

Εμπειρικά μοντέλα εποχιακής πρόγνωσης δυναμικού παραγωγής – κάλυψης υπέργεια βιομάζας σε σχέση με κλιματικές παραμέτρους σε ψευδαλπικό ποολίβαδο του Τυμφρηστού Ν. Ευρυτανίας

Μ.Σ. Βραχνάκης και Α. Κοντογιάννη

ΤΕΙ Λαμίας, Τμήμα Δασοπονίας, Παράρτημα Καρπενησίου,
361 00, Καρπενήσι, e-mail: mvrahnak@for.auth.gr

Περίληψη

Η παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων συνδέεται άμεσα με τις κλιματικές συνθήκες. Ειδικότερα, η παραγωγικότητα των Μεσογειακών λιβαδικών οικοσυστημάτων εξαρτάται από το βαθμό ανομοιομορφίας της κατανομής των κατακρημνισμάτων τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Έτσι, η χρήση κλιματικών παραμέτρων στην κατασκευή εμπειρικών μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης κάλυψης και παραγωγής υπέργεια βιομάζας της λιβαδικής βλάστησης είναι σημαντική για διαχειριστικούς και άλλους σκοπούς. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη διερεύνηση και κατασκευή μαθηματικών μοντέλων με εξαρτημένες μεταβλητές παραμέτρους υπέργεια βιομάζας και κάλυψης και ανεξάρτητες μεταβλητές κλιματικές παραμέτρους. Η έρευνα διεξήχθη το 2000 και αναφέρεται σε αβόσκητο ποολίβαδο της περιοχής Ρόβια της Ευρυτανίας. Η συλλογή των στοιχείων βλάστησης έγινε σε μηνιαία βάση από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο του έτους έρευνας και για την κατασκευή των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κλιματικών παραμέτρων που ελήφθησαν από τις βάσεις δεδομένων του Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.) Αθηνών. Ως βάθος χρόνου αναφοράς των κλιματικών παραμέτρων ελήφθη από την έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου του προηγούμενου έτους (Σεπτέμβριος 1999) μέχρι τον προηγούμενο μήνα της συλλογής των στοιχείων βλάστησης. Συνολικά ελέγχθηκε η καταλληλότητα 144 μοντέλων (γραμμικών και μη) με σταθερά στην εξίσωση και 144 μοντέλων χωρίς σταθερά. Βρέθηκε ότι όταν χρησιμοποιηθεί σταθερά στην εξίσωση μόνο ένα μοντέλο, το σιγμοϊδές, προσαρμόζεται σημαντικά σε δεδομένα βροχόπτωσης και νεκρής βιομάζας. Αντίθετα, όταν δεν χρησιμοποιείται σταθερά στις εξισώσεις βρέθηκε ότι από τα 144 μαθηματικά μοντέλα μόνο 10 δεν προσαρμόζονταν σημαντικά στα δεδομένα βλάστησης-κλίματος. Στην περίπτωση μη χρήσης σταθεράς τα μοντέλα που προσαρμόζονταν στα δεδομένα ήταν κυρίως της εκθετικής δύναμης, το σιγμοϊδές και το εκθετικό.

Λέξεις κλειδιά: Βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, υπέργεια βιομάζα, κάλυψη.

Εισαγωγή

Η κατά χώρο και χρόνο συμπεριφορά των λιβαδικών οικοσυστημάτων, τόσο σε έννοιες δομής όσο και λειτουργίας, εξαρτάται άμεσα από το κλιματικό τους περιβάλλον. Ειδικότερα η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του εδάφους και η σχετική υγρασία φαίνεται να αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες της κάλυψης και παραγωγικότητας των λιβαδικών οικοσυστημάτων. Οι μεταβολές της βλάστησης από έτος σε έτος, ως απόρροια των

κλιματικών διακυμάνσεων είναι αξιόλογες και σημαντικές για τη διαχείριση των λιβαδιών (Παπαναστάσης και Νοϊτσάκης 1992).

Αλλαγές στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και στα κατακρημνίσματα (ποσότητα, εποχιακή κατανομή) μπορούν είτε να αυξήσουν είτε να μειώσουν τη συνολική πρωτογενή παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων αναλόγως του τρόπου που επιδρούν στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Οι υψηλοί ρυθμοί αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας που παρατηρούνται με την αύξηση της θερμοκρασίας μπορούν να αυξήσουν τη διαθεσιμότητα του ανόργανου αζώτου στη ριζόσφαιρα της βλάστησης, η οποία κατ' επέκταση μπορεί να επηρεάσει την καθαρή φωτοσύνθεση (Charpin 1991a). Πάντως, μείωση της ποσότητας των κατακρημνισμάτων ή αύξηση της εξατμισοδιαπνοής – λόγω αύξησης της θερμοκρασίας – μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της υγρασίας του εδάφους. Χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας μπορούν να μειώσουν τη διαθεσιμότητα του αζώτου προκαλώντας χαμηλότερους ρυθμούς αποσύνθεσης (Monteith and Unsworth 1990), ή μικρότερη διάχυση του ανόργανου αζώτου στο έδαφος (Carlye and Than 1988). Αυξημένη ποσότητα κατακρημνισμάτων έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη διαθεσιμότητα του αζώτου καθώς αυξάνουν οι ρυθμοί αποσύνθεσης (με την αύξηση της υγρασίας του εδάφους) (Charpin 1991b). Ακόμα, οι κλιματολογικοί παράγοντες είναι σημαντικοί στη διαμόρφωση της σύνθεσης της πλώδους βλάστησης καθώς τα φυτικά είδη εκδηλώνουν διαφορετικούς μηχανισμούς προσαρμογής σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης ή μη (Νοϊτσάκης 1988, Βραχνάκης 2000).

Η γνώση της εποχιακής μεταβολής της παραγωγής είναι πολύτιμη για το σχεδιασμό διαχειριστικών μέτρων. Σημαντικό εφόδιο για την απόληψη της γνώσης αυτής αποτελούν τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης (Papanastasis 1981). Στην πραγματικότητα πρόκειται για εφαρμογές παλινδρόμησης. Με την παλινδρόμηση εκτιμούμε τη σχέση μιας μεταβλητής ως προς μία άλλη, εκφράζοντας τη μία μεταβλητή σε γραμμική (ή μη) συνάρτηση της άλλης μεταβλητής. Απώτερος σκοπός της μεθόδου της παλινδρόμησης είναι η «εκτίμηση» και η «πρόβλεψη» τιμών της μίας μεταβλητής, οι οποίες αντιστοιχούν σε μετρημένες τιμές της άλλης μεταβλητής (Jongman et al. 1995). Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση και κατασκευή μαθηματικών μοντέλων εποχιακής πρόγνωσης με εξαρτημένες μεταβλητές παραμέτρους υπέργειας βιομάζας και κάλυψης και ανεξάρτητες μεταβλητές κλιματικές παραμέτρους σε ποολίβαδο της ψευδαλπικής ζώνης της Ευρυτανίας.

Μέθοδοι και υλικά

Ως περιοχή έρευνας επιλέχθηκε η θέση Ρόβια (4600 στρ.), 5 χλμ. Β.Α. της πόλης του Καρπενησίου, σε μέσο υπερθαλάσσιο ύψος 1330 μ. Η γενική έκθεση ως προς τον ορίζοντα είναι Ν-ΝΔ. Επικρατούν απότομες κλίσεις και κατά θέσεις ισχυρές κλίσεις. Το βασικό πέτρωμα είναι σκληρός ασβεστόλιθος (κυριαρχεί) και ψαμμιτικός φλύσχος. Ως προς τη μηχανική του σύσταση το έδαφος είναι αμμοαργιλοπηλώδες. Επίσης είναι αβαθές και βραχώδες στη μεγαλύτερη έκταση, μέτρια βαθύ σε μικρή έκταση προς το χαμηλότερο μέρος. Η γονιμότητά του είναι μεταβαλλόμενη με σχετικά μικρή παραγωγικότητα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα είναι 10,39 °C, η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 1321,39 χλσ. και η μέση ετήσια σχετική υγρασία 74,2% (μέσοι όροι δεκαετίας 1985-1995). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με δριμύ χειμώνα. Σύμφωνα με στοιχεία του Δασαρχείου Καρπενησίου, στην περιοχή έρευνας (Ρόβια) έβοσκαν μόνιμα πριν το 1959, 1745 πρόβατα και 1050 γίδια. Μετά την πυρκαγιά του 1959 η περιοχή περιφράχθηκε από το Δασαρχείο Καρπενησίου για τον αποκλεισμό της βόσκησης με σκοπό την υδρολογική προστασία της υποκείμενης πόλης του Καρπενησίου. Η προστασία εξασφαλίζεται από σειρά δασικών απαγορευτικών διατάξεων βοσκής που εκδόθηκαν από το 1959 με ισχύ μέχρι το 2010.

Τον Απρίλιο του 2001 επιλέχθηκαν 6 αντιπροσωπευτικές τομές 5 μ. η κάθε μία. Η κάθε τομή αντιπροσώπευε την παραγωγή επτά διαδοχικών μηνών (από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο). Σε κάθε τομή τοποθετήθηκαν 10 διαδοχικά πλαίσια 50 x 50 εκ. Μετά την τοποθέτηση των πλαισίων έγινε οπτική εκτίμηση και κατανομή (% της κάλυψης της βλάστησης) της υπέργειας βιομάζας σε τρεις κατηγορίες βλάστησης (αγρωστώδη, ψυχανθή και λοιπές πλατύφυλλες πόες). Στη συνέχεια έγινε συγκομιδή της υπέργειας βιομάζας που βρίσκονταν μέσα σε κάθε πλαίσιο. Το ύψος κοπής της υπέργειας βιομάζας ήταν 5 εκ. Η συγκομιζόμενη ύλη μεταφέρθηκε στο Εργαστήριο Λιβαδοπονίας του Τμήματος Δασοπονίας Καρπενησίου και κατόπιν έγινε διαλογή ζωντανής και νεκρής ύλης. Στη συνέχεια το υλικό αποξηράνθηκε σε πυριατήριο (φούρνο) στους 65 °C για 48 ώρες με σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας. Κατόπιν έγινε ζύγιση του αποξηραμένου υλικού με ζυγό ακριβείας και το ξηρό βάρος εκφράστηκε σε χλγ. ανά στρέμμα.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα περιελάμβαναν το μέσο ημερήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων (χλσ.), τη μέση ημερήσια σχετική υγρασία αέρος (%) και τη μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρος (°C) για τους 24 μήνες των ετών 1999 και 2000. Τα δεδομένα αυτά μετρήθηκαν από το Μ.Σ. Αγίου Νικολάου Ευρυτανίας. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης (ως άθροισμα των ημερησίων τιμών) και οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρος και σχετικής υγρασίας. Για την κατασκευή των μαθηματικών μοντέλων ελήφθησαν υπόψη οι μηνιαίες τιμές από την έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου (δηλ. το Σεπτέμβρη του 1999) μέχρι και τον προηγούμενο μήνα αναφοράς. Έτσι, για την κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου που έχει ως εξαρτημένη μεταβλητή π.χ. τη πράσινη βιομάζα χρησιμοποιήθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή κάποια από τις τρεις μετεωρολογικές παραμέτρους (βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα, και σχετική υγρασία), οι μηνιαίες τιμές της οποίας υπολογίστηκαν από τον προηγούμενο μήνα αναφοράς μέχρι το Σεπτέμβρη του 1999. Οι μεταβλητές που ερευνήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στα βιοκλιματικά μοντέλα.

Εξαρτημένες μεταβλητές	Ανεξάρτητες μεταβλητές
1. Πράσινη βιομάζα (χλγ/στρ.)	1. Βροχόπτωση (χλσ.)
2. Νεκρή βιομάζα (χλγ /στρ.)	2. Θερμοκρασία αέρα (°C)
3. Συνολική βιομάζα (χλγ /στρ.)	3. Σχετική υγρασία (%)
4. Κάλυψη αγρωστωδών (%)	
5. Κάλυψη ψυχανθών (%)	
6. Κάλυψη πλατυφύλλων ποών (%)	

Τα οκτώ μαθηματικά μοντέλα που ελέγχθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Τα μοντέλα αυτά ελέγχθηκαν τόσο με τη συμμετοχή σταθερού όρου (*b*) όσο και χωρίς σταθερό όρο. Η διαδικασία εφαρμόστηκε 288 φορές (8 μαθημ. μοντέλα x 3 ανεξάρτητες μεταβλητές x 6 εξαρτημένες μεταβλητές x 2 περιπτώσεις (με σταθερά και χωρίς σταθερά)). Ο έλεγχος στηρίχτηκε στο επίπεδο σημαντικότητας της τιμής της F-κατανομής που ελήφθη από τον έλεγχο παραλλακτικότητας (ANOVA) της παλινδρόμησης. Ως επίπεδο σημαντικότητας ελήφθη το $\alpha=0,05$.

Τα μαθηματικά μοντέλα που τελικά επελέγησαν ήταν εκείνα που ικανοποιούσαν τα παρακάτω κριτήρια:

- τη μεγαλύτερη τιμή της στατιστικής της F-κατανομής,
- τη μικρότερη τιμή του επιπέδου σημαντικότητας (signif F),
- τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη συσχέτισης του Pearson (R),
- τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2),

ε) τη μεγαλύτερη τιμή του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού ($R^2_{\text{adjust}} = R^2 - \frac{p(1-R^2)}{N-p-1}$), και
 στ) τη μικρότερη τιμή του τυπικού σφάλματος.

Πίνακας 2. Μαθηματικά μοντέλα που ελέγχθηκαν.

Όνομασία	Έκφραση	Όνομασία	Έκφραση
1. γραμμικό	$y = ax + b$	5. 3 ^{ης} τάξεως πολυωνυμικό	$y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + b$
2. λογαριθμικό	$y = a \ln(x) + b$	6. εκθετικής δύναμης	$y = bx^a$ ή $\ln(y) = \ln(b) + a \ln(x)$
3. αντίστροφο	$y = \frac{a}{x} + b$	7. τύπου “S”	$y = e^{\left(\frac{b+a}{x}\right)}$ ή $\ln(y) = b + \frac{a}{x}$
4. 2 ^{ης} τάξεως πολυωνυμικό	$y = a_1x + a_2x^2 + b$	8. εκθετικό	$y = be^{ax}$ ή $\ln(y) = \ln(b) + ax$

Αποτελέσματα και συζήτηση

Σχέση κλιματικών παραμέτρων και παραγωγής / κάλυψης

Από τα 144 μοντέλα με σταθερά που ελέγχθηκαν μόνο ένα βρέθηκε να προσαρμόζεται σημαντικά στα δεδομένα. Πρόκειται για το μοντέλο τύπου “S” που περιγράφει τη σχέση της βροχόπτωσης και της νεκρής βιομάζας. Όλα τα υπόλοιπα βρέθηκαν στατιστικώς μη σημαντικά ($P > 0,05$) και απορρίφθηκαν.

Από τα 48 μοντέλα χωρίς σταθερά που ελέγχθηκαν και στα οποία η βροχόπτωση αποτελούσε την ανεξάρτητη μεταβλητή τα 45 ήταν κατάλληλα ($P < 0,05$). Ακατάλληλα κρίθηκαν α) το αντίστροφο μοντέλο βροχόπτωσης – πράσινης βιομάζας, β) το μοντέλο 2ας τάξεως βροχόπτωσης – πράσινης βιομάζας, και γ) το μοντέλο 3ης τάξεως βροχόπτωσης – πράσινης βιομάζας. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία αέρα χρησιμοποιήθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή 44 μοντέλα χωρίς σταθερά κρίθηκαν κατάλληλα ($P < 0,05$), ενώ απορρίφθηκαν α) το γραμμικό μοντέλο θερμοκρασίας – πράσινης βιομάζας, β) το λογαριθμικό μοντέλο θερμοκρασίας – πράσινης βιομάζας, γ) το μοντέλο 2ας τάξεως θερμοκρασίας – πράσινης βιομάζας, και δ) το μοντέλο 3ης τάξεως θερμοκρασίας – πράσινης βιομάζας. Τέλος, στην περίπτωση της σχετικής υγρασίας βρέθηκε ότι από τα 48 μοντέλα τα 45 ήταν κατάλληλα ($P < 0,05$). Ακατάλληλα κρίθηκαν α) το αντίστροφο μοντέλο σχετικής υγρασίας – πράσινης βιομάζας, β) το μοντέλο 2ας τάξεως σχετικής υγρασίας – πράσινης βιομάζας, και γ) το μοντέλο 3ης τάξεως σχετικής υγρασίας – πράσινης βιομάζας.

Επιλογή μοντέλων

Στον πίνακα 3 αναγράφονται τα βιοκλιματικά μοντέλα που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των κριτηρίων α)-στ). Όπως προκύπτει, πρόκειται για μη γραμμικά μοντέλα στο σύνολό τους. Ειδικότερα αυτό της εκθετικής δύναμης προκρίθηκε στις 12 από τις 18 περιπτώσεις, ακολουθούμενο από αυτό του τύπου “S” (3 φορές) και το εκθετικό (3 φορές). Επίσης, στο σύνολό τους τα προκρινόμενα μοντέλα δεν περιείχαν σταθερό όρο στη μαθηματική τους έκφραση. Ακόμα και το μοναδικό στατιστικώς σημαντικό μοντέλο τύπου “S” που περιγράφει τη σχέση της βροχόπτωσης και της νεκρής βιομάζας με σταθερό όρο στη μαθηματική του έκφραση απορρίφθηκε καθώς η αντίστοιχη έκφρασή του χωρίς σταθερά εκπληρούσε καλύτερα τις προϋποθέσεις α)-στ). Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η μαθηματική έκφραση των προκρινόμενων μοντέλων.

Πίνακας 3. Επιλεγμένα στατιστικώς σημαντικά βιοκλιματικά μοντέλα και στατιστικές αυτών. Ως εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι κλάσεις βιομάζας (Π.Β.: πράσινη βιομάζα, Ν.Β.: νεκρή βιομάζα, Σ.Β.: συνολική βιομάζα) εκφρασμένες σε χλγ/στρ. και ποσοστιαίας (%) κάλυψης (ΑΓ.: αγρωστώδη, ΨΥ.: ψυχανθή, Π.Π.: πλατύφυλλες πόες) και ανεξάρτητες η βροχόπτωση (χλσ.), η θερμοκρασία αέρα (°C) και η σχετική υγρασία (%).

Σχέση	Μοντέλο	F	Signif F	R	R ²	R ² _{adjust}	Τυπικό σφάλμα
Βροχόπτωση - Π.Β.	Εκθετικό	55,810	0,0007	0,9580	0,9178	0,9013	1,2443
Βροχόπτωση - Ν.Β.	Τύπου "S"	676,008	0,0000	0,9963	0,9927	0,9912	0,3856
Βροχόπτωση - Σ.Β.	Εκθετικής δύναμης	504,991	0,0000	0,9951	0,9902	0,9882	0,5292
Βροχόπτωση - ΑΓ.	Εκθετικής δύναμης	2812,96	0,0000	0,9991	0,9982	0,9979	0,1954
Βροχόπτωση - ΨΥ.	Εκθετικής δύναμης	509,922	0,0000	0,9951	0,9903	0,9884	0,2935
Βροχόπτωση - Π.Π.	Εκθετικής δύναμης	1285,76	0,0000	0,9981	0,9961	0,9954	0,1850
Θερμοκρασία - Π.Β.	Τύπου "S"	50,732	0,0008	0,9541	0,9103	0,8923	1,2997
Θερμοκρασία - Ν.Β.	Εκθετικής δύναμης	896,566	0,0000	0,9972	0,9945	0,9933	0,3351
Θερμοκρασία - Σ.Β.	Εκθετικής δύναμης	226,393	0,0000	0,9891	0,9784	0,9741	0,7857
Θερμοκρασία - ΑΓ.	Εκθετικής δύναμης	619,567	0,0000	0,9960	0,9920	0,9904	0,4151
Θερμοκρασία - ΨΥ.	Εκθετικής δύναμης	206,493	0,0000	0,9881	0,9764	0,9716	0,4580
Θερμοκρασία - Π.Π.	Εκθετικής δύναμης	245,858	0,0000	0,9900	0,9801	0,9761	0,4197
Σχ. υγρασία - Π.Β.	Εκθετικό	50,866	0,0008	0,9542	0,9105	0,8926	1,2981
Σχ. υγρασία - Ν.Β.	Τύπου "S"	595,772	0,0000	0,9958	0,9917	0,9900	0,4105
Σχ. υγρασία - Σ.Β.	Εκθετικής δύναμης	499,196	0,0000	0,9950	0,9901	0,9881	0,5323
Σχ. υγρασία - ΑΓ.	Εκθετικής δύναμης	8396,19	0,0000	0,9997	0,9994	0,9993	0,1132
Σχ. υγρασία - ΨΥ.	Εκθετικής δύναμης	495,982	0,0000	0,9950	0,9900	0,9880	0,2976
Σχ. υγρασία - Π.Π.	Εκθετικό	1103,88	0,0000	0,9977	0,9955	0,9946	0,1996

Τα παραπάνω εμπειρικά βιοκλιματικά μοντέλα προτείνονται να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία εποχιακής πρόβλεψης παραγωγής και κάλυψης μόνο για το εύρος των κλιματικών παραμέτρων της συγκεκριμένης έρευνας και κατόπιν εμβολής (π.χ. ο υπολογισμός της συνολικής βιομάζας θα προκύψει ως μέσος όρος των τιμών των μοντέλων 3, 9, και 15 του πίνακα 3 με αντικατάσταση των σχετικών κλιματικών τιμών). Και αυτό καθώς η γενικευμένη χρήση τους προϋποθέτει περαιτέρω ελέγχους ευαισθησίας (calibration και sensitivity analysis). Σύμφωνα με τους Jongman et al. (1995) οι έλεγχοι αυτοί πιστοποιούν την αξία πρόβλεψης των εμπειρικών μοντέλων.

Συμπεράσματα

- Όταν χρησιμοποιείται σταθερά στα μοντέλα κλιματικών παραμέτρων – παραγωγής και κάλυψης βρέθηκε ότι κανένα από αυτά δεν προσαρμόζεται στα δεδομένα. Από τα 144 μαθηματικά μοντέλα με σταθερά που ελέγχθησαν μόνο ένα βρέθηκε να προσαρμόζεται σημαντικά στα δεδομένα. Πρόκειται για το μοντέλο τύπου “S” που περιγράφει τη σχέση της βροχόπτωσης και της νεκρής βιομάζας. Αντίθετα, όταν δεν χρησιμοποιείται σταθερά στα μοντέλα κλιματικών παραμέτρων – παραγωγής και κάλυψης βρέθηκε ότι από τα 144 μαθηματικά μοντέλα μόνο 10 βρέθηκαν να μην προσαρμόζονται σημαντικά στα δεδομένα.
- Το μοντέλο εκθετικής δύναμης προσαρμόζεται στατιστικά σημαντικά στα δεδομένα βροχόπτωσης – συνολικής βιομάζας, – κάλυψης αγρωστωδών, – κάλυψης ψυχανθών, – κάλυψης πλατυφύλλων ποών. Οι σχέσεις βροχόπτωσης – πράσινης βιομάζας και – νεκρής βιομάζας περιγράφονται από το εκθετικό και τύπου “S” μοντέλο.
- Το μοντέλο εκθετικής δύναμης προσαρμόζεται στατιστικά σημαντικά στα δεδομένα θερμοκρασίας αέρα – νεκρής βιομάζας, – συνολικής βιομάζας, – κάλυψης αγρωστωδών, –

κάλυψης ψυχανθών, – κάλυψης πλατυφύλλων ποών. Η σχέση θερμοκρασίας αέρα – πράσινης βιομάζας περιγράφεται από το τύπου “S” μοντέλο.

- Το μοντέλο εκθετικής δύναμης προσαρμόζεται στατιστικά σημαντικά στα δεδομένα σχετικής υγρασίας– συνολικής βιομάζας, – κάλυψης αγρωστωδών, – κάλυψης ψυχανθών. Το εκθετικό μοντέλο προσαρμόζεται σημαντικά στα δεδομένα σχετικής υγρασίας– πράσινης βιομάζας, – πλατυφύλλων ποών. Η σχέση σχετικής υγρασίας – νεκρής βιομάζας περιγράφεται από το τύπου “S” μοντέλο.

Πίνακας 4. Μαθηματική έκφραση των επιλεγμένων βιοκλιματικών μοντέλων.

Σχέση	Μοντέλο	Μαθηματική έκφραση
1. Βροχόπτωση - Π.Β.	Εκθετικό	$y = e^{0.028924x}$
2. Βροχόπτωση - Ν.Β.	Τύπου "S"	$y = e^{\left(\frac{513,497686}{x}\right)}$
3. Βροχόπτωση - Σ.Β.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{0,999678}$
4. Βροχόπτωση - ΑΓ.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{0,871216}$
5. Βροχόπτωση - ΨΥ.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{0,557122}$
6. Βροχόπτωση - Π.Π.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{0,557678}$
7. Θερμοκρασία - Π.Β.	Τύπου "S"	$y = e^{\left(\frac{29,437147}{x}\right)}$
8. Θερμοκρασία - Ν.Β.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{1,950809}$
9. Θερμοκρασία - Σ.Β.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{2,298213}$
10. Θερμοκρασία - ΑΓ.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{2,008630}$
11. Θερμοκρασία - ΨΥ.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{1,279405}$
12. Θερμοκρασία - Π.Π.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{1,279348}$
13. Σχ. υγρασία - Π.Β.	Εκθετικό	$y = e^{0.052951x}$
14. Σχ. υγρασία - Ν.Β.	Τύπου "S"	$y = e^{\left(\frac{290,933354}{x}\right)}$
15. Σχ. υγρασία - Σ.Β.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{1,137915}$
16. Σχ. υγρασία - ΑΓ.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{0,992330}$
17. Σχ. υγρασία - ΨΥ.	Εκθετικής δύναμης	$y = x^{0,634111}$
18. Σχ. υγρασία - Π.Π.	Εκθετικό	$y = e^{0.037931x}$

Αναγνώριση βοήθειας

Οι συγγραφείς αισθάνονται την ανάγκη να ευχαριστήσουν το προσωπικό του Ινστιτούτου Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.) Αθηνών για την παραχώρηση των κλιματικών δεδομένων, το προσωπικό του Δασαρχείου Καρπενησίου για την παροχή πληροφοριών σχετικών με το ιστορικό κτηνοτροφικής χρήσης της περιοχής “Ρόβια”, και το προσωπικό του Τμήματος Δασοπονίας του ΤΕΙ Λαμίας για την παραχώρηση του εργαστηριακού εξοπλισμού.

Βιβλιογραφία

Βραχνάκης, Μ.Σ. 2000. Μαθηματικά Μοντέλα Μελέτης της Δυναμικής της Λιβαδικής Βλάστησης. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ.173.

- Carlyle, J.C. and U.B. Than. 1988. Abiotic controls of soil respiration beneath an eighteen-year-old- *Pinus radiata* stand in Southeast Australia. *Journal of Ecology*, 76:654-662.
- Chapin, F.S. III. 1991a. Integrated responses of plants to stress. *BioScience*, 41:29-36.
- Chapin, F.S. III. 1991b. Effects of multiple environmental stresses on nutrient availability and use. In: *Response of Plants to Multiple Stresses*. H.A. Mooney, W.E. Winner and E.U.J. Pell (eds). San Diego, Academic Press, pp. 67-68.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. Ter Braak and O.F.R. Van Tongeren (eds). 1995. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press, USA, pp. 299.
- Montheith, J.L. and M.H. Unsworth. 1990. *Principles of Environmental Physics*. London Arnold, pp. 290.
- Νοϊτσάκης, Β. 1988. Μορφολογικοί και φυσιολογικοί μηχανισμοί προσαρμογής ποωδών λιβαδικών φυτών στην ξηρασία. *Γεωτεχνικά*, 2:85-100.
- Papanastasis, V.P. 1981. Species structure and productivity in grasslands of northern Greece, p. 205-217. In: *Components of Productivity of Mediterranean – climate Regions. Basic and Applied Aspects* (N.S. Margaris and H.A. Mooney, eds). T:VS4, Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
- Παπαναστάσης, Β.Π. και Β.Ι. Νοϊτσάκης. 1992. Λιβαδική Οικολογία. Α.Π.Θ. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Ο.Ε., Θεσσαλονίκη, σελ. 244.

Empirical seasonal predictive models of production and cover of above ground biomass in relation to climatic parameters in a subalpine grassland of Tymfristos mountain – prefecture of Evrytania

M.S. Vrahnakis and A. Kontoyianni

TEI of Lamia, Department of Forestry, Annex of Karpenisi, 361 00, Karpenisi,
e-mail: mvrahnak@for.auth.gr

Summary

Ecosystems' productivity is strongly related to climatic conditions. Specifically, the productivity of Mediterranean rangeland ecosystems is depended to the degree of time- and space-irregularity of precipitations' distribution. The use of climatic parameters in the construction of empirical mathematical models towards the prediction of cover and production of the above ground biomass is a powerful tool for management purposes. The present research deals with the exploration and construction of mathematical seasonal predictive models having above ground biomass and cover as dependent variables and climatic variables as explanatory ones. The research was conducted in 2000 in ungrazed grassland of Rovia location of Evrytania. Vegetation data were collected in a monthly basis from April to September and models were set up using climatic data obtained from the Institute of Mediterranean Forest Ecosystems & Forest Product Technology of Athens. For climatic data time depth was obtained from the start of the raining season of the previous year (September 1999) until the antecedent month of vegetation's data collection. A total of 288 models (linear and non linear) included (and not included) a constant term in their mathematical expression were examined. It was found that only the sigmoid model with a constant term is statistically fitted to precipitation and dead biomass data. On the contrary, when the constant term is not included it was found that only 10 from 144 models were not statistically fitted to climatic and vegetation data. In the case of constant term's exclusion the selected seasonal predictive models were the power, the "S", and the growth ones.

Key words: Rainfall, air temperature, relative humidity, above ground biomass, cover.