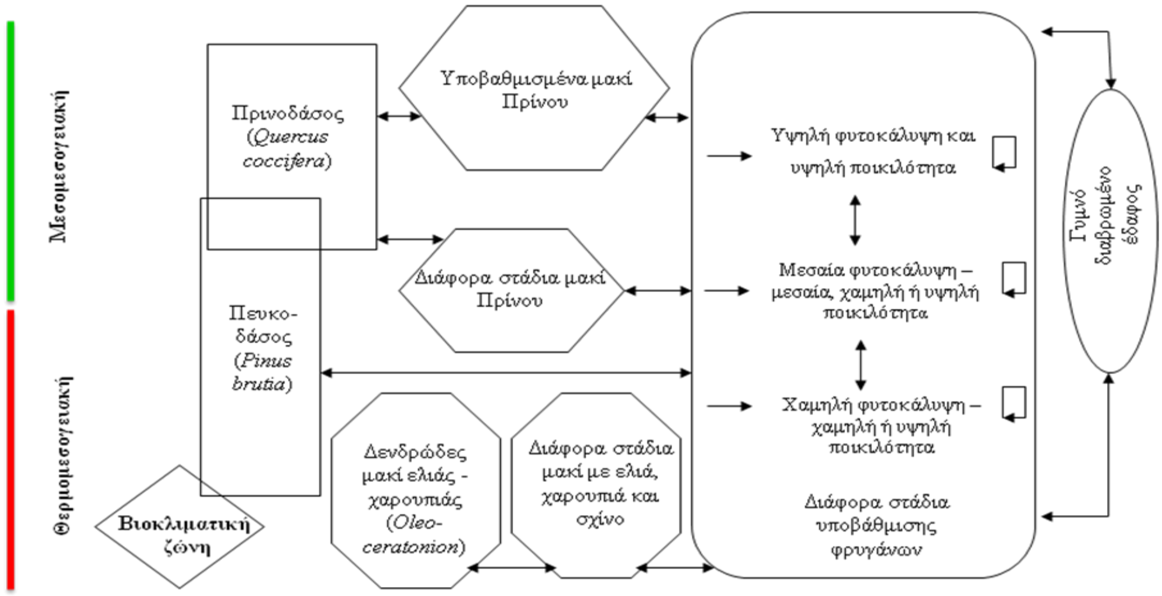
Το υψόμετρο δεν επιδρά στη δομή και σύνθεση των φρυγάνων. Οι κλιματικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δυο μεσογειακών υπο-ζωνών δεν είναι τόσο σημαντικές στο να οδηγήσουν σε αντίστοιχες διαφοροποιήσεις στα φρύγανα σε σχέση με την επίδραση της βοσκητικής πίεσης.

Μεταξύ των διαφόρων υποβαθμιστικών σταδίων δεν παρατηρείται μια μονόδρομη δυναμική από τα πυκνά με υψηλή ποικιλότητα φρύγανα στα αραιά με χαμηλή ποικιλότητα και τελικά στο γυμνό έδαφος. Στην πραγματικότητα υπάρχει μια πιο σύνθετη δυναμική κατάσταση. Ακόμη και υποβαθμισμένα φρύγανα μπορούν σε λίγα χρόνια να πυκνώσουν, να υψώσουν και να εμπλουτιστούν με άλλα είδη. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν λίγα απομείναντα άτομα εκπροσώπων υψηλότερων φυτικών διαπλάσεων. Σ΄ αυτήν την περίπτωση αυτά τα άτομα επιταχύνουν τη διαδικασία της οικολογικής διαδοχής και οδηγούν τα φρύγανα σε μακκία βλάστηση σε λίγες δεκαετίες ή ακόμη και περαιτέρω σε αείφυλλό δάσος (πρίνου ή πεύκου).

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των αιγοπροβάτων έχει αυξηθεί στην περιοχή με συνέπεια σε πολλά σημεία να γίνεται υπερβόσκηση. Ο αριθμός αιγοπροβάτων είναι πολύ μεγαλύτερος της ήδη χαμηλής βοσκοϊκανότητας των φυσικών μεσογειακών οικοσυστημάτων και οι κτηνοτρόφοι τα ταΐζουν επιπρόσθετα σχεδόν όλο το χρόνο.

Η συνεχιζόμενη υπερβόσκηση σε πολλά σημεία των Αστερουσίων οδηγεί σε περαιτέρω υποβάθμιση τα οικοσυστήματα με την αύξηση του φαινομένου της ερημοποίησης. Για να αποφευχθεί περαιτέρω υποβάθμιση είναι επιτακτική η αλλαγή των κτηνοτροφικών διαχειριστικών πρακτικών που εφαρμόζονται. Στις περιοχές όπου επικρατούν τα αραιά-χαμηλά φρύγανα (0-15%) που χαρακτηρίζονται από ένα μέγιστο κίνδυνο ερημοποίησης, επιβάλλεται ο περιορισμός της βοσκής, μέχρι την ανάκαμψή τους, δηλαδή να μετατραπούν σε μεσαίας ή πυκνής φυτοκάλυψης φρύγανα (30-60%). Η διάρκεια της αναστολής θα κυμαίνεται από μερικά χρόνια (5-10) έως μόνο λίγα (2-3) στα μεσαία-αραιά φρύγανα (15-30%) με μέτριο κίνδυνο. Η δυνατότητα ανάκαμψης των φρυγανικών ειδών είναι εντυπωσιακή όταν η βόσκηση διακόπτεται. Σε πολλές επιπτώσεις, αναμένουμε μια σημαντική αύξηση των ξυλωδών ειδών και της βιομάζας, ήδη μέσα σε 2 - 3 χρόνια, ειδικότερα για τα βοσκούμενα είδη. Στις περιοχές με ικανοποιητική φυτοκάλυψη (μεσαία και πυκνά φρύγανα), πρέπει να εφαρμοσθούν οι αρχές της σύγχρονης λιβαδοπονίας και κυρίως η εκτίμηση της βοσκοϊκανότητας κάθε περιοχής. Όπως και ο προσανατολισμός στη χρήση κυρίως των προβάτων.



Σχήμα 1. Η υποβαθμιστική - ερημοποιητική πορεία των φυτικών διαπλάσεων στα Αστερούσια Όρη υπό την πίεση της υπερβόσκησης και των πυρκαγιών (Ν. Ηρακλείου, Κρήτη).

Figure 1. The degradation - desertification processes of vegetal formations of the Asteroussia Mt. under the pressure of overgrazing and wildfires (Prefecture of Iraklion, Crete).

Στόχος διαχείρισης μερικών ήδη πυκνών φρυγάνων, θα μπορούσε να είναι η επιλεκτική τοπική απαγόρευση της βόσκησης, ώστε να δημιουργηθούν νησίδες δενδρώδους βλάστησης, και να αυξηθεί η ποικιλότητα και μωσαϊκότητα των οικοσυστημάτων, τόσο χρήσιμη στις ζωοκοινότητες (κυρίως της ορνιθοπανίδας), άρα και της βιοποικιλότητας γενικότερα.

Η γενική διαχειριστική μας πρόταση δεν στοχεύει στην αντικατάσταση όλων των φρυγάνων από μακί και δάση και κατ΄ επέκταση της μείωσης της βόσκησης αλλά στην αειφορική χρήση καλά διατηρούμενων φρυγάνων που εκπληρώνουν ταυτόχρονα τις οικολογικές - βιολογικές ιδιότητες των φυσικών οικοσυστημάτων και τη συγκράτηση μακροπρόθεσμα των κατοίκων της περιοχής.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η υπερβόσκηση και περιστασιακά οι φωτιές παραμένουν οι κύριες δυνάμεις που διαμορφώνουν το τοπίο και έχουν οδηγήσει στην επικράτηση υποβαθμισμένων οικοσυστημάτων ή ακόμη επιτρέψει την εγκατάσταση της ερημοποίησης.
- Η διαδικασία υποβάθμισης - ερημοποίησης εκφράζεται από τη βαθμιαία αντικατάσταση της δενδρώδους αείφυλλης - σκληρόφυλλης βλάστησης από χαμηλότερες φυτικές διαπλάσεις, συνήθως αραιές και αγκαθωτές, όπως είναι τα φρύγανα.
- Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φρυγάνων (από πυκνά με υψηλή ποικιλότητα έως αραιά με χαμηλή ποικιλότητα) που αντανακλούν διαφορετικές διαχειριστικές πρακτικές (τη βοσκητική πίεση και τη συχνότητα φωτιάς) σε συνδυασμό με τις επιδράσεις του αβιοτικού περιβάλλοντος (κυρίως το γεωλογικό υπόστρωμα).
- Ο κίνδυνος ερημοποίησης είναι αντιστρόφως ανάλογος της φυτοκάλυψης. Τα πυκνά φρύγανα προστατεύουν επαρκώς το έδαφος από τη διάβρωση.
- Οι φωτιές έχουν ευνοήσει τοπικά την εγκατάσταση ενός πευκοδάσους που μπορεί να θεωρηθεί ως δευτερογενής κλιματική βλάστηση (παρακλιματική).
- Στην υποβαθμιστική – ερημοποιητική πορεία έχουμε την αντικατάσταση των δέντρων από θάμνους, μείωση της φυτοκάλυψης, του ύψους, του μεγέθους και της ποικιλότητας των ξυλωδών ειδών και παράλληλα αύξηση της σχετικής συμμετοχής των λιγότερο βοσκούμενων ειδών, όπως η αστοιβή (Sarcopoterium spinosum).
- Το γεωλογικό υπόστρωμα επηρεάζει περισσότερο τη σύνθεση και ποικιλότητα των ξυλωδών ειδών (υψηλότερη στις ασβεστολιθικές συνθήκες και επικράτηση της αστοιβής στο φλύσχη και σχιστόλιθο) αλλά όχι τη φυτοκάλυψη των φρυγάνων.
- Οι κλιματικές διαφοροποιήσεις από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι 1.100 μ υψόμετρο δεν είναι τόσο σημαντικές στο να οδηγήσουν σε αντίστοιχες διαφοροποιήσεις στα φρύγανα σε σχέση με την επίδραση της βοσκητικής πίεσης.
- Ο αριθμός αιγοπροβάτων είναι πολύ μεγαλύτερος της ήδη χαμηλής βοσκοϊκανότητας των φυσικών μεσογειακών οικοσυστημάτων και είναι επιτακτική η αλλαγή των κτηνοτροφικών διαχειριστικών πρακτικών ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και η αποκατάσταση υποβαθμισμένων περιοχών.
- Η προτεινόμενη διαχείριση βασίζεται στην αναστολή ή μείωση της βόσκησης στα επίπεδα της βοσκοϊκανότητας στις περιοχές όπου επικρατούν τα αραιά-χαμηλά ή μεσαία - πυκνά φρύγανα αντίστοιχα. Η ξαναχρησιμοποίηση του παραδοσιακού συστήματος εκ περιτροπής βοσκούμενων ζωνών και εκείνων που δεν βόσκονται. Επίσης, η απαγόρευση της βόσκησης σε μερικά πυκνά φρύγανα ώστε να μπορέσουν να εξελιχθούν σε μακί.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ
Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σ' αυτή τη δημοσίευση προέρχονται από έρευνα που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (πρόγραμμα DeMon2 [ENV4-CT95-0166] και ολοκληρωμένο πρόγραμμα DeSurvey [GOCE-CT-2003-003950]) και τη ΓΓΕΤ (ΠΕΝΕΔ 95, αρ. 1260).

Desertification trends in Central Crete

G. Tsiourlis

NAGREF, Forest Research Institute, 57006 Vassilika - Thessaloniki, Greece
E-mail: gmtsiou@fri.gr

ABSTRACT
Overgrazing and occasionally fires are still the main forces that shape the landscape of Asterousia Mt. and have led to the dominance of degraded ecosystems or moreover permitted the establishment of desertification. The degradation - desertification processes consist in the replacement of the arborescent evergreen - sclerophyllous vegetation by, often sparse and spiny, low shrubby vegetation such as phrygana. The direction between different stages, especially within phrygana, can be changed according to management practices that are applied on ecosystems.

There are different categories of phrygana (from dense - highly diverse to sparse with low diversity) that represent a degradation process that mainly reflects grazing pressure, fire frequency and geological substrate. The desertification risk is obviously reversibly proportional to the plant cover and the opening of the ecosystem. The denser the plant covers, the minimum the desertification risk is and vices versa. Very sparse phrygana are a degraded stage before the bare-desertified soil. However, even low vegetal formations such as the well-developed phrygana can protect, in Mediterranean conditions, almost also well as higher ecosystems, the soil against erosion.

The number of goats and sheep is much over the grazing capacity of the natural Mediterranean ecosystems and it is vital to change grazing management practices in order to avoid further degradation and allow restoration of degraded areas. The management proposal is based on: a) the suspension or reduction of grazing to the level of grazing capacity in areas with low vegetation cover or medium - dense cover phrygana respectively, b) the use of traditional rotative systems of grazed and non-grazed zones and c) to the suspension of grazing in several well developed phrygana in order to allow their evolution to high matorrals or even forests.

Key words: Desertification, land degradation, grazing, dynamics, Mediterranean ecosystems, phrygana, Crete.

Κτηνοτροφία και ερημοποίηση:
Η περίπτωση της επαρχίας Λαγκαδά Θεσσαλονίκης

Βασίλειος Π. Παπαναστάσης

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη

Η κτηνοτροφία ως ανθρώπινη δραστηριότητα συνδέεται στενά μα την ερημοποίηση. Ο κύριος παράγοντας που προκαλεί το φαινόμενο αυτό θεωρείται διεθνώς ότι είναι η υπερβόσκηση, ιδιαίτερα όταν αυτή ασκείται από αίγες, ενώ ως παράγοντας υποβάθμισης έχει αναγνωριστεί τελευταία και η υποβόσκηση. Υποβάθμιση και ερημοποίηση, όμως, προκαλούν τόσο το σύστημα παραγωγής, όσο και το σύστημα βόσκησης, τα οποία δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Το ερευνητικό πρόγραμμα DeSurvey επικεντρώθηκε στους δύο αυτούς παράγοντες κυρίως και υλοποιήθηκε στην επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης. Σε σχετική έρευνα που έγινε στην περιοχή της Βόλβης της επαρχίας, έμφαση δόθηκε στον ρόλο των επιδοτήσεων στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι βιοφυσικές συνθήκες εκφράστηκαν με τη μέση διάβρωση του εδάφους, η οποία εκτιμήθηκε από την εγκάρσια κλίση για τα χωράφια και από την κάλυψη του εδάφους με βλάστηση για τα λιβάδια. Οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες εκφράστηκαν με το τυπικό ακαθάριστο κέρδος (ΤΑΚ). Διαπιστώθηκε ότι τα νοικοκυριά με υψηλό ΤΑΚ βρίσκονται σε περιοχές με μικρή βιοφυσική υποβάθμιση. Σε ό,τι αφορά τις επιδοτήσεις βρέθηκε, ότι ναι μεν εξασφαλίζουν εισόδημα στους παραγωγούς συγχρόνως όμως αποτελούν και κίνητρα υποβάθμισης της γης, ιδιαίτερα στα χέρια των φτωχών παραγωγών. Το σύστημα παραγωγής εκφράστηκε με ένα δυναμικό μοντέλο βασισμένο σε εξωγενείς παράγοντες (π.χ. βροχόπτωση, διάβρωση του εδάφους κ.ά.) και ενδογενείς παράγοντες (π.χ. βοσκήσιμη ύλη – θάμνοι και πόες, έδαφος κ.ά.). Σε ό,τι αφορά το σύστημα βόσκησης, επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου προσομοίωσης της βόσκησης. Από τις παραπάνω έρευνες προέκυψε, ότι το σύστημα της επαρχίας Λαγκαδά είναι ισορροπημένο με τις σημερινές κλιματικές συνθήκες και δεν κινδυνεύει με ερημοποίηση.

Λέξεις- κλειδιά: Επιδοτήσεις, σύστημα παραγωγής, σύστημα βόσκησης, τυπικό ακαθάριστο κέρδος, ψηφιακό μοντέλο βόσκησης.

Εισαγωγή

Ως ερημοποίηση ορίζεται η υποβάθμιση της γης σε ξηρές, ημίξηρες και ξηρές ύφυγρες περιοχές, η οποία προκαλείται από διάφορους παράγοντες συμπεριλαμβανόμενων των κλιματικών μεταβολών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (UNCED 1992). Στις τελευταίες υπάγεται και η κτηνοτροφία, η οποία αποτελεί πολύπλοκη ανθρώπινη διαδικασία. Τουλάχιστον τέσσερις επιμέρους παράγοντες περιλαμβάνονται στην κτηνοτροφία: ο αριθμός των ζώων, το είδος του ζώου, το σύστημα βόσκησης και το σύστημα παραγωγής. Όλοι οι παράγοντες αυτοί συνδέονται με την ερημοποίηση. Τέλος, θα πρέπει να προστεθούν και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ κτηνοτροφίας, πυρκαγιών και ξηρασίας, οι οποίες είναι επίσης υπεύθυνες για την πρόκληση φαινόμενων ερημοποίησης.

Διεθνώς, εκείνος ο παράγοντας που θεωρείται ότι συνδέεται στενά με την ερημοποίηση είναι ο αριθμός των ζώων και, ιδιαίτερα, ο υπερβολικός αριθμός που είναι γνωστός και ως υπερβόσκηση. Τούτο διότι η υπερβόσκηση απομακρύνει τη βλάστηση και οδηγεί στη απογύμνωση και διάβρωση του εδάφους. Οι επιπτώσεις της είναι μεγαλύτερες, όταν συνδυαστεί με ξηρασία ή πυρκαγιές. Τα τελευταία χρόνια, όμως, αμφισβητείται αν και κατά πόσο η υπερβόσκηση προκαλεί πάντοτε ερημοποίηση, ενώ υπάρχουν έρευνες που δείχνουν, ότι μπορεί να έχει και ευεργετική επίδραση στα οικοσυστήματα. Αντίθετα, ως παράγοντας υποβάθμισης έχει αναγνωριστεί τελευταία και η υποβόσκηση, επειδή καταλήγει στη συσσώρευση καύσιμης ύλης, η οποία οδηγεί στη συνέχεια σε καταστρεπτικές πυρκαγιές με τις συνεπακόλουθες επιπτώσεις τους στη βλάστηση και το έδαφος.

Υποβάθμιση προκαλεί και το είδος του ζώου. Ιστορικά, η αίγα θεωρείται ως το κατ' εξοχήν υπεύθυνο ζώο για την καταστροφή των δασών της Μεσογείου. Η άποψη αυτή όμως είναι υπερβολική, γιατί οι όποιες αρνητικές επιδράσεις των αιγών στο περιβάλλον συνδέονται με τη διαχείριση μάλλον, παρά με το είδος του ζώου αυτό κάθε αυτό. Αντίθετα, υπάρχει εκτεταμένη έρευνα κατά τα τελευταία χρόνια που δείχνει, ότι οι αίγες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην προστασία των δασών και του περιβάλλοντος γενικότερα, αν διαχειριστούν σωστά, ιδιαίτερα στη μείωση του κινδύνου των πυρκαγιών στα δάση.

Υποβάθμιση και ερημοποίηση, όμως, προκαλούν τόσο το σύστημα παραγωγής, όσο και το σύστημα βόσκησης. Εντούτοις, οι δύο αυτοί παράγοντες δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Το ερευνητικό πρόγραμμα DeSurvey επικεντρώθηκε στους δύο αυτούς παράγοντες κυρίως και υλοποιήθηκε στην επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης.

Περιοχή μελέτης

Η επαρχία Λαγκαδά καλύπτει τη λεκάνη της Μυγδονίας με τις δύο λίμνες Κορώνεια και Βόλβη, από τις οποίες η πρώτη έχει σοβαρό οικολογικό πρόβλημα (Εικ. 1). Η έκτασή της ανέρχεται σε δύο εκατομμύρια στρέμματα περίπου.Τα λιβάδια αποτελούν την κυρίαρχη χρήση γης στην επαρχία καλύπτοντας μιαν έκταση 850100 στρεμμάτων ή το 41,3% ολόκληρης της επαρχίας (Πίνακας 1). Περιλαμβάνουν ποολίβαδα, θαμνολίβαδα, και δασολίβαδα (Εικ. 2). Στην πλειονότητά τους, τα λιβάδια είναι υποβαθμισμένα είτε εξαιτίας της υπερβόσκησης (κοντά στους στάβλους και στα έργα ποτισμού) με αποτέλεσμα να προκαλείται διάβρωση (Εικ. 3) ή της υποβόσκησης (σε απομακρυσμένες από τους στάβλους περιοχές) με αποτέλεσμα τη σώρευση τη καύσιμης ύλης και την πρόκληση πυρκαγιών (Εικ. 4). Τα βόσκοντα αγροτικά ζώα περιλαμβάνουν κυρίως αίγες και πρόβατα και σε μικρότερο βαθμό βοοειδή.

Σύστημα παραγωγής

Η υποβάθμιση της γης είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης βιοφυσικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων (Εικ. 5). Παραδείγματα βιοφυσικών παραγόντων είναι η διάβρωση του εδάφους, η μείωση της υδατοδιαπερατότητάς του, η απώλεια της βλάστησης κ ά. Αντίστοιχα παραδείγματα κοινωνικοοικονομικών παραγόντων είναι η απώλεια εισοδήματος, οι μετακινήσεις του πληθυσμού κ.ά. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να περιληφθούν αμφότερες αυτές οι κατηγορίες παραγόντων προκειμένου να μελετηθεί η ερημοποίηση.

Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα της λεκάνης Μυγδονίας με τις δύο λίμνες Κορώνεια (αριστερά) και Βόλβη (δεξιά).
Figure 1. Satellite image of the Mygdonia basin with the two lakes Koronia (left) and Volvi (right).

Το σύστημα παραγωγής κτηνοτροφικών προϊόντων επηρεάζονται από τις δύο αυτές ομάδες παραγόντων. Σε σχετική έρευνα που έγινε στην περιοχή της Βόλβης της επαρχίας, έμφαση δόθηκε στον ρόλο των επιδοτήσεων στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι βιοφυσικές συνθήκες εκφράστηκαν με τη μέση διάβρωση του εδάφους, η οποία εκτιμήθηκε από την εγκάρσια κλίση για τα χωράφια και από την κάλυψη του εδάφους με βλάστηση για τα λιβάδια. Οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες εκφράστηκαν με το τυπικό ακαθάριστο κέρδος (ΤΑΚ). Για τα 51 νοικοκυριά (γεωργοί και κτηνοτρόφοι) που μελετήθηκαν προσδιορίστηκαν τα κρίσιμα κατώφλια των παραπάνω συνθηκών για το καθένα από αυτά. Διαπιστώθηκε ότι τα νοικοκυριά με υψηλό ΤΑΚ βρίσκονται σε περιοχές με μικρή βιοφυσική υποβάθμιση. Σε ό,τι αφορά τις επιδοτήσεις βρέθηκε, ότι ναι μεν εξασφαλίζουν εισόδημα στους παραγωγούς συγχρόνως όμως αποτελούν και κίνητρα υποβάθμισης της γης, ιδιαίτερα στα χέρια των φτωχών παραγωγών, οι οποίοι ωθούνται στη χρήση οριακής απόδοσης γαιών, ενώ οι πλούσιοι παραγωγοί επενδύουν περισσότερο σε εισροές από την αγορά, οπότε έχουν μικρότερη επίδραση στην υποβάθμιση της γης (Lorent et al. 2008).

Το σύστημα παραγωγής μπορεί να εκφραστεί με ένα δυναμικό μοντέλο βασισμένο στο γενικό μοντέλο ερημοποίησης (Ibanez et al. 2008). Στο μοντέλο αυτό συνδυάζονται τέσσερις εξωγενείς παράγοντες (βροχόπτωση, διάβρωση του εδάφους, τιμές προϊόντων και τιμές ζωοτροφών) με ενδογενείς παράγοντες του συστήματος (βοσκήσιμη ύλη – θάμνοι και πόες, έδαφος, βοσκοφόρτωση και συμπληρωματική διατροφή) δια μέσου διαφόρων παραμέτρων που εκφράζουν σταθερές τιμές των εξωγενών παραγόντων (Ibanez et al. 2009). Ως μεταβλητές χρησιμοποιούνται η βιομάζα των θάμνων και το βάθος του εδάφους. Από το μοντέλο αυτό διαπιστώθηκε ότι το σύστημα της επαρχίας Λαγκαδά είναι ισορροπημένο με τις σημερινές κλιματικές συνθήκες και δεν κινδυνεύει με ερημοποίηση (Εικ. 6).

Εικόνα 2. Κυριότεροι τύποι λιβαδιών της επαρχίας Λαγκαδά.
Figure 2. Main rangeland types of the Lagadas county.

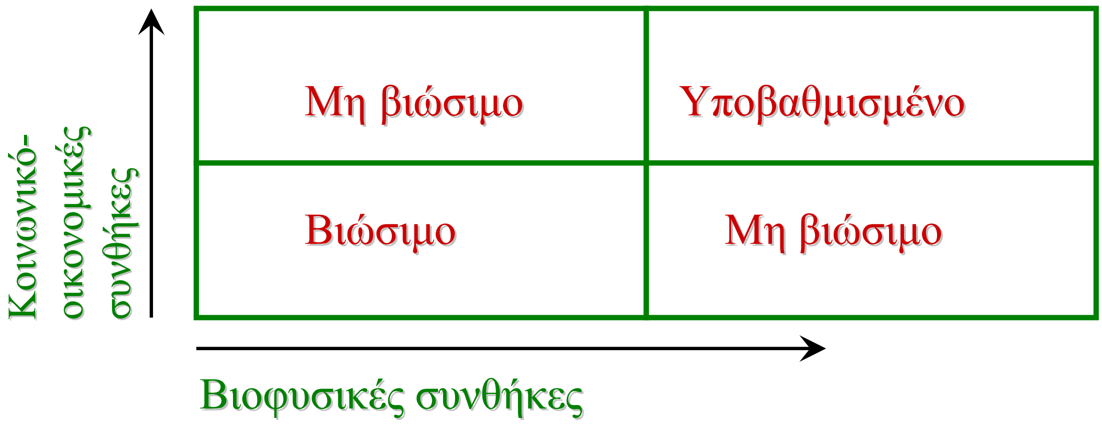
Εικόνα 3. Υπερβοσκημένα λιβάδια της επαρχίας Λαγκαδά.
Figure 3. Overgrazed rangelands of the Lagadas county.

Εικόνα 4. Υποβοσκημένα λιβάδια της επαρχίας Λαγκαδά.
Figure 4. Undergrazed rangelands of the Lagadas county.

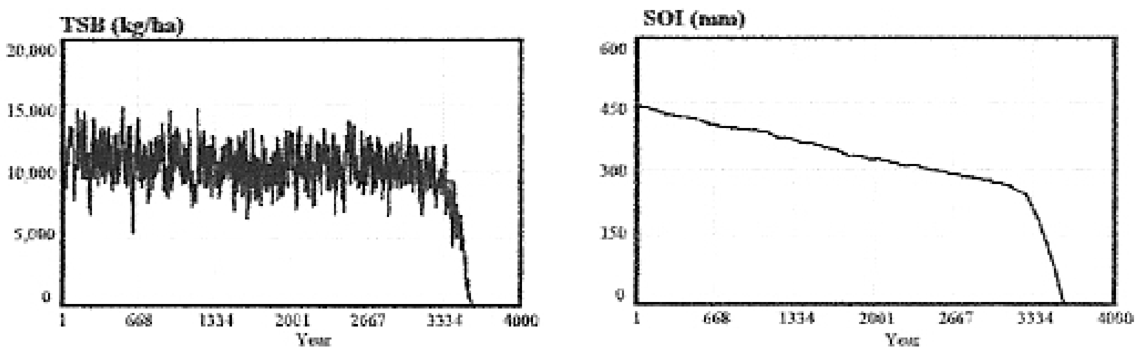
Πίνακας 1. Χρήσεις γης της επαρχίας Λαγκαδά (ΕΣΥΕ 1995).

Table 1. Land use/cover types in the Lagadas county.

Κατηγορία	Έκταση (στρέμματα)	Ποσοστό (%)
Γεωργική γη	663.800	32,2
Δάση	320.200	15,5
Λιβάδια	850.100	41,3
Νερά	154.200	7,5
Οικισμοί	55.700	2,7
Άλλες εκτάσεις	16.600	0,8
Σύνολο	**2.060.600**	**100,0**



Εικόνα 5. Εννοιολογική παρουσίαση του πλαισίου υποβάθμισης της γης.
Figure 5. Conceptual representation of the degradation framework (Fernandez et al. 2002).



Εικόνα 6. Μακροπρόθεσμες τάσεις της βιομάζας των θάμνων (TSB)και του βάθους του εδάφους (SOI) με ένα σενάριο τυχαίων τιμών των εξωγενών μεταβλητών (βροχόπτωση, διάβρωση του εδάφους, τιμή του γάλακτος, τιμή συμπληρωματικής τροφής)

Figure 6. Lengthened time trajectories of total shrub biomass (TSB) and soil depth (SOI) under a scenario of random-normal values generated for the exogenouw variables(Ibanez et al. 2009).

Σύστημα βόσκησης

Σε ό,τι αφορά το σύστημα βόσκησης, επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου προσομοίωσης της βόσκησης (Grazer) με βάση τις εξής μεταβλητές: υδρολογία του εδάφους, αύξηση του φυτού, βόσκηση και διαχείριση. Οι παραδοχές που έγιναν ήταν ότι η βόσκηση, η οποία προκαλεί διάβρωση, επηρεάζεται από τον βοσκό, το ανάγλυφο του εδάφους και τα έργα υποδομής. Αυτό σημαίνει, ότι η βόσκηση επηρεάζει ανομοιόμορφα το σύστημα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η βροχόπτωση, τα εδαφικά χαρακτηριστικά, η αύξηση της βιομάζας και η συμπεριφορά των ζώων (Thornes et al 2008). Το μοντέλο αυτό όμως δεν ολοκληρώθηκε ακόμα.

Προς την ίδια κατεύθυνση του συστήματος βόσκησης μελετήθηκαν και οι σχέσεις μεταξύ κίνησης των ζώων και υποβάθμισης της γης. Ύστερα από καταγραφή των δραστηριοτήτων των ζώων (προβάτων και αιγών) σε διάφορες εποχές του έτους θα γίνει αποτίμηση των επιπτώσεων αυτών των δραστηριοτήτων στη βλάστηση και στην υποβάθμιση των λιβαδιών με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης και των Γ.Σ.Π.

Τέλος, εφαρμόστηκε στην περιοχή μελέτης κι ένα μοντέλο ερημοποίησης γενικής χρήσης που συσχετίζει τον πληθυσμό της επαρχίας με τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους με τη μορφή της βιομάζας (Hellden 2008). Το μοντέλο αυτό εξειδικεύτηκε στη συνέχεια με τη μελέτη των σχέσεων ζωικού κεφαλαίου και λιβαδικής παραγωγής (Χουβαρδάς και άλλοι 2010).

Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω έρευνες προέκυψε, ότι το σύστημα στον Λαγκαδά είναι περισσότερο ευάλωτο στις κοινωνικοοικονομικές παρά τις βιοφυσικές συνθήκες. Γενικά, δεν κινδυνεύει με υποβάθμιση με τις παρούσες κλιματικές συνθήκες. Υπάρχει όμως κίνδυνος σημειακής υποβάθμισης στις περιοχές συγκέντρωσης και έντονης κυκλοφορίας των βοσκόντων ζώων.

Livestock husbandry and desertification: the case of Lagadas in northern Greece

Vasilios P. Papanastasis

Aristotle University of Thessaloniki

Abstract

Livestock husbandry is a human activity closely related to desertification. The main factor that causes this phenomenon is internationally considered to be overgrazing, especially by goats, while another factor lately identified as being also important is undergrazing. Degradation though can be also caused by the production system and the system of grazing but these factors have not been adequately studied. The European research program DeSurvey was mainly concentrated on these two factors and implemented in the Lagdas county of northern Greece. In the Volvi region of the county emphasis was placed on the role of subsidies on environmental degradation. Biophysical conditions were expressed with the average soil erosion estimated from the slope for the arable farms, and with the plant cover for rangelands. Socioeconomic conditions were expressed with the standard gross margin (SGM). It was found that the households with high SGM are found in areas with low degradation. As far as the subsidies are concerned, it was found that they ensure a high income to farmers but they also constitute degradation tools, particularly in the hands of the poor farmers. The production system was expressed with a dynamic model based on both exogenous (e.g. rainfall, soil erosion, etc.) and endogenous variables (e.g. forage, soil, etc.). For the grazing system, the development of a digital simulation model was attempted. From all these studies it came out that the Lagadas system is a balanced one under the current climatic conditions and it is not in danger of getting desertified.

Key-words: Digital grazing model, grazing system, production system, standard gross, margin, subsidies.

Βιβλιογραφία

ΕΣΥΕ., 1995. Κατανομή της Εκτάσεως της Χώρας κατά Βασικές Κατηγορίες Χρήσεως Γης. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος. Αθήνα.

Fernandez, R.J., Archer, E.R.M., Ash, A.J.H., Dowlatabadi, H., Hiernaux, P.H.Y., Reynolds, J.F., Vogel, C.H., Walker, B.H., Wiegard, T., 2002. Degradation and recovery in socio-ecological systems: a view from the household/farm level. In: I.F. Reynolds and D.M.Stafford-Smith, eds. Global Desertification-Do Humans Cause Deserts? Dahlem Workshop Report, vol.88. Dahlem University Press, pp 297-323.

Ibanez, J., Martinez Valderrama, J., Puigdefabregas, J., 2008. Assessing desertification risk using system stability condition analysis. Ecological modelling, 213: 180 – 190.

Ibanez, J., Martinez Valderrama, J., Papanastasis, Vasilios P., Evangelou, Christakis, Puigdefabregas, J., 2009. Assessing degradation in Mediterranean rangelands with a multidisciplinary model. Ecological Modelimg (summitted for publication).

Ibanez, J., Martinez Valderrama, J., Papanastasis, V.P., Evangelou Ch., Puigdefabregas, J., 2009. Assessing degradation in Mediterranean rangelands with a multidisciplinary dynamic model (Submitted for puplication to Ecological Modeling).

Lorrent, H., Evangelou, Ch., Stellmes, M., Hill, J., Papanastasis, V., Tsiourlis, G., Roeder, A., Lambin, E.F., 2008. Land degradation and economic conditions of agricultural households in a marginal region of northern Greece. Global and Planetary Change, 64:198–209.

Puigdefabregas, J. 1995. Desertification: Stress beyond resilience, exploring a unifying process structure. Ambio, 24:311-313.

Thornes, J.B., Fonseca, I., Yonnas, A., Evangelou, Ch., Papanastasis, V.P., 2008. A model for testing the impact of grazing on soil erosion and its calibration. Ecophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU 2008-A-00067.

Χουβαρδάς, Δ., Ευαγγέλου, Χ., Helldın, U., Παπαναστάσης, Β.Π., 2010. Μοντέλο προσομοίωσης των σχέσεων βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής στην επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης (Υποβλήθηκε για παρουσίαση στο 7^{ο} Λιβαδοπονικό συνέδριο που θα πραγματοποιηθεί στην Ξάνθη από 14 έως 16 Οκτωβρίου 2010).

UNECED, 1992. Report of the United Nations Conference on Environmental Development, Chapter 12 (Rio de Janeiro). General A/CONF. 151/26 (Vol. II).

Σύστημα βόσκησης και ερημοποίηση στα Μεσογειακά λιβάδια

Χριστάκης Ευαγγέλου

Εργαστήριο Λιβαδικής Οικολογίας (286)
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 541 24 Θεσσαλονίκη,
e-mail: katydata@for.auth.gr

Περίληψη

Στα πλαίσια του προγράμματος DeSurvey, έγιναν διάφορες έρευνες που μελέτησαν το σύστημα βόσκησης των αιγοπροβάτων και τους κυριότερους παράγοντες ερημοποίησης σε περιοχές της Επαρχίας Λαγκαδά. Για την εκτίμηση του φαινομένου αυτού στις βοσκόμενες δασικές εκτάσεις έγινε προσαρμογή και εφαρμογή του δείκτη ESAI (Environmentally Sensitive Area's Index). Η διερεύνηση του συστήματος βόσκησης των αιγοπροβάτων έγινε με την καταγραφή των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων στο Δ.Δ Ασκού, καθώς και των επιδοτήσεων που λάμβαναν οι κτηνοτρόφοι. Επιπλέον, για την εκτίμηση της λιβαδικής χρήσης, μελετήθηκαν οι δραστηριότητες των αιγοπροβάτων που βόσκουν στα λιβάδια (βόσκηση, κίνηση, στάση, ανάπαυση και μηρυκασμός) σε διαφορετικές εποχές του έτους. Από τα αποτελέσματα, ο δείκτης ESAI, καθόρισε τις Περιβαλλοντικά Ευαίσθητες Περιοχές (ΠΕΠ) στην ερημοποίηση. Πάνω από το 70% της περιοχής έρευνας ταξινομήθηκε στην κρίσιμη κατηγορία, ακολουθούν οι ευαίσθητες με 23,2%, ενώ οι δυνητικές και οι μη απειλούμενες περιοχές είναι πολύ περιορισμένες. Η εκτροφή των αιγοπροβάτων βασίζονταν στη βόσκηση των λιβαδιών, των αγρών (χασίλια), των εποχιακών υπολειμμάτων σιτηρών (καλαμιές) και στην εκτεταμένη χορήγηση ζωοτροφών (0,5-1,9 χλγ./ζώο/ημέρα). Οι κτηνοτρόφοι έλαβαν δύο ειδών επιδοτήσεις, την εξισωτική αποζημίωση και την κατά κεφαλή πριμοδότηση, το ύψος των οποίων συνολικά ανήλθε σε 30,7 € ανά ζώο. Τα κοπάδια, ανάλογα με την εποχή και το είδος του ζώου, διένυαν μεγάλες αποστάσεις για να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες (6,1 έως και 12,7 χλμ). Τα ζώα, κατά την παραμονή τους στις βοσκόμενες λιβαδικές εκτάσεις, αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο για τη δραστηριότητα της βόσκησης, η οποία παρουσίασε εποχιακή μεταβολή με στατιστικώς σημαντικές διαφορές (55,0% το χειμώνα, 46,1% την άνοιξη και 34,5% το καλοκαίρι, $P \leq 0.05$). Στη διάρκεια του έτου ς, οι αίγες αφιέρωσαν 11,2%, 2,3% και 1,1% περισσότερο χρόνο ($P \leq 0.05$) για κίνηση, μηρυκασμό και ανάπαυση αντίστοιχα σε σύγκριση με τα πρόβατα, τα οποία αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο για στάση και βόσκηση (11,3% και 3,4%, αντίστοιχα).

***Λέξεις κλειδιά*:** Διαδρομές ζώων, μικρά μηρυκαστικά, GPS, ESAI, Περιβαλλοντικά Ευαίσθητες Περιοχές (ΠΕΠ), ζωοτροφές, αίγες, πρόβατα, εξισωτική αποζημίωση.

Εισαγωγή

Η ερημοποίηση των γαιών και κατ' επέκταση των οικοσυστημάτων είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο συνδέεται με την υποβάθμιση του εδάφους και προκαλείται από φυσικούς παράγοντες, αλλά και από την άμεση ή έμμεση επίδραση του ανθρώπου (Dregne 1978). Χαρακτηριστικά της ερημοποίησης εμφανίζονται και στον Ελληνικό χώρο. Ο Γιάσογλου (2002) αναφέρει, ότι η Αττική είναι μία από τις πιο ευαίσθητες περιοχές της Ελλάδας. Επίσης στη Λέσβο παρουσιάζεται το φαινόμενο της ερημοποίησης με κύρια αιτία την υπερβόσκηση (Arianoutsou-Faragitaki 1984), ενώ στο βουνό Ψηλορείτης στην Κρήτη παρουσιάζεται ως το αθροιστικό αποτέλεσμα ανθρώπινων επιδράσεων μετά από μια μεγάλη περίοδο περιβαλλοντικής διατάραξης (Lyrintzis και Papanastasis 2000).

Η εκτροφή των αιγοπροβάτων στη χώρα μας είναι μια σημαντική οικονομική δραστηριότητα με 58,7% συμμετοχή στην ακαθάριστη αξία της ζωικής παραγωγής (Βακάκης 2007). Οι βοσκόμενες δασικές εκτάσεις είναι ο μεγαλύτερος σε έκταση φυσικός πόρος της επαρχίας Λαγκαδά (98.761 ha) και αξιοποιείται κατά κύριο λόγο με τη βόσκηση των αγροτικών ζώων (Πλατής κ.ά. 1998). Το σύστημα εκτροφής των αιγοπροβάτων στη Βόρεια Ελλάδα βασίζεται κυρίως στη βόσκηση κοινόχρηστων λιβαδιών. Στην περιοχή της Επαρχίας Λαγκαδά, εφαρμόζεται το σύστημα της ποιμενικής εκτροφής (κοπαδιάρικη μη νομαδική), το οποίο μετατρέπεται σε ημιεντατικό εξαιτίας της εκτεταμένης χορήγησης συμπληρωματικών τροφών (Γιακουλάκη κ.ά. 2003). Αυτό συνεπάγεται την πλημμελή αξιοποίηση της βοσκήσιμης ύλης που παράγεται στα λιβάδια και τη μακροπρόθεσμη υποβάθμισή τους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης, το σύστημα εκτροφής καθώς και οι δραστηριότητες των ζώων στις βοσκόμενες λιβαδικές εκτάσεις στις διάφορες εποχές του έτους αποτέλεσαν αντικείμενο του ερευνητικού προγράμματος DeSurvey, το οποίο υλοποιήθηκε στην Επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης.

Υλικά και μέθοδοι

Εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης

Στα πλαίσια του προγράμματος DeSurvey, μελετήθηκαν σε πρώτη φάση οι παράγοντες που επηρεάζουν την ερημοποίηση. Η ερημοποίηση σχετίζεται με ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών-δεικτών (φυσικών, οικολογικών, κοινωνικοοικονομικών), οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω κατανόηση των διαδικασιών που οδηγούν στην ερημοποίηση. Ο δείκτης ESAI (Environmentally Sensitive Areas index), δημιουργήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος MEDALUS (Kosmas κ.ά.. 1999) και ο οποίος αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη εκτίμησης του κινδύνου ερημοποίησης. Οι Ευαγγέλου κ.ά. (2006) εφάρμοσαν μια προσαρμογή του δείκτη αυτού, ο οποίος προσαρμόστηκε στις βοσκόμενες δασικές εκτάσεις. Οι χρησιμοποιούμενες μεταβλητές, η ταξινόμηση τους στις διάφορες κλάσεις με βάση την ευαισθησία τους στην ερημοποίηση και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας (ΣΒ) που αποδόθηκαν σε αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Οι τελευταίοι αντιστοιχούν στις τιμές που δόθηκαν σε κάθε κλάση των μεταβλητών για κάθε εικονοστοιχείο.
Η εκτίμηση των Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων Περιοχών στην ερημοποίηση έγινε σε 7 Δημοτικά Διαμερίσματα τα οποία επιλέχθηκαν με βάση τη βοσκοφόρτωση και την υψομετρική ζώνη στην οποία ανήκουν. Στη χαμηλή υψομετρική ζώνη (0-200 μ.) ανήκαν το Κολχικό, η Απολλωνία και η Βόλβη, στη μεσαία (200-600 μ.) το Αρδαμέριο, ο Λοφίσκος και τα Στεφανινά και τέλος το Κρυονέρι στην υψηλή (>600 μ.). Οι περιοχές αυτές καλύπτουν συνολικά μια έκταση 30.752,55 εκταρίων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η έκταση των οικισμών. Με βάση τους ορθοφωτοχάρτες Ελλάδος, η συγκεκριμένη περιοχή καλύπτεται κυρίως από θαμνολίβαδα πουρναριού, γεωργικές καλλιέργειες (κυρίως σιτηρά) και φυλλοβόλα δάση (δρυς, οξυά και μεικτά).

Πίνακας 1:Κλάσεις και συντελεστές βαρύτητας (ΣΒ) των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών (Ευαγγέλου κ.ά. 2006)

Table 1. Quality indices with their relative information layers into classes and scores (Evangelou *et. al*. 2006)

Ποιότητα	Μεταβλητή	Κλάσεις		ΣΒ
Έδαφος	Μητρικό υλικό	Σχιστόλιθος, Βασικά, Υπερβασικά, Άργιλοι, Μολάσσα, Αποθέσεις, Αμφιβολίτες		1
		Γνεύσιος, Γρανίτης, Ψαμμίτης, Χαλαζίτης, Μάρμαρο		1,7
	Βάθος εδάφους (Αντιστοίχιση εδαφολογικού χάρτη και κλάσεων MEDALUS).	Βαθύ	Βαθύ (>75 εκ.)	1
		Βαθύ&αβαθές, Βαθύ&βράχος	Μέτριο(75 -30 εκ.)	2
		Αβαθές&βαθύ, Αβαθές, Αβαθές&βράχος, Βράχος&βαθύ	Αβαθές (15-30 εκ.)	3
		Βράχος&αβαθές, Βράχος	Πολύ αβαθές (<15 εκ.)	4
	Κλίση (%)	<6		1
		6-18		1,2
		18-35		1,5
		>35		2
Βλάστηση	Κίνδυνος πυρκαγιάς	Γυμνά, Ελιές, Αρδευόμενες καλλιέργειες		1
		Ποολίβαδα, Σιτηρά, Πλατύφυλλα δάση, Πρινώνες		1,3
		Κωνοφόρα		2
	Προστασία στη διάβρωση	Πρινώνες		1
		Κωνοφόρα, Πολυετή ποολίβαδα, ελιές		1,3
		Πλατύφυλλα δάση		1,6
		Ετήσιες καλλιέργειες (σιτηρά), ετήσια ποολίβαδα		2
	Αντοχή στην ξηρασία	Γυμνά, Πρινώνες		1
		Κωνοφόρα, Πλατύφυλλα δάση, ελιές		1,2
		Πολυετή ποολίβαδα		1,7
		Ετήσιες καλλιέργειες (σιτηρά), ετήσια ποολίβαδα		2
	Ξυλώδης κάλυψη (%)	> 40		1
		10 -40		1,8
		<10		2
Κλίμα	Βροχόπτωση (χλσ./χρόνο)	> 650		1
		280-650		2
	Έκθεση	Βόρειες, ΒΔ, ΒΑ, επίπεδες		1
		Νότιες, ΝΔ, ΝΑ		2
Διαχείριση	Βοσκοφόρτωση (ΜΖΜ/εκτάριο)	<0.5		1
		0.5 – 2.5		1,5
		> 2.5		2
	Πυοσφαιρική επίδραση (μ)	0-150		2
		150-400		1,8
		>400		1

Σύστημα βόσκησης

Στη συνέχεια του προγράμματος DeSurvey, διερευνήθηκε το σύστημα βόσκησης. Το τελευταίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως συνεχές, δηλαδή όταν τα ζώα βόσκουν στα λιβάδια ελεύθερα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ή περιτροπικό όταν αυτό περιορίζεται κατά χώρο και χρόνο. Η λιβαδική χρήση εξαρτάται σημαντικά από τις κινήσεις των ζώων που βόσκουν στα λιβάδια και οι οποίες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον ίδιο το βοσκό αλλά και από την εποχή βόσκησης και το είδος του ζώου. Στις ημερήσιες εξόδους, τα ζώα ξεκινούν από τις στάνες και ακολουθούν ποικίλες διαδρομές στις λιβαδικές εκτάσεις, προκειμένου να εξασφαλίσουν τις ανάγκες τους σε βοσκήσιμη ύλη (Thornes κ.ά. 2008). Επίσης οι βοσκοί, ανάλογα με τις οικονομικές ενισχύσεις που λαμβάνουν από το Κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση, επηρεάζουν διαφορετικά την υποβάθμιση της γης (Lorent κ.ά. 2008) αλλά στηρίζουν σε σημαντικό βαθμό τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις της περιοχής (Zarovali κ.ά. 2006). Οι δραστηριότητες των αιγών και των προβάτων μελετήθηκαν ήδη σε εποχιακά υπολείμματα των σιτηρών μετά τη συγκομιδή των καρπών καθώς και σε δασολίβαδα δρυός και οξιάς (Yiakoulaki et al. 2005, 2009).

Οι Ευαγγέλου κ.ά. (2008) όμως μελέτησαν το σύστημα εκτροφής των αιγοπροβάτων στη διάρκεια του έτους στο σύνολο των βοσκόμενων εκτάσεων, λαμβάνοντας έτσι τις εποχιακές μεταβολές. Η συγκεκριμένη έρευνα έγινε στο Δ.Δ. Ασκού, ΒΑ της λίμνης Βόλβης και ανήκει στη χαμηλή υψομετρική ζώνη (0-600 μ.). Επιπλέον έγινε καταγραφή των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων (είδος ζώου, σύνθεση εκμετάλλευσης, επιδοτήσεις) και των οικονομικών ενισχύσεων που λαμβάνουν οι κτηνοτρόφοι για τα αιγοπρόβατά τους, υπό μορφή επιδοτήσεων. Η διερεύνηση του συστήματος εκτροφής έγινε με τη βοήθεια ερωτηματολογίων, που απευθύνθηκαν στους κτηνοτρόφους του Δ.Δ. Ασκού. Οι ερωτήσεις αφορούσαν στο ζωικό κεφάλαιο, στη χρησιμοποίηση των λιβαδιών, στη χορήγηση ζωοτροφών, στη γαλακτοπαραγωγή και στις γεννήσεις. Οι αποστάσεις που διένυαν τα αιγοπρόβατα από τη στάνη προς τις βοσκόμενες εκτάσεις καταγράφηκε με τη βοήθεια GPS κατά την ανοιξιάτικη, καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο του 2007-2008. Ακολουθώντας επιλεγμένα κοπάδια καταγράφηκαν συνολικά 39 διαδρομές.

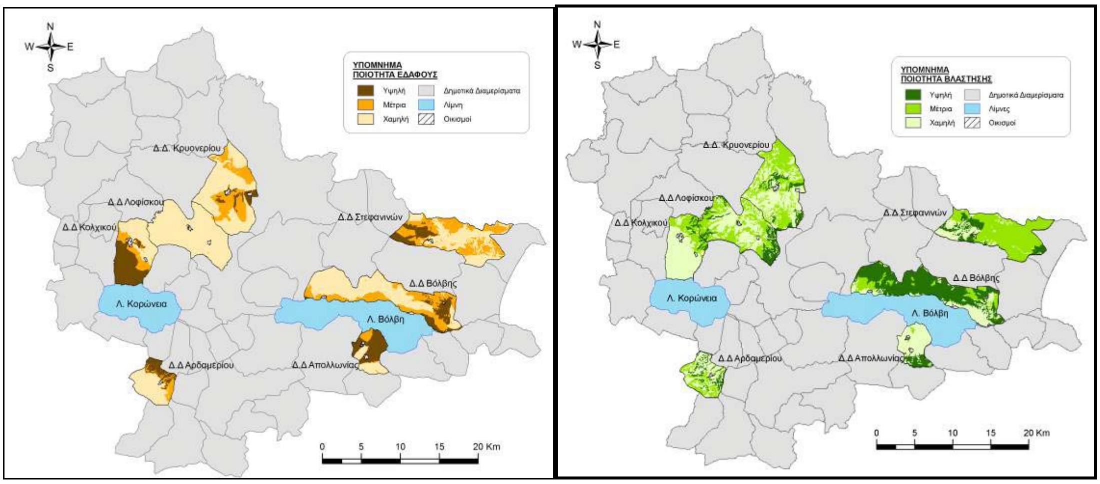
Επιπλέον, καταγράφηκαν οι δραστηριότητες κατά τη βόσκηση σε τέσσερα αντιπροσωπευτικά κοπάδια, αμιγή σε σύνθεση (δύο κοπάδια αιγών και δύο προβάτων) σε διαφορετικές εποχές του έτους (Ευαγγέλου κ.ά. 2010). Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν έξι ενήλικα θηλυκά ζώα (τρία πρόβατα και τρεις αίγες σε κάθε κοπάδι) τα οποία επιλέχτηκαν τυχαία. Τα ζώα ακολουθούνταν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας από τρείς καλά εκπαιδευμένους παρατηρητές για δύο συνεχείς ημέρες σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας (άνοιξη, καλοκαίρι και χειμώνα). Οι δραστηριότητες που καταγράφηκαν ήταν οι εξής:

- χρόνος βόσκησης – ο χρόνος που αφιέρωναν τα ζώα για βόσκηση,
- χρόνος κίνησης – ο χρόνος που αφιέρωναν τα ζώα για περπάτημα ή τρέξιμο από τη μια θέση στην άλλη,
- χρόνος στάσης – ο χρόνος που τα ζώα σταματούσαν όλες τις δραστηριότητες και στέκονταν αδρανοποιημένα, συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου ξεκούρασης κατά τη διάρκεια του μεσημεριού την ανοιξιάτικη και το καλοκαιρινή περίοδο,
- χρόνος ανάπαυσης – ο χρόνος που αφιέρωναν τα ζώα για να ξαπλώσουν στο έδαφος για να αναπαυθούν και
- χρόνος μηρυκασμού – ο χρόνος που τα ζώα αφιέρωναν για μηρυκασμό.

Αποτελέσματα

Εκτίμηση του κινδύνου ερημοποίησης

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών βρέθηκε ότι οι βοσκόμενες εκτάσεις στο μεγαλύτερο μέρος τους κινδυνεύουν με ερημοποίηση. Από υη μελέτη των Ευαγγέλου κ.ά. (2006) δημιουργήθηκαν τέσσερις ποιοτικοί χάρτες για το έδαφος, τη βλάστηση, το κλίμα και τη διαχείριση. Στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας βρέθηκε να κυριαρχεί ο χαμηλός δείκτης ποιότητας εδάφους (60,4% της έκτασης). Αυτό αποδόθηκε κυρίως στα αβαθή εδάφη που επικρατούν στην περιοχή (43,87%) και δευτερευόντως στις απότομες κλίσεις (30,52%) και στα μητρικά πετρώματα με μέτρια ευαισθησία στην ερημοποίηση (62,85%) (Εικόνα1).



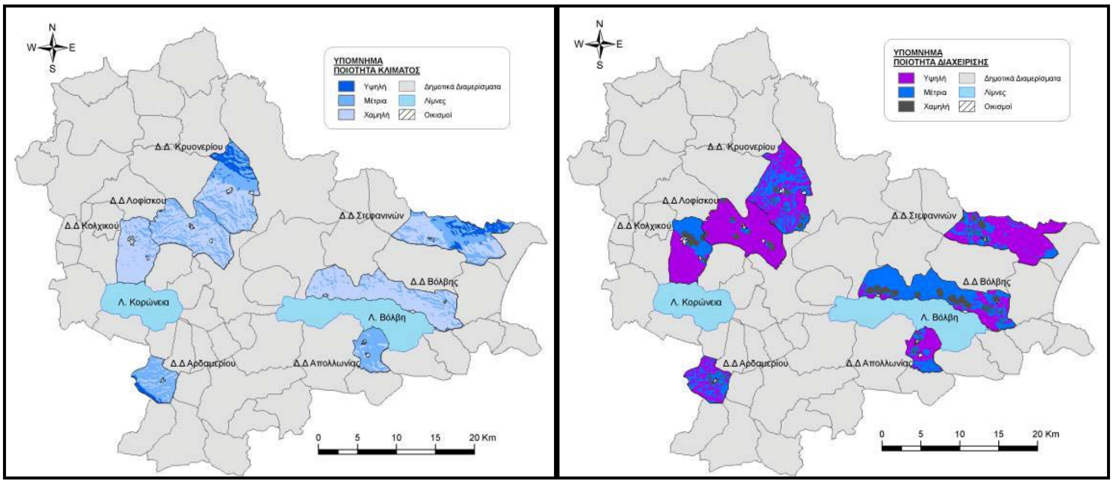
Εικόνα1. Ποιότητα εδάφους (αριστερά) και βλάστησης της περιοχής έρευνας (Ευαγγέλου κ.ά. 2006).

Figure1. Soil (left) and vegetation quality maps in the studied area (Evangelou *et al.* 2006).

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων για το δείκτη ποιότητας βλάστησης έδειξαν, ότι είναι χαμηλός σε ποσοστό που φτάνει το 40,58% της συνολικής έκτασης (Εικόνα1). Η χαμηλή ποιότητα βλάστησης αποδόθηκε κυρίως στην παρουσία των ετήσιων γεωργικών καλλιεργειών με ποσοστό που καλύπτει το 29,01% της έκτασης, λόγω της πολύ χαμηλής αντοχής της στην ξηρασία και της πολύ χαμηλής προστασίας του εδάφους από τη διάβρωση που προσφέρει. Επίσης η έκταση που καταλάμβαναν τα ποολίβαδα (7,42% της έκτασης) εμφάνισε χαμηλό δείκτη ποιότητας βλάστησης, κυρίως λόγω της χαμηλής αντοχής στην ξηρασία. Η μέτρια ποιότητα βλάστησης εμφανίστηκε κυρίως στα φυλλοβόλα δάση (24,58% της έκτασης), λόγω του μέτριου βαθμού προστασίας που παρέχουν στο έδαφος και στο μέτριο κίνδυνο πυρκαγιάς. Η ίδια ποιότητα εμφανίστηκε και στα θαμνολίβαδα (38,64%), ιδίως εκεί που επικρατεί η χαμηλή κάλυψη ξυλώδους βλάστησης (18,02% της έκτασης).

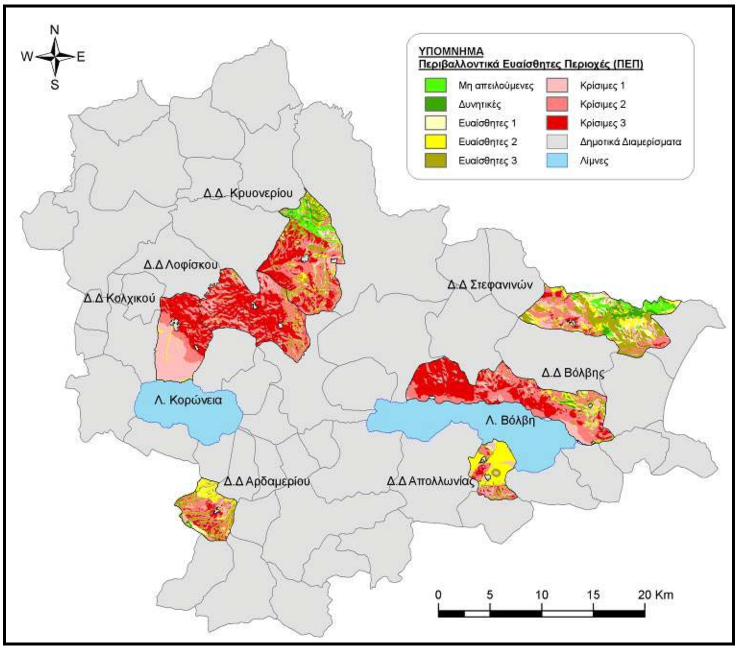
Από την εκτίμηση του δείκτη ποιότητας κλίματος (Εικόνα 2), συνδυάζοντας το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και την έκθεση, προέκυψε ότι αυτός είναι χαμηλός (56,12% της περιοχής έρευνας). Ο χαμηλός δείκτης συνεπάγεται νότιες εκθέσεις (66,24%) και μέσο ύψος βροχόπτωσης μεταξύ 450-650 χλσ. (83,72%). Υψηλό δείκτη εμφανίζουν οι εκτάσεις εκείνες με υψηλά ποσοστά βόρειων εκθέσεων και επίπεδων εκτάσεων, αλλά και ύψος βροχόπτωσης >650 χλσ. (16,28%).

Τέλος, ο δείκτης ποιότητας διαχείρισης είναι υψηλός (58,15%) και αντιπροσωπεύει τις εκτάσεις που δεν ασκείται μεγάλη βοσκοφόρτωση (Εικόνα 2). Η χαμηλότερη ποιότητα διαχείρισης περιορίζεται στο 6,69% της περιοχής έρευνας και εμφανίζεται γύρω από τις στάνες. Αυτό οφείλεται στη πυοσφαιρική επίδραση που ασκείται από τα ζώα. Εκτάσεις με μεγάλο βαθμό βοσκοφόρτωσης, που βρίσκονται εκτός των ορίων της πυοσφαιρικής επίδρασης (ζώνη >400 μέτρα), έχουν μέτριο δείκτη ποιότητας διαχείρισης.



Εικόνα2. Ποιότητα κλίματος (αριστερά) και διαχείρισης στην περιοχής έρευνας (Ευαγγέλου κ.ά. 2006).
Figure2. Climate (left) and management quality maps in the studied area (Evangelou *et al*. 2006).

Μετά το συνδυασμό των τεσσάρων ποιοτικών χαρτών προέκυψε ο δείκτης ESAI, με τον οποίο και καθορίστηκαν οι ΠΕΠ ως κρίσιμες, ευαίσθητες, δυνητικές και μη απειλούμενες για ερημοποίηση (Εικόνα 3). Η πλειονότητα της περιοχής έρευνας ταξινομείται στη κρίσιμη και ευαίσθητη κατηγορία ΠΕΠ με ποσοστό 71,32% και 23,20% της έκτασης αντίστοιχα. Οι δυνητικές και οι μη απειλούμενες περιοχές καλύπτουν μικρό ποσοστό, το οποίο ανέρχεται στο 2,71% και 2,77% της συνολικής έκτασης αντίστοιχα.



Εικόνα3. Περιβαλλοντικά Ευαίσθητες Περιοχές στην ερημοποίηση (Ευαγγέλου κ.ά. 2006).
Figure3. Environmentally Sensitive Areas in desertification (Evangelou *et al*. 2006).

Σύστημα βόσκησης

Τα αιγοπρόβατα στην περιοχή του Δ.Δ Ασκού, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2, βρέθηκαν πάνω από 10.000 σε συνολικά 24 εκμεταλλεύσεις (Ευαγγέλου κ.ά 2008).

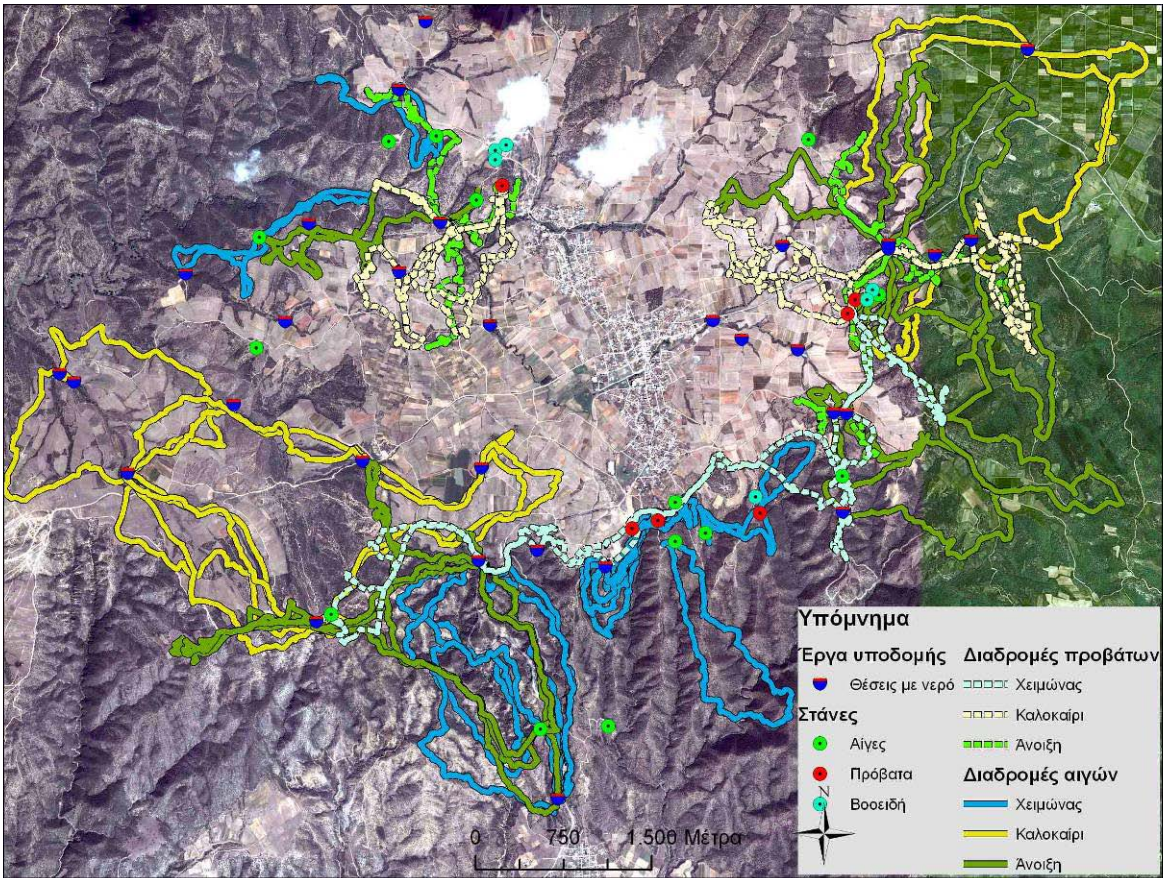
Πίνακας 2. Περιγραφή των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων στον Ασκό για το 2005 (Ευαγγέλου κ.ά 2008).
Table 2. Sheep and goat exploitations in Askos village during 2005 (Evangelou *et al.* 2008)

Ζώα/εκμετάλλευση		Αριθμός κτην/φων	Κτην/κές εκμ/σεις	Αριθμός ζώων ανά ηλικία (έτη)		
				Αίγες>1	Πρόβατα >1	<1
Αίγες	0-100	3	3	109		9
	101-400	7	5	1.573		305
	401-800	10	5	3.335		555
	>801	6	2	1.875		195
Πρόβατα	101-400	6	4		1.270	190
	401-800	1	1		515	50
Αιγοπρό-βατα	0-100	2	2	51	39	20
	101-400	2	2	152	234	85
	Σύνολο	37	24	7.095	2.058	1.409

Με βάση την ίδια έρευνα, κατά το 2005 δόθηκαν στις αιγοπροβατοτροφικές εκμεταλλεύσεις δύο ειδών οικονομικές ενισχύσεις (επιδοτήσεις): η εξισωτική αποζημίωση και η κατά κεφαλή πριμοδότηση. Για κάθε ενήλικο ζώο μιας εκμετάλλευσης, υπολογίστηκε ότι δίνεται εξισωτική αποζημίωση 12,2 €. Σύμφωνα με τα δικαιώματα που δίνονται στην Ελλάδα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ένα μέρος των ζώων κάθε εκμετάλλευσης έλαβε τελικά την κατά κεφαλή πριμοδότηση, και τα ζώα που συμμετέχουν σ' αυτήν ονομάζονται "επιλέξιμα" η οποία αντιστοιχούσε στο ποσό των 24 €/ζώο. Λαμβάνοντας όμως υπόψη το σύνολο των ενηλίκων ζώων, η κατά κεφαλή πριμοδότηση μειώθηκε στα 18,5 €/ζώο. Επομένως, από την κατά κεφαλή πριμοδότηση και την εξισωτική αποζημίωση οι κτηνοτρόφοι έλαβαν συνολικά 30,7 €/ζώο.

Στο Δ.Δ. Ασκού εφαρμόζεται το σύστημα της κοπαδιάρικης, μη νομαδικής εκτροφής, η οποία περιλαμβάνει τη βόσκηση στα κοινόχρηστα λιβάδια, όπως και στην ευρύτερη περιοχή της επαρχίας Λαγκαδά (Γιακουλάκη κ.ά. 2003). Με βάση τους Ευαγγέλου κ.ά. (2008), τα αμιγή κοπάδια προβάτων και τα μεικτά κοπάδια (αιγοπροβάτων) δεν άλλαζαν βάση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Αντίθετα, τα μισά αμιγή κοπάδια αιγών της περιοχής μελέτης μετακινούνταν σε υψηλότερες θέσεις εντός του δημοτικού διαμερίσματος στο τέλος της ανοιξιάτικης περιόδου (Μάιο- Απρίλιο) και επέστρεφαν κατά το Νοέμβριο για να διαχειμάσουν. Τα κοπάδια διένυαν αρκετά χιλιόμετρα (Εικόνα 4) προκειμένου να εξασφαλίσουν τις ημερήσιες τους ανάγκες ιδίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο τα οποία ξεκινούσαν νωρίς το πρωί και επέστρεφαν στην στάνη μετά από την παρέλευση 11 ωρών (Πίνακας 3).

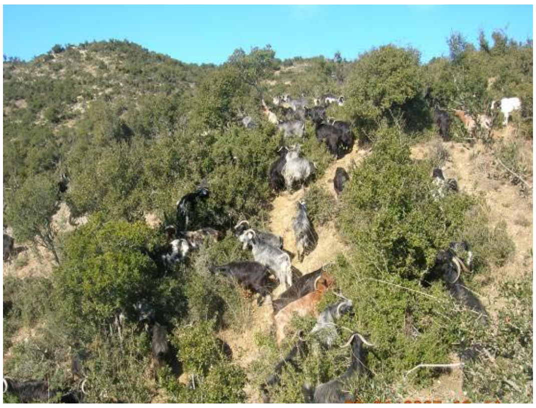
Το σύνολο των κοπαδιών των αιγών έβοσκαν στις λιβαδικές εκτάσεις κατά τη χειμερινή περίοδο ενώ από τα κοπάδια των προβάτων μόνο το 33% και τα υπόλοιπα παρέμεναν εσταβλισμένα. Σημαντικό ρόλο στις αποστάσεις μετακίνησης των κοπαδιών έπαιζε η θέση της κάθε κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης (Εικόνα 4) σε σχέση με τις λιβαδικές εκτάσεις, τα χασίλια και τις καλαμιές, καθώς επίσης και η κατανομή των έργων υποδομής (στάνες, ποτίστρες, δρόμοι, φράκτες κλπ). Όλα τα κοπάδια (αιγών και προβάτων) έβοσκαν στις λιβαδικές εκτάσεις κατά την ανοιξιάτικη περίοδο σε συνδυασμό με τα χασίλια, ενώ το καλοκαίρι έβοσκαν στα λιβάδια και στις καλαμιές. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, το σύνολο των κοπαδιών των αιγών χρησιμοποιούσαν τις λιβαδικές εκτάσεις ενώ από τα κοπάδια των προβάτων μόνο το 67% (Ευαγγέλου κ.ά. 2008) (Εικόνα 5).



Εικόνα4. Οι μετακινήσεις των αιγών και προβάτων στη διάρκεια της ημερήσιας βόσκησης από τις στάνες στις λιβαδικές εκτάσεις.
Figure4. Sheep and goat tracks during the daily grazing from sheds to rangelands

Πίνακας 3. Συνολικός χρόνος παραμονής κοπαδιών αιγών και προβάτων στα λιβάδια, χρόνος βόσκησης (ώρα) και απόσταση (χλμ.) που διένυαν στη διάρκεια του έτους (Ευαγγέλου κ.ά. 2008).
Table 3. Total time spent (hour) from sheep and goats in rangelands and distance travelled (Evangelou *et al.* 2008).

	Εποχή	Απόσταση (χλμ.)	Έξοδος (ώρα)	Επιστροφή (ώρα)	Συνολικός χρόνος	Χρόνος βόσκησης
Αίγες	Χειμώνας	6,0	10:33	16:24	5h50'	5h50'
	Άνοιξη	10,1	10:00	18:33	8h34'	7h38'
	Καλοκαίρι	12,7	8:53	19:20	10h27'	9h08'
Πρόβατα	Χειμώνας	7,7	10:35	15:27	4h52'	4h52'
	Άνοιξη	6,1	9:18	16:28	7h9'	5h31'
	Καλοκαίρι	8,5	7:57	19:38	11h41'	6h24'



α) Θαμνολίβαδο

β) Δασολίβαδο

γ) Ποολίβαδο

δ) Λειμώνας «χασίλια»

ε) Αγρανάπαυση

στ) Υπολείμματα σιτηρών

ζ) Υπεβοσκημένες θέσεις σε θαμνολίβαδα

Εικόνα5. Βοσκόμενες εκτάσεις κατά τη διάρκεια του έτους στην περιοχή

Figure5. Rangeland types during yearly grazing in the study area.

Η χορήγηση ζωοτροφών (χονδροειδείς και συμπυκνωμένες) γινόταν πρωί και βράδυ στη στάνη (Εικόνα6) κατά τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς ήταν πολύ περιορισμένη έως μηδενική και γινόταν μόνο το πρωί. Οι ζωοτροφές αποτελούνταν από μείγμα καρπών (καλαμπόκι, κριθάρι, βαμβακόπιτα και σιτάρι) και φύραμα. Επίσης, δίνονταν σανός (άχυρο και μηδική) κυρίως στα πρόβατα. Η χορήγηση ζωοτροφών κατά μέσο όρο κυμαίνονταν για τις αίγες από 0,5-1,1 χλγ./ζώο/ημέρα και για τα πρόβατα από μηδέν έως και 1,9 χλγ./ζώο/ημέρα (Ευαγγέλου κ.ά. 2008).

Εικόνα6. Τα Ζώα στη στάνη χορηγούνταν με ζωοτροφές.
Figure6. Animals in the shed supplied supplement food

Η περίοδος των γεννήσεων δε διέφερε μεταξύ των αιγών και των προβάτων. Οι γεννήσεις διαρκούσαν από το Νοέμβριο, όπου επιτυγχάνονταν και ο μεγαλύτερος όγκος τους, μέχρι το Φεβρουάριο. Σε πολύ λίγα ζώα παρατείνονταν οι γεννήσεις μέχρι το Μάρτιο-Απρίλιο. Τα αιγοπρόβατα κατά την περίοδο της έρευνας γέννησαν από ένα έως δυο μικρά, σπανιότερα 3, ενώ δεν παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά στην πολυδυμία μεταξύ των αιγών (1,3 ερίφια) και των προβάτων (1,2 αμνοί). Η γαλακτοπαραγωγή κατά τη διάρκεια το έτους ήταν υψηλή και κυμάνθηκε από 0,1 έως 1 kg το ζώο και ημέρα, ανάλογα με την εποχή του έτους (Πίνακας 4) (Ευαγγέλου κ.ά. 2008).

Πίνακας 4. Γαλακτοπαραγωγή (kg./ζώο/ημέρα) αιγών και προβάτων στη διάρκεια του έτους (Ευαγγέλου κ.ά 2008).
Table 4. Milk production (kg/animal/day) of sheep and goat during the year (Evangelou *et al*. 2008)

Ποσότητα (kg)	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Μέσος όρος
Γάλα/αίγα/ημέρα	0,5	1,0	0,7	0,1	0,6
Γάλα/πρόβατο/ημέρα	0,8	0,7	0,3	0,1	0,5

Από την έρευνα που έγινε στις δραστηριότητες των ζώων (Ευαγγέλου κ.ά 2010) βρέθηκε ότι η βόσκηση ήταν η επικρατέστερη δραστηριότητα, ακολουθούμενη από την κίνηση, τη στάση, το μηρυκασμό και την ανάπαυση (Πίνακας 5). Βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές *($P \leq 0.05$)* μεταξύ των τριών εποχών ως προς το χρόνο, που αφιέρωσαν οι αίγες και τα πρόβατα στη δραστηριότητα της βόσκησης. Ειδικότερα, το χειμώνα αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο (*P≤0.05*) για βόσκηση συγκριτικά με την άνοιξη και το καλοκαίρι, κατά τη διάρκεια του οποίου παρατηρήθηκαν και οι μικρότερες τιμές. Επίσης, τα ζώα αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο (*P≤0.05*) για κίνηση κατά την περίοδο του χειμώνα σε σχέση με την άνοιξη και το καλοκαίρι. Τα ζώα αν και παραμένουν λιγότερο χρόνο στα λιβάδια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αφιερώνουν το 89% του χρόνου τους για τη δραστηριότητα της βόσκησης και της κίνησης ενώ κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι αφιερώνουν το 76,2% και το 62,7%, αντίστοιχα.

Πίνακας 5. Ποσοστό (%) χρόνου που αφιέρωσαν οι αίγες και τα πρόβατα στις διάφορες δραστηριότητες εποχιακά (Ευαγγέλου κ.ά 2010)
Table 5. Percentage (%)of time spent from sheep and goats in various activities seasonally (Evangelou *et al*. 2010)

Εποχή	Χρόνος (%)				
	Βόσκηση	Μηρυκασμός	Κίνηση	Στάση	Ανάπαυση
Άνοιξη	46.1β[1]	3.4α	30.1β	19.4β	1.0α
Καλοκαίρι	34.6γ	1.0α	28.4βγ	35.9α	0.1α
Χειμώνας	55.0α	2.0α	34.1α	8.5γ	0.5α

[1]Οι μέσοι όροι σε κάθε στήλη ακολουθούμενοι από τα ίδια γράμματα δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (*P≤0.05*).

Αντίθετα με τις εποχές, οι διαφορές μεταξύ των αιγών και των προβάτων ως προς το χρόνο που αφιέρωσαν για βόσκηση συνολικά στις τρεις εποχές του έτους δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές (*P≤0.05*) (Πίνακας 6). Οι αίγες, όμως, αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο (*P≤0.05*) για τη δραστηριότητα της κίνησης, του μηρυκασμού και της ανάπαυσης σε σχέση με τα πρόβατα. Τα πρόβατα φαίνεται να αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο για τη δραστηριότητα της στάσης συγκρινόμενα με τις αίγες, χωρίς όμως να υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά (*P≤0.05*). Ο περισσότερος αυτός χρόνος μπορεί να αποδοθεί στην τάση που έχουν τα πρόβατα να σταματούν κάθε δραστηριότητα όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές και να συγκεντρώνονται κάτω από τα δένδρα, δημιουργώντας χαρακτηριστικούς σχηματισμούς. Ειδικότερα, παρατήρησαν ότι οι αίγες, που έβοσκαν μόνο τις πρωινές και απογευματινές ώρες ενώ το μεσημέρι επέστρεφαν στο στάβλο για να προφυλαχθούν από τις υψηλές θερμοκρασίες του θέρους, αφιέρωναν το 2,7% του χρόνου τους για τη δραστηριότητα της στάσης ενώ τα πρόβατα αφιέρωναν μόλις το 0,1%.

Πίνακας 6. Ποσοστό (%) χρόνου που αφιέρωσαν οι αίγες και τα πρόβατα στις διάφορες δραστηριότητες ανεξάρτητα της εποχής (Ευαγγέλου κ.ά 2010).
Table 6. Percentage (%) of time spent from sheep and goats in various activities independently of season (Evangelou *et al*. 2010)

Είδος ζώου	Χρόνος (%)				
	Βόσκηση	Μηρυκασμός	Κίνηση	Στάση	Ανάπαυση
Αίγες	43.5	3.3*	36.4*	15.7	1.1*
Πρόβατα	46.9	1.0	25.3	26.7	0.0

* Στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με αυτές των προβάτων για την ίδια δραστηριότητα (*P≤0.05*).

Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω έρευνες προέκυψε ότι οι βοσκόμενες δασικές εκτάσεις στην επαρχία Λαγκαδά ταξινομούνται στην κρίσιμη κατηγορία των Περιβαλλοντικά Ευαίσθητων Περιοχών στην ερημοποίηση. Στην περιοχή εφαρμόζεται το σύστημα της ποιμενικής εκτροφής αιγοπροβάτων (κοπαδιάρικη μη νομαδική) το οποίο βασίζεται στη βόσκηση των ζώων στα φυσικά λιβάδια της περιοχής, στους αγρούς (καλαμιές και χασίλια) και στην εκτεταμένη χορήγηση χονδροειδών και συμπυκνωμένων ζωοτροφών. Τα ζώα διανύουν μεγάλες αποστάσεις στα λιβάδια για την κάλυψη των διατροφικών τους αναγκών ενώ παράλληλα εφαρμόζεται εκτεταμένη χορήγηση χονδροειδών και συμπυκνωμένων ζωοτροφών, που κυμαίνονταν από 0,5-1,9 χλγ./ζώο/ημέρα. Η χορήγηση ζωοτροφών συμβάλλει στην υψηλή κατά μέσο όρο γαλακτοπαραγωγή. Οι επιδοτήσεις που έλαβαν οι κτηνοτρόφοι (30,7 € ανά ενήλικο ζώο) στηρίζουν σημαντικά την επιβίωση των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Τα πρόβατα και οι αίγες αφιερώνουν περισσότερο χρόνο για βόσκηση και κίνηση σε σχέση με τη στάση, το μηρυκασμό και την ανάπαυση κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στα λιβάδια στις διάφορες εποχές του έτους. Μεταξύ των δύο ειδών, οι αίγες κινούνται, μηρυκάζουν και αναπαύονται περισσότερο σε σχέση με τα πρόβατα στα λιβάδια, ενώ ο χρόνος στάσης φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από την εποχή παρά από το είδος ζώου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος του Ευρωπαϊκού Προγράμματος «Σύστημα επιτήρησης για την εκτίμηση και παρακολούθηση της ερημοποίησης» (DeSurvey, Contract no. GOCE-CT-2003-003950).

Grazing system and desertification in Mediterranean rangelands

Evangelou Christakis

Laboratory of Rangeland Ecology (286), Aristotle University of Thessaloniki, 541 24 Thessaloniki,
e-mail: katydata@for.auth.gr

Summary

In the framework of DeSurvey project, several researches was done to study the grazing system of sheep and goats as well as the major factors affecting desertification risk in the area of Lagadas county. In order to assess the desertification risk in grazing areas, the modified ESAI index was applied (Environmentally Sensitive Area’s Index). The breeding system was studied with the records of livestock exploitations in the village community of Askos, as well as the subsidies that the livestock breeders received. Furthermore, the rangeland use was studied by identifying the sheep and goat activities during grazing in rangelands (feeding, moving, standing, laying and ruminating) during different seasons of the year. According to the results of ESAI index, more than the 70% of the study area was classifieds in the critical category in term of desertification, while sensitive areas followed with 23,2%. Potential ares and not threatened was very limited. The breeding system of sheep and goats was based on the utilisation of rangelands during the whole year, artificial pastures during spring, cereal stubble during summer, and on the extensive use of feedstuffs (0.5-1.9 kg/animal/day). The farmers received two kinds of subsidies for their animals, exisotiki and a prim per head of eligible animals. The sum of the latter two, in average for each adult animal was found to be 30.7 €. The mean distance travelled by animals, in order to satisfy their daily needs in food, according to animal kind and season varied from 6.1 to 12.7 km/day). Animals during their presence in grazing areas, devoted more time for feeding which showed a seasonal change with significant differences (55.0% in winter 46.1% in spring and 34.5% in summer, $P\leq 0.05$). Goats spent 11.2%, 2.3% and 1.1% significantly ($P\leq 0.05$) more time for moving, ruminating and laying, respectively, than did sheep during the whole year. Sheep spent 11.3% and 3.4% greater time for standing and feeding, respectively. It is concluded that animals adapt their activities according to the particular season while goats are more mobile than sheep.

***Key words*:** Animal routes, small ruminants, GPS, ESAI, feedstuffs, goat, sheep, subsidies.

Βιβλιογραφία

Arianoutsou – Faragitaki, M., 1984. Desertification by overgrazing in Greece: The case of Lesvos island. J. of Arid Environ., 9: 237-242.

Dregne, H.E., 1978. Desertification: Man's abuse of the land. J. of Soil and Water Cons, 33: 11-14.

Kosmas, C., A., Ferrara, H., Briasouli, A., Imeson, 1999: Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification, p: 31-47. In: The Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification (C., Kosmas, M., Kirkby, N., Geeson, eds).

Lorent, H., Ch., Evangelou, M. Stellmes, J., Hill, V.P., Papanastasis, G. Tsiourlis, A., Roeder, E.F., Lambin, 2008. Land degradation and economic conditions of agricultural households in a marginal region of northern Greece. Global and Planetary Change, 64:198–209.

Lyrintzis, G., V.P., Papanastasis, 2000. Human activities and desertification of Psilorites mountain in Crete. In Mediterranean Desertification Research results and Policy implications. Proceedings of the International Conference, 29 October to 1 November 1996 Crete, Greece. Volume 2, Summary of project results.

Thornes, J.B., I.L., Fonseca, A.,Younas, 2008. Ships and sheep: modelling grazing and erosion in a warming world. In: Governing shared resources: connecting local experience to global challenges. Proceedings of the 12th Biennial Conference of the International Association for the Study of Commons, IASC, Cheltenham, England.

Yiakoulaki, M.D., Ch.I., Pantazopoulos, V.P., Papanastasis, 2005. Sheep and goat behaviour grazing on stubble in northern Greece, pp 216-219. In: Animal production and natural resources utilisation in, the Mediterranean mountain areas (Georgoudis A., A., Rosati, C., Monsconi, eds). International Symposium, Ioannina, European Federation for Animal Science (EAAP), No. 115.

Yiakoulaki, M.D., M.P., Zarovali, V.P., Papanastasis, 2009. Foraging behaviour of sheep and goats grazing on silvopastoral systems in Northern Greece. Options Mediterraneennes, A/85: 79-84.

Zarovali, M.P., M.D.,Yiakoulaki, V.P., Papanastasis, 2006. Constraints to grassland production and their impact on livestock husbandry in a semi-arid environment. In: Loveras, L., J., Gonzalez-Rodriguez, A., Vazquez-Yanez, O., Pineiro, J., Santamaria, O., Olea, L., Poblaciones, M.J. (Eds.), Proceedings of the 21st General Meeting of the European Grassland Federation, Badajoz, Spain, 676-678.

Βακάκης, Φ, 2007. Ο ρόλος της κτηνοτροφίας στην ολοκληρωμένη αγροτική ανάπτυξη. Γεωργία-Κτηνοτροφία, 4: 67-72.

Γιακουλάκη, Μ.Δ., Μ.Π., Ζαρόβαλη, Ι., Ισπικούδης Β.Π., Παπαναστάσης, 2003. Διερεύνηση των συστημάτων εκτροφής μικρών μηρυκαστικών στην Επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, σελ. 395-402. Λιβαδοπονία και ανάπτυξη ορεινών περιοχών (Π.Δ. Πλατής και Θ.Γ Παπαχρήστου, εκδότες). Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου. Καρπενήσι, 4-6 Σεπτεμβρίου 2002. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία. Δημ. Νο. 10.

Γιάσογλου, Ν., 2002. Φυσικοί Πόροι και Ερημοποίηση. Πεμπτουσία: Απρίλιος-Ιούλιος 2002, τεύχος 8, Κέντρο Ελληνικού και Ορθόδοξου Πολιτισμού, σελ.44-53.

Ευαγγέλου, Χ.Κ., Γιακουλάκη, Μ.Δ., Β.Π., Παπαναστάσης, 2008. Διερεύνηση του συστήματος εκτροφής μηρυκαστικών ζώων στο δημοτικό διαμέρισμα Ασκού του Ν. Θεσσαλονίκης. Έγινε αποδεκτή η περίληψη μέχρι σήμερα για παρουσίαση στο 6ο Πανελλήνιο Λιβαδοπονικό Συνέδριο που θα γίνει στις 2-4 Οκτωβρίου 2008 στο Λεωνίδιο Αρκαδίας.

Ευαγγέλου, Χ.Κ., Γιακουλάκη, Μ.Δ,. Β.Π. Παπαναστάσης, 2010. Εποχιακές μεταβολές των δραστηριοτήτων αιγών και προβάτων σε κοινόχρηστα μεσογειακά λιβαδικά οικοσυστήματα της βόρειας Ελλάδας. Έγινε αποδεκτή η περίληψη μέχρι σήμερα για παρουσίαση στο 7ο Πανελλήνιο Λιβαδοπονικό Συνέδριο που θα γίνει στις 14-16 Οκτωβρίου 2010 στη Ξάνθη (Υπό δημοσίευση).

Ευαγγέλου, Χ.Κ., Β.Π., Παπαναστάσης, 2006. Εκτίμηση του κίνδυνου ερημοποίησης σε λιβαδικές εκτάσεις με βάση το δείκτη ESAI. Πρακτικά 5ου Λιβαδοπονικού Συνέδριου «Λιβαδοπονία Ξηροθερμικών Περιοχών». Ηράκλειο Κρήτης, 1-3 Νοεμβρίου, 2006. Σελ. 347-352.

Πλατής, Π., Ι., Μελιάδης, Β., Παπαναστάσης, 1998. Απογραφή, ταξινόμηση και αξιολόγηση των βοσκόμενων δασικών εκτάσεων λεκάνης Μυγδονίας. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 9 (4):71-80.

Ένα μοντέλο πυρκαγιών-βόσκησης-ερημοποίησης για την περιοχή της Μεσογείου.

Γαβριήλ Ξανθόπουλος, Μιχαήλ Ξανθάκης

Ινστιτούτο Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Τέρμα Αλκμάνος 11528 Ιλίσια Αθήνα

Στα Μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα ο ρόλος της εκτατικής κτηνοτροφίας είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Η σημασία αυτή δεν είναι μόνο σημερινή αλλά έχει αποτυπωθεί δια μέσου των αιώνων. Η βόσκηση, κυρίως των προβάτων και των αιγών, έχει εμφανή επίδραση στο περιβάλλον αλλά και μεγάλο κοινωνικό και οικονομικό ρόλο στις ορεινές και ημιορεινές κυρίως περιοχές. Τα αποτελέσματα της εκτατικής κτηνοτροφίας μπορούν να είναι από πολύ θετικά για το περιβάλλον και την οικονομία των περιοχών αυτών, εφόσον η βόσκηση γίνεται με σωστό τρόπο, έως καταστροφικά για την οικολογική ισορροπία των εκτάσεων που βόσκονται εφόσον δεν τηρούνται οι αρχές της λιβαδοπονίας που στοχεύουν στην επίτευξη αειφόρου διαχείρισης των λιβαδικών εκτάσεων.

Το βασικότερο στοιχείο που χαρακτηρίζει μία λανθασμένη και καταστροφική εφαρμογή της βόσκησης είναι η προσπάθεια των κτηνοτρόφων να βοσκήσουν σε μία περιοχή μεγαλύτερο αριθμό ζώων από εκείνον που μπορεί να θρέψει αυτή χωρίς να οδηγηθεί σε υποβάθμιση και ο οποίος εξαρτάται κυρίως από την παραγωγικότητά της. Η υπερβόσκηση αυτή, ιδίως όταν συνδυάζεται με πυρκαγιές, οδηγεί στην εξαφάνιση της βλάστησης, τη διάβρωση και τελικά την ερημοποίηση των βοσκοτόπων.

Στην Ελλάδα, ένα ποσοστό 10% περίπου των πυρκαγιών στα λιβάδια οφείλεται διαπιστωμένα στους κτηνοτρόφους. Το ποσοστό αυτό μάλιστα μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο καθώς τα αίτια μεγάλου μέρους των πυρκαγιών παραμένουν ανεξακρίβωτα (Ξανθόπουλος 1996). Η ένταση του προβλήματος διαφέρει σημαντικά μεταξύ περιοχών και αντίστοιχα διαφέρουν και τα οικολογικά αποτελέσματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κύκλος υπερβόσκηση-πυρκαγιά έχει ήδη οδηγήσει μεγάλες εκτάσεις σε πλήρη υποβάθμιση, ενώ σε άλλες τα πράγματα είναι πολύ καλύτερα. Είναι προφανές ότι οι διαφορές αυτές οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στις επιλογές των κτηνοτρόφων. Η παρούσα εργασία αφορά τη δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης του κύκλου καύσης – βοσκής στους βοσκότοπους της Ελλάδας το οποίο ονομάστηκε FIGSIS (**FI**re-**G**razing-**SI**mulation **S**ystem). επικεντρωμένου στη συμπεριφορά των κτηνοτρόφων, με στόχο την εξέταση της σημασίας των παραγόντων που επιδρούν σε αυτόν και την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεών τους.

Το μοντέλο αποτελείται από επί μέρους υπο-μοντέλα που αφορούν: (i) την παραγωγή βοσκήσιμης ύλης σε μία υπό εξέταση περιοχή ανάλογα με τον τύπο και την κατάσταση του βοσκοτόπου, τη βροχόπτωση και το χρόνο μετά την πυρκαγιά, (ii) την απόληψη της βοσκήσιμης ύλης μέσω της βόσκησης αιγοπροβάτων, (iii) την επίδραση αυτής της απόληψης στην κατάσταση της βλάστησης που απομένει και την κατάσταση του βοσκοτόπου, και (iv) το οικονομικό αποτέλεσμα για τον κτηνοτρόφο που εξαρτάται τόσο από την ίδια του την εκμετάλλευση όσο και από εξωγενείς παράγοντες (τιμές κρέατος, γάλακτος και ζωοτροφών, καθώς και επιδοτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης) και το οποίο θεωρείται ότι συσχετίζεται με το κίνητρό του να χρησιμοποιήσει τη φωτιά για τη διαχείριση της περιοχής του.

Το πρώτο υπο-μοντέλο αφορά την εκτίμηση της παραγωγής βοσκήσιμης ύλης σε μία περιοχή με δεδομένο ότι αυτή επηρεάζεται από τον τύπο της βλάστησης, το κλίμα, τη βόσκηση και τη φωτιά. Ως προς τη βλάστηση, η παραγωγή υπολογίζεται διαφορετικά για τα χορτολίβαδα, τα φρυγανικά οικοσυστήματα και τους θαμνώνες αειφύλλων πλατυφύλλων. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιούνται εξισώσεις και πληροφορίες από τη βιβλιογραφία που συνδέουν την ετήσια παραγωγή βοσκήσιμης ύλης (kg/ha) με την ετήσια βροχόπτωση υπό κανονικές συνθήκες, αλλά και με τον χρόνο μετά από πυρκαγιά (Le Houerou και Hoste 1977, Papanastasis 1982, Arianoutsou-Faraggitaki 1984, Papanastasis 1988). Σε ορισμένες περιπτώσεις για τις ανάγκες του μοντέλου έγινε συνδυασμός εξισώσεων για το ομαλό πέρασμα από τη μεταπυρική περίοδο στην περίοδο ωριμότητας της βλάστησης. Η παραγωγή ανά εκτάριο πολλαπλασιαζόμενη με την έκταση της περιοχής δίδει τη συνολική ετήσια παραγωγή βοσκήσιμης ύλης.

Η συνολική κατανάλωση βοσκήσιμης ύλης υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των ζώων, τη μέση μηνιαία κατανάλωση κάθε ζώου και τον αριθμό των μηνών βόσκησης. Ως αποδεκτή απολαβή βοσκήσιμης ύλης χωρίς υποβάθμιση της βλάστησης θεωρείται το 50% της παραγωγής και με βάση αυτή υπολογίζεται ο αποδεκτός αριθμός ζώων προς βόσκηση. Εφόσον ο αριθμός των ζώων είναι μεγαλύτερος η βλάστηση θεωρείται ότι υφίσταται υποβάθμιση και η μελλοντική παραγωγή μειώνεται.

Ιδιαίτερη προσοχή δίδεται στον εμπρησμό από βοσκούς οι οποίοι χρησιμοποιούν τη φωτιά για να «βελτιώσουν» το λιβάδι. Με τον όρο βελτίωση εννοείται η καταστροφή των ανεπιθύμητων φυτικών ειδών για τα ζώα καθώς και των ξυλωδών φυτών μεγάλης ηλικίας που έχει μειωθεί η παραγωγικότητά τους, ώστε να εγκατασταθούν πιο εύγευστα ποώδη φυτά μετά την πυρκαγιά και οι νέοι θάμνοι να παράγουν πολλούς τρυφερούς βλαστούς. Αυτό αποτελεί και το κίνητρο των κτηνοτρόφων. Όμως, ταυτόχρονα, άμεσο αποτέλεσμα των πυρκαγιών είναι η διάβρωση του εδάφους με τις φθινοπωρινές βροχές και η μακρόχρονη υποβάθμιση της παραγωγικότητας του λιβαδιού.

Η σημαντικότερη πτυχή που πραγματεύεται το μοντέλο είναι η προσπάθειά του να εκτιμήσει την πιθανότητα της χρήσης της φωτιάς από τους κτηνοτρόφους, δηλαδή το «κίνητρο» που έχουν να χρησιμοποιήσουν τη φωτιά ως διαχειριστικό μέσο. Το οικονομικό αποτέλεσμα, συγκρινόμενο με το ύψος της ετησίας προσόδου που γενικά θεωρείται ως αποδεκτό, μπορεί να αποτελέσει κίνητρο αύξησης της πιθανότητας ο βοσκός να χρησιμοποιήσει τη φωτιά ως μέσο προσωρινής αύξησης της παραγωγής βοσκήσιμης ύλης, όταν δεν επιτυγχάνει τον κοινωνικά «αποδεκτό» μισθό.

Εφόσον η χρήση της φωτιάς είναι παράνομη και σχετίζεται με την αποδοχή του ρίσκου της προσωποκράτησης του κτηνοτρόφου, θεωρείται ότι ο κτηνοτρόφος θα κάνει χρήση της φωτιάς, μόνο αν είναι σίγουρος ότι το εισόδημα του θα αυξηθεί σημαντικά με τη χρήση της φωτιάς σε σχέση με ένα προσδοκώμενο «φυσιολογικό» εισόδημα που καθορίζει ο χρήστης (YSALARY). Βασιζόμενο το μοντέλο σε αυτήν την θεώρηση, το οικονομικό αποτέλεσμα της κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης χρησιμοποιείται ως δεδομένο σε μία εμπειρική σχέση που υπολογίζει την ανάγκη του κτηνοτρόφου να πάρει «μέτρα» ώστε να αυξήσει το εισόδημά του. Η εξίσωση δίνει μία τιμή που εκφράζει αυτήν την ανάγκη με ένα εύρος 0-100, με ένα συνεχή μη-γραμμικό τρόπο και έχει την παρακάτω μορφή:

$$NEED = 100 - (100 / 1 + e(-(FR - YSALARY) / RC))$$

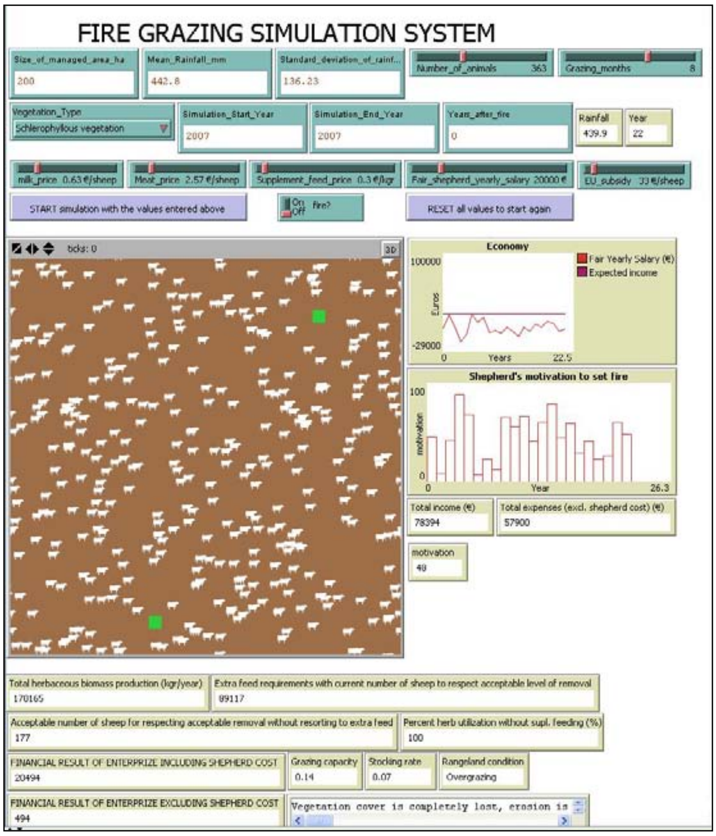
όπου: το RC, εκφράζει το εύρος εισοδήματος μέσα στο οποίο αλλάζει η «ανάγκη» του κτηνοτρόφου, το YSALARY είναι το ετήσιο «φυσιολογικό» εισόδημα του κτηνοτρόφου, το οποίο καθορίζεται από το χρήστη και το FR προκύπτει από την αφαίρεση εξόδων και εσόδων. Η εικόνα 1 δείχνει την συμπεριφορά της εξίσωσης κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις: YSALARY=18000€ και RC=8000€.

Εικόνα 1. Παράδειγμα υπολογισμού την ανάγκης (NEED) του κτηνοτρόφου να χρησιμοποιήσει τη φωτιά, ώστε να αυξήσει το εισόδημά του, θεωρώντας ότι YSALARY=18000€ και RC=8000€.

Figure 1. Example of estimation of shepherd's NEED to use fire to increase his income, assuming YSALARY=18000€ and RC=8000€.

Το FIGSIS έχει υλοποιηθεί σε Η/Υ σε προγραμματιστικό περιβάλλον Netlogo το οποίο διατίθεται δωρεάν μέσω διαδικτύου στην διεύθυνση: http://ccl.northwestern.edu/netlogo/ (Wilensky 1999). Το μοντέλο επιτρέπει την προσομοίωση της βόσκησης για σειρά ετών όπως ορίζει ο χρήστης. Η βροχόπτωση για κάθε προσομοιούμενο έτος υπολογίζεται αυτόματα μέσω ενός τυχαίου υπολογισμού, έτσι ώστε οι λαμβανόμενες τιμές να έχουν μακροπρόθεσμα μορφή καμπύλης με μέσο όρο και τυπική απόκλιση όμοια με τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής. Επίσης, η χρήση φωτιάς από τον κτηνοτρόφο αποφασίζεται από το μοντέλο με βάση τις πιθανότητες που προκύπτουν από το κίνητρο που υπολογίζεται ότι έχει βάσει των οικονομικών επιδόσεων της εκμετάλλευσής του.

Η χρήση του FIGSIS επιτρέπει την εξέταση διάφορων συνδυασμών έντασης-βοσκής, εξωγενών παραγόντων και χρήσης της φωτιάς σε μακρόχρονη βάση με στόχο να υπολογιστούν οι τιμές βοσκοφόρτωσης που εξασφαλίζουν αειφόρο διαχείριση αλλά και τα όρια που μπορούν να οδηγήσουν σε έντονη υποβάθμιση του βοσκοτόπου και τελικά σε ερημοποίηση. Μελλοντικές βελτιώσεις στα επί μέρους υπο-μοντέλα θα αυξήσουν την πολυπλοκότητα και αντιπροσωπευτικότητά τους ώστε το μοντέλο να αποτελέσει ένα σύγχρονο εργαλείο υποβοήθησης της διαχείρισης των βοσκοτόπων της χώρας μας.



Εικόνα 2. Στιγμιότυπο του μοντέλου που υπολογίζει και απεικονίζει γραφικά με ετήσιο βήμα, το κίνητρο του κτηνοτρόφου να βάλει φωτιά σε βοσκότοπο.

Figure 2. An instance of the model that calculates and shows graphically, with a yearly step, the motivation of the shepherd to use fire on the grazing land.

Βιβλιογραφία

Arianoutsou-Faraggitaki, M., 1984. Post fire successional recovery of a phryganic (East Mediterranean) ecosystem. Acta Oecologica / Oecologia Plantarum, 5: 378-394.

Le Houerou, H.N., and. Hoste, C.H., 1977. Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean basin and in the African Sahelo – Sudanian zone. J. Range Manage., 30:181-189.

Ξανθόπουλος, Γ., 1996. Πυρκαγιές και κτηνοτροφία στα δάση. Σελ. 30-39. Στα πρακτικά της Επιστημονικής Ημερίδας της Ελληνικής Λιβαδοπονικής Εταιρείας με θέμα “Κτηνοτροφία Πυρκαγιές και Περιβάλλον”. 2 Φεβρουαρίου 1996, Θεσσαλονίκη. 119 σελ.

Papanastasis, V., 1982. Production of grasslands in relation to air temperature and rainfall in North Greece. Forest Research III-appendix (in Greek).

Papanastasis, V., 1988. Restoration and management of vegetation after fire in maqquis vegetation. Forest Research, IX(2):77-90 (in Greek)..

Wilensky, U., 1999. Netlogo. http://ccl.northwestern.edu/netlogo/. Center for Connected Learning and Computer –Based Modeling. Northwestern University. Evanston, IL.

Προσομοίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του κτηνοτροφικού κεφαλαίου και της λιβαδικής παραγωγής σε Μεσογειακά λιβάδια

Δημήτρης Χουβαρδάς[1], Χριστάκης Ευαγγέλου[1], Ulf Helldén[2], και Βασίλειος Π. Παπαναστάσης[1]

[1]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
[2]Department of Earth and Ecosystem Sciences, Lund University, Lund, Sweden

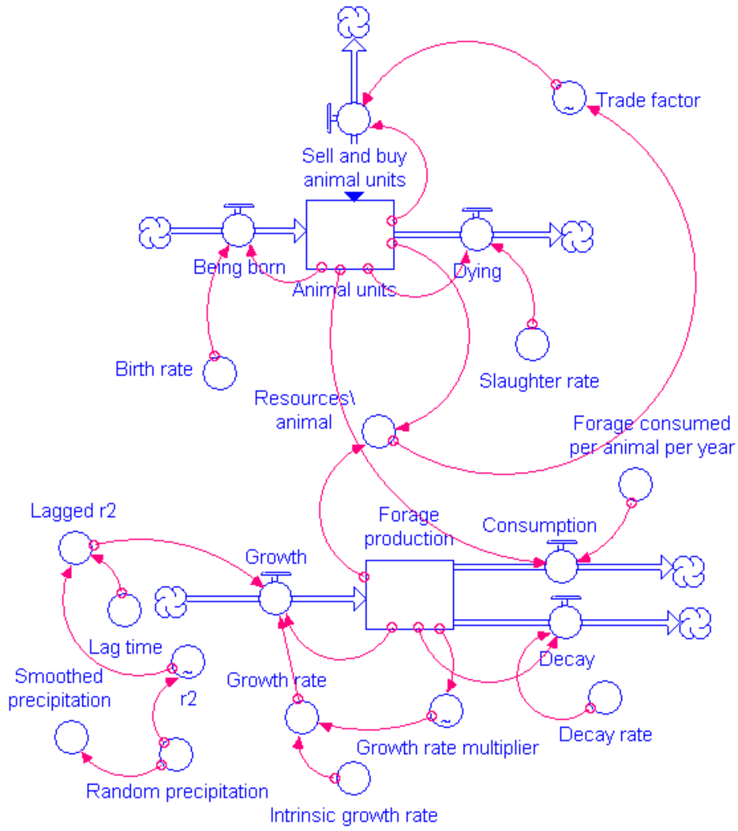
Εισαγωγή

Τα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης (systems dynamics) έχουν αποκτήσει τα τελευταία χρόνια όλο και μεγαλύτερες εφαρμογές στη διερεύνηση αειφορικών λύσεων σε περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα (Costanza και Voinov 2001). Τέτοιου είδους αναλύσεις των πολύπλοκων σχέσεων, οικονομικών και περιβαλλοντικών, που αναπτύσσονται κατά τη εφαρμογή της βόσκησης στα λιβάδια της χώρας μας δεν έχουν μέχρι σήμερα επαρκώς μελετηθεί. Οι Lorent κ.α. (2008) διερεύνησαν την επίδραση των κτηνοτροφικών επιδοτήσεων στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος της Επαρχίας Λαγκαδά Θεσσαλονίκης. Οι Roeder κ.α. (2009), διερεύνησαν τις επιδράσεις της βόσκησης στα χωρικά και διαχρονικά χαρακτηριστικά των μεσογειακών λιβαδιών, δημιουργώντας ένα μοντέλο επιφανειακού κόστους. Σε όλες τις προσπάθειες αυτές, όμως, δεν έγινε χρήση των δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης με στόχο την εκτίμηση της επίδρασης της βόσκησης στη λιβαδική παραγωγή. Ένα δυναμικό μοντέλο, βασισμένο στο αρχικό μοντέλο του Lotka – Volterra για τη σχέση μεταξύ θηρευτή και θηράματος και δομημένο στο πρόγραμμα STELLA εφαρμόστηκε στην περιοχή της Sahel στην Αφρική προκειμένου να μελετηθεί η ερημοποίηση για μια χρονική περίοδο 150 ετών (Hellden 2008). Η παρούσα έρευνα χρησιμοποίησε το ίδιο δυναμικό μοντέλο με στόχο τη διερεύνηση των διαχρονικών σχέσεων μεταξύ του αριθμού των βοσκόντων ζώων και της λιβαδικής παραγωγής.

Μεθοδολογία

Το πρόγραμμα STELLA αποτελεί ένα σύγχρονο λογισμικό κατάλληλο για την κατασκευή δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης και περιλαμβάνει 3 κύρια χαρακτηριστικά, τα αποθέματα (stocks), τις ροές (flows) και τις βοηθητικές μεταβλητές (auxiliary variables) (Costanza και Voinov 2001). Με βάση το πρόγραμμα αυτό διαμορφώθηκε ένα δυναμικό μοντέλο για τις σχέσεις βόσκησης αγροτικών ζώων και λιβαδικής παραγωγής για την επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης. Ως πρώτο έτος εφαρμογής του μοντέλου ελήφθη το 1961, έτος κατά το οποίο υπήρχαν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία για το ζωικό κεφάλαιο και τις χρήσεις γης (λιβαδικές εκτάσεις) της χώρας από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.Ε.). Από τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκε ο αριθμός των βοσκόντων ζώων εκφρασμένος σε ισοδύναμα αιγοπροβάτου. Συμπληρωματικά με τα στοιχεία του ζωικού κεφαλαίου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και λιβαδικής παραγωγής. Ως συνολικό χρονικό διάστημα για την εφαρμογή του νέου μοντέλου ορίστηκε μια περίοδος 140 ετών, από το 1961 έως το 2100.

Αναλυτική παρουσίαση της δομής του μοντέλου βόσκησης - λιβαδικής παραγωγής για την Επαρχία Λαγκαδά εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα 1. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο αποθέματα, των ζωικών μονάδων (Animal units) και της λιβαδικής παραγωγής (Forage production). Στο απόθεμα της λιβαδικής παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν οι βοηθητικές μεταβλητές του συντελεστή αύξησης (Growth rate), των προσαρμοσμένων κατακρημνισμάτων (Random and Smoothed precipitation), της ετήσιας κατανάλωσης της βιομάζας από τα ζώα (Forage consumed per animal per year) και του ποσοστού αποσύνθεσης της βλάστησης (Decay rate). Στο απόθεμα των ζωικών μονάδων χρησιμοποιήθηκαν οι βοηθητικές μεταβλητές του συντελεστή αυξομείωσης των ζωικών μονάδων (Trade factor) και του ποσοστού γέννησης (Birth rate) και σφαγής (Slaughter rate) των αγροτικών ζώων.



Σχήμα 1. Δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης των σχέσεων βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής για την επαρχία Λαγκαδά.
Figure 1. Dynamic simulation model of grazing and grazing land production in Lagadas county.

Αποτελέσματα

Από την λειτουργία του μοντέλου προκύπτει ότι ο αρχικός αριθμός των 254 ζωικών μονάδων/ km^2 για το 1961 πέφτει γρήγορα σε μια τιμή κοντά στις 140 με 150 ζωικές μονάδες/ km^2 ισορροπώντας με βάση τη διαθέσιμη λιβαδική παραγωγή και τη μέση ετήσια βροχόπτωση. Η τιμή των 150 ζωικών μονάδων/ km^2 αντιστοιχεί σε 1,5 ζωικές μονάδες ανά εκτάριο, η οποία αποτελεί μια βοσκοφόρτωση για μέτρια και αειφορική χρήση για τα περισσότερα φυσικά λιβάδια της χώρας μας. Η παραπάνω σχέση μεταξύ λιβαδικής παραγωγής, βόσκησης και βροχόπτωσης υποδηλώνει μια ισορροπία μεταξύ του παραγωγικού δυναμικού των λιβαδιών και της κατανάλωσης των ζώων στην επαρχία Λαγκαδά, πράγμα που σημαίνει αειφορική χρήση χωρίς υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Από την μελέτη της σημερινής διαχείρισης των λιβαδιών στην Επαρχία, διαπιστώθηκε ότι, ιδιαίτερα μετά την δεκαετία του 1980 και την είσοδο της χώρας στην Ευρωπαϊκή κοινότητα, υπήρξε αύξηση του ζωικού κεφαλαίου και του αριθμού των ζωικών μονάδων σε επίπεδα μεγαλύτερα από αυτά που δίνει το μοντέλο (Chouvardas και Papanastasis 2004, Ευαγγέλου κ.α. 2008). Από την άλλη μεριά, ο χρόνος διατροφής στα λιβάδια μειώθηκε σημαντικά στα περισσότερα Δημοτικά Διαμερίσματα και οι ημερήσιες ανάγκες των ζώων σε τροφή καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό με έτοιμες ζωοτροφές (συμπυκνωμένες και χονδροειδείς) (Ευαγγέλου κ.α. 2008). Αποτέλεσμα της πρακτικής αυτής είναι η αλλοίωση του παραδοσιακού τρόπου εκτροφής των ζώων με βάση μόνο ή κατά το πλείστον από τα λιβάδια. Παράλληλα παρατηρήθηκε και το φαινόμενο της διάβρωσης του εδάφους γύρω από θέσεις συγκέντρωσης των αγροτικών ζώων στα λιβάδια (ποτίστρες, θέσεις ανάπαυσης, αλαταριές, στάνες κ.λπ.) (Ghossoub 2003), λόγω της υπερβόσκησης και της συνεπακόλουθης υποβόσκησης των θέσεων και περιοχών πέραν των σημείων συγκέντρωσης (οικοσφαίρια) Η υποχρησιμοποίηση μεγάλου μέρους των φυσικών λιβαδιών συνέβαλε στην πύκνωση των θαμνολίβαδων και δασών στην επαρχία (Papanastasis και Chouvardas 2005), αυξάνοντας τον κίνδυνο της συσσώρευσης βιομάζας που μπορεί να οδηγήσει στο μέλλον στην υποβάθμιση λόγω εκδήλωσης καταστροφικών πυρκαγιών.

Βιβλιογραφία

Castanza, R. and A. Voinov. 2001. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. Ecol. Model., 143:1 – 7.

Chouvardas, D., Papanastasis V. P. 2004. Stocking rate evolution in Lagadas County. Unpublished Presentation at the Georange Science Meeting, March 11th-12th, 2004, Ispra, Italy.

Ευαγγέλου, Χ.Κ., Γιακουλάκη, Μ.Δ., Παπαναστάσης, 2008. Διερεύνηση του συστήματος εκτροφής αιγοπροβάτων και των χορηγήσεων επιδοτήσεων στο Δ.Δ. Ασκού της Επαρχείας Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, σελ 317 – 322. Λιβαδοπονία και προστατευόμενες περιοχές (Μαντζανάς και Παπαναστάσης εκδότες). Πρακτικά του 6ου Πανελλήνιου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου ‘Λιβαδοπονία και προστατευόμενες περιοχές’, 2 - 4 Οκτωβρίου 2008, Λεωνίδιο Αρκαδίας. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία. Δημ Νο. 14.

Ghossoub, S.R., 2003. Impact of piospheric points on Mediterranean rangelands. Master Thesis of Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Crete, Greece.

Hellden, U., 2008. A coupled human–environment model for desertification simulation and impact studies. Global and Planetart Change, 64(3-4): 158-168.

Lorent, H., Evangelou, Ch., Stelmes, M., Hill, J., Papanastasis, V.P., Tsiourlis, G., Roeder, A., and Lampin, E.F., 2008. Land degradation and economic conditions of agricultural households in a marginal region of northern Greece. Global and Planetary Change, 64 (2008) 198-209.

Papanastasis, V.P., Chouvardas, D., 2005. The state-and-transition approach to conservation management of Mediterranean rangelands and landscapes. Israel J. Plant Sci., 53: 191–202.

Roeder, A., Hill, J., Kuemmerle, T., del Barrio G., Papanastasis, V.P., Tsiourlis, G.M., 2009. Geomatics-based characterization of spatial and temporal trends in heterogeneous Mediterranean rangelands of Northern Greece, p. 281-299. In: Recent Advances in Remote Sensing and Geoinformation Processing for Land Degradation Assessment (Roeder, A. and J. Hill, eds). Taylor and Francis Group, London.

Εξέλιξη της δασικής κάλυψης στην Αττική και εκτίμηση των τάσεων ερημοποίησης εξ' αιτίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων, βόσκησης και πυρκαγιών.

Γαβριήλ Ξανθόπουλος[1], Μιχαήλ Ξανθάκης[1], Χρήστος Βονιτσάνος[2]

[1]Ινστιτούτο Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Τέρμα Αλκμάνος 11528 Ιλίσια Αθήνα
[2]Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Λαμίας, 36100 Καρπενήσι

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη αυτή είχε σαν στόχο να διερευνήσει την εξέλιξη της δασικής κάλυψης στην Αττική, αναγνωρίζοντας παράλληλα την τυχόν εμφάνιση τάσεων ερημοποίησης και προσπαθώντας να κατανοήσει τους παράγοντες που οδηγούν σε αυτή την κατεύθυνση. Η μεθοδολογία βασίστηκε στη σύγκριση μεταξύ ιστορικών αεροφωτογραφιών (1945) και δορυφορικών εικόνες προερχόμενων από το Google Earth (2007), για δέκα περιοχές έρευνας των 2385 ha στην Αττική. Από τη σύγκριση προέκυψε ότι υπάρχει μια μείωση της δασικής κάλυψης μεταξύ των ετών 1945 και 2007 σε σχεδόν όλες τις περιοχές μελέτης. Στη συνέχεια έγινε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που πρόεκυψαν από τις αλλαγές χρήσεων γης σε σχέση με στατιστικά στοιχεία δασικών πυρκαγιών, υπερβόσκησης και ανθρώπινου πληθυσμού που συγκεντρώθηκαν από διάφορες δημόσιους φορείς. Εξετάστηκε επίσης η συμβολή της κλίσης και της έκθεσης με της αλλαγές χρήσης γης, που έχουν συμβεί ιστορικά. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι αλλαγές της βλάστησης στην Αττική κατά τις τελευταίες δεκαετίες (1945-2007) έγιναν εμφανώς σε βάρος των υψηλών δασών και στην κατεύθυνση της υποβάθμισης των φυσικών οικοσυστημάτων. Η πλειοψηφία των αλλαγών χρήσεων γης συνέβη σε πλαγιές με κλίσεις 20-35% και σε νότιο και δυτικό προσανατολισμό. Ακόμη, η μελέτη προσπάθησε μέσα από αναλύσεις να εντοπίσει τους παράγοντες εκείνους που οδηγούν στην υποβάθμιση και την αρχή τάσεων ερημοποίησης. Αν και τα στοιχεία έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση της υποβάθμισης ιδίως με την ένταση της βοσκής δεν προέκυψαν γενικότερα ισχυρές συσχετίσεις, πιθανώς γιατί οι παράγοντες που ταυτόχρονα επηρεάζουν τις αλλαγές χρήσης γης είναι πολλοί περισσότεροι από όσους περιελήφθησαν στη βάση δεδομένων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ερημοποίηση, σύμφωνα με τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών κατά της Ερημοποίησης (UNCCD), ορίζεται ως «η υποβάθμιση των γαιών στις ξηρές, ημίξηρες και ξηρές ύφυγρες περιοχές, που προκαλείται από διαφόρους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των κλιματικών αλλαγών και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων». Ακόμη, το 1988, η Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank) όρισε την ερημοποίηση σαν "μια διεργασία συντηρούμενης υποβάθμισης της γης (εδάφους και βλαστήσεως) προς άγονες, ημι-άγονες και ξηρές περιοχές, που προκαλείται, τουλάχιστον εν μέρει, από τον άνθρωπο. Η εξέλιξη αυτή επιφέρει μείωση του παραγωγικού δυναμικού σε τέτοιο βαθμό, που δεν μπορεί εύκολα να αναστραφεί απομακρύνοντας την αιτία, ούτε εύκολα να αναμορφωθεί χωρίς σημαντική επένδυση".

Ως προς τη βλάστηση, ιδιαίτερα μεγάλη σημασία για την έναρξη της πορείας προς της ερημοποίηση έχει η καταστροφή των δασών. Το ποσοστό του δάσους μειώνεται παγκοσμίως ως συνέπεια ανθρωπογενών επιδράσεων αλλά και λόγω κακής διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων. Στις επιδράσεις αυτές περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές, η υπερβόσκηση, η λαθροϋλοτομία, οι κλιματικές αλλαγές κλπ. (FAO, 2005). Διαχρονικά, οι ανθρώπινες δραστηριότητες που προκύπτουν από τη θέληση των ανθρώπων να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας πίσω από τις αλλαγές χρήσης και την μείωση της δασοκάλυψης που ιστορικά έχει συντελεσθεί (Γρίσπος 1973). Ειδικά, όσον αφορά την αστικοποίηση, ο αντίκτυπός της δεν γίνεται αισθητός μόνο μέσω της φυσικής παρουσίας κτιρίων. Η απαίτηση για ξυλεία, για παράδειγμα, μπορεί να προκαλέσει πίεση στο δάσος και σημαντική δασική καταστροφή πολύ μεγαλύτερη από την ίδια την αστική ανάπτυξη (Houghton et al., 2001).

Ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην καταστροφή των δασών, ιδίως στα Μεσογειακά οικοσυστήματα, είναι οι δασικές πυρκαγιές (Pausas et al., 1999). Ειδικότερα στη Βόρεια ακτή της Μεσογείου σχεδόν όλες οι πυρκαγιές κατακαίουν περιοχές που έχουν καεί επανειλημμένα στο παρελθόν. Συνεπώς, η βλάστηση είναι πραγματικά ένα μωσαϊκό που εκφράζει την ιστορία των πυρκαγιών της περιοχής, με κάποιες περιοχές από αυτές να δοκιμάζονται περισσότερο από τη φωτιά από άλλες κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου (Arianoutsou, 2007). Η εντατική ανθρώπινη παρέμβαση στα Μεσογειακά οικοσυστήματα άλλαξε σημαντικά την κάλυψη γης και το καθεστώς πυρκαγιάς μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο (Arianoutsou et al., 2002).

Μία περιοχή που έχει δεχθεί εντονότατη ανθρώπινη παρέμβαση κατά τη μεταπολεμική περίοδο είναι η Αττική που αποτελεί και το χώρο μελέτης της παρούσας εργασίας καθώς σήμερα ο πληθυσμός της έχει ξεπεράσει τα 4 εκατομμύρια προκαλώντας σημαντικές αλλαγές στο φυσικό και το δομημένο περιβάλλον της. Για την Αττική, υπάρχουν πολλές αναφορές σε χειρόγραφα για τη μορφολογία της και το φυσικό της περιβάλλον κατά τη διάρκεια των αρχαίων χρόνων. Για παράδειγμα, υπάρχουν ιστορικές αναφορές από τον Πλάτωνα ότι η Αττική ήταν μία γυμνή και ερημοποιημένη περιοχή. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βόσκηση, η δασική εκμετάλλευση, η κατασκευή ξύλινων πλοιαρίων, η λαθροϋλοτόμηση και οι λεηλασίες από τους εχθρούς, έβλαψαν πολύ τη βλάστησή της. Εντούτοις, σύμφωνα με τον Γρίσπο (1973), κατά τη διάρκεια του 16ου αιώνα και στην αρχή του 17ου αιώνα, λόγω του μικρού πληθυσμού εκείνη την εποχή, πυκνά δάση κάλυπταν τα βουνά της Αττικής.

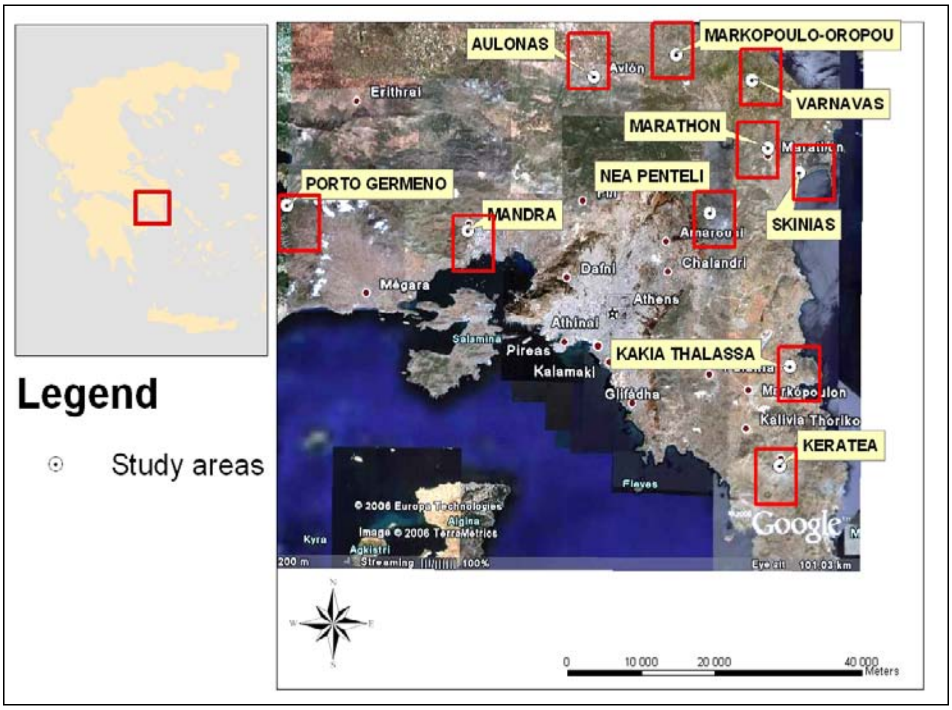
Μια από τις σημαντικότερες και πιο πρόσφατες αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί στα δάση της Αττικής είναι η τάση, από ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού, να χτίσει ένα δεύτερο (εξοχικό) σπίτι μέσα ή δίπλα στις δασικές περιοχές. Αυτό έχει οδηγήσει στη δημιουργία εκτεταμένων περιοχών μίξης δασών-οικισμών, δηλαδή αστικών περιοχών που εφάπτονται ή είναι σε μίξη με δασική βλάστηση κάτι που επηρεάζει τη δομή και τη λειτουργία τη δομή και τη λειτουργία της τελευταίας σε μεγάλο βαθμό. Η τάση αυτή έχει αυξήσει σημαντικά τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων κοντά ή μέσα στα δάση. Επιπλέον, η δυσκολία αντιμετώπισης των πυρκαγιών σε τέτοιες περιοχές είναι ιδιαίτερα μεγάλη (Ξανθόπουλος, 2000) και οι προξενούμενες καταστροφές ιδιαίτερα σημαντικές όπως έχει συμβεί επανειλημμένα κατά τα τελευταία έτη (Xanthopoulos et al. 2004, Ξανθόπουλος και Caballero 2007, Ξανθόπουλος και Ευτυχίδης 2007).

Όλα τα παραπάνω δικαιολογούν την ανησυχία των επιστημόνων και των πολιτών για το φυσικό περιβάλλον της Αττικής και την πιθανότητα να οδηγηθεί σε ερημοποίηση, κάνοντας δυσκολότερες τις συνθήκες διαβίωσης των εκατομμυρίων κατοίκων της. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να μελετηθεί η εξέλιξη της δασικής κάλυψης στην Αττική στο τελευταίο μισό του εικοστού αιώνα με τη χρήση και τη σύγκριση, αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, ανιχνεύοντας τάσεις ερήμωσης, και να προσπαθήσει να εξηγήσει την προέλευση των αλλαγών χρήσεων γης με την εξέταση του συσχετισμού τους με πιθανούς αιτιολογικούς παράγοντες όπως η αλλαγή του πληθυσμού, η υπερβόσκηση, οι πυρκαγιές και άλλοι περιβαλλοντικοί και φυσιογραφικοί παράγοντες.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα για την μελέτη της αλλαγής στη δασοκάλυψη της Αττικής χωρίστηκε σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος επικεντρώθηκε σε αλλαγές, που καλύπτουν μια ευρύτερη χρονική περίοδο που περιλαμβάνει το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, πριν από την έναρξη της μετανάστευσης του πληθυσμού προς τις πόλεις, μέχρι σήμερα που περισσότερο από 40% του πληθυσμού της χώρας ζει στην Περιφέρεια Αττικής.

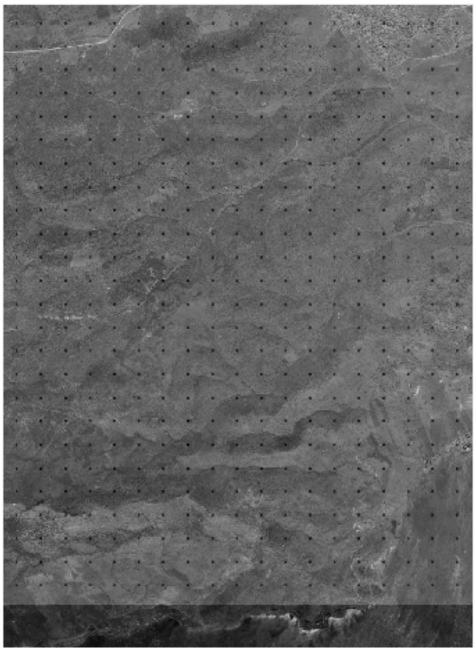
Επομένως η έρευνα επικεντρώθηκε στην τελευταία πεντηκονταετία δηλαδή μεταξύ των ετών 1945 και 2007, με βάση αεροφωτογραφίες (1945) και δορυφορικές εικόνες (2007). Για το σκοπό αυτό, επελέγησαν δέκα αντιπροσωπευτικές περιοχές έρευνας στην Αττική (Εικόνα 1). Αυτές οι περιοχές ήταν: ο Μαραθώνας, η Κακιά Θάλασσα, η Μάνδρα, το Μαρκόπουλο Ωρωπού, το Πόρτο Γερμενό, η Κερατέα, ο Βαρνάβας, ο Αυλώνας, ο Σχινιάς και η Νέα Πεντέλη. Στις περιοχές αυτές οι επανειλημμένες πυρκαγιές, η αύξηση της αστικοποίησης και η μεταβολή του αριθμού των ζώων που βόσκουν έχουν επιφέρει, σύμφωνα με περιγραφές και ιστορικές φωτογραφίες, σημαντικές αλλαγές στο δομημένο και φυσικό περιβάλλον, σε διαφορετικό όμως βαθμό στην καθεμία ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους που ποικίλουν σημαντικά. Η επιλογή τους είχε σαν στόχο όχι μόνο τον έλεγχο των μεταβολών της βλάστησης και τον εντοπισμό τάσεων υποβάθμισής της αλλά και τη διευκόλυνση της εξήγησης αυτών των μεταβολών μέσο της διαφορετικής επίδρασης των διαφόρων παραγόντων.

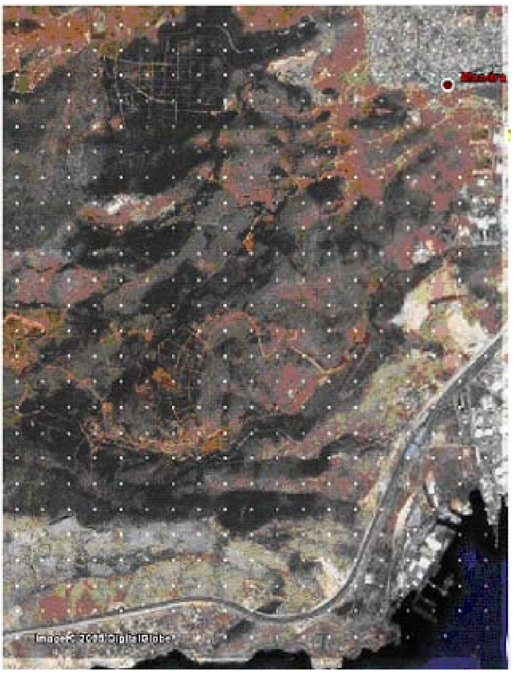


Εικόνα 1. Οι δέκα περιοχές μελέτης στην Αττική
Figure 1. The ten study sites in Attica

Η γεωλογική δομή των περιοχών μελέτης χαρακτηρίζεται από μεταμορφωσιγενή πετρώματα, ασβεστόλιθους, και μια πολύ μικρή ζώνη από σχιστόλιθους. Η δασική βλάστηση των περιοχών αποτελείται κυρίως από δάση χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*), θάμνους αειφύλλων πλατυφύλλων και χαμηλά υποβαθμισμένα οικοσυστήματα θάμνων (φρύγανα). Η ένταση της βόσκησης, στις περιοχές μελέτης ποικίλει.

Αρχικά, για τις περιοχές μελέτης πάρθηκαν αεροφωτογραφίες του 1945 από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (εικόνα 2) για να χρησιμοποιηθούν ως βάση για σύγκριση με τη σημερινή κατάσταση. Οι αεροφωτογραφίες ψηφιοποιήθηκαν με τη χρήση ψηφιοποιητή (scanner). Σε κάθε περιοχή μελέτης τοποθετήθηκε πλαίσιο με διαστάσεις 5,3 x 4,5 km, καλύπτοντας 2385 εκτάρια. Η τοποθέτηση του πλαισίου πάνω στις αεροφωτογραφίες έγινε έτσι ώστε σε αυτό να συμπεριληφθούν διάφορες χρήσεις γης, όπως για παράδειγμα ένα μικρό μέρος μιας αστικής περιοχής, δασική έκταση, καθώς και γεωργικές εκτάσεις. Ένα πλέγμα 475 κουκκίδων (19 γραμμές x 25 στήλες οριζόντια ή 25 γραμμές x 19 στήλες κατακόρυφα) τοποθετήθηκε μέσα στο πλαίσιο και πάνω στις αεροφωτογραφίες. Κάθε κουκκίδα, λόγω του μεγέθους της, αντιπροσώπευε μια περιοχή περίπου 5 ha. Κατόπιν, για τις ίδιες περιοχές πάρθηκε το 2007 μια σειρά δορυφορικών εικόνων (εικόνα 2) από την τοποθεσία "Google Earth" στο Διαδίκτυο (http://www.google.com/earth/index.html). Σύμφωνα με την πολιτική του ιστοτόπου οι εικόνες αυτές δεν μπορούν να είναι παλαιότερες του 2004. Οι εικόνες αποθηκευτήκαν με τη μέθοδο “screenshot” και σε αυτές τοποθετήθηκε το ίδιο ακριβώς πλαίσιο ώστε κάθε κουκίδα στην δορυφορική εικόνα να συμπίμπτει με το αντίστοιχο σημείο στην αεροφωτογραφία. Αυτό έγινε με τη χρήση του λογισμικού επεξεργασίας γεωγραφικής πληροφορίας ArcView GIS 9.2 της εταιρείας ESRI.





Εικόνα 2. Αεροφωτογραφία (1945) και δορυφορική εικόνα από το Google Earth (2007) από τη περιοχή της Μάνδρας Αττικής, με την τοποθέτηση των κουκκίδων μελέτης πάνω σε αυτές

Figure 2. Aerial photo (1945) and satellite image from Google Earth (2007) form the Mandra, Attica study site, overlaid with the dot frame.

Στις αεροφωτογραφίες του 1945 κάθε κουκκίδα, αναγνωρίστηκε και κατηγοριοποιήθηκε σε επτά μεγάλες κατηγορίες χρήσεων γης, ως εξής: πυκνό δάσος, αραιό δάσος, θαμνώνας, λιβάδια και φρύγανα, γυμνό–βραχώδες έδαφος, γεωργική περιοχή και αστική γη. Για κάθε περιοχή μελέτης, όλες οι κουκκίδες ταξινομήθηκαν σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες. Ο αριθμός των κουκίδων κάθε κατηγορίας πολλαπλασιαζόμενος επί 100 και διαιρούμενος με το συνολικό αριθμό των κουκκίδων του πλαισίου (475 κουκίδες) αποτελεί την εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης αυτής της κατηγορίας χρήσης γης εντός του πλαισίου. Σε μερικές από τις φωτογραφίες όπου ένας μικρός αριθμός κουκκίδων έπεφτε στη θάλασσα, ο αριθμός των κουκκίδων στον παρονομαστή περιελάμβανε μόνο εκείνες τις κουκίδες που έπεφταν στην ξηρά. Η ίδια διαδικασία επανελήφθη και για τις δορυφορικές εικόνες του 2007, παρέχοντας μια εκτίμηση του αντίστοιχου ποσοστού κάλυψης κάθε κατηγορίας χρήσης γης κατά το 2007. Στη συνέχεια το ποσοστό κάλυψης για το 1945 για κάθε κατηγορία αφαιρέθηκε από το αντίστοιχο ποσοστό για το 2007. Μια θετική τιμή του αποτελέσματος δηλώνει αύξηση του ποσοστού κάλυψης της συγκεκριμένης κατηγορίας χρήσης γης με την πάροδο των 62 ετών που μεσολάβησαν, ενώ μια αρνητική τιμή δηλώνει μείωση του ποσοστού κάλυψης της κατηγορίας.

Η παραπάνω μεθοδολογία έδωσε μια εκτίμηση της αυξομείωσης των χρήσεων γης και ειδικότερα της δασοκάλυψης μεταξύ των ετών 1945 και 2007. Το επόμενο βήμα ήταν η προσπάθεια κατανόησης και εξήγησης των αλλαγών που εντοπίστηκαν. Αυτό έγινε με τη συλλογή στατιστικών δεδομένων για πιθανή εξήγηση των αιτιών που οδήγησαν στις αλλαγές χρήσεων γης στις περιοχές μελέτης.

Στατιστικά δεδομένα συγκεντρώθηκαν από διάφορες δημόσιες υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας, της Δασικής Υπηρεσίας και του Πυροσβεστικού Σώματος και ήταν το κατά το δυνατό αντιπροσωπευτικότερα διαθέσιμα στοιχεία ως προς τον χώρο και τον χρόνο. Έτσι, ως προς τον πληθυσμό των ανθρώπων και τον αριθμό των κτηνοτροφικών ζώων τα δεδομένα αφορούσαν τις απογραφές του 1961 και του 2001. Οι καταγραφές των δασικών πυρκαγιών αφορούσαν την περίοδο 1983-1997 για την οποία υπήρχαν διαθέσιμα αξιόπιστα μηχανογραφημένα στοιχεία από τη Δασική Υπηρεσία. Χωρικά, επειδή οι υπό μελέτη περιοχές δεν ταυτίζονται με διοικητικά όρια τα στοιχεία που αντιστοιχήθηκαν με αυτές ήταν εκείνα του δασαρχείου στο οποίο ανήκουν.

Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό νέων παράγωγων μεταβλητών για ανάλυση, όπως π.χ. η πυκνότητα του πληθυσμού (αριθμός ατόμων/εμβαδόν περιοχής μελέτης). Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη μεταβολή του ποσοστού των δασών μεταξύ των ετών 1945 και 2007, στην ποσοστιαία μεταβολή άγονων περιοχών, στην αύξηση του πληθυσμού, στις ποσοστιαίες αλλαγές στην πυκνότητα και τον απόλυτο αριθμό του ζωικού κεφαλαίου, την ποσοστιαία μεταβολή των εκτάσεων των καμένων περιοχών και του αριθμού των δασικών πυρκαγιών στις περιοχές μελέτης. Οι μεταβλητές εισήχθησαν στο λογισμικό SPSS. Η πρώτη αξιολόγηση των στατιστικών δεδομένων ήταν ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson. Συσχετίσεις που ήταν στατιστικά σημαντικές αναλύθηκαν περαιτέρω και παρήχθησαν εξισώσεις παλινδρόμησης και διαγράμματα διασποράς.

Επιπλέον των στατιστικών δεδομένων για τις περιοχές μελέτης πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση για να διαπιστωθεί κατά πόσο συμβάλλουν φυσιογραφικοί παράγοντες όπως η κλίση και ο προσανατολισμός (έκθεση) στις τάσεις ερημοποίησης που εμφανίζονται στην Αττική. Η κλίση και η έκθεση του εδάφους θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες που συμβάλλουν είτε θετικά είτε αρνητικά σε διεργασίες ερημοποίησης περιοχών. Πλαγιές με μεγάλη κλίση, θεωρούνται υπεύθυνες για υψηλά ποσοστά εδαφικής διάβρωσης σε συνδυασμό με κακή διαχείριση του εδάφους, φαινόμενα που χαρακτηρίζουν το τοπίο της Αττικής, επηρεάζοντας αρνητικά και το μικροκλίμα της πρωτεύουσας. Η γωνία και η διάρκεια με την οποία οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν στο έδαφος εξαρτώνται από την έκθεσης της πλαγιάς. Εδάφη σε νότιες και δυτικές πτυχές είναι θερμότερα και έχουν υψηλότερα ποσοστά εξάτμισης του εδαφικού νερού και χαμηλότερη ικανότητα υδατοσυγκράτησης σε σχέση με εδάφη που βρίσκονται σε βόρειες και ανατολικές πτυχές (Cosmas *et.al.*, 1999). Πολλά χαρακτηριστικά των παραπάνω συνθηκών απαντώνται στην περιοχή της Αττικής και δημιουργούν τάσεις ερημοποίησης. Για να ερευνηθεί το μέγεθος συμβολής των φυσιογραφικών παραγόντων της κλίσης και της έκθεσης σχετικά στις αλλαγές χρήσεων γης και στο κίνδυνος της απερήμωσης, ο αριθμός των αλλαγών χρήσης γης ταξινομήθηκαν σε κλάσεις κλίσεων και έκθεσης.

Συγκεντρώθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50.000, που προέρχονται από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και χρησιμοποιήθηκαν, μετά την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών των 20 μ., για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου. Από τα μοντέλα αυτά δημιουργήθηκαν οι χάρτες κλίσεων και έκθεσης. Οι κλίσεις σε κάθε περιοχή μελέτης κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε ομάδες, ήτοι 0-3%, 3-12%, 12-20%, 20-35%, > 35%. Ο χάρτης έκθεσης κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κατηγορίες: Επίπεδες, βόρειες, νότιες, δυτικές, και ανατολικές πλαγιές. Ο χάρτης των κουκκίδων τέθηκε πάνω στους χάρτες έκθεσης και κλίσεων και οι αλλαγές χρήσης γης σε κάθε κουκκίδα κατηγοριοποιήθηκαν σε μία από τις κλάσεις κλίσεων και έκθεσης για κάθε περιοχή μελέτης. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στη συνέχεια στο πόσο επιρρεπής ήταν μια περιοχή για αλλαγή της χρήσης της γης ως συνάρτηση της κλίσης και της έκθεσης.

Για τις δέκα περιοχές μελέτης έγινε μια τελική επεξεργασία ώστε να εκτιμηθούν οι τάσεις ερημοποίησης η οποία περιελάμβανε την ταξινόμηση των αλλαγών χρήσης γης σε τρεις ξεχωριστές ομάδες ανάλογα με το αν οι αλλαγές ήταν θετικές, αρνητικές ή ουδέτερες για το περιβάλλον. Ως θετική διαδοχή θεωρήθηκαν οι αλλαγές από αστικές σε άγονες, άγονες σε γεωργικές εκτάσεις, γεωργικές σε λιβαδικές, λιβαδικές σε θαμνώνες, θαμνώνες σε αραιό δάσος και αραιό δάσος σε πυκνό δάσος, Ως αρνητική διαδοχή θεωρήθηκαν οι αλλαγές στην αντίστροφη κατεύθυνση ενώ οι αλλαγές που δεν περιλαμβάνονται στις παραπάνω θεωρήθηκαν ως ουδέτερες. Για να χαρακτηρίσουμε μια περιοχή ευπαθή ως προς την ερημοποίηση, υπολογίστηκε το ποσοστό των θετικών, αρνητικών και ουδέτερων αλλαγών.

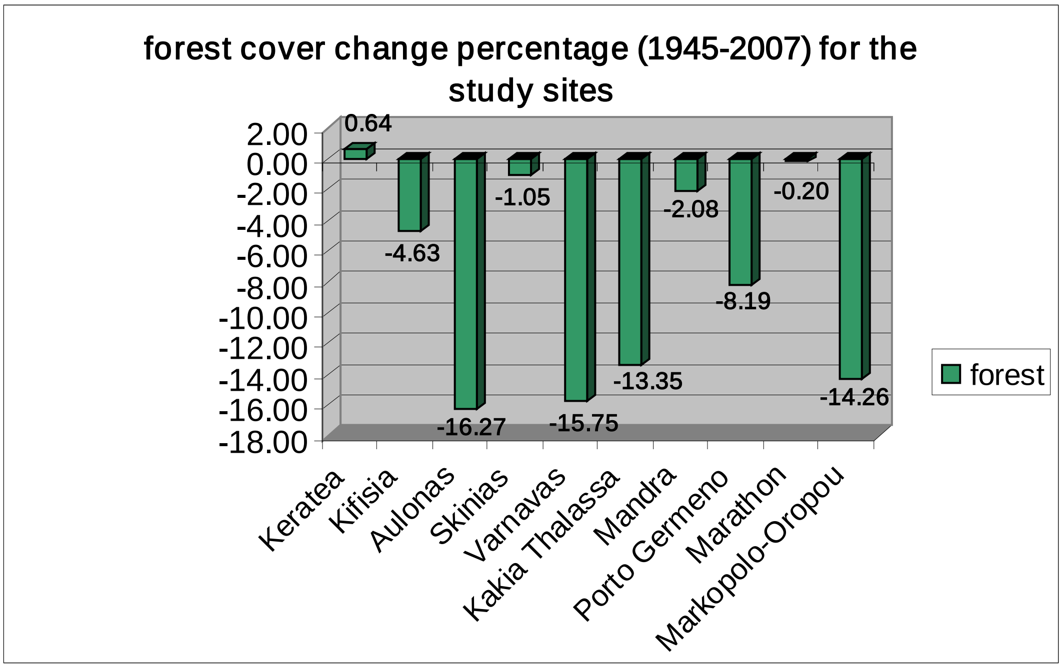
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η σύγκριση των χρήσεων γης για τις δέκα περιοχές μελέτης μεταξύ αεροφωτογραφιών του 1945 και δορυφορικών εικόνων του 2007 κατέληξαν στον εντοπισμό των αλλαγών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Ο πίνακας δείχνει το ποσοστό αλλαγής της κάλυψης κάθε κατηγορίας χρήσεων γης μεταξύ 1945 και 2007. Τα αραιά και τα πυκνά δάση παρουσιάζονται μαζί. Ο αριθμός των κουκκίδων που καταλαμβάνει κάθε χρήση γης το 1945 ήταν η γραμμή βάσης για τον υπολογισμό του ποσοστού αλλαγής. Μια αρνητική τιμή στον πίνακα 1 δηλώνει ότι η συγκεκριμένη χρήση γης βρέθηκε σε λιγότερα σημεία δειγματοληψίας (κουκκίδες) το 2007 από ότι το 1945. Παραδείγματος χάριν, το ποσοστό κάλυψης υψηλού δάσους στην περιοχή μελέτης του Μαρκόπουλου ήταν 29,13% το 1945, και 14,87% το 2007, οπότε η αλλαγή (μείωση) του ποσοστού κάλυψης από το 1945 μέχρι 2007 ήταν -14,26%.

Πίνακας 1. Ποσοστά αλλαγής χρήσης γης μεταξύ των ετών 1945 και 2007 για τις δέκα περιοχές μελέτης της Αττικής.
Table 1. Land-use change (%) between 1945 and 2007 at the ten study sites in Attica.

Χρήσεις γης	**Μαρκόπουλο-Ωρωπού**	**Μαραθώνας**	**Κακιά θάλασσα**	**Μάνδρα**	**Πόρτο Γερμενό**	**Κηφισιά**	**Σκινιάς**	**Βαρνάβας**	**Κερατέα**	**Αυλώνας**
Άγονα	0.72	15.54	3.37	15.54	0.43	-4.84	-6.29	2.10	-2.76	-2.63
Καλλιέργειες	-0.09	**-21.26**	**-17.97**	-3.08	0.00	-19.37	-3.85	10.24	9.98	**33.73**
Λιβάδια	-1.05	19.16	15.32	1.92	0.00	-1.47	0.35	-6.82	**-21.23**	-20.57
Θαμνώνες	4.72	-5.26	-5.03	**-26.57**	-0.65	-2.74	-4.20	3.94	8.92	-9.57
Δάση	**-14.26**	-0.20	-13.35	-2.08	**-8.19**	-4.63	-1.05	**-15.75**	0.64	-16.27
Οικισμοί	9.52	5.26	16.08	5.40	0.86	**33.05**	**15.03**	6.30	4.46	15.31

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα υπήρξε μείωση της δασοκάλυψης σε όλες σχεδόν τις περιοχές μελέτης (Εικόνα 3). Η μείωση είναι πιο έντονη στις περιοχές του Μαρκόπουλου Ωρωπού, Κακιάς Θάλασσας, Κερατέας, Αυλώνα, Πόρτο Γερμενού και της Νέας Πεντέλης. Παρατηρήθηκε επίσης μια μείωση του ποσοστού των λιβαδικών εκτάσεων που ήταν ιδιαίτερα έντονη στη Νέα Πεντέλη, στο Σχινιά, στον Αυλώνα και στο Βαρνάβα. Μια σημαντική αύξηση των άγονων βρέθηκε σε τρεις από τις δέκα περιοχές μελέτης, δηλαδή, στη Μάνδρα, τη Νέα Πεντέλη και το Σχινιά.



Εικόνα 3. Αλλαγές της δασοκάλυψης μεταξύ των ετών 1945-2007 στην Αττική για τις δέκα περιοχές μελέτης
Figure 3. Forest cover percentage change for the period of 1945-2007 in Attica for ten study sites.

Πίνακας 2. Πίνακας συσχετίσεων στατιστικών μεταβλητών κατά Pearson μεταξύ μεταβλητών που αφορούν την βλάστηση, το πληθυσμό ανθρώπων και ζώων και πυρκαγιών.

Table 2. Pearson correlation matrix between vegetation, human and animal population, and wildfire variables.

	Fo_45-07	Fosh_45-07	Shrubs_45-07	Arid_07	Arid_45-07	chgoat	P_ BURNED	Distance	p_p_ch	ch_g_ das	d_g_das	ch_go_sh
Fo_45-07	1											
Fosh_45-07	0,417	1										
Shrubs_45-07	-0,120	0,805	1									
Arid_07	0,304	-0,604	-0,805	1								
Arid_45-07	0,002	-0,715	-0,673	0,783	1							
chgoat	0,623	-0,246	-0,555	**0,778**[*]	0,339	1						
P_BURNED	-0,489	0,247	0,493	-0,363	-0,487	-0,309	1					
Distance	-0,243	0,197	0,299	-0,035	-0,086	-0,139	**0,786**[*]	1				
p_p_ch	0,257	0,119	-0,010	-0,284	-0,206	-0,058	-0,578	-0,715	1			
ch_g_das	0,323	**-0,633**[*]	**-0,832**[*]	**0,891**[*]	**0,840**[*]	0,665	-0,670	-0,404	-0,007	1		
d_g_das	0,177	**-0,702**[*]	**-0,837**[*]	**0,907**[*]	**0,812**[*]	0,673	-0,454	-0,265	-0,144	0,959	1	
ch_go_sh	0,566	-0,155	-0,480	0,682	0,419	0,655	-0,507	-0,173	0,289	0,592	0,501	1

[*]Η συσχέτιση είναι σημαντική στο επίπεδο σημαντικότητας 0.01.

Όπου:

Fo_45-07 ή FOREST_CHANGE_45-07, είναι η αλλαγή του ποσοστού της κάλυψης υψηλού δάσους μεταξύ των ετών 1945 and 2007,

Fosh45-07 ή FOREST_SHRUBS_ CHANGE_45-07 είναι η αλλαγή του ποσοστού της κάλυψης δάσους και θαμνώνων συνολικά μεταξύ των 1945-2007,

Shrubs_45-07 ή SHRUBS_ CHANGE_45 είναι η αλλαγή του ποσοστού της θαμνοκάλυψης μεταξύ των ετών 1945-2007,

Arid45_07 είναι η αλλαγή του ποσοστού των άγονων εκτάσεων μεταξύ των ετών 1945-2007,

Arid07 είναι το ποσοστό των άγονων εκτάσεων κατά το έτος 2007,

chgoat είναι η ποσοστιαία αλλαγή του αριθμού των αιγών μεταξύ 1961 και 2001 στις περιοχές μελέτης,

P_BURNED ή BURNED AREAS (%)_83-97 είναι το ποσοστό της έκτασης του δασαρχείου που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή μελέτης το οποίο κάηκε μεταξύ των ετών 1983-1997,

Distance είναι απόσταση των περιοχών μελέτης από το κέντρο της Αθήνας σε χιλιόμετρα,

p_p_ch ή POPULATION_PERCENT_CHANGE είναι η ποσοστιαία αλλαγή του πληθυσμού (%) για τις δέκα περιοχές μελέτης μεταξύ των ετών 1961 και 2001.

d_g_das ή DENSITY_GOAT_FOREST_SERVICE είναι η πυκνότητα των αιγών στις περιοχές ευθύνης των δασικών υπηρεσιών των περιοχών το 2001,

ch_g_das, ή r CHANGE_GOAT_FOREST_SERVICE είναι η ποσοστιαία αλλαγή στον αριθμό των αιγών στις περιοχές ευθύνης των δασικών υπηρεσιών των περιοχών, μεταξύ των ετών 1961 και 2001.

ch_go_sh ή CHANGE_GOAT_SHEEP είναι η ποσοστιαία αλλαγή στον συνολικό αριθμό των αιγών και προβάτων στις περιοχές ευθύνης των δασικών υπηρεσιών των περιοχών μελέτης μεταξύ των ετών 1961 και 2001.

Παρατηρήθηκε επίσης μια μείωση της γεωργικής γης στις περιοχές της Μάνδρας, Νέας Πεντέλης και Αυλώνα. Όπως αναμενόταν, οι αστικές περιοχές αυξήθηκαν λιγότερο ή περισσότερο σε όλες τις περιοχές μελέτης. Ειδικά στις περιοχές του Βαρνάβα και του Αυλώνα, η μείωση της δασοκάλυψης υπερέβη το ποσοστό του 15%.

Τα στατιστικά δεδομένα πυρκαγιών, πληθυσμού και κτηνοτροφίας, καθώς και η απόσταση των περιοχών μελέτης από το κέντρο της Αθήνας εξετάστηκαν ως προς τις τιμές τους αλλά και ως προς την παρουσία συσχετίσεων μεταξύ τους και με τις μεταβολές της βλάστησης.

Ο Πίνακας 2 δείχνει το συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson μεταξύ επιλεγμένων μεταβλητών που αφορούν την κάλυψη της βλάστησης, τον πληθυσμό των ανθρώπων, τον αριθμό και τις ποσοστιαίες αλλαγές των κτηνοτροφικών ζώων και τον αριθμό των πυρκαγιών. Σύμφωνα με τον πίνακα 2, την υψηλότερη τιμή συσχέτισης ($r = 0.907$) έδωσε το ποσοστό επί τοις εκατό των άγονων περιοχών κατά το έτος 2007 με το ποσοστό αλλαγής στην πυκνότητα των αιγών μεταξύ των ετών 1961 και 2001.

Ως προς τις αλλαγές του πληθυσμού, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την περίοδο 1961-2001 αυτός αυξήθηκε σε όλες τις περιοχές της Αττικής. Η αύξηση ήταν μικρή μόνο στο Πόρτο Γερμενό (6,85%) ενώ στις υπόλοιπες κυμάνθηκε από 105% (Βαρνάβας) έως 262,23% (Μαρκόπουλο). Αντίθετα προς τον ανθρώπινο πληθυσμό, μεταξύ των ετών 1961 και 2001, παρουσιάστηκε αύξηση του αριθμού των αιγοπροβάτων μόνο στις περιοχές του Πόρτο Γερμενό (7,21%) και της Μάνδρας (0,86%) ενώ για τις υπόλοιπες υπήρξε σημαντική μείωση που κυμάνθηκε από -12,17% (Μαραθώνας, Κηφισιά) έως -49,97% (Κακιά Θάλασσα, Κερατέα).

Την εξέταση των περιγραφικών στατιστικών ακολούθησε ανάλυση παλινδρόμησης σε μια προσπάθεια να αναγνωρισθούν παράγοντες που επηρεάζουν τις αλλαγές στη βλάστηση οδηγώντας την στην υποβάθμιση. Όμως, ο μικρός αριθμός του δείγματος (N=10), και η μη απόλυτη σύμπτωση των περιοχών μελέτης, όπου έγιναν οι μετρήσεις των αλλαγών της βλάστησης, με τις ευρύτερες περιοχές τις οποίες αφορούν τα λοιπά στατιστικά στοιχεία, καθώς και η μη απόλυτη σύμπτωση των χρονικών περιόδων των στατιστικών στοιχείων με την περίοδο 1945-2007 που αφορούν οι αλλαγές τις βλάστησης, είχαν σαν αποτέλεσμα οι περισσότερες εξισώσεις να έχουν χαμηλό R^2 και μη σημαντικούς συντελεστές. Παρόλα αυτά, και με δεδομένο ότι στόχος είναι η αναγνώριση τάσεων και όχι η χρήση των εξισώσεων για προβλέψεις, επιλέχθηκε να παρουσιασθούν στο πλαίσιο των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας μερικές από τις σχέσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Το ποσοστό καμένων περιοχών στην περίοδο 1983-1997 (P_BURNED) παρουσίασε θετική συσχέτιση με την απόσταση των περιοχών από την Αθήνα (DISTANCE), η οποία εκφράζεται με τη γραμμική εξίσωση (εικόνα 4),

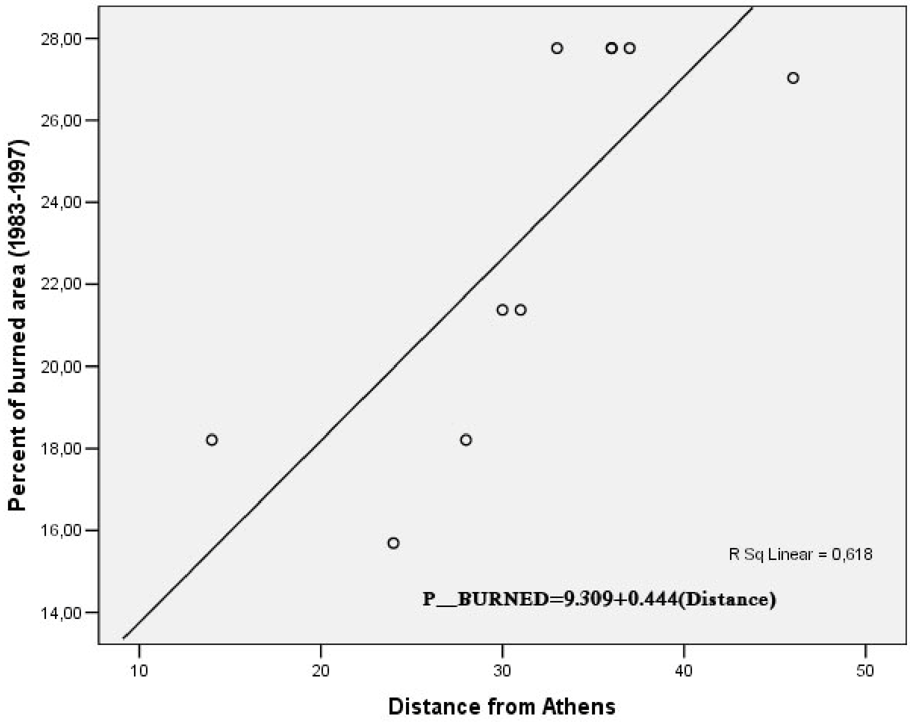
$$\text{P\_Burned} = 9{,}309 + 0{,}444\ \text{Distance} \qquad (1)$$

με Adj. $R^2 = 0{,}571$. Τόσο η σταθερά της εξίσωσης (9,309) όσο και ο συντελεστής της κλίσης της ευθείας γραμμής (0,444) είναι σημαντικά (p-value = 0,049 και 0,007 αντιστοίχως). Η p-value για την εξίσωση είναι ίση με 0,007.

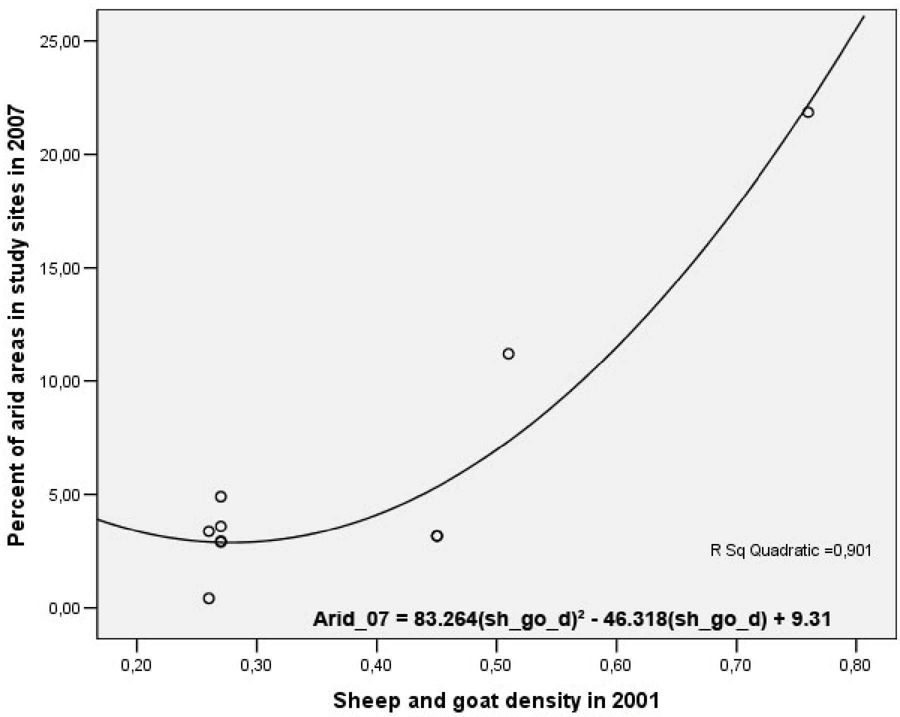
Το ποσοστό των άγονων εκτάσεων κατά το 2007 (Arid_07) συσχετίσθηκε με μία μη γραμμική (δευτέρου βαθμού) εξίσωση με την πυκνότητα των αιγοπροβάτων το 2001 (sh_go_d) (εικόνα 5),

$$(\text{Arid\_07}) = 9{,}31 - 46{,}318\ (\text{sh\_go\_d}) + 83{,}264\ (\text{sh\_go\_d})^2 \qquad (2)$$

με $R^2 = 0{,}901$.



Εικόνα 4. Η γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης μεταξύ P_Burned και Distance.
Figure 4. The linear regression equation between P_Burned and Distance.



Εικόνα 5. Η μη γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης μεταξύ (Arid_07) και (sh_go_d).
Figure 5. The non-linear regression equation between (Arid_07) και (sh_go_d).

Η ίδια μεταβλητή κάλυψης (Arid_07) συσχετίστηκε επίσης με γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης με τη συνολική πυκνότητα των αιγοπροβάτων κατά το 2007 (d_go_sh),

$$(Arid\_07) = -4{,}361 + 38{,}908\ (d\_go\_sh) \qquad (3)$$

με Adj. R^2 = 0,361 και p-value = 0,039. Η σταθερά της σχέσης (-4,361) δεν είναι στατιστικά σημαντική (p-value = 0,518) ενώ ο συντελεστής κλίσης της ευθείας γραμμής (38,908) έχει p-value = 0,039.

Η κλίση και η έκθεση του εδάφους θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες που συμβάλλουν είτε θετικά είτε αρνητικά σε διεργασίες ερημοποίησης περιοχών. Πλαγιές με μεγάλη κλίση, θεωρούνται υπεύθυνες για υψηλά ποσοστά εδαφικής διάβρωσης σε συνδυασμό με κακή διαχείριση του εδάφους, φαινόμενα που χαρακτηρίζουν το τοπίο της Αττικής, επηρεάζοντας αρνητικά και το μικροκλίμα της πρωτεύουσας. Η γωνία και η διάρκεια με την οποία οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν στο έδαφος εξαρτώνται από τον τύπο της έκθεσης του αναγλύφου. Εδάφη σε νότιες και δυτικές πτυχές είναι θερμότερα και έχουν υψηλότερα ποσοστά εξάτμισης του εδαφικού νερού και χαμηλότερη ικανότητα υδατοσυγκράτησης σε σχέση με εδάφη που βρίσκονται σε βόρειες και ανατολικές πτυχές (Cosmas *et.al.*, 1999). Πολλά χαρακτηριστικά των παραπάνω συνθηκών απαντώνται στην περιοχή της Αττικής και δημιουργούν τάσεις ερημοποίησης. Για να ερευνηθεί το μέγεθος συμβολής των φυσιογραφικών παραγόντων της κλίσης και της έκθεσης σχετικά στις αλλαγές χρήσεων γης και στο κίνδυνος της απερήμωσης, ο αριθμός των αλλαγών χρήσης γης ταξινομήθηκαν σε κλάσεις κλίσεων και έκθεσης.

Όσον αφορά την κλίση και την έκθεση του εδάφους, ο Πίνακας 4 παρουσιάζει το συνολικό ποσοστό των αλλαγών χρήσεων γης ταξινομημένο σε πέντε κλάσεις κλίσης για κάθε μία από τις δέκα περιοχές μελέτης ενώ ο πίνακας 5 παρουσιάζει τις αλλαγές χρήσης γης σε σχέση με την έκθεση.

Πίνακας 4. Ποσοστό αλλαγών χρήσεων γης ταξινομημένο σε διαφορετικές κλάσεις κλίσεων για τις δέκα περιοχές της Αττικής
Table 4. Percentage of change for different slope classes in each slope class of ten study sites in Attica

Κλίσεις	**Μαρκόπουλο -Ωρωπού**	**Μαραθώνας**	**Κακιά Θάλασσα**	**Μάνδρα**	**Πόρτο Γερμενό**	**Νέα Πεντέλη**	**Σκινιάς**	**Βαρνάβας**	**Κερατέα**	**Αυλώνας**
0-3%	20.69	16.06	14.03	19.68	18.42	25.08	**92.47**	4.93	8.64	**40.19**
3-12%	16.09	21.56	12.95	18.71	13.16	**34.98**	1.08	13.45	20.45	24.05
12-20%	17.82	19.72	15.47	21.29	23.68	11.55	0.00	21.08	19.09	17.09
20-35%	**33.91**	**29.82**	**33.81**	**27.10**	**25.00**	16.50	3.23	**32.29**	**29.09**	12.66
>35%	11.49	12.84	23.74	13.23	19.74	11.88	3.23	28.25	22.73	6.01

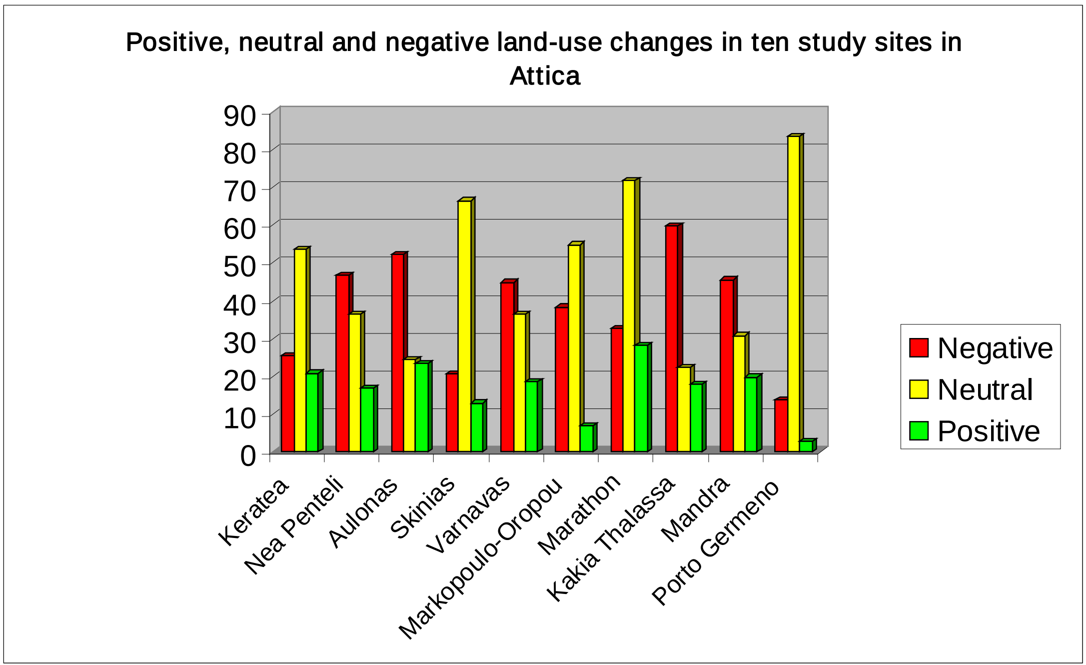
Πίνακας 5. Ποσοστό αλλαγών χρήσεων γης ταξινομημένο σε διαφορετικές κλάσεις έκθεσης για τις δέκα περιοχές της Αττικής
Table 5. Percentage of land-use change for different aspect classes for ten of the study sites in Attica

Πτυχή	**Μαρκόπουλο - Ωρωπού**	**Μαραθώνας**	**Κακιά Θάλασσα**	**Μάνδρα**	**Πόρτο Γερμενό**	**Νέα Πεντέλη**	**Σκινιάς**	**Βαρνάβας**	**Κερατέα**	**Αυλώνας**
Επίπεδο	16.18	12.73	12.06	12.26	7.35	11.39	8.42	8.68	6.82	28.93
Βόρειες (315-45)	**41.04**	12.73	24.47	25.16	26.47	7.12	0.00	**35.12**	26.82	**32.39**
Ανατολικές (45-135)	21.97	22.73	**28.01**	**28.06**	8.82	6.05	29.47	28.51	25.45	16.35
Νότιες (135-225)	3.47	**31.82**	23.05	27.74	26.47	30.60	**50.53**	11.16	**28.64**	12.26
Δυτικές (225-315)	17.34	20.00	12.41	6.77	**30.88**	**44.84**	11.58	16.53	12.27	10.06

Η ταξινόμηση των αλλαγών χρήσεων γης, σε θετικές, αρνητικές και ουδέτερες που παρουσιάζεται στον πίνακα 6 και πιο εποπτικά στην εικόνα 6, προσπάθησε να αποδώσει με πλατιά κριτήρια την τάση υποβάθμισης των περιοχών μελέτης.

Πίνακας 6. Ποσοστό θετικών, αρνητικών και ουδέτερων αλλαγών χρήσεων γης για το περιβάλλον στις δέκα περιοχές μελέτης
Table 6. Percentage of positive, negative or neutral change for different land-use classes in ten study sites of Attica

Τάσεις ερημοποίησης	**Μαρκόπουλο -Ωρωπού**	**Μαραθώνας**	**Κακιά Θάλασσα**	**Μάνδρα**	**Πόρτο Γερμενό**	**Νέα Πεντέλη**	**Σκινιάς**	**Βαρνάβας**	**Κερατέα**	**Αυλώνας**
Αρνητικές	38.32	32.68	**59.79**	**45.47**	13.79	**46.74**	20.63	**44.88**	25.47	**52.15**
Ουδέτερες	**54.74**	**71.79**	22.32	30.74	**83.41**	36.42	**66.43**	36.48	**53.68**	24.40
Θετικές	6.95	28.21	17.89	19.79	2.80	16.84	12.94	18.64	20.84	23.44



Εικόνα 6. Θετικές, αρνητικές και ουδέτερες αλλαγές χρήσεων γης για τις δέκα περιοχές μελέτης
Figure 6. Positive, negative, neutral land-use change succession in ten study sites

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα παραπάνω αποτελέσματα των αλλαγών χρήσεων γης στις περιοχές μελέτης δείχνουν ότι οι περισσότερες από αυτές έχουν υποβαθμιστεί. Αυτό οπωσδήποτε έχει σχέση με την έντονη πίεση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην Αττική. Πολλοί ερευνητές έχουν αναφερθεί στη συμβολή των φαινομένων όπως η υπερβόσκηση και η πυρκαγιά στις διεργασίες υποβάθμισης της βλάστησης (Bergmeier 1997, et Hill. κ.ά. 1998, Papanastasis 1998, Papanastasis et al, 2002). Επιπλέον, η απουσία ενός συστήματος ελέγχου των δραστηριοτήτων σε καμένες δασικές περιοχές μπορεί να επιφέρει αύξηση της πίεσης της βόσκησης και μεταγενέστερη υποβάθμιση αμέσως μετά τη πυρκαγιά όπου και ευνοείται η φύτρωση υψηλής θρεπτικής αξίας λιβαδικών φυτών. Πάντως, η ίδια η αύξηση του αριθμού των ανθρώπων δεν συσχετίστηκε καλά με τις αλλαγές χρήσης γης, ενώ ήταν ισχυρότερη η σχέση με τις δραστηριότητες που ακολουθούν τον άνθρωπο (πυρκαγιές, βόσκηση).

Από τις εξισώσεις παλινδρόμησης 2 και 3 που παρουσιάστηκαν γίνεται εμφανής η σχέση της πυκνότητας της βόσκησης με το ποσοστό των άγονων εκτάσεων, καθώς η υπερβόσκηση οδηγεί στην υποβάθμιση της βλάστησης και των εδαφών. Μία από τις επιπτώσεις από την υποβάθμιση των εδαφών της Αττικής είναι η σταδιακή αλλαγή των οικοσυστημάτων μέσω απώλειας-αντικατάστασης ενός είδους με άλλο λιγότερο επιθυμητό. Σε πολλές περιοχές της Αττικής, εμφανίζεται μια σταδιακή αλλαγή στη σύνθεση της βλάστησης, τόσο σε πυκνότητα όσο και στο είδος των φυτών. Για παράδειγμα, σε καμένες περιοχές και με κακή διαχείριση, τα δενδρώδη είδη όπως δάση Pinus halepensis αργά αντικαθίστανται από φρυγανική βλάστηση – του είδους Thymus capitatus, με ταυτόχρονη μείωση της φυτοκάλυψης, αφήνοντας το έδαφος απροστάτευτο με αποτέλεσμα να αποκαλυφθεί σε πολλές περιοχές το μητρικό πέτρωμα. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής είναι σύμφωνα με άλλες παρόμοιες εργασίες που έδειξαν επίσης ότι η βόσκηση μειώνει τη φυτοκάλυψη και αλλάζει τη σύνθεση και τη βιοποικιλότητα των ειδών (Pantis και Mardiris, 1992). Επιπλέον, οι Iosifides και Politidis

(2005) και Arianoutsou-Faragitaki, (1985), παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα σχετικά με τάσεις ερημοποίησης και βλάστησης των λιβαδικών εκτάσεων που προήλθαν από τα χαρακτηριστικά της τοπικής κτηνοτροφίας, σε συνδυασμό με κοινωνικοοικονομικές, χωρικές συνθήκες, πολιτικές ανάπτυξης της υπαίθρου και μη βιώσιμες παραγωγικές πρακτικές στο νησί της Λέσβου.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για την συσχέτιση της κλίσης και της έκθεσης με την υποβάθμιση και την αλλαγή χρήσης γης στην περιοχή της Αττικής έδειξε ότι τόσο η κλίση, όσο και η έκθεση είναι σημαντικοί φυσιογραφικοί παράγοντες που διαμόρφωσαν το τοπίο στην Αττική. Με την άποψη αυτή συμφωνεί και ο Mather (1992) ο οποίος ύστερα από πειράματα διαπίστωσε ότι οι μικρές κλίσεις του εδάφους ευνοούν τις αλλαγές χρήσεων γης σε δασικές εκτάσεις λόγω της ευκολότερης προσβασιμότητας των κατοίκων στις δασικές περιοχές. Στην Αττική, η πλειοψηφία των αλλαγών χρήσεων γης συνέβη σε πλαγιές με κλίσεις 20-35% που είναι επιρρεπείς στην διάβρωση και εξαιτίας αυτής στην υποβάθμιση. Επιπλέον, η ανάλυση του Mather έδειξε ότι η υπερβόσκηση συσχετίζεται με την παρουσία υψηλότερων επιπέδων υποβάθμισης σε περιοχές με νότιες κλίσεις. Οι περισσότερες αλλαγές στις περιοχές μελέτης συνέβησαν σε νότιες και δυτικές κλίσεις, στις οποίες φαινόμενα όπως η εδαφική διάβρωση ενδέχεται να εμποδίζουν την ανάπτυξη της βλάστησης

Το γεγονός ότι μόνο δύο φυσιογραφικοί παράγοντες, όπως η κλίση και η έκθεση βρέθηκε ότι επηρεάζουν σημαντικά τα επίπεδα μείωσης της δασικής βλάστησης στις περιοχές μελέτης δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που συντελούν στην εμφάνιση φαινόμενων ερημοποίησης. Οι Sasikala και Petrou (2001) διαπίστωσαν ότι, πέρα από την κλίση και έκθεση, η διαπερατότητα των πετρωμάτων και το βάθος του εδάφους άλλοι δύο παράγοντες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του κινδύνου της απερήμωσης και τη μείωση του ποσοστού των δασών στην Αττική.

Στον πίνακα 4, γίνεται εμφανές ότι οι περισσότερες αλλαγές χρήσεων γης συνέβησαν στην κατηγορία κλίσης 20-35%. Εάν θεωρήσουμε ότι η κρίσιμη τιμή της κλίσης για την εμφάνιση φαινομένων όπως η υποβάθμιση του εδάφους, η εδαφική διάβρωση και, υπό συγκεκριμένες συνθήκες η ερημοποίηση είναι 12% (Morgan 1995), κάποιος μπορεί να βγάλει εύκολα το συμπέρασμα ότι στις αλλαγές χρήσεων γης που συνέβησαν στις περιοχές του Μαρκόπουλο-Ωρωπού, Μαραθώνα, Μάνδρα, Κακιάς Θάλασσας, Πόρτο Γερμενό, Κερατέας και Βαρνάβας συνέβαλε και η κλίση του εδάφους.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μελέτη παρουσίασε με αξιόπιστο τρόπο τις αλλαγές της βλάστησης στην Αττική κατά τις τελευταίες δεκαετίες (1945-2007) που γίνονται εμφανώς σε βάρος των υψηλών δασών και στην κατεύθυνση της υποβάθμισης των φυσικών οικοσυστημάτων. Ακόμη, προσπάθησε μέσα από αναλύσεις να εντοπίσει τους παράγοντες εκείνους που οδηγούν στην υποβάθμισης και την αρχή τάσεων ερημοποίησης. Αν και τα στοιχεία έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση της υποβάθμισης ιδίως με την ένταση της βοσκής δεν προέκυψαν ισχυρές συσχετίσεις, πιθανώς γιατί οι παράγοντες που ταυτόχρονα επηρεάζουν τις αλλαγές χρήσης γης είναι πολλοί περισσότεροι από όσους περιελήφθησαν στη βάση δεδομένων. Έτσι, έμεινε σημαντικό μέρος της μεταβλητότητας ανεξήγητο.

Η χρήση δορυφορικών εικόνων που λαμβάνονται από το Google Earth, καθώς και αεροφωτογραφιών και η διαχείριση χωρικών μεταβλητών με τη βοήθεια GIS αποδεικνύονται ως ιδιαίτερα αποτελεσματικά εργαλεία για τη μελέτη των φυσικών φαινομένων όπως η ερημοποίηση. Σημαντικό όμως ρόλο σε μια καλύτερη ανάλυση μπορούν να παίξουν καλύτερα στατιστικά στοιχεία που γενικά δεν είναι εύκολα διαθέσιμα στην Ελλάδα και που η έλλειψή τους αποτέλεσε αρνητικό στοιχείο στην παρούσα μελέτη για την εξαγωγή ισχυρότερων συμπερασμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παραπάνω έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) FP6 Integrated Project (IP) DeSurvey (A Surveillance System for Assessing, Monitoring and Modelling Desertification; 2005–2010). Το πρόγραμμα DeSurvey χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (Thematic Priority: Global Change and Ecosystems, Project Contract No.:003950). Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την Ε.Ε. για την υποστήριξη και πολύτιμη βοήθεια της.

Forest cover evolution in Attica and assessment of desertification trends resulting from human activities, grazing and fires.

Gavriil Xanthopoulos[1], Michael Xanthakis[1] and Christos Vonitsanos[2]

[1]Institute of Forest Mediterranean Ecosystems and Forest Products Technology, Terma Alkmanos, 11528 Ilissia, Athens, Greece
[2]Department of Forestry, Technological Institute of Lamia, 36100 Karpenissi, Greece

ABSTRACT

The present study aimed at investigating the evolution of forest cover in Attica, identifying in parallel potential appearance of desertification trends and trying to understand the factors that lead in this direction. The methodology was based on comparisons between historic aerial photos (1945) and satellite images obtained from Google Earth (2007) for ten study sites in Attica, 2385 ha each. The outcome of the comparison was identification of an increase in forest cover between 1945 and 2007 in nearly all the study sites. The results of land use change were then analyzed in relation to other statistical data having to do with forest fire, grazing, and human population changes that were obtained from various public authorities. Also, through a Geographic Information System, the contribution of slope and aspect to land use changes was examined. The study verified that vegetation changes in Attica in the last decades (1945-2007) occurred obviously at the cost of tall forest cover and in the direction of degradation of natural ecosystems. The majority of land use changes occurred on sites with a slope of 20-35% and south or west aspects. Furthermore, the study tried through the analysis to identify the factors that lead to degradation and start of desertification. Although the data showed that there is a relation of degradation especially with grazing pressure, in general it was not possible to derive strong regression equations, probably because the factors that simultaneously affect land use changes are many more that those included in the database.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arianoutsou-Faragitaki, M., (1985). Desertification by overgrazing in Greece. The case of Lesvos island. Journal of Arid Environments, **9**: 237–242.

Arianoutsou, M., 2007. Predicting the post-fire regeneration and resilience of Mediterranean plant communities. In: *Arianoutsou M. Papanastasis V. (ed). Proceedings of the 10th MEDECOS Conference Rhodes, Greece*. Millpress: The Netherlands, Electronic Edition.

Arianoutsou, M., Kazanis, D., Kokkoris, Y., Skourou, P., 2002. Land-use interactions with fire in Mediterranean Pinus halepensis landscapes of Greece: patterns of biodiversity. *In: Viegas, D.X. (ed.). Proceedings of the IV International Forest Fire Research Conference.* Millpress: The Netherlands, Electronic Edition.

Bergmeier, E., 1997. Combined effects of fire and grazing on phrygana vegetation: a case study in SW Crete (Greece). Ecologia Mediterranea **23**:1–10

FAO, 2005. *Community Based Fire Management in Spain, April 2005. Forest Protection Working Papers*. Working Paper FFM/4/E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (unpublished). Available on the Internet:«http://www.fire.uni.freiburg.de/Manag/COMMUNITY-BASED-FIRE-MANAGEMENT-SPAIN.pdf» assessed at May 2006

Γρίσπος, Π., 1973. *Δασική ιστορία της νεωτέρας Ελλάδος*. Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνσις Δασών. Αυτοτελείς εκδόσεις της Υπηρεσίας Δασικών Εφαρμογών & Εκπαιδεύσεως. Αθήνα. 385 σελ.

Hill, J., Hostert, P.,. Tsiourlis, G.M., Kasapidis, P., Udelhoven, Th., Diemer, C., 1998. Monitoring twenty years of increased grazing pressure on the Greek island of Crete with earth observation satellites. *Journal of Arid Environments*, **39**: 165-178.

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P.J., Xiaosu, D., 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge.

Iosifides, T., Politidis, T., 2005. *Socio-economic dynamics, local development and desertification in western Lesvos, Greece. Local Environment* **10**:487-499

Kosmas, C., Ferrara, A., Briasouli, H., Imeson, A., 1999. Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification. In *The Medalus project Mediterranean desertification and land-use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification.* Edited by: C. Kosmas, M.Kirkby, N.Geeson. European Union **18882**:31-47

Mather, AS., 1992. The Forest Transition. *Area,* **24(4):** 367- 379. In: *Perz SG, Skole, DL. 2003. Secondary Forest Expansion in the Brazillian Amazon and the Refinement of the Forest Transition Theory*. Society and Natural Resources, **16**: 277-294

Morgan, R.P.C., 1995. *Soil Erosion and Conservation*, Longman, Harlow.

Pantis, J.D., Mardiris, A., 1992. The effects of grazing and fire on degradation processes of Mediterranean Ecosystems. *Israel Journal of Botany* **41**: 233-242.

Papanastasis, V.P., 1998. Grazing intensity as an index of degradation in semi-natural ecosystems: the case of Priorities mountain in Crete. *Proceedings of the International Seminar held in Porto Torres, Italy 18-20 September 1998*: 146-158.

Papanastasis, V,P., Kyriakakis S, Kazakis G., 2002. Plant diversity in relation to overgrazing and burning in mountain Mediterranean ecosystems. *Journal of Mediterranean Ecology*, **2-3**:53-63.

Pausas, J.G., Ramon V., 1999. The role of fire in European Mediterranean Ecosystems. In: *Chuvieco E. (ed.) Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin*: 3-16.

Rokos, D., Argialas, D., Panagiotopoulou, E., Andronis, V., Kolokousis, P., 1993. Structuring a GIS Decision Support System for the Prevention of Desertification Resulting from the Forest Fires, *Proceedings*, *Int. Congress on Forest Fires Management*, University of Thessaloniki, Thessaloniki.

Sasikala, K.R., Petrou, M., 2001. Properties of the generalised fuzzy aggregation operators. *Pattern Recognition Letters*, **22**: 15-24.

Τσουμής, Γ., 1985. Η καταστροφή των δασών στην περιοχή της Μεσογείου. Επιστημονική επετηρίδα του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, τόμος Κ Η. Θεσσαλονίκη.

Ξανθόπουλος, Γ., 2000. Ιδιαίτερες δυσκολίες στην αντιμετώπιση πυρκαγιών στα περιαστικά δάση. Πυροσβεστική Επιθεώρηση 80: 22-29.

Xanthopoulos, G., Labris, C., and Golfinos, C., 2004. The June 4, 2001 fire in the wildland urban interface areas of Northern Attica: Evolution, firefighting problems and damages. Pp. 19-28. In Proceedings of the International Workshop on "Forest Fires in the Wildland-Urban Interface and Rural Areas in Europe: an integral planning and management challenge", May 15-16, 2003, Athens, Greece. National Agricultural Research Foundation, Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Forest Products Technology, Athens, Greece. 239 p.

Ξανθόπουλος, Γ., και Ευτυχίδης, Γ., 2007. Οι πυρκαγιές της 28-7-2005 στην περιοχή της Ραφήνας: Εξέλιξη, παρατηρήσεις και διδάγματα. Σελ 185-196. Στα πρακτικά του 13ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου, με θέμα «Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών-Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος», 7-10 Οκτωβρίου 2007, Καστοριά Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, Θεσσαλονίκη. 560 σελ. (1ος τόμος).

Ξανθόπουλος, Γ., και Caballero, D., 2007. Πυρκαγιές στη ζώνη μίξης δασών-οικισμών: μαθήματα από πρόσφατες καταστροφές. Σελ. 131-156 στο βιβλίο «Το αύριο εν κινδύνω: Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα». Σαπουντζάκη Κ., επιμέλεια έκδοσης. Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα. 396 σελ.