

Διαχρονικό μοντέλο προσομοίωσης των σχέσεων βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής στην επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης

Δ. Χουβαρδάς¹, Χ. Ευαγγέλου¹, U. Helldén² και Β.Π. Παπαναστάσης¹

¹ Εργαστήριο Λιβαδικής Οικολογίας (286), Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: xouv@for.auth.gr

² Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis, Lund University, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden

Περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης της βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής στην επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης. Στόχος του μοντέλου αποτελεί η εύρεση της διαχρονικά ιδανικής περιβαλλοντικής ισορροπίας μεταξύ των βοσκόντων αγροτικών ζώων και της λιβαδικής παραγωγής, έτσι ώστε να ελεγχθούν αν οι εφαρμοζόμενες διαχειριστικές πρακτικές οδηγούν στην υποβάθμιση των λιβαδιών είτε λόγω υπερβόσκησης, είτε λόγω υποχρησιμοποίησης της βοσκήσιμης ύλης. Το μοντέλο προσομοίωσης συσχετίζει την πίεση της βόσκησης που ασκούν διαχρονικά τα αγροτικά ζώα στην ανάπτυξη και διαθεσιμότητα της βοσκήσιμης ύλης, λαμβάνοντας υπόψη μεταξύ άλλων με τη βοήθεια διαφορικών εξισώσεων, της βροχόπτωσης, του ρυθμού αποσύνθεσης των φυτών, της ετήσιας κατανάλωσης των ζώων και τις αυξομειώσεις του αριθμού των κοπαδιών που προκαλεί η διαθεσιμότητα της τροφής. Το μοντέλο εφαρμόστηκε στα φυσικά λιβάδια της επαρχίας Λαγκαδά για ένα χρονικό διάστημα 140 ετών (1961 – 2100). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, με βάση τη διαθέσιμη λιβαδική παραγωγή, μια τιμή βοσκοφόρτωσης 140 με 150 μικρών ζωικών μονάδων/km² είναι αποδεκτή. Η εφαρμογή της υπάρχουσας διαχείρισης, που περιλαμβάνει εκτεταμένη χρήση έτοιμων ζωοτροφών και ανισοκατανομή του ζωικού κεφαλαίου στο χώρο (υπερβόσκηση και υποχρησιμοποίηση μεγάλου μέρους των φυσικών λιβαδιών) εμποδίζει τη διατήρηση διαχρονικής περιβαλλοντικής ισορροπίας.

Λέξεις κλειδιά: δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης, STELLA

Εισαγωγή

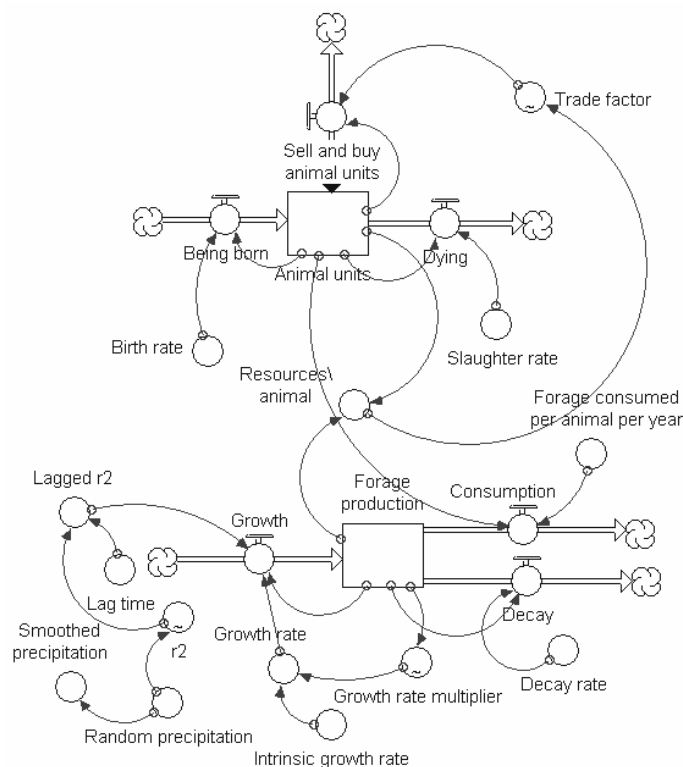
Τα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης έχουν αποκτήσει τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες εφαρμογές στη διερεύνηση αιτιολογικών λύσεων σε περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα (Costanza and Voiron 2001). Τέτοιου είδους αναλύσεις των οικονομικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με τη βόσκηση που εφαρμόζεται στα λιβάδια της χώρας μας δεν έχουν μέχρι σήμερα επαρκώς αναπτυχθεί. Οι Lorent et al. (2008) βρήκαν ότι οι επιδοτήσεις είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση ενός ικανοποιητικού εισοδήματος των γεωργών και κτηνοτρόφων της επαρχίας Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, παράλληλα όμως ενισχύουν πρακτικές χρήσεων γης οι οποίες υποβαθμίζουν το περιβάλλον (π.χ. υπερβόσκηση). Οι Roeder et al. (2007), με τη χρήση ενός μοντέλου επιφανειακού κόστους (response surface), βρήκαν ότι η πίεση της βόσκησης μειώνεται με την απόσταση από τις στάνες των ζώων στα μεσογειακά λιβάδια. Σε όλες τις προσπάθειες αυτές όμως δεν έγινε χρήση των πλεονεκτημάτων των δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης (Costanza and Voiron 2001) που θα στοχεύουν στην εκτίμηση της επίδρασης της βόσκησης στη λιβαδική παραγωγή των μεσογειακών λιβαδιών. Ένα τέτοιο δυναμικό μοντέλο, δομημένο στο πρόγραμμα STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation), που βασίζεται στο κλασικό μοντέλο των Lotka – Volterra για τη σχέση

θηράματος – θηρευτή, εφαρμόστηκε στην περιοχή Sahel στην Αφρική προκειμένου να μελετηθεί η ερημοποίηση για μια χρονική περίοδο 150 ετών (Hellden 2008). Στην περίπτωση της Sahel, συσχετίστηκε η επίδραση του ανθρώπινου πληθυσμού στη διαθέσιμη συνολική βιομάζα (τροφή, βοσκήσιμη ύλη, καύσιμη ύλη). 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 κατασκευής δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης που περιλαμβάνει τρία κύρια δομικά χαρακτηριστικά, τα αποθέματα (stocks), τις ροές (flows) και τις βοηθητικές μεταβλητές (auxiliary variables) (Costanza and Voiron 2001). Με βάση το πρόγραμμα αυτό διαμορφώθηκε ένα δυναμικό μοντέλο για τις σχέσεις βόσκησης αγροτικών ζώων και λιβαδικής παραγωγής για την επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης. Το συνολικό χρονικό διάστημα εφαρμογής ήταν 140 έτη (1961 – 2100), θέτοντας ως έτος έναρξης εφαρμογής του μοντέλου το 1961, έτος κατά το οποίο υπήρχαν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία για το ζωικό κεφάλαιο και τις χρήσεις γης της χώρας από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (Ε.Σ.Υ.Ε.). Από τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. υπολογίστηκε ο αριθμός των βοσκόντων ζώων εκφρασμένος σε ισοδύναμα αιγοπροβάτου (1 βοοειδής = 5 αιγοπρόβατα). Ως (μη ενσταβλισμένα) βόσκοντα ζώα θεωρήθηκαν όλα τα αιγοπρόβατα, και τα βοοειδή ελευθέρως βοσκής που για την επαρχία Λαγκαδά αποτελούσαν το 1961 το 65% περίπου του συνολικού πληθυσμού τους (Chouvardas and Papanastasis 2004). Επιπρόσθετα, ελήφθησαν υπόψη τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα για το σύνολο της επαρχίας από στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής (περίοδος 1959 - 2007). Στη συνέχεια έγινε υπολογισμός της λιβαδικής παραγωγής με τη χρήση των εξισώσεων πρόβλεψης της παραγωγής σε ποολίβαδα και θαμνολίβαδα που ανέπτυξαν οι Παπαναστάσης (1982) και Platis and Papanastasis (2003) αντίστοιχα, με την παραδοχή ότι οι προβλέψεις αυτές ίσχυαν το έτος 1961.

Αναλυτική παρουσίαση της δομής του μοντέλου βόσκησης - λιβαδικής παραγωγής για την επαρχία Λαγκαδά εμφανίζεται στην εικόνα 1. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο αποθέματα, αυτών των ζωικών μονάδων (Animal units) και της λιβαδικής παραγωγής (Forage production). Στο απόθεμα της λιβαδικής παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν οι βοηθητικές μεταβλητές του ρυθμού αύξησης (Growth rate), των τυχαίων και εξομαλυσμένων κατακρημνισμάτων (Random and Smoothed precipitation), της ετήσιας κατανάλωσης της βιομάζας ανά ζωική μονάδα (Forage consumed per animal per year) και του ρυθμού αποσύνθεσης της βλάστησης (Decay rate). Ο ρυθμός αύξησης εξαρτάται από έναν πολλαπλασιαστή (Growth rate multiplier) ο οποίος παίρνει τιμή κοντά στο 1 (μέγιστος ρυθμός αύξησης), όταν το απόθεμα λιβαδικής παραγωγής φτάνει κοντά στο μηδέν, ενώ μειώνεται κοντά στο μηδέν όταν το απόθεμα είναι πλήρες. Τα τυχαία κατακρημνίσματα παράγονται από μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών με βάση τα στοιχεία των μέγιστων και ελάχιστων τιμών των μετεωρολογικών σταθμών (Random precipitation). Η παραπάνω κατανομή των κατακρημνισμάτων εξομαλύνεται στη συνέχεια με τη χρήση μιας εξίσωσης εξομάλυνσης (Smoothed precipitation). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης της λιβαδικής παραγωγής από τα ζώα (270 kg βοσκήσιμης ύλης) προέρχονται από την εργασία των Υiakoulaki and Papanastasis (2005) και αφορούν ετήσια χρονική περίοδο βόσκησης 6 μηνών. Ως ποσοστό ετήσιας αποσύνθεσης της βλάστησης (Decay rate) χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5 % το οποίο εκφράζει την ποσότητα της νεκρής βιομάζας που απομακρύνεται από το οικοσύστημα με την αποσύνθεση (Παπαναστάσης 1982).



Εικόνα 1. Δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης των σχέσεων βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής για την επαρχία Λαγκαδά (Λεπτομέρειες σχετικές με την ορολογία και τα σύμβολα βρίσκονται στους Costanza and Voinov (2001))

Στο απόθεμα των ζωικών μονάδων χρησιμοποιήθηκαν οι βοηθητικές μεταβλητές του συντελεστή αυξομείωσης των ζωικών μονάδων λόγω εμπορικών δραστηριοτήτων (Trade factor) και του ποσοστού γέννησης (Birth rate) και σφαγής (Slaughter rate) των αγροτικών ζώων. Ο υπολογισμός του Trade factor έγινε με εμπειρικό τρόπο με την παραδοχή ότι, όταν η διαθέσιμη για τα βόσκοντα ζώα βοσκήσιμη ύλη μειωθεί στο 75% της αρχικής, τότε προκύπτει σταδιακή μείωση και του αρχικού κεφαλαίου λόγω της αυξημένης διάθεσης των κτηνοτρόφων να πουλήσουν εκτός επαρχίας Λαγκαδά (έξοδος από το σύστημα). Το ποσοστό γέννησης και σφαγής των ζώων κρατήθηκε σταθερό και ίσο με τη μονάδα με τη παραδοχή, ότι ο αριθμός των ζώων που σφάζονται και γεννιούνται σε ετήσια βάση είναι ίδιος για κάθε κοπάδι. Αναλυτική παρουσίαση των τιμών και των εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δόμηση του μοντέλου παρουσιάζεται στον πίνακα 1, όπου οι μονάδες εισαγωγής της βιομάζας είναι εκφρασμένες σε τόνους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και των βοσκόντων ζώων σε μικρές ζωικές μονάδες ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

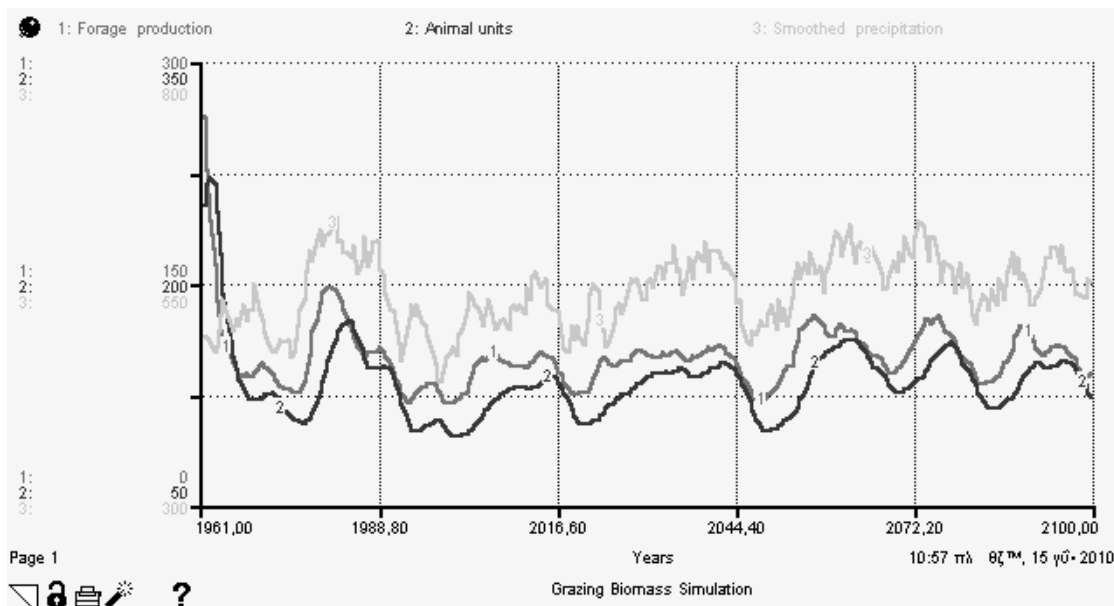
Αποτελέσματα και συζήτηση

Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις του μοντέλου, ο αρχικός αριθμός των 254 μικρών ζωικών μονάδων/ km² για το 1961 μειώνεται ραγδαία σε μια τιμή κοντά στις 140 με 150 μικρές ζωικές μονάδες/ km² όπου ισορροπεί με βάση τη διαθέσιμη λιβαδική παραγωγή και τη μέση ετήσια βροχόπτωση (εικόνα 2). Η τιμή των 150 μικρών ζωικών μονάδων/ km² (1,5 μικρές ζωικές μονάδες ανά εκτάριο) εκφράζει μέτρια βοσκοφόρτωση και υποδηλώνει μια ισορροπία μεταξύ του παραγωγικού δυναμικού των λιβαδιών και της κατανάλωσης των ζώων στην επαρχία Λαγκαδά, πράγμα που σημαίνει αιεφορική χρήση χωρίς υποβάθμιση του περιβάλλοντος (Χουβαρδάς και συν. 2009).

Πίνακας 1. Κατάλογος αποθεμάτων και βοηθητικών εξισώσεων του μοντέλου προσομοίωσης βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής (STELLA) για την Επαρχία Λαγκαδά.

- $Animal_units(t) = Animal_units(t - dt) + (Being_born - Dying - Sell_and_buy_animal_units) * dt$
INIT Animal_units = 254
INFLOWS:
 ↔ Being_born = Animal_units*Birth_rate
OUTFLOWS:
 ↔ Dying = Animal_units*Slaughter_rate
 ↔ Sell_and_buy_animal_units = (Animal_units*Trade_factor)
- $Forage_production(t) = Forage_production(t - dt) + (Growth - Consumption - Decay) * dt$
INIT Forage_production = 264.53
INFLOWS:
 ↔ Growth = Forage_production*Lagged_r2*Growth_rate+10
OUTFLOWS:
 ↔ Consumption = Animal_units*Forage_consumed_per_animal_per_year
 ↔ Decay = Forage_production*Decay_rate
- Birth_rate = 1
- Decay_rate = 0.05
- Forage_consumed_per_animal_per_year = 0.270
- Growth_rate = Intrinsic_growth_rate*Growth_rate_multiplier
- Growth_rate_multiplier = GRAPH(Forage_production/INIT(Forage_production))
(0.00, 0.45), (0.1, 0.87), (0.2, 0.89), (0.3, 0.89), (0.4, 0.715), (0.5, 0.56), (0.6, 0.45), (0.7, 0.29), (0.8, 0.13), (0.9, 0.05), (1, 0.005)
- Intrinsic_growth_rate = 1
- Lagged_r2 = SMTH1(r2,Lag_time)
- Lag_time = 1.5
- r2 = GRAPH(Random_precipitation)
(200, 0.1), (265, 0.145), (330, 0.208), (395, 0.258), (460, 0.316), (525, 0.37), (590, 0.433), (655, 0.487), (720, 0.55), (785, 0.649), (850, 0.991)
- Random_precipitation = RANDOM(250,850)
- Resources_animal = Forage_production/Animal_units
- Slaughter_rate = 1
- Smoothed_precipitation = SMTH1(Random_precipitation,5)
- Trade_factor = GRAPH(Resources_animal)
(0.15, 1.00), (0.235, 0.83), (0.32, 0.654), (0.405, 0.483), (0.49, 0.296), (0.575, 0.203), (0.66, 0.087), (0.745, -0.019), (0.83, -0.029), (0.915, -0.062), (1, -0.11)

Από τη μελέτη της σημερινής διαχείρισης των λιβαδιών στην επαρχία Λαγκαδά, διαπιστώθηκε ότι ιδιαίτερα μετά τη δεκαετία του 1980 και την είσοδο της χώρας στην τότε Ευρωπαϊκή Κοινότητα, υπήρξε αύξηση του ζωικού κεφαλαίου και του αριθμού των μικρών ζωικών μονάδων σε επίπεδα μεγαλύτερα από αυτά που προβλέπει το μοντέλο (Chouvardas and Papanastasis 2004, Ευαγγέλου και συν. 2008).



Εικόνα 2. Αποτελέσματα του μοντέλου προσομοίωσης μεταξύ βόσκησης και λιβαδικής παραγωγής για την Επαρχία Λαγκαδά και για χρονικό διάστημα 1961 – 2100.

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 και συν. 2008). Αποτέλεσμα της πρακτικής αυτής είναι η αλλοίωση του παραδοσιακού τρόπου εκτροφής των ζώων που στηριζόταν μόνο ή κατά το πλείστον στα λιβάδια. Παράλληλα παρατηρήθηκαν σημαντικά στοιχεία διάβρωσης του εδάφους γύρω από θέσεις συγκέντρωσης των αγροτικών ζώων στα λιβάδια (ποτίστρες, θέσεις ανάπαυσης, αλαταριές, στάνες κ.λπ.) (Roeder et al. 2007), λόγω της υπερβόσκησης και της συνεπακόλουθης υποβόσκησης των θέσεων και περιοχών πέραν των σημείων συγκέντρωσης. Η υποχρησιμοποίηση μεγάλου μέρους των φυσικών λιβαδιών συνέβαλε στην πύκνωση των θαμνολίβαδων και δασών στην επαρχία (Chouvardas and Vrahnakis 2009), αυξάνοντας τον κίνδυνο συσσώρευσης βιομάζας που μπορεί να οδηγήσει στο μέλλον στην εκδήλωση καταστροφικών πυρκαγιών.

Συμπεράσματα

Το μοντέλο βόσκησης αγροτικών ζώων και λιβαδικής παραγωγής έδειξε ότι για να επιτευχθεί αιφορική λιβαδική χρήση στην Επαρχία Λαγκαδά Θεσσαλονίκης πρέπει η βοσκοφόρτωση να διατηρηθεί κοντά στις 1,5 μικρές ζωικές μονάδες ανά εκτάριο. Η σημερινή όμως διαχείριση, που στηρίζεται σε αυξημένο αριθμό ζώων και εκτεταμένη χρήση έτοιμων ζωοτροφών, οδηγεί σε διατάραξη της περιβαλλοντικής ισορροπίας (σημειακή διάβρωση του εδάφους σε θέσεις συγκέντρωσης των αγροτικών ζώων και υποχρησιμοποίηση μεγάλου μέρους των φυσικών λιβαδιών).

Αναγνώριση βοήθειας

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος DeSurvey του Εργαστηρίου Λιβαδικής Οικολογίας του Α.Π.Θ, που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Βιβλιογραφία

- Chouvardas, D. and V.P. Papanastasis. 2004. Stocking rate evolution in Lagadas County. Unpublished Presentation at the Georange Science Meeting, March 11-12, 2004, Ispra, Italy.
- Chouvardas, D. and M.S. Vrahnakis. 2009. A semi-empirical model for the near-future evolution of the lake Koronia landscape. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 10(3): 867-876.
- Costanza, R. and A. Voinov. 2001. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. *Ecol. Model.*, 143: 1-7.
- Ευαγγέλου, Χ.Κ., Μ.Δ. Γιακουλάκη και Β.Π. Παπαναστάσης. 2008. Διερεύνηση του συστήματος εκτροφής αιγοπροβάτων και των χορηγήσεων επιδοτήσεων στο Δ.Δ. Ασκού της Επαρχίας Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, σελ 317 – 322. Λιβαδοπονία και Προστατευόμενες Περιοχές. Κ. Μαντζανάς και Β.Π. Παπαναστάσης (επιμ. έκδοσης). Πρακτικά του 6^{ου} Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου ‘Λιβαδοπονία και προστατευόμενες περιοχές’, 2 - 4 Οκτωβρίου 2008, Λεωνίδιο Αρκαδίας. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία. Δημ No. 14.
- Hellden, U. 2008. A coupled human–environment model for desertification simulation and impact studies. *Global Planet. Change*, 64: 158-168.
- Lorent, H., Ch. Evangelou, M. Stelmes, J. Hill, V.P. Papanastasis, G. Tsiourlis, A. Roeder and E.F. Lampin. 2008. Land degradation and economic conditions of agricultural households in a marginal region of northern Greece. *Global Planet. Change*, 64: 198-209.
- Papanastasis, V.P. and D. Chouvardas 2005. The state-and-transition approach to conservation management of Mediterranean rangelands and landscapes. *Israel J. Plant Sci.*, 53: 191-202.
- Platis, P.D. and V.P. Papanastasis. 2003. Relationship between shrub cover and available forage in Mediterranean shrublands. *Agroforestry Systems*, 57: 59-67.

- Παπαναστάσης, Β.Π. 1982. Παραγωγή των ποολίβαδων σε σχέση με τη θερμοκρασία αέρος και τη βροχή στη βόρεια Ελλάδα. Διατριβή για Υφηγεσία.
- Roeder, A., T. Kuemmerle, J. Hill, V.P. Papanastasis and G.M. Tsiourlis. 2007. Adaptation of a grazing gradient concept to heterogeneous Mediterranean rangelands using cost surface modelling. *Ecol. Model.*, 204: 387–398.
- Yiakoulaki, M.D. and V.P. Papanastasis. 2005. Diet selection of sheep and goats grazing on cereal stubble in northern Greece. In: Sustainable Grazing, Nutritional Utilization and Quality of sheep and Goat Products (E. Molina Alcaide, H. Ben Salem, K. Biala and P. Morand-Fehr, eds.). *Options Méditerranéennes*, 67: 245-250.
- Χουβαρδάς, Δ., Α. Σιδηροπούλου και Κ. Μαντζανάς. (υπό δημοσίευση). Καταγραφή της βοσκοφόρτωσης στις βοσκόμενες δασικές εκτάσεις των πυρόπληκτων Δημοτικών Διαμερισμάτων του Νομού Ηλείας και προτάσεις διαχείρισης. 14ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, «Οικολογική και Κοινωνικοοικονομική Αποκατάσταση Πυρόπληκτων Περιοχών - Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος», Πάτρα, 4-7 Οκτωβρίου 2009.

A diachronic simulation model of the relationships between grazing and forage production in the rangelands of Lagadas county, Greece

D. Chouvardas¹, C. Evangelou¹, U. Helldén² and V.P. Papanastasis¹

¹ Laboratory of Rangeland Ecology (286), School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece, e-mail: xouv@for.auth.gr

² Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis, Lund University, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

Summary

This paper presents the development of a dynamic simulation model of grazing and forage biomass. The aim of the model is to find an ecological balance between livestock numbers and forage production in the Mediterranean rangelands. The model investigates whether management practices are leading to rangeland degradation due to overgrazing or under-grazing. The simulation relates the grazing pressure in with the availability of forage biomass by taking into account through differential equations, the precipitation, the plant decomposition rates, the animal consumption and the number of grazing animals caused by food availability. The model was applied in Lagadas County of northern Greece for a period of 140 years (1961 to 2100). The results of the model show that 140 to 150 sheep equivalent units per Km² constitute a stocking rate that ensure a balanced utilization of forage biomass. The evaluation of the current management of livestock, shows that the increasing use of supplementary feed, the soil erosion caused by overgrazing and the under-grazing of a large proportion of natural rangelands, prevents the maintenance of ecological balance over time.

Key words: dynamic simulation modelling, STELLA