

SPUR-91: Ένα μοντέλο προσομοίωσης σε υπολογιστή της παραγωγής και χρήσης των λιβαδικών εκτάσεων

Χ.Θ. Γαλλή

Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών

570 06 Βασιλικά, Θεσσαλονίκη, e-mail: cgalis@fri.gr

Περίληψη

Το άρθρο αυτό παρουσιάζει το μοντέλο προσομοίωσης σε υπολογιστή της παραγωγής και χρήσης των λιβαδικών εκτάσεων (SPUR-91) που αναπτύχθηκε από το U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service. Ο σχεδιασμός του συστήματος είχε σαν σκοπό να δημιουργήσει ένα μοντέλο βασισμένο σε φυσικά δεδομένα για μια περιεκτική προσομοίωση του οικοσυστήματος των λιβαδικών εκτάσεων. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα βοηθητικό εργαλείο έρευνας και διαχειριστικών αποφάσεων, το οποίο έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει ουσιαστικά την ικανότητα των διαχειριστών των λιβαδικών εκτάσεων να προβλέπουν απαντήσεις που σχετίζονται με τις διάφορες διαχειριστικές επεμβάσεις. Ειδικότερα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να:

1. Προβλέπει τις αλλαγές στην ποιότητα και ποσότητα του νερού ως αποτέλεσμα της πρακτικής διαχείρισης.
2. Να προσομοιώνει τις τιμές και ποσότητες απορροής και καθίζησης φερτών υλών που συμβαίνουν στα ρυάκια ή ποταμάκια.
3. Να προβλέπει ανά είδος ή ανά ομάδα ειδών την καθημερινή περιεκτικότητα βιομάζας και αζώτου στη ζώσα και νεκρή βλάστηση της λιβαδικής έκτασης.
4. Να προσομοιώνει την κατά χώρο ετερογένεια των λιβαδικών φυτοκοινωνιών.
5. Να προβλέπει την ανταπόκριση της βλάστησης στη βόσκηση, διαθεσιμότητα αζώτου και νερού.
6. Να προσομοιώνει την απομάκρυνση βοσκήσιμης ύλης από τα ζώα και την άγρια ζωή.
7. Να προμηθεύει με ικανές λεπτομέρειες που θα επιτρέπουν την κατά τόπους προσομοίωση των λεκανών απορροής.
8. Και τέλος, να προμηθεύει χρήσιμες πληροφορίες για την ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Λέξεις κλειδιά: Προσομοίωση σε υπολογιστή, λιβαδικό οικοσύστημα, παραγωγή, χρήση.

Εισαγωγή

Η προσομοίωση είναι ανάμεσα στα πιο δυναμικά εργαλεία ανάλυσης, διαθέσιμα σε αυτούς που θέλουν να αναλύσουν και να σχεδιάσουν ένα σύνθετο επιχειρησιακό σύστημα (Gallis 1997, Hillier et al. 1995), όπως για παράδειγμα τα λιβαδικά οικοσυστήματα. Στη πραγματική επιχειρησιακή ζωή υπάρχει ένα πλήθος από ανεξάρτητες μεταβλητές, και οι αλληλεπιδράσεις τους είναι εξαιρετικά δύσκολο να ελεγχθούν και περιγραφούν με αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα χωρίς τη βοήθεια της προσομοίωσης (Zeigler 1984, Meimban 1991, Pidd 1992).

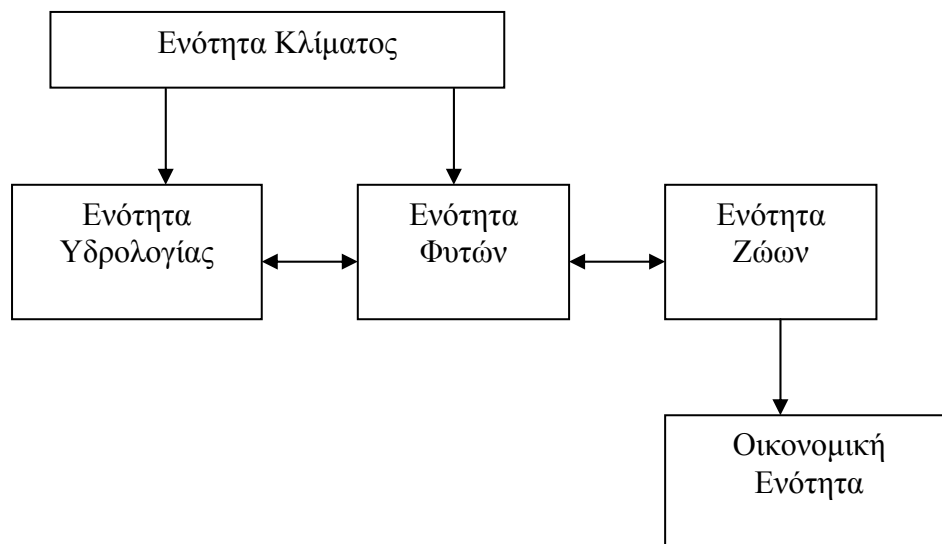
Το μοντέλο προσομοίωσης SPUR-91 αναπτύχθηκε από το U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service και το 1987 παρουσιάστηκε επίσημα (Wight and Skiles 1987). Ανασχεδιάστηκε και βελτιώθηκε στη τελική μορφή του το 1992 από τους Carlson και Thurgow (1992).

Ήταν το αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας προσπάθειας από μια ομάδα επιστημόνων με διαφορετικές ειδικότητες. Στόχος της προσπάθειας αυτής ήταν η σύνθεση σε ένα μοντέλο, των πέντε βασικών ενότητων, απαραίτητων για μια κατανοητή προσομοίωση των λιβαδιών, δηλ. κλίμα, υδρολογία, φυτά, ζώα, και οικονομία. Αυτή η προσπάθεια έδωσε μια πιο δυναμική αντίληψη των αλληλοεπιδράσεων μεταξύ των ενότητων του λιβαδιού, όπως μεταξύ υδρολογίας και φυτών για παράδειγμα.

Η εργασία αυτή έχει σαν σκοπό να παρουσιάσει τις γενικές αρχές και λειτουργίες του μοντέλου με κύριο στόχο την καλύτερη αειφορική χρήση και οικονομική αξιοποίηση των λιβαδικών οικοσυστημάτων.

Οργάνωση του μοντέλου

Το μοντέλο αποτελείται από πέντε βασικές ενότητες: 1) την κλιματική ενότητα, 2) την υδρολογική ενότητα, 3) την ενότητα των φυτών, 4) την ενότητα των ζώων, και 5) την ενότητα της οικονομίας. Η διασύνδεση αυτών των ενότητων στο μοντέλο φαίνεται στην εικόνα 1. Το μοντέλο σχεδιάστηκε για δύο επίπεδα ανάλυσης: την εκδοχή λιβαδιού η οποία δίνει έμφαση στην αλληλοεπίδραση και διεργασίες μεταξύ εδάφους, φυτών, και ζώων, και της εκδοχής λεκάνης απορροής η οποία δίνει έμφαση στην υδρολογία (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Διασύνδεση των τμημάτων του SPUR.

Κλιματική ενότητα

Η ενότητα του κλίματος λειτουργεί ανεξάρτητα από το υπόλοιπο μοντέλο και δίνει ημερήσιες τιμές για βροχόπτωση, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα του αέρα. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να καθοδηγήσουν ένα αριθμό από διεργασίες στο μοντέλο που περιλαμβάνουν την παραγωγή νερού, τη διάβρωση, τη διαθεσιμότητα βοσκήσιμης ύλης και τη σύνθεσή της. Τα κλιματικά δεδομένα μπορεί να εισαχθούν από πραγματικές μετρήσεις ή μπορεί να δημιουργηθούν στοχαστικά από το μοντέλο δημιουργίας κλιματικών δεδομένων. Το μοντέλο αυτό λειτουργεί ξεχωριστά από το κύριο μοντέλο SPUR και μπορεί να δημιουργήσει τιμές βροχόπτωσης, ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητα αέρα. Οι κύριες δε αρχές λειτουργίας του έχουν αναπτυχθεί από το μοντέλο WGEN (Richardson and Wright 1984) Το κλιματικό μοντέλο σχεδιάστηκε να διατηρεί την

εξάρτηση στο χρόνο, την εσωτερική συσχέτιση, και τα εποχικά χαρακτηριστικά, τα οποία υπάρχουν στα πραγματικά καιρικά δεδομένα για μια περιοχή.

Υδρολογική ενότητα

Η ενότητα υδρολογίας χρησιμοποιεί δεδομένα από την κλιματική ενότητα σαν σημείο εκκίνησης για υπολογισμούς του ημερήσιου ισοζυγίου νερού. Το μοντέλο υδρολογίας του SPUR αποτελείται από δυο μέρη. Το υπο-μοντέλο υδρολογίας της λεκάνης απορροής που βασίζεται στο μοντέλο SWRRB (Williams et al. 1985). Απορροή, διήθηση και πορεία αποθήκευσης νερού στα εδαφικά στρώματα, ροή επιστροφής, εξατμισοδιαπνοή, και διάβρωση υπολογίζονται από το μοντέλο. Στο δεύτερο μέρος, αλγόριθμοι οι οποίοι περιγράφουν την διαδικασία επίδρασης της συγκέντρωσης του χιονιού και της τήξης του εξάγονται από το μοντέλο HYDRO-17 (Anderson 1973).

Τα αποτελέσματα από τα δυο παραπάνω μέρη του μοντέλου της υδρολογίας, λεκάνης απορροής και χιονιού, συνδυάζονται με χαρακτηριστικά του υδροκρίτη του συστήματος των ρευμάτων (ρυσικών – χειμάρρων - ποταμών) για να υπολογιστεί η ροή του νερού, η αποθήκευση σε λιμνούλες, η μεταφορά φερτών υλικών στην εκδοχή λεκάνης απορροής του SPUR. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι το σύστημα ρευμάτων του μοντέλου έχει σχεδιαστεί σχεδόν αποκλειστικά για χειμάρρους. Απώλειες μεταφοράς στο σύστημα ρευμάτων υπολογίζονται μέσω γραμμικών διαφορικών εξισώσεων για διαφορετικές μεταβλητές απορροής και υδραυλικών χαρακτηριστικών (μήκος και πλάτος ρευμάτων, ενεργός υδραυλική αγωγιμότητα των προσχώσεων του ρεύματος, μέση τιμή όγκου απορροής και διάρκεια ροής). Οι μεταβλητές προσαρμόζονται σε μια βάση της σχέσης του μέσου όρου τους με τον υδροκρίτη και τα χαρακτηριστικά του υδροκρίτη, και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ατομικών γεγονότων απορροής. Η προσωρινή και κατά χώρο παρέκκλιση της απορροής εκτιμάται με μια τμηματική προσέγγιση κανονικού υδρογραφήματος. Τα χαρακτηριστικά της ροής ανοιχτών ρευμάτων προσεγγίζονται λαμβάνοντας υπ' όψη την αντίσταση στη ροή της κοίτης, των οχθών και των κόκκων άμμου σε ρεύματα με ορθογώνιο αντιπροσωπευτική διατομή. Η μεταφορά και απόθεση φερτών υλικών εκτιμάται από εξισώσεις μεταφοράς φερτών υλών, οι οποίες συνδυάζονται με παρεκκλίσεις στην εκφόρτωση διαμέσου του υδρογραφήματος, και καθιστά ικανό τον υπολογισμό της μεταφοράς φερτών υλών μέσα στο ρεύμα. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξαγωγή στατιστικών σχέσεων τέτοιων σαν τις καμπύλες εκτίμησης φερτών υλών, τις τιμές μεταφοράς, και τις τιμές εμπλουτισμού οι οποίες είναι ικανές να προβλέψουν την παραγωγή φερτών υλικών.

Ενότητα φυτού

Η ενότητα αυτή προσομοιώνει τη ροή άνθρακα και αζώτου διαμέσου του οικοσυστήματος. Οι βάσεις σε αυτή την ενότητα αναπτύχθηκαν από το Ecosystem Level Model (Innis 1978) και από το λιβαδικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν από τον Parton et al. (1978) και από τον Detling et al. (1978 και 1979).

Το μοντέλο προβλέπει την καθημερινή διακύμανση της βιομάζας και του αζώτου που περιέχεται στην πράσινη και νεκρή πάνω από το έδαφος βλάστηση και στις ρίζες για 7 είδη φυτών ή λειτουργικές ομάδες (δηλ. ομάδες από είδη φυτών τα οποία σε γενικές γραμμές μοιράζονται ίδια φυσιολογικά χαρακτηριστικά). Παραδείγματος χάριν, ομάδες φυτών μπορεί να είναι τα C₄ ή τα C₃ φυτά. Το μοντέλο επίσης προσομοιώνει τη δυναμική αποσύνθεσης στο λιβάδι. Θερμοκρασίες αέρα και εδάφους, το δυναμικό του εδαφικού νερού (εξάγεται από το καθημερινό ισοζύγιο νερού), και η περιεκτικότητα του φυτού σε άζωτο, είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που κανονίζουν τις διεργασίες του φυτού μέσα στο

μοντέλο. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών προσομοιώνεται από το «μοίρασμα» των πόρων βασισμένο πάνω στο πως κάθε είδος ανταποκρίνεται στις αλλαγές στη θερμοκρασία, διαθεσιμότητα νερού, διαθεσιμότητα αζώτου, ηλιακή ακτινοβολία, άνεμο, βόσκηση φυτών από το κοπάδι και ποδοπάτημα από τα ζώα. Αυτή η δυνατότητα για ανταγωνιστική αύξηση του φυτού κάνει δυνατή την προβολή της διαδοχικής αλλαγής που συνδέεται με την αλλαγή στη σύνθεση των ειδών και στην παραγωγή διαμέσου του χρόνου.

Τα κυριότερα δεδομένα και μεταβλητές που απαιτούνται να εισαχθούν στο μοντέλο της ενότητας αυτής είναι τα εξής: αριθμός ειδών φυτών ή ομάδων, όνομα ανά είδος φυτού, θεωρητική μέγιστη καθαρή φωτοσυνθετική τιμή, αναλογία της φωτοσύνθεσης που μεταφέρεται στο πολλαπλασιαστικό υλικό των σπόρων μετά την αρχή της άνθισης, αναλογία βλάστησης, αναλογία θνησιμότητας σπόρων, δυναμικό εδαφικού νερού για βλάστηση σπόρων, ημερομηνία που η παραγωγή σπόρων αρχίζει, μέγιστη καθαρή τιμή φωτοσύνθεσης, συντελεστής αποτελεσματικής χρήσης του φωτός, δυναμικό φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του νερού, συντελεστής ανοχής στην ξηρασία, παράγοντας μετατροπής βιομάζας ανά είδος βάθος ριζών, ελάχιστο παρών άζωτο για φωτοσύνθεση, φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα που ελέγχεται από το άζωτο των φυτών, μέγιστη επιφάνεια φύλλων των πράσινων βλαστών, ημερομηνία που ο μαρασμός αρχίζει, ημερομηνία που ο μαρασμός τελειώνει, αναλογία των φωτοσυνθετικών ουσιών που στάλθηκαν στις ρίζες, μέγιστη αναλογία ριζών – βλάστησης, αναλογία φωτοσυνθετικών που στάλθηκαν στο πολλαπλασιαστικό υλικό, αναλογία της βιομάζας των ριζών που μεταφέρεται στους βλαστούς, μεταφορά θερμοκρασίας από τις ρίζες στους βλαστούς, δυναμικό νερού για μεταφορά από τις ρίζες στους βλαστούς, ημερομηνία που η παραγωγή σπορών αρχίζει, ημερομηνία που ο μαρασμός αρχίζει, ευπάθεια των πράσινων βλαστών στο ποδοπάτημα, αναλογία ευπάθειας πράσινων βλαστών στη νέκρωση, αναλογία πρόσθετης νέκρωσης βλαστών μετά το μαρασμό, τιμή νέκρωσης σπορών, αναλογία νέκρωσης ριζών, μέγιστη επιφάνεια φύλλων, θερμοκρασία νέκρωσης από πάγο, ημερομηνία που ο μαρασμός αρχίζει, ημερομηνία που ο μαρασμός τελειώνει, συντελεστής συντήρησης-αναπνοής, αναλογία αναπνοής ριζών, ελάχιστο επί τοις εκατό άζωτο για φωτοσύνθεση, φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα που ελέγχεται από το άζωτο του φυτού, συντελεστής μέγιστης ανάληψης αζώτου, συντελεστής αποτελεσματικής χρήσης αζώτου, ανοχή υγρασίας στην απονιτροποίηση, συντελεστής ανοχής άνεμου, συντελεστής ανοχής βροχόπτωσης, αναλογία νεκρών βλαστών ευάλωτων στην αποσύνθεση, αναλογία οργανικής ύλης ευάλωτων στην αποσύνθεση, δυναμικό νερού για αποσύνθεση, συντελεστής ανοχής ξηρασίας για αποσύνθεση, αναλογία βιομάζας ευαίσθητης στο ποδοπάτημα, ευπάθεια όρθιων νεκρών βλαστών στο ποδοπάτημα, ευαισθησία πράσινων βλαστών στο ποδοπάτημα, όρθια πράσινη βιομάζα, ζωντανή φυτομάζα ριζών, φυτομάζα πολλαπλασιαστικού υλικού, όρθια νεκρή φυτομάζα, νεκρή βιομάζα ριζών, εδαφική οργανική ύλη, εδαφική ανόργανη ύλη. Για τις περισσότερες από τις παραπάνω τιμές υπάρχουν εξισώσεις υπολογισμού τους.

Ενότητα ζώου

Η ενότητα αυτή προσομοιώνει την απομάκρυνση φυτικής ύλης από τα ζώα που βόσκουν. Οι κατηγορίες των φυτοφάγων είναι οριακές στον προσδιορισμό είτε ως κοπάδι ή ως άλλα φυτοφάγα (άγρια ζωή). Όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, είδη φυτών ή λειτουργικές ομάδες (7 προσδιορισμοί) και οι λιβαδικές θέσεις (μέχρι 9 στην εκδοχή λιβαδιού, και μέχρι 27 στην εκδοχή λεκάνης απορροής) μπορούν να εγγράψουν επιλεγμένες τιμές οι οποίες μπορεί να επιδράσουν στο βαθμό κατανάλωσης. Επίσης, μέσα στις ομάδες βλάστησης, η βοσκήσιμη ύλη διαιρείται σε ζωντανή ή νεκρή για να επηρεάσει επιπλέον την επιλογή κατανάλωσης. Η σχετική αφθονία κάθε ομάδας βλάστησης δεν έχει επίδραση στην σύνθεση της τροφής. Η καθημερινή κατανάλωση από τα είδη άγριας ζωής

προηγείται της κατανάλωσης από το κοπάδι. Η άγρια ζωή είναι μόνο ένας απλός καταναλωτής της βοσκήσιμης ύλης που συγκομίζει. Καμία άλλη αλληλοεπίδραση ζώου/φυτού δεν περιλαμβάνεται στο μέρος για την άγρια ζωή στην ενότητα ζώου του SPUR. Αντίθετα, το κοπάδι δεν είναι μόνο ένας καταναλωτής της βοσκήσιμης ύλης που συγκομίζει, αλλά έχει επίσης επίδραση στη βλάστηση διαμέσου της επίδρασης του ποδοπατήματος, και της επιστροφής του αζώτου και οργανικού υλικού στο σύστημα μέσω της αποσύνθεσης των περιττωμάτων και των ούρων.

Η προσομοίωση της αύξησης του κοπαδιού βασίζεται στο ισοδύναμο μόσχου. Η βασική δομή από αυτό το υπομοντέλο αύξησης προσαρμόστηκε από το Texas A and M University Beef Simulation Model (Sanders 1977, Notter 1977, Sanders and Cartwright 1979).

Τα κυριότερα δεδομένα και μεταβλητές που απαιτούνται να εισαχθούν στο μοντέλο της ενότητας αυτής είναι τα εξής: ο αριθμός των παρόντων διαφορετικών ειδών άγριας ζωής, μέγεθος πληθυσμού για κάθε είδος άγριας ζωής, θέσεις προτίμησης της άγριας ζωής σε κάθε περιοχή ή λιβάδι, προτιμήσεις ειδών άγριας ζωής για ζωντανή και νεκρή βοσκήσιμη ύλη για κάθε είδος φυτού, ημερομηνία που τα είδη άγριας ζωής αρχίζουν τη βόσκηση, ημερομηνία που τα είδη άγριας ζωής σταματούν τη βόσκηση, ημερήσια ανάληψη ξηρής ύλης για ένα μέλος του κάθε είδους άγριας ζωής, αριθμός ζώων κοπαδιού, συμπληρωματική διατροφή κοπαδιού, μέσο βάρος ενός ενήλικου ζώου, ημερομηνία που το κοπάδι αρχίζει να βόσκει, ημερομηνία που το κοπάδι σταματά να βόσκει, ηλικία των ζώων όταν αρχίζει η βόσκηση, βάρος των ζώων όταν αρχίζει η βόσκηση, ποσότητα ημερήσιας συμπληρωματικής τροφής ανά κεφαλή, εύπεπτο της συμπληρωματικής τροφής, ημερομηνία που αρχίζει το συμπλήρωμα τροφής, ημερομηνία που σταματά, προτιμήσεις κοπαδιού για ζώσα και νεκρή βοσκήσιμη ύλη, φυσικά όρια του κοπαδιού στη βόσκηση ζώσας και νεκρής βλάστησης, προτιμήσεις κοπαδιού για μια περιοχή ή λιβάδι, οριακή πρόσβαση του κοπαδιού σε μια περιοχή, τιμή κοπαδιού ανά κλάση βάρους, τιμή τόκου και πληθωρισμού, συνολικό κόστος ανά κεφαλή και μήνα.

Οικονομική ενότητα

Η ενότητα αυτή είναι μια απλή εφαρμογή της ανάλυσης κόστους-όφελος. Το μόνο όφελος που περιλαμβάνεται στο SPUR είναι αποδοτέο στον υπολογισμό της αύξησης του βάρους σε ισοδύναμο μόσχου στην ενότητα του ζώου. Το ακαθάριστο συνολικό εισόδημα υπολογίζεται ως η αύξηση του βάρους, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του τελικού βάρους προς πώληση. Το βάρος πώλησης πολλαπλασιάζεται με την τιμή πώλησης για τον καθορισμό της αξίας που παράγεται από το κοπάδι. Το κόστος περιλαμβάνεται στην ανάλυση σαν κόστος, το κόστος αμοιβής και μη-αμοιβής για τη χρήση του λιβαδιού και άλλα κόστη (π.χ. τόκος) που πρέπει να υφίστανται για να αποκτηθεί το όφελος. Το καθαρό κέρδος είναι ένα σημείο στο χρόνο που πρέπει να καθοριστεί με την αφαίρεση του κόστους από το ακαθάριστο εισόδημα.

Συμπέρασμα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης των λιβαδικών εκτάσεων που βασίζεται στην τεχνική των γλωσσών προγραμματισμού. Η προσομοίωση όμως με νεώτερες τεχνικές, όπως οι γλώσσες προσομοίωσης (Gallis 1996, Gallis 1997, Fogelholm 1999, Merkuruyeva et al. 1994, Lan 2001), η συνεχής ανάπτυξη και βελτίωση των γλωσσών προσομοίωσης και η σύνδεσή τους με τεχνητή νοημοσύνη και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών δίνουν τη δυνατότητα πιο πολύπλοκων, ευέλικτων, αλλά και πιο εύχρηστων ολοκληρωμένων μοντέλων προσομοίωσης ενός συστήματος (Gallis 1997,

Gallis 2000, Tuma et al. 1996, Wildberger 1995). Η λιβαδοπονία της χώρας μας μπορεί και πρέπει να αναπτύξει μοντέλα προσομοίωσης για τα Ελληνικά λιβαδικά οικοσυστήματα με στόχο την καλύτερη αειφορική χρήση και οικονομική αξιοποίησή τους.

Βιβλιογραφία

- Anderson, E.A. 1973. National Weather Service river forecast system-snow accumulation and ablation model. United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum, NWS HYDRO-17.
- Carlson, D.H. and T.L.Thurow. 1992. SPUR-91: Workbook and User Guide. Texas A and M University, Dept. of Rangeland Ecology and Management.
- Detling, J.K., W.J. Parton and H.W. Hunt. 1978. An empirical model for estimating CO₂ exchange of *Bouteloua gracilis* biomass (H.B.K.) Lag. In shortgrass prairie. *Oecologia* (Berl.) 33:137-147.
- Detling, J.K., W.J. Parton and H.W. Hunt. 1979. A simulation model of *Bouteloua gracilis* biomass dynamics on the North American shortgrass prairie. *Oecologia* (Berl.) 38: 157-191.
- Fogelholm, J. 1999. Adequate Modelling as a Prerequisite for Successful Industrial Simulation Activities. Nordic Operations Analysis Conference. Ostersund, Sweden, 27-29/9/1999, 5p.
- Gallis, Ch. 1996. Activity oriented stochastic computer simulation of forest biomass logistics in Greece. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 10, Nos 5/6, pp. 377-382.
- Gallis, Ch. 1997. Stochastic computer simulation of forest biomass logistics in Greece. Doctoral Dissertation, University of Helsinki, Dept. of Forest Resource Management, Publication No 15, 139 pages.
- Gallis, Ch. 2000. Export Logistics of Newsprint Paper Reels-An Activity-Based Holistic Simulation Study. In proceedings of the 1st World Congress on Logistics in the Forest Sector (ed. K. Sjostrom) pp. 45-62, Helsinki 2000.
- Hillier, F.S. and G.J. Lieberman. 1995. Introduction to Operations Research. 6th ed., McGraw-Hill Publishing Company, New York, 998 p.
- Innis, G.S. 1978. Grassland simulation model. *Ecological Studies* 26, Springer-Verlag, New York, NY.
- Lan, Z. 2001. Heuristic Harvesting System Selection through the KBS Approach. Doctoral Thesis, Dept. of Forest Resource Management, University of Helsinki, 112 p.
- Meimban, R.J. 1991. Simulation of hardwood sawmills operations. Ph.D., dissertation, The Pennsylvania State University, 97 p.
- Merkuryeva, G. and Y. Merkuryev. 1994. Knowledge based simulation systems-a review. *Simulations* 62:74-89.
- Notter, D.R. 1977. Simulated efficiency of beef production for a cow-calf feedlot management system. Ph.D., dissertation, University of Nebraska, Lincoln, NB.
- Parton, W.J., J.S. Singh, and D.C. Coleman. 1978. A model of production and turnover of roots in shortgrass prairie. *Journal of Applied Ecology* 47:517-542.
- Pidd, M. 1992. Computer Simulation in Management Science. John Willey and Sons, New York, 351 p.
- Richardson, C.W. and D.A. Wright. 1984. WGEN: a model for generation daily weather variables. United States Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8.
- Sanders, J.O. 1977. Application of a beef cattle production model to the evaluation of genetic selection criteria. Ph.D. dissertation, Texas A&M University, College Station, TX.

- Sanders, J.O. and T.C. Cartwright. 1979. A general cattle production systems model. I. Description of the model. *Agricultural Systems* 4: 217-227.
- Tuma, A., H.D. Haasis and O. Rentz. 1996. A comparison of fuzzy expert systems, neural networks and neuro-fuzzy approaches: Controlling energy and material flow. *Ecological Modelling* 85, pp. 93-98.
- Wight, J.R. and J.W. Skiles. 1987. Simulation of production and utilization of rangelands. Documentation and user guide. United States Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-63.
- Wildberger, A.M. 1995. How Artificial Intelligence and Simulation Benefit Each Other. EUROSIM '95, F. Breitenecker and I. Husisky (editors), pp. 1199-1203.
- Williams, J.R., A.D. Nicks and J.G. Arnold. 1985. Simulator of water resources in rural basins. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 111: 970-986.
- Zeigler, B.P. 1984. *Theory of Modeling and Simulation*. John Wiley and Sons, New York, 460p.

SPUR-91: A computer simulation model of the production and use of rangelands

Ch.Th. Gallis

Forest Research Institute, 570 06

Vasilika, Thessaloniki, Greece, e-mail:cgalis@fri.gr

Summary

This article presents the model SPUR-91 for the computer simulation of the productivity and use of rangelands, which was developed by the U.S. Dept. of Agriculture-Agriculture Research Service. The design of the system was targeted to create a physically based model for the comprehensive rangeland ecosystem simulations. The simulation model could serve as a tool aiding research and management decisions which has the capacity to improve the ability of the rangeland managers to predict answers related to various management activities. Specifically, the model has the ability:

1. Predict changes in water quantity and quality resulting from management practices,
2. Simulate rates and amounts of runoff and sediment occurring in stream channels,
3. Predict by species or species-groups the daily biomass and nitrogen content of live and dead rangeland vegetation,
4. Simulate the spatial heterogeneity of rangeland communities,
5. Predict the response of vegetation to herbivory, nitrogen availability, and water availability,
6. Simulate herbage removal by cattle and wildlife from rangelands,
7. Provide sufficient detail to allow for simulation on sub-divided watersheds,
8. Provide useful information for environmental impact analysis.

Key words: Computer simulation, rangelands ecosystems, production, use.