Βαθμονόμηση της παραγωγικότητας των λιβαδικών εκτάσεων στον νομό Φλώρινας

Δ. Φωτάκης*, Μ. Πλένιου, Η. Καρμίρης
Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «ΔΗΜΗΤΡΑ», Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, 57006 Βασιλικά, Θεσσαλονίκη
*Email: fotakis@fri.gr

Περίληψη

Η κτηνοτροφία αποτελεί σημαντικό οικονομικό τομέα στην Ελλάδα. Για την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των βοσκοτόπων είναι σημαντικό να υπάρχουν αξιόπιστα εργαλεία, όπως ο χάρτης παραγωγής βιομάζας. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI για την εκτίμηση της λιβαδικής βιομάζας, και συγκρίθηκε με ένα μοντέλο παραγωγικότητας εδάφους που βασίζεται σε τοπογραφικά, κλιματικά, εδαφολογικά και δεδομένα χρήσεων γης. Οι λιβαδικές εκτάσεις του Νομού Φλώρινας εμφανίζονται ισοκατανεμημένες μεταξύ υψηλής και χαμηλής παραγωγικότητας. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της βιομάζας των λιβαδικών εκτάσεων, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο παρακολούθησης και αειφορικής διαχείρισης των βοσκοτόπων.

Λέξεις κλειδιά*:* NDVI, βιομάζα, τηλεπισκόπηση, χωρική ανάλυση

Εισαγωγή

Στις πεδινές και ημιορεινές εκτάσεις του Μεσογειακού τοπίου κυριαρχεί η ξυλώδης βλάστηση, δηλαδή ένα μίγμα αειφύλλων δένδρων, φυλλοβόλων δένδρων και θάμνων με υπόροφο ποών, γνωστοί ως θαμνολίβαδα, που καλύπτουν 1,6 εκατομμύρια εκτάρια σε ολόκληρη την Ελλάδα (περίπου 30% της συνολικής έκτασης των λιβαδιών) (Papachristou et al. 2003).

Η χρήση των δορυφορικών εικόνων οδηγεί σε μία ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων προσφέροντας πληροφορίες για τα διάφορα αντικείμενα. Για το λόγο αυτό, η επιστήμη της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιείται ευρέως για την παρατήρηση της βλάστησης, οδηγώντας εύκολα και γρήγορα σε αρκετά ακριβή συμπεράσματα. Οι δορυφόροι, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, καταγράφουν σε διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (φασματικοί δίαυλοι) την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπουν και ανακλούν τα διάφορα αντικείμενα. Ο λόγος της κατάλληλης επιλογής φασματικών διαύλων ενισχύει την αντίθεση ορισμένων κατηγοριών. Οι μέθοδοι της τηλεπισκόπησης και οι δείκτες βλάστησης έχουν σχεδιαστεί με σκοπό την μετατροπή της φασματικής πληροφορίας σε μια μορφή ερμηνείας (Bannari et al. 1995). Οι δείκτες βλάστησης είναι αλγεβρικές αριθμητικές σχέσεις των φασματικών διαύλων που αντανακλούν την κατάσταση της βλάστησης και προσπαθούν να εκτιμήσουν αρκετές παραμέτρους της. Ο σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθεί η διάσταση των αρχικών πολυφασματικών παρατηρήσεων σε έναν απλό μονοδιάστατο δείκτη, ο οποίος να συσχετίζεται με εσωτερικούς παραμέτρους των οικοσυστημάτων (ποσότητα της βιομάζας, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, το ποσοστό φυτοκάλυψης) (Bannari et al. 1995).

Ο πιο διαδεδομένος και ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Kriegler et al.

1969, Rouse et al. 1973). Ο λόγος της εκτεταμένης χρήσης του είναι η δυνατότητά του να εκμεταλλεύεται τις ραδιομετρικές πληροφορίες της βλάστησης, οι οποίες δίνονται από το ερυθρό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα, να ελαχιστοποιεί την επίδραση που προκαλείται από διαφορετικές ηλιακές γωνίες και να επιτρέπει τις συγκρίσεις μεταξύ εικόνων από διαφορετικές περιόδους του έτους, ενώ επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί από σχεδόν όλους τους αισθητήρες. Επίσης, η λειτουργικότητά του ισχύει για όλα τα επίπεδα βλάστησης, ανεξάρτητα από το είδος βλάστησης που υπάρχει. Οι τιμές που λαμβάνει κυμαίνονται από -1 μέχρι +1 (-1: απουσία βλάστησης, +1 παρουσία βλάστησης) και η σχέση που τον περιγράφει υπολογίζεται με το λόγο της διαφοράς των τιμών ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας του κοντινού υπέρυθρου και του ερυθρού προς το άθροισμά τους. Ωστόσο, ο NDVI έχει κάποιες αδυναμίες που επηρεάζουν τη χρήση του, όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η χαμηλή κάλυψη βλάστησης, το έδαφος, διαφοροποιώντας τη φασματική απόκριση από τη βλάστηση. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστεί και να εφαρμοστεί στην περιοχή της Φλώρινας μια μέθοδος για την αξιολόγηση της παραγωγικότητας της βλάστησης των λιβαδικών εκτάσεων, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των βοσκοτόπων.

Υλικά και Μέθοδοι

Ο Νομός της Φλώρινας βρίσκεται στο βόρειο/βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό, με ψυχρούς χειμώνες, μέση ετήσια βροχόπτωση 645,7 mm και μέση ετήσια θερμοκρασία 12^{o} C. Η ευρύτερη περιοχή ανήκει στον ύφυγρο βιοκλιματικό όροφο με δριμείς χειμώνες και στο υπομεσογειακό βιοκλίμα. Φυτοκοινωνιολογικά, η βλάστηση της περιοχής ανήκει στη διάπλαση των θερμόφιλων υποηπειρωτικών φυλλοβόλων δρυών (Ματζανάς κ.ά. 2008). Από τα 1924km^2 συνολικής έκτασης του νομού Φλώρινας, περίπου το 50% καταλαμβάνεται από εκτάσεις με λιβαδική βλάστηση, σύμφωνα με την χαρτογράφηση του Corine Land Cover (CLC) 2018 (Πίνακας 1). Για το λόγο αυτό, χαρακτηρίζεται ως ένας γεωργοκτηνοτροφικός νομός με ιδιαίτερα ανεπτυγμένη τη ζωική παραγωγή. Η μέθοδος εκτίμησης της παραγωγικότητας του εδάφους που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, βασίζεται σε ένα επικυρωμένο μοντέλο εμπειρογνωμόνων που ονομάζεται SoilProd. Το μοντέλο περιλαμβάνει εδαφικά, κλιματικά και τοπογραφικά κριτήρια (Tóth et al. 2013). Τα εδαφολογικά δεδομένα προέρχονται από την Ευρωπαϊκή βάση εδαφολογικών δεδομένων (European Soil Database (ESDB; EC 2003)). Οι κλιματικές περιοχές των Hartwich et al. (2005) χρησιμοποιήθηκαν ως χωρικές μονάδες για την εκτίμηση των κλιματικών παραμέτρων. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) από το Shuttle Radar (Rabus et al. 2003), χρησιμοποιήθηκε για τα τοπογραφικά δεδομένα (κλίση, έκθεση, υψόμετρο).

Πίνακας 1. Εκτάσεις λιβαδικής βλάστησης που συνδέονται με την κτηνοτροφία σύμφωνα με το Corine Land Cover (CLC) 2018 στον Νομό Φλώρινας.

Κωδικός	Ονομασία	Έκταση (km^2)
321	Ποολίβαδα	429
322	Εκτάσεις με χαμηλή θαμνώδη βλάστηση	54
323	Θαμνώδης σκληρόφυλλη βλάστηση	263,5
324	Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	205
Σύνολο εκτάσεων με λιβαδική βλάστηση		951,5
Έκταση Νομού Φλώρινας		1.924

Ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης, αξιολογώντας εάν ο στόχος που παρατηρείται περιέχει ή όχι ζωντανή πράσινη βλάστηση. (Flynn et al. 2008). Τα αποτελέσματα της μεθόδου

συγκρίθηκαν με τον δείκτη NDVI ο οποίος παρήχθη από δύο εικόνες του Ευρωπαϊκού δορυφόρου Sentinel, άνοιξης (23/03) και καλοκαιριού (18/06) του 2019.

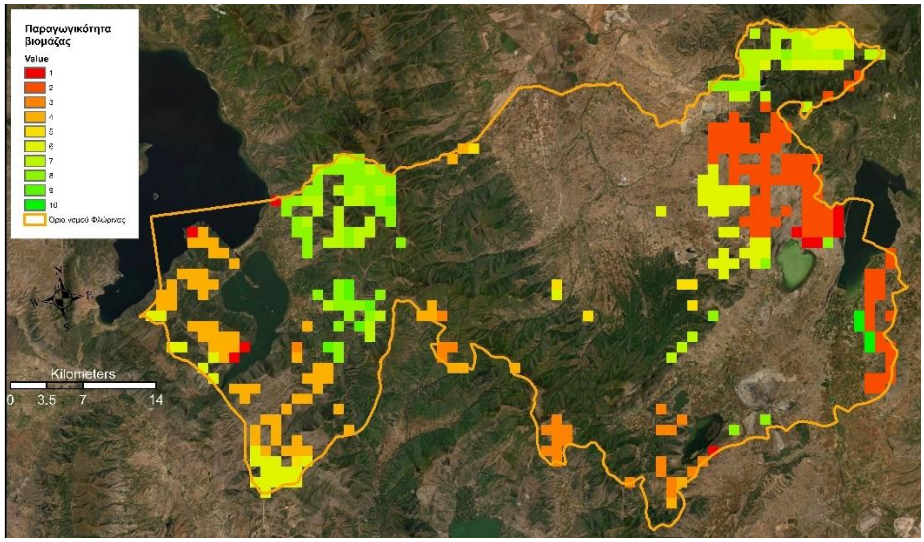
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τον δείκτη NDVI έγινε μέσω της χωρικής εφαρμογής του Συντελεστής Παραλλακτικότητας (ΣΠ) (Εξίσωση 1). Ο Συντελεστής Παραλλακτικότητας (ΣΠ) αποτελεί δείκτη σχετικής μεταβλητότητας, είναι "καθαρός" αριθμός (δεν έχει μονάδες μέτρησης) και εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό % του μέσου όρου (Μενεξές και Κουτσός 2016). Ο ΣΠ εφαρμόστηκε σε κάθε χωρική οντότητα (κελί) ξεχωριστά, και για τις δύο δορυφορικές εικόνες και τους αντίστοιχους δείκτες NDVI (Εικόνα 4 και Εικόνα 5). Έτσι, οι χάρτες με τον ΣΠ δείχνουν που υπάρχει και πόση είναι η τυπική απόκλιση ως ποσοστό % του μέσου όρου κάθε κελιού μεταξύ της τιμής του μοντέλου και της τιμής του NDVI. Οι τιμές του δείκτη βαθμονομήθηκαν από 1 έως 10, με την τιμή 1 να δείχνει τη μικρότερη απόκλιση, και την τιμή 10 τη μεγαλύτερη.

Εξίσωση 1 $$CV = \frac{\sqrt{MSE}}{\overline{Y}_{..}} \text{ x } 100$$

Όπου $\sqrt{MSE}$ το μέσο τετράγωνο των σφαλμάτων, και $\overline{Y}_{..}$ ο αριθμητικός μέσος όρος των μετρήσεων.

Αποτελέσματα

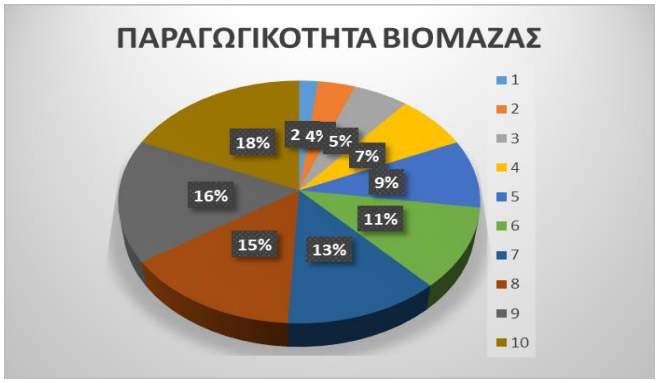
Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψε ο χάρτης βαθμονόμησης της βιομάζας των λιβαδικών εκτάσεων του Νομού Φλώρινας (Εικόνα 1). Οι λιβαδικές εκτάσεις της περιοχής εμφανίζονται ισοκατανεμημένες μεταξύ υψηλής (τιμές 6-10) και χαμηλής παραγωγικότητας (τιμές 1-5) (Εικόνα 2).



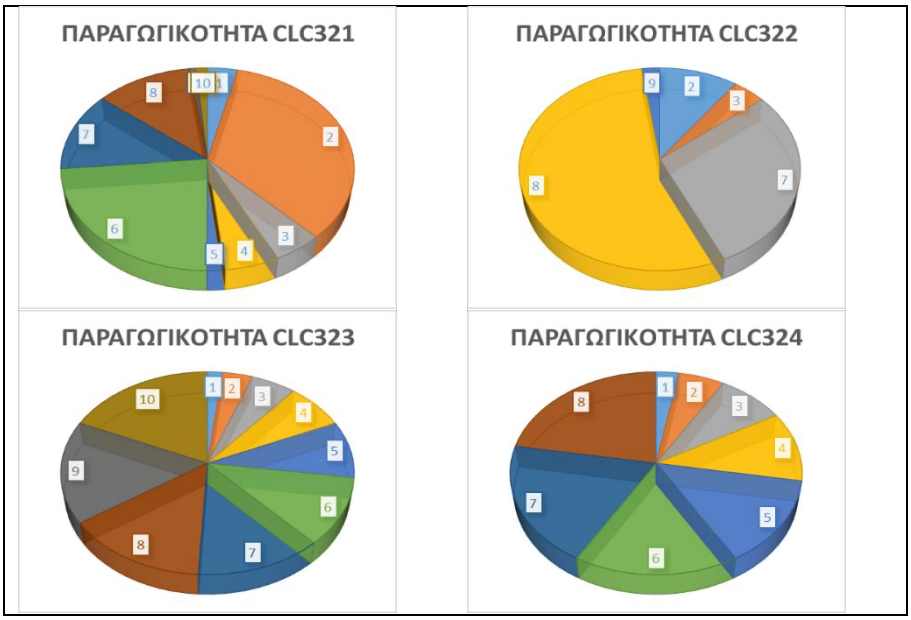
Εικόνα 1. Βαθμονόμηση παραγωγικότητας λιβαδικών εκτάσεων (1-χαμηλότερη, 10-υψηλότερη)

Η παραγωγικότητα της βλάστησης εμφανίζει διαφορές μεταξύ των διαφορετικών καλύψεων γης (Εικόνα 3). Τα ποολίβαδα (CL32) της περιοχής εμφανίζουν ισοκατανεμημένες υψηλές (τιμές 6-10) και χαμηλές τιμές παραγωγικότητας (τιμές 1-5). Αντίθετα, στην χαμηλή θαμνώδη βλάστηση (CL322) το 87% παρουσιάζει υψηλές (τιμές 6-10), ενώ το 13% χαμηλές (τιμές 1-5). Οσον αφορά τη θαμνώδη σκληρόφυλλη βλάστηση (CL323) και τις μεταβατικές δασώδεις-

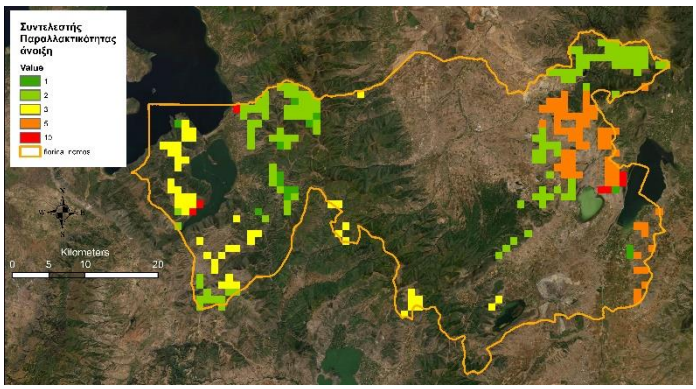
θαμνώδεις εκτάσεις (CL323) οι τιμές υψηλής παραγωγικότητας καταλαμβάνουν περίπου το 40%, ενώ οι τιμές χαμηλής παραγωγικότητας το 60%.



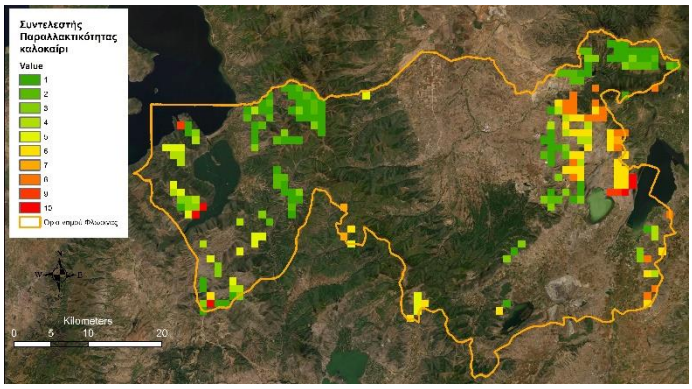
Εικόνα 2. Παραγωγή (%) βιομάζας της βλάστησης



Εικόνα 3. Κατανομή της παραγωγικότητας ανά κατηγορία κάλυψης γης σύμφωνα με το Corine Land Cover (CLC) 2018



Εικόνα 4. Ο συντελεστής Παραλλακτικότητας μεταξύ του μοντέλου παραγωγικότητας εδάφους και του δείκτη NDVI την άνοιξη



Εικόνα 5. Ο συντελεστής Παραλλακτικότητας μεταξύ του μοντέλου παραγωγικότητας εδάφους και του δείκτη NDVI το καλοκαίρι

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της βιομάζας των λιβαδικών εκτάσεων, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο παρακολούθησης και διαχείρισης των βοσκοτόπων. Η παρακολούθηση των λιβαδιών, είτε μέσω επιτόπιας παρατήρησης είτε μέσω τηλεπισκόπησης, απαιτεί δεδομένα σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση της βλάστησης, των σταθμικών συνθηκών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι μέθοδοι in situ, από την οπτική παρατήρηση έως και τις εργαστηριακές ανάλυσεις, μπορεί να είναι εξαιρετικά χρήσιμες σε τοπική κλίμακα, αλλά δεν είναι εφικτές για κάλυψη μεγάλης κλίμακας. Η προτεινόμενη μέθοδος επιτρέπει την παρακολούθηση, την ποσοτικοποίηση και την πρόβλεψη σε μεγάλης κλίμακας διαφορετικά φαινομένα (π.χ. χρήση γης και κάλυψη γης, βιοποικιλότητα, επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος) που εμφανίζονται σε ποικίλες χωρικές και χρονικές αναλύσεις.

Ο χάρτης παραγωγικότητας της βλάστησης που παράχθηκε, σε συνδυασμό με μεθόδους χωρικής βελτιστοποίησης (Fotakis and Sisiropoulos, 2015), και με επιτόπιες μετρήσεις, θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για την ορθολογική και αειφορική διαχείριση των βοσκοτόπων βελτιστοποιώντας την ένταση και τη χωρική κατανομή της βόσκησης.

Βιβλιογραφία

Bannari A., Morin, D. and Bonn, F. 1995. A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews, 13: 95-120.

Bossard M., J. Feranec and J. Otahel. 2000. CORINE land cover technical guide - Addendum 2000. European Environment Agency, Copenhagen, pp. 105,

Flynn E.S., C.T. Dougherty and O. Wendroth. 2008. Assessment of Pasture Biomass with the Normalized Difference Vegetation Index from Active Ground-Based Sensors. Agronomy Journal, 100: 114-121.

Fotakis D. and E. Sidiropoulos. 2015. Spatial optimization: an indispensable tool for development. South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics 4 (2S), pp. 81-91.

Hartwich R, R. Baritz, M. Fuchs, D. Krug and S. Thiele. 2005. Erläuterungen zur Bodenregionenkarte der Europäischen Union and ihrer Nachbarstaaten 1:5,000,000 (version 2.0). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.

Kriegler F., W. Malila, R. Nalepka and W. Richardson. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition, pp.97-131. Proceedings of the Sixth Int. Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, 13–16 October 1969. University of Michigan.

Μαντζανάς Κ., Α. Σιδηροπούλου, Μ. Ζαρόβαλη, Ο. Ντίνη-Παπαναστάση, Π. Πλατής και Ι. Ισπικούδης. 2008. Δομή και λειτουργία των δασολιβαδικών συστημάτων του Νομού Φλώρινας, σελ. 141-146. Λιβαδοπονία και προσατευόμενες περιοχές (Κ.Θ. Μαντζανάς και Β.Π. Παπαναστάσης, εκδότες). Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου Λεωνίδιο Αρκαδίας, 2-4 Οκτωβρίου 2008. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.

Μενεξές Γ. και Θ. Κουτσός. 2016. Σπουδαιότητα και ιδιότητες του συντελεστή παραλλακτικότητας (Coefficient Variation - CV). 16ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών με θέμα «Η συμβολή της βελτίωσης των φυτών στην έξοδο από την οικονομική κρίση», 28-30 Σεπτεμβρίου 2016, Φλώρινα.

Papachristou T.G., A.S. Nastis, R. Mathur and M.R. Hutchings. 2003. Effect of physical and chemical plant defences on herbivory: implications for Mediterranean shrubland management. Basic and Applied Ecology, 4: 395-403.

Rabus B, M. Eineder, A. Roth and R. Bamler. 2003 The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. Photogramm Rem Sens 57:241–262.

Rouse, J., R. Hass, J. Schell and D. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Remote Sensing of Environment, 44: 117-126.

Tóth, G., C. Gardi. K. Bódis, et al. 2013. Continental-scale assessment of provisioning soil functions in Europe. Ecol. Process. 2, 32 https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-32.

Calibration of the productivity of rangelands in the prefecture of Florina

D. Fotakis*, M. Pleniou, I. Karmiris
Hellenic Agricultural Organisation «DIMITRA», Forest Research Institute, 57006 Vassilika, Thessaloniki
*Email: fotakis@fri.gr

Summary

Livestock farming is an important economic sector in Greece. Reliable tools capable to lead to an efficient and sustainable pasture management, such as a biomass production map are very important. In the present study, the NDVI was used to estimate grassland biomass, and compared with a soil productivity model based on topographic, climatic, soil and land use data. The meadow areas of the Prefecture of Florina appear evenly distributed between high and low productivity. The method used presented here could be used as a tool for monitoring and sustainable management of pastures.

***Keywords**:* NDVI, biomass, remote sensing, spatial analysis