



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΙΚΤΩΝ
ΠΡΟΒΑΤΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΓΕΛΑΔΟΤΡΟΦΙΚΩΝ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Σταυρόπουλος Μιχαήλ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Στέλιος Ροζάκης, Αν. Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)
Γεώργιος Ζέρβας, Καθηγητής ΓΠΑ
Κων/νος Τσιμπούκας, Καθηγητής ΓΠΑ

Αθήνα, Ιανουάριος 2012



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΙΚΤΩΝ
ΠΡΟΒΑΤΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΓΕΛΑΔΟΤΡΟΦΙΚΩΝ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Σταυρόπουλος Μιχαήλ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Στέλιος Ροζάκης, Αν. Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)
Γεώργιος Ζέρβας, Καθηγητής ΓΠΑ
Κων/νος Τσιμπούκας, Καθηγητής ΓΠΑ

Αθήνα, Ιανουάριος 2012

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΙΚΤΩΝ ΠΡΟΒΑΤΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΓΕΛΑΔΟΤΡΟΦΙΚΩΝ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ**

ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΜΙΧΑΗΛ

Περίληψη

Η παραγωγή φυτικών και ζωικών προϊόντων είναι μια πολύπλοκη επιχειρηματική δραστηριότητα όπου εμπλέκονται διαδικασίες λήψης αποφάσεων που εξαρτώνται από ένα πλήθος παραγόντων. Κάποιοι παράγοντες, όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά της γης, κλπ, είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την εκμετάλλευση και δεν μπορούν να μεταβληθούν ή ελεγχθούν. Άλλοι παράγοντες της εκμετάλλευσης, όπως ο μηχανολογικός εξοπλισμός, το ανθρώπινο δυναμικό, οι έγχειες βελτιώσεις των καλλιεργειών, κλπ, είναι στοιχεία εξίσου σημαντικά, που όμως μπορούν να μεταβληθούν προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή κερδοφορία.

Οι ανωτέρω παράγοντες, καθορίζουν τις επιχειρηματικές επιλογές της εκμετάλλευσης. Καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών επιλογών, για τις οποίες πρέπει να ληφθούν αποφάσεις, όπως: το είδος των ζώων που θα εκτραφεί, τα καλλιεργούμενα είδη, η ένταση και η έκταση της ανθρώπινης εργασίας, ο τρόπος και χρόνος εκτέλεσης των εργασιών, οι ανάγκες σε μηχανολογικό εξοπλισμό, κλπ.

Η βέλτιστη σχεδίαση των αγροτικών και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων είναι μια θεμελιώδης δραστηριότητα της επιχειρηματικής κερδοφορίας, επειδή μπορεί να αυξήσει τα έσοδα μιας δραστηριότητας, με χαμηλό κόστος. Αναμφίβολα, η χρήση της επιχειρησιακής έρευνας στη διοίκηση γεωργικών και κτηνοτροφικών επιχειρήσεων στην Ελλάδα είναι περιορισμένη, καθιστώντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε διοικητικό επίπεδο, κυρίως εμπειρική.

Η τυπική χρήση του γραμμικού προγραμματισμού (ΓΠ), έχει συνήθως σκοπό τη βελτιστοποίηση (υπό περιορισμούς) ενός ή περισσότερων αντικειμενικών στόχων (συνηθέστερα του ακαθάριστου κέρδους) και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων κατά την ανάλυση αγροτικών και κτηνοτροφικών συστημάτων παραγωγής. Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερος πολύπλοκα, διότι εμπλέκονται σε αυτά βιολογικά, τεχνικά, κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία και πολιτικές.

Σκοπός αυτής της μελέτης, ήταν η επίδειξη της βασικής χρήσης και των πλεονεκτημάτων της χρήσης της μεθοδολογίας του ΓΠ, προκειμένου να αναλυθούν όλες οι δραστηριότητες μιας εκμετάλλευσης, με την κατασκευή υποδειγμάτων που ενσωματώνουν τεχνικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς περιορισμούς, κατάρτιση σιτηρεσιών, πολιτικές, τεχνολογικές επιλογές, ευκαιρίες και αντικειμενικούς στόχους του παραγωγού.

Η γλώσσα προτυποποίησης που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του GAMS, ενός λογισμικού πακέτου μαθηματικού προγραμματισμού. Η επιλογή αυτού του λογισμικού φαίνεται άριστη, διότι επιτρέπει τη μεγιστοποίηση του κέρδους, βοηθά στη λήψη αποφάσεων και προσφέρει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης περιορισμών όπως: οι διαθέσιμες προς καλλιέργεια εκτάσεις ή οι ανάγκες του ζωικού κεφαλαίου. Η δόμηση των υποδειγμάτων αριστοποίησης γίνεται με τρόπο που αποτρέπει την εξαγωγή εσφαλμένων ή ακραίων αποτελεσμάτων, προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία τους.

Η έκβαση αυτής της μελέτης υποστηρίζει τη χρήση υποδειγμάτων σε αγροτικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, καθώς τα θεωρεί εξαιρετικά εργαλεία λήψης αποφάσεων.

Λέξεις κλειδιά: Προτυποποίηση, Αριστοποίηση, Γραμμικός προγραμματισμός

ECONOMIC ANALYSIS OF SHEEP & CATTLE FARMS USING MATHEMATICAL PROGRAMMING METHODOLOGY

STAVROPOULOS MICHAEL

Abstract

Crop & livestock production is a complex enterprise involving many decision-making processes that depend on a host of factors. Some factors, like climatic conditions, land characteristics, etc., are inherent to the farm and cannot be altered or controlled. Other farm properties, like the current structure of the machinery stock and personnel, the irrigation infrastructure in place, etc., are factors possibly to be taken into account. These factors can be modified for the purposes of achieving maximum profitability.

The above factors are what constitute the farm's options. These options cover a wide variety of alternatives on which decisions have to be made, such as the choice of which animals to breed, which crops to grow, which field operations to perform, how and when to complete these operations, using which machinery, etc.

Optimized agricultural planning is a fundamental activity in business profitability because it can increase the returns from an operation with low additional costs. Nonetheless, the use of operations research adapted to farm & livestock management in Greece is still limited, resulting in decision-making at management level being primarily empirical.

The conventional linear programming (LP) approach which optimizes one (or more) objective(s) (usually gross margin) subject to constraints is the cornerstone for dealing with decision problems in agricultural production systems analysis of a complex livestock system in which biophysical, technical, socio-economic and policy components intervene.

The goal of this work is to demonstrate the basic usage and benefits of using a LP tool to analyze the farm activities, by developing models that integrate technical and socio-economic constraints, feed formulation, policy making, technology choice, opportunities and farmer's objectives.

The program language used is General Algebraic Modeling System (GAMS, a mathematical programming software combination consisting of a modeling language and linear, non-linear and integer programming algorithms - solvers) as this system is seen to be an excellent tool to allow profit maximization and time schedule optimization of the livestock activities (breeding period, selling age, etc.). This methodology offers the possibility of introducing restrictions, such as the availability of land areas or the requirements of animals. Relations are established among the models to prevent impossible results from being obtained and to increase the credibility of optimization models.

The outcome of the study presented support this optimized planning model as being a very useful tool for livestock farm management practices.

Keywords: Optimization, modeling, linear programming

Περιεχόμενα:

1. Εισαγωγή – Σκοπός..... σελ. 1
2. Οικονομική αξιολόγηση σε επίπεδο σιτηρεσίου..... σελ. 4
 - a. Κατάρτιση σιτηρεσίων..... σελ. 4
 - b. Μεθοδολογία κατάρτισης σιτηρεσίων..... σελ. 6
 - i. Μέθοδος των λογιστικών τετραγώνων..... σελ. 9
 - ii. Μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού..... σελ. 17
 1. Αλγόριθμος Simplex..... σελ. 19
 2. Επίλυση με τη βοήθεια H/Y..... σελ. 23
 - a. Επίλυση στο Microsoft Excel..... σελ. 24
 - b. Επίλυση στο GAMS.....σελ. 29
 - c. Σύγκριση των μεθόδων..... σελ. 32
3. Οικονομική αξιολόγηση σε επίπεδο εκμετάλλευσης..... σελ. 35
 - a. Υπόδειγμα χρήσης γραμμικού προγραμματισμού σε μεικτή εκμετάλλευση..... σελ. 37
4. Μελέτες περιπτώσεων..... σελ. 50
 - a. Αγελαδοτροφία με παραγωγή ζωοτροφών σε ιδιόκτητο χωράφι σελ. 50
 - b. Προβατοτροφία με παραγωγή ζωοτροφών σε ιδιόκτητο χωράφι και βόσκηση σε βοσκότοπο..... σελ. 57
5. Συμπεράσματα..... σελ. 70
6. Βιβλιογραφία..... σελ. 73
7. Παραρτήματα..... σελ. 75
 - a. Παράρτημα 1^ο σελ. 75
 - b. Παράρτημα 2^ο σελ. 76
 - c. Παράρτημα 3^ο σελ. 83
 - d. Παράρτημα 4^ο σελ. 87
 - e. Παράρτημα 5^ο σελ. 92
 - f. Παράρτημα 6^ο σελ. 99
 - g. Παράρτημα 7^ο σελ. 112

Εισαγωγή

Η παραγωγή ζωικών προϊόντων, προϋποθέτει μια αλληλουχία αποφάσεων από τον παραγωγό σχετικών με: το εκτρεφόμενο είδος (βοοτροφία, αιγοπροβατοτροφία, κλπ), την ένταση της παραγωγής (εντατική, ημι-εντατική, εκτατική), την κατεύθυνση της εκτροφής (γάλα, κρέας, μαλλί, δέρμα, ζωικό υλικό, κλπ), τον τόπο δραστηριοποίησης (κλίμα, έδαφος, αγορά για τα προϊόντα, ανταγωνισμός, διαθεσιμότητα παραγωγικών συντελεστών, κλπ), τα είδη και τον τρόπο διατροφής των ζώων (βόσκηση, χορήγηση ζωοτροφών, ιδιοπαραγωγή, φυσικός - τεχνητός θηλασμός, κλπ), το κόστος παραγωγής (μισθολογικό κόστος, κόστη διατροφής, κλπ) και αρκετούς άλλους παράγοντες (οικονομική κατάσταση – δυνατότητες της εκμετάλλευσης, κοινωνικό-πολιτικό-οικονομικό περιβάλλον).

Επιπρόσθετα, στην Ελλάδα (αλλά και στην Ευρώπη, γενικότερα), η παραγωγή ζωικών προϊόντων επηρεάζεται από τις κρατικές και κοινοτικές πολιτικές οικονομικών ενισχύσεων, παραγωγικών περιορισμών, ποσοστώσεων, φορολογικών επιβαρύνσεων και άλλων γενικότερων ή ειδικότερων «παρεμβάσεων».

Η πολυπλοκότητα στη λήψη αποφάσεων σχετικών με το σύστημα παραγωγής που θα επιλεχθεί, οφείλεται σε όλους αυτούς τους παράγοντες και αποτελεί για τον παραγωγό ένα πραγματικό γρίφο. Ωστόσο, αυτή η πολυπλοκότητα είναι επίσης ένας από τους λόγους που «υπάρχουν» τόσα διαφορετικά συστήματα παραγωγής που ανταγωνίζονται, συνεργάζονται, αλληλοεξαρτώνται, συνυπάρχουν και τελικά προσαρμόζονται στις όποιες αλλαγές. (Veysset *et al.*, 2005)

Για τη μελέτη των συστημάτων αγροτικής, κτηνοτροφικής και μεικτής παραγωγής, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο τυπικές μεθοδολογίες: τα υποδείγματα προσομοίωσης και ο μαθηματικός προγραμματισμός. Η προσομοίωση προϋποθέτει τη κατασκευή υποδειγμάτων (α) για τις πιθανές (εναλλακτικές) στρατηγικές και (β) για όλες τις βιολογικές διεργασίες του συστήματος παραγωγής, προκειμένου να μελετηθεί το πλήθος και το είδος των αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτών των υποδειγμάτων. Τα υποδείγματα προσομοίωσης χρησιμοποιούνται επιτυχώς στις μεικτές εκμεταλλεύσεις προκειμένου να προβλέψουν τις επιδράσεις των όποιων αλλαγών στα χαρακτηριστικά των ζώων ή των καλλιεργειών στην «απόδοση» και τον τρόπο λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας. Ωστόσο, η προσομοίωση δεν μπορεί να λειτουργήσει έτσι ώστε να βελτιστοποιήσει το επιθυμητό αποτέλεσμα, δίνοντας παράλληλα τις ανάλογες κατευθυντήριες γραμμές.

Ο μαθηματικός προγραμματισμός, φαίνεται να ανταποκρίνεται καλύτερα στις συνηθέστερες «ανησυχίες» των παραγωγών, αφού μπορεί να προβλέψει τους καλύτερους «συνδυασμούς» διαφορετικών διοικητικών - στρατηγικών αποφάσεων, κάνοντας βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων πόρων και ελαττώνοντας την πιθανότητα εμφάνισης απρόοπτων καταστάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την κατασκευή και επίλυση γραμμικών προβλημάτων και την επαγόμενη ανάλυση ευαισθησίας του αποτελέσματος αυτών. Ο γραμμικός προγραμματισμός, χρησιμοποιείται στη μελέτη

κτηνοτροφικών συστημάτων διαφορετικού μεγέθους, παραγωγικής κατεύθυνσης και δομής. (Crosson *et al.*, 2006)

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων χρήσης του γραμμικού προγραμματισμού ως εργαλείου λήψης αποφάσεων που στόχο έχουν τη μείωση του κόστους παραγωγής ζωικών προϊόντων, πρωτίστως μέσω της μείωσης του κόστους διατροφής, διότι η αγορά ή η παραγωγή ζωοτροφών θεωρείται ως δραστηριότητα, ο μεγαλύτερος φορέας κόστους μια εκτροφής (κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης). Ήδη, από τη δεκαετία του 1960, ο καθηγητής Περικλής Καλαϊσάκης (υφηγητής στην τότε Ανώτατη Γεωπονική Σχολή Αθηνών) εισήγαγε το γραμμικό προγραμματισμό στις εφαρμογές της διατροφής των ζώων (Ζωϊόπουλος, 2011).

Παράλληλα, έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί η συμβολή της χρήσης αυτής της μεθοδολογίας στο «τελικό» συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα μεικτών εκμεταλλεύσεων.

Για τους σκοπούς αυτούς, στη μελέτη αυτή, έγινε μια εκτεταμένη και αναλυτική εισαγωγή στη μεθοδολογία κατάρτισης σιτηρεσίων. Αρχικά, θα αναπτυχθεί ένα τυπικό παράδειγμα σύνθεσης ενός βασικού σιτηρεσίου αγελάδων γαλακτοπαραγωγής, με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η μέθοδος αυτή διδάσκεται διεξοδικά στο τμήμα Ζωικής Παραγωγής του πανεπιστημίου, του οποίου απόφοιτος τυγχάνει ο συγγραφέας.

Στη συνέχεια της μελέτης, και αφού έγινε μια αποτίμηση της χρηστικότητας της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων και των αποτελεσμάτων της, ακολούθησε μια εισαγωγή στο γραμμικό προγραμματισμό και στον τρόπο που αυτός μπορεί να αξιοποιηθεί για το σκοπό της κατάρτισης σιτηρεσίων.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας του γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με ή χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ωστόσο, η χρήση εξειδικευμένου λογισμικού επιτρέπει τη δημιουργία γραμμικών υποδειγμάτων, τα οποία εκτός της άριστης λύσης (που δίνουν με το λιγότερο δυνατό κόπο), προσφέρουν στον ερευνητή μια πληθώρα χρήσιμων πληροφοριών που μπορούν να αξιοποιηθούν για καλύτερη ερμηνεία της λύσης ή για αποτελεσματικότερη οικονομική αξιολόγηση της κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι δυνατότητες εμπορικού, αλλά και εξειδικευμένου λογισμικού επίλυσης γραμμικών προβλημάτων και τον τρόπο αξιοποίησης των στοιχείων που προκύπτουν από την ανάλυση ευαισθησίας του αποτελέσματος. Η ανάλυση ευαισθησίας κατά την εξεύρεση λύσης με τη βοήθεια τέτοιων προγραμμάτων H/Y είναι ενδεδειγμένη, και οδηγεί την οικονομική αξιολόγηση σε σαφώς ανώτερα επίπεδα.

Στη συνέχεια, επιχειρήθηκε η μετάβαση από την καθαρά κτηνοτροφική, στη μεικτή γεωργοκτηνοτροφική εκμετάλλευση, είτε αυτή εξυπηρετεί τις διατροφικές ανάγκες των ζώων, είτε λειτουργεί αυτόνομα. Τελικά, εκτιμήθηκε και σχολιάστηκε η

χρήση γραμμικού προγραμματισμού στο οικονομικό αποτέλεσμα των εκμεταλλεύσεων, μέσα από τη διερεύνηση, ανάλυση και επίλυση γραμμικών υποδειγμάτων που θα δομηθούν χρησιμοποιώντας τα στοιχεία δύο μελετών περίπτωσης (case studies). Η κατασκευή τέτοιων υποδειγμάτων έγινε με τρόπο τέτοιο που να εξυπηρετείται η εύκολη και γρήγορη προσαρμογή τους σε νέα δεδομένα, από άτομα που έχουν βεβαίως μια (μικρή, έστω) εξοικείωση με το συγκεκριμένο λογισμικό.

Ενότητα 1^η – Οικονομική αξιολόγηση σε επίπεδο σιτηρεσίου

Η βέλτιστη παραγωγή κτηνοτροφικών προϊόντων επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο συνδυασμό ενός αριθμού παραγόντων, όπως ο γονότυπος των εκτρεφόμενων ειδών, η διατροφή, η υγιεινή και οι γενικότερες συνθήκες διαχείρισης μιας εκτροφής. Η επιδίωξη για διατήρηση υψηλών αποδόσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα, επιτυγχάνεται μόνο όταν το ζωικό κεφάλαιο εκτρέφεται και κυρίως διατρέφεται σωστά. Είναι γενικά αποδεκτό πως για δεδομένο ζωικό κεφάλαιο (γενετικό υλικό), ο καθοριστικότερος παράγοντας στη ζωική παραγωγή είναι η διατροφή, διότι, πέραν της υγείας και της παραγωγικότητας, επηρεάζει το κόστος των παραγόμενων κτηνοτροφικών προϊόντων καθιστώντας τα ανταγωνιστικά ή μη.

Το κόστος της διατροφής αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους παραγωγής (εκτροφής). Συνεπώς, είναι το κόστος το οποίο συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη προσοχή και τις προσπάθειες για τη συμπίεσή του. Ωστόσο, κάτι τέτοιο είναι κάθε άλλο παρά εύκολο, καθώς ένα «σύγχρονο» σιτηρέσιο πρέπει προφανώς (α) να είναι ισόρροπο, (β) να «διευκολύνει» την εκτροφή εξασφαλίζοντας την καλύτερη δυνατή χρησιμοποίηση των χορηγούμενων τροφών από τα ζώα και (γ) να αποτελείται από ζωοτροφές οικονομικές και κανονικές, επιτρέποντας την κατάρτιση σιτηρεσίων χαμηλού κόστους. Σημειώνεται πως κανονική καλείται η ζωοτροφή που (α) εφοδιάζει τον ζωικό οργανισμό με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τη διατήρησή του στη ζωή και την παραγωγή, (β) εξασφαλίζει την υγεία και την παραγωγικότητα του ζώου και (γ) βελτιώνει (ή τουλάχιστον δεν υποβαθμίζει) την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Πέραν του κόστους, η διατροφή πρέπει να εξασφαλίζει την ποιότητα και την ασφάλεια των παραγόμενων προϊόντων, την ευζωία των εκτρεφόμενων ζώων και την προστασία του περιβάλλοντος, ελαχιστοποιώντας την επιβάρυνσή του από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες. (Ζέρβας *et al.*, 2004, Ζέρβας, 2007)

Κατάρτιση σιτηρεσίων

Σιτηρέσιο είναι το σύνολο των ζωοτροφών που χορηγούνται σε ένα ζώο, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών του σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά εντός μιας χρονικής περιόδου (κατά συντριπτική πλειοψηφία 24ώρου).

Ένα σιτηρέσιο μπορεί να αποτελείται από μία μόνο ζωοτροφή (π.χ. γάλα νεογνών) ή από περισσότερες κατάλληλα αναμεμιγμένες και χορηγούμενες συνήθως ως ένα σύνολο. Το σιτηρέσιο οφείλει να μην περιέχει βλαπτικούς παράγοντες, να είναι αρεστό στο ζώο (να αποφεύγονται π.χ. πικρές ουσίες) και να εξασφαλίζει (και να ευνοεί) την ομαλή λειτουργία του πεπτικού συστήματος. Το τελευταίο αυτό χαρακτηριστικό, έχει ιδιαίτερη σημασία στα μηρυκαστικά ζώα (βοοειδή, πρόβατα, αίγες) καθώς περιπλέκει τη διαδικασία κατάρτισης του σιτηρεσίου, αυξάνοντας κατά κανόνα το κόστος διατροφής. (Καλαϊσάκης, 1982, Ζέρβας, 2007)

Πιο συγκεκριμένα το πεπτικό σύστημα των μηρυκαστικών, προκειμένου να λειτουργήσει σωστά, αποτελεσματικά και συνεπώς αποδοτικά, πρέπει να τροφοδοτηθεί με ζωοτροφές κατάλληλης υφής, σύστασης και όγκου. Έτσι, εξασφαλίζεται η θρέψη των μικροοργανισμών που συμβιώνουν στους προστομάχους των μηρυκαστικών ζώων και ευνοείται η ομαλή συμβιωτική πέψη.

Απόρροια αυτού του χαρακτηριστικού είναι η υποχρεωτική χρησιμοποίηση «χονδροειδών», όπως λέγονται, ζωοτροφών που κατά κανόνα είναι ακριβότερες των λοιπών «συμπυκνωμένων» τροφών. Το άχυρο ή ο σανός είναι ένα τυπικό παράδειγμα χονδροειδούς ζωοτροφής, ενώ οι δημητριακοί καρποί είναι τυπικά παραδείγματα συμπυκνωμένων τροφών. Όπως ενδεχομένως γίνεται κατανοητό, οι χονδροειδείς ζωοτροφές είναι ακριβότερες των συμπυκνωμένων, καθώς είναι μεγαλύτερου σχετικού όγκου (δυσκολεύοντας τη μεταφορά και επιβαρύνοντας το κόστος μεταφοράς τους), η παραγωγή τους δεν μπορεί να γίνει όλες τις εποχές του έτους, η αποθήκευσή τους απαιτεί περισσότερα κεφάλαια (κτιριακές υποδομές, συνθήκες αποθήκευσης) και γενικά έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής σε συνθήκες «αποθήκης», προτού αρχίσουν σταδιακά να αλλοιώνονται και να υποβαθμίζονται ποιοτικά. Εξάλλου, οι συμπυκνωμένες τροφές έχουν αρκετές εναλλακτικές χρήσεις (διατροφή ανθρώπου, διατροφή μη μηρυκαστικών ζώων, κλπ), κατά συνέπεια, ο ανταγωνισμός στον κλάδο είναι πολύ εντονότερος πιέζοντας συνήθως το κόστος απόκτησής τους προς τα κάτω και την ποιότητα τους άνω, δεδομένου πως οι επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή και το εμπόριο αυτών των ζωοτροφών είναι σαφώς πολύ περισσότερες.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως αυτό το χαρακτηριστικό των συμπυκνωμένων ζωοτροφών, φαίνεται να έχει ένα σοβαρό μειονέκτημα: οι εναλλακτικές χρήσεις αυτών των τροφών μπορούν θεωρητικά να προκαλέσουν αύξηση του κόστους για την κτηνοτροφία διότι ξαφνική αύξηση της ζήτησής τους για μη κτηνοτροφικούς σκοπούς μπορεί να προκαλέσει αύξηση της τιμής τους και μείωση των προσφερόμενων, για την κτηνοτροφία, ποσοτήτων. Ωστόσο, κάτι τέτοιο μάλλον δεν είναι συχνό φαινόμενο, καθώς στις ανεπτυγμένες χώρες για παράδειγμα η κατανάλωση ζωικής πρωτεΐνης προτιμάται σχεδόν πάντα της κατανάλωσης τροφών φυτικής προέλευσης με μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Επιπρόσθετα, οι καλλιέργειες που αναπτύσσονται για κτηνοτροφική χρήση είναι συχνά βασισμένες σε διαφορετικές ποικιλίες, που ενώ είναι κατάλληλες για την κτηνοτροφία ή / και τη βιομηχανία διατροφικών ειδών, συχνά είναι ακατάλληλες ή μη επιθυμητές στην «απευθείας» ανθρώπινη διατροφή (δηλαδή στην κατανάλωση μη επεξεργασμένων αγροτικών ειδών – π.χ. βρώσιμο καλαμπόκι αντί καλαμποκέλαιου). Αυτό το γεγονός συμβάλει εμμέσως στη σχετικά σταθερή πορεία των τιμών αγοράς των ζωοτροφών και προφανώς στη διαθεσιμότητά τους, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις, συνήθως «προκαλεί» μόνο μικρές διακυμάνσεις σε αυτές (τιμή και διαθεσιμότητα).

Κατά την κατάρτιση σιτηρεσίων μηρυκαστικών ζώων, ο υπεύθυνος διατροφής (ή ο παραγωγός) μεριμνά ώστε να χρησιμοποιηθούν στο μείγμα κατά το δυνατόν

οικονομικότερες ζωοτροφές αλλά και να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του πεπτικού συστήματος και άρα η υγεία του ζώου. (Καλαϊσάκης, 1982)

Έτσι, τα στάδια που συνήθως ακολουθούνται είναι τα εξής:

1. Επιλογή ζωοτροφών βάσει καταλληλότητας
2. Προσδιορισμός θρεπτικής τους αξίας (περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και ενέργεια)
3. Οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών (π.χ. πόσο κοστίζει μια μονάδα ενέργειας στον αραβόσιτο και πόσο στη σίκαλη;)
4. Προσδιορισμός των διατροφικών αναγκών των ζώων
5. Κατάρτιση σιτηρεσίου ελαχιστοποιώντας το κόστος και εξασφαλίζοντας την καλή υγεία του ζώου
 - i. Προσδιορισμός των ποσοτήτων χονδροειδών ζωοτροφών που «απαιτεί» το ζώο βάσει των αναγκών του σε ξηρή ουσία
 - ii. Προσδιορισμός των θρεπτικών συστατικών και της ενέργειας που περιέχουν οι ανωτέρω ζωοτροφές
 - iii. Υπολογισμός των υπολειπόμενων ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών και ενέργειας που πρέπει να καλυφθούν από τη χρήση συμπυκνωμένων ζωοτροφών*
 - iv. Προσδιορισμός των ποσοτήτων συμπυκνωμένων ζωοτροφών που «οφείλουν» να συνεισφέρουν τις ανωτέρω ποσότητες θρεπτικών συστατικών και ενέργειας.
 - v. Παρασκευή του κατάλληλου ισορροπιστή βιταμινών και ανόργανων αλάτων
6. Χορήγηση του σιτηρεσίου
7. Έλεγχος της αποτελεσματικότητας του σιτηρεσίου
 - i. Υγεία των ζώων
 - ii. Παραγωγικότητα των ζώων
 - iii. Ομαλή ανάπτυξη (πάχυνση) των ζώων
 - iv. Φυσιολογική συμπεριφορά

** Η χρήση των συμπυκνωμένων ζωοτροφών σε αυτό το στάδιο δεν επιβάλλεται θεωρητικά (βάσει κάποιου κανόνα), αλλά πρακτικά λόγω μειωμένου κόστους αγοράς αυτών των τροφών. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, ενδέχεται η αγορά συμπυκνωμένων ζωοτροφών να κρίνεται ασύμφορη έναντι της χρήσης χονδροειδών.*

Μεθοδολογία κατάρτισης σιτηρεσίων

Η κατάρτιση σιτηρεσίων είναι μια διαδικασία απαραίτητη για κάθε εκτροφή που προσβλέπει σε οικονομικό όφελος. Από τις πλέον διαδεδομένες μεθοδολογίες κατάρτισης σιτηρεσίων είναι: (α) η κατάρτιση σιτηρεσίων με τη χρήση λογιστικών τετραγώνων (Pearson squares) και (β) η κατάρτιση σιτηρεσίων με χρήση

εξειδικευμένου λογισμικού (software) γραμμικού προγραμματισμού και με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η πρώτη μέθοδος, αυτή των λογιστικών τετραγώνων, είναι και αυτή που διδάσκεται αναλυτικότερα στους φοιτητές του τμήματος Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών στα πλαίσια του μαθήματος της Διατροφής Αγροτικών Ζώων.

Η κατάρτιση σιτηρεσιών με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και λογισμικό που είτε είναι πολύπλοκο για να χειριστεί οποιοσδήποτε, είτε είναι ένα (ακριβό συνήθως) εμπορικό πακέτο.

Παρακάτω, παρατίθεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό ενός βασικού σιτηρεσίου γαλακτοπαραγωγού αγελάδας 600kg που καλύπτει τις ανάγκες συντήρησης και γαλακτοπαραγωγής ύψους 5kg σε ενέργεια και τα βασικότερα θρεπτικά συστατικά, χρησιμοποιώντας τις δύο μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι δύο μέθοδοι, θα αναλυθούν προκειμένου να εντοπιστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

- Οι ανάγκες που πρέπει να καλύπτει (ή αλλιώς οι προδιαγραφές του σιτηρεσίου) είναι οι εξής:
 - 9kg ξηρή ουσία (ΞΟ) στο σύνολο, αλλά υποχρεωτικά τουλάχιστον 6kg από τη συνολική ΞΟ να προέρχεται από χονδροειδείς ζωοτροφές (XZ)
 - Τουλάχιστον 51,35MJ καθαρής ενέργειας γαλακτοπαραγωγής (ΚΕΓ) (λιγότερη ενέργεια θα μειώσει τις αποδόσεις του ζώου, ενώ πολύ περισσότερη θα προκαλέσει ανεπιθύμητη εναπόθεση λίπους, υποβαθμίζοντας τη σωματική κατάσταση του ζώου)
 - Τουλάχιστον 890g αζωτούχων ουσιών (ΟΑΟ – ολικές αζωτούχες ουσίες)
 - 2,07 – 2,43kg ινωδών ουσιών (ΙΟ)
- Οι διαθέσιμες ζωοτροφές για αυτό το παράδειγμα και η περιεκτικότητά τους σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά αναφέρεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 1: Διαθέσιμες ζωοτροφές και χαρακτηριστικά τους. (Ζέρβας, 2007)

| <i>Κατηγορία</i> | <i>Ζωοτροφή</i> | <i>Κόστος (€/kg)</i> | <i>ΞΟ (g/kg)</i> | <i>ΙΟ (g/kg)</i> | <i>ΚΕΓ MJ/kg</i> | <i>ΟΑΟ g/kg</i> |
|------------------|---------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| XZ | Σανός μηδικής | 0,15 | 860 | 310 | 3,7 | 130 |
| XZ | Άχυρο σίτου | 0,09 | 870 | 400 | 2,86 | 25 |
| XZ | Ενσίρωμα αραβοσίτου | 0,05 | 300 | 53 | 2,15 | 27 |
| ΣΖ | Καρπός αραβοσίτου | 0,18 | 880 | 22 | 8 | 85 |
| ΣΖ | Καρπός κριθής | 0,17 | 860 | 48 | 7,6 | 106 |
| ΣΖ | Καρπός σίτου | 0,17 | 870 | 26 | 7,9 | 112 |
| ΣΖ | Πίτυρα σίτου | 0,16 | 870 | 103 | 5,75 | 160 |
| ΣΖ | Στέμφυλα ζαχαροτ. | 0,15 | 900 | 155 | 6,6 | 90 |

| | | | | | | |
|----|-----------------|------|-----|-----|------|-----|
| ΣΖ | Στέμφυλα εσπερ. | 0,14 | 900 | 126 | 6,7 | 59 |
| ΣΖ | Σογιάλευρο | 0,32 | 900 | 62 | 7,35 | 425 |
| ΣΖ | Βαμβακόπιτα | 0,17 | 895 | 255 | 4,3 | 250 |
| ΣΖ | Ηλιάλευρο | 0,18 | 890 | 182 | 6,6 | 300 |

(Όπου ΧΖ: χονδροειδείς ζωοτροφές και ΣΖ: συμπυκνωμένες ζωοτροφές)

- Ακολουθεί οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών

Πίνακας 2: Δείκτες κόστους των θρεπτικών στοιχείων ανά ζωοτροφή

| Κατηγορία | Ζωοτροφή | €/ΜJΚΕΓ | €/kg ΟΑΟ |
|------------------|---------------------|----------------|-----------------|
| ΧΖ | Σανός μηδικής | 0,0405 | 1,15 |
| ΧΖ | Άχυρο σίτου | 0,0315 | 3,60 |
| ΧΖ | Ενσίρωμα αραβοσίτου | 0,0233 | 1,85 |
| ΣΖ | Καρπός αραβοσίτου | 0,0225 | 2,12 |
| ΣΖ | Καρπός κριθής | 0,0224 | 1,60 |
| ΣΖ | Καρπός σίτου | 0,0215 | 1,52 |
| ΣΖ | Πίτυρα σίτου | 0,0278 | 1,00 |
| ΣΖ | Στέμφυλα ζαχαροτ. | 0,0227 | 1,67 |
| ΣΖ | Στέμφυλα εσπερ. | 0,0209 | 2,37 |
| ΣΖ | Σογιάλευρο | 0,0435 | 0,75 |
| ΣΖ | Βαμβακόπιτα | 0,0395 | 0,68 |
| ΣΖ | Ηλιάλευρο | 0,0273 | 0,60 |

Παρατηρείται πως η οικονομικότερη πηγή ενέργειας (στήλη ΚΕΓ) είναι τα στέμφυλα εσπεριδοειδών, προκύπτει όμως πως είναι η δεύτερη ακριβότερη πηγή αζωτούχων ουσιών και μάλιστα αρκετά ακριβότερη έναντι πολλών άλλων (στήλη ΟΑΟ).

Επίσης, το ηλιάλευρο φαίνεται να είναι η οικονομικότερη πηγή αζωτούχων ουσιών (με μεγάλη μάλιστα διαφορά έναντι όλων, σχεδόν, των υπολοίπων) ενώ το περιεχόμενό της σε ενέργεια «αποκτάται» σε αρκετά ανταγωνιστική τιμή. Εντούτοις, τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της (περιεκτικότητα σε ΞΟ και ΙΟ) την καθιστούν ασύμφορη για να χρησιμοποιηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό (ή εξ' ολοκλήρου) στο τελικό σιτηρέσιο.

Όπως είναι προφανές, σε πραγματικές συνθήκες, η οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών γίνεται σε ένα πλήθος παραγόντων (περιεκτικότητα σε ασβέστιο, βιταμίνες, ανόργανα άλατα, κλπ) περιπλέκοντας την κατάρτιση του σιτηρεσίου. Επίσης, οι διαθέσιμες επιλογές είναι πρακτικά απεριόριστες, καθώς η ποικιλία των κατάλληλων ζωοτροφών είναι αρκετά μεγάλη, ενώ οι διαθέσιμοι προμηθευτές αναρίθμητοι (οπότε και διαμορφώνονται πολλές διαφορετικές τιμές στην αγορά).

A) Επίλυση με τη μέθοδο των λογιστικών τετραγώνων

1^ο στάδιο

Σύμφωνα με τους ανωτέρω περιορισμούς, θα πρέπει αρχικά να υπολογιστεί η συμμετοχή των χονδροειδών ζωοτροφών στο τελικό σιτηρέσιο έτσι ώστε να προκύπτουν τουλάχιστον 6kg ΞΟ από αυτές.

Πίνακας 3: Δείκτες κόστους των θρεπτικών συστατικών ανά χονδρ. ζωοτροφή

| <i>Κατηγορία</i> | <i>Ζωοτροφή</i> | <i>Κόστος (€/kg)</i> | <i>ΞΟ (g/kg)</i> | <i>€/kg ΞΟ</i> | <i>ΙΟ (g/kg)</i> | <i>€/kg ΙΟ</i> |
|------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| XZ | Σανός μηδικής | 0,15 | 860 | 0,174 | 310 | 0,484 |
| XZ | Άχυρο σίτου | 0,09 | 870 | 0,103 | 400 | 0,225 |
| XZ | Ενσίρωμα αραβοσίτου | 0,05 | 300 | 0,167 | 53 | 0,943 |

Από την οικονομική ανάλυση του παραπάνω πίνακα, προκύπτει πως η οικονομικότερη πηγή ΞΟ είναι το άχυρο σίτου. Έτσι, εάν χρησιμοποιηθεί άχυρο σίτου για να καλυφθούν τουλάχιστον 6kg ΞΟ με τον οικονομικότερο τρόπο, χρειάζονται $[6\text{kg } \Xi\text{O} / (0,87\text{kg } \Xi\text{O}/\text{kg } \text{Άχυρου})] = 6,896\text{kg}$ άχυρου σίτου με κόστος **0,62€**.

Υπολογίζοντας τη συνεισφορά αυτών των 6,9kg άχυρου στα υπόλοιπα θρεπτικά συστατικά, προκύπτει πως 6,9kg άχυρου, δίνουν $[6,9\text{kg} \times (0,4\text{kg } \text{ΙΟ}/\text{kg } \text{άχυρου})] = 2,76\text{kg}$ ΙΟ, ποσότητα που υπερβαίνει το μέγιστο όριο που είχε τεθεί για τις ΙΟ στα 2,43kg. Συνεπώς, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη καταλληλότερη ζωοτροφή και αυτή μάλλον δεν μπορεί να είναι ο σανός μηδικής αφού η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά (και πιο συγκεκριμένα σε ΞΟ, που είναι το συστατικό εκείνο που κυρίως λαμβάνεται υπόψη σε αυτό το στάδιο κατάρτισης του σιτηρεσίου) είναι παρόμοια με αυτή του άχυρου. Το ενσίρωμα αραβοσίτου φαίνεται να είναι κατάλληλο, αλλά είναι η ακριβότερη πηγή ΙΟ (και μάλιστα πολύ ακριβότερη έναντι των άλλων δύο).

Εάν ωστόσο, χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα ο σανός μηδικής, τότε για 6kg ΞΟ προκύπτει πως χρειάζονται $[6\text{kg } \Xi\text{O} / (0,86\text{kg } \Xi\text{O}/\text{kg } \text{σανού})] = 6,977\text{kg}$ σανού μηδικής με κόστος **1,04€**. Η συνεισφορά αυτής της τροφής σε ινώδεις ουσίες θα είναι $[6,977\text{kg} \times (0,31\text{kg } \text{ΙΟ}/\text{kg } \text{σανού})] = 2,16\text{kg}$ ΙΟ, ποσότητα που είναι εντός των επιθυμητών ορίων. Η λύση αυτή μοιάζει ικανοποιητική και θα μπορούσε κάλλιστα να είναι αποδεκτή σε αυτό το στάδιο κατάρτισης του σιτηρεσίου. Ωστόσο με μια προσεκτικότερη ματιά στην οικονομική ανάλυση του Πίνακα 2 (€/MJ), θα παρατηρήσει κανείς πως ο σανός μηδικής είναι η 2^η ακριβότερη πηγή ενέργειας και μάλιστα πολύ ακριβότερη έναντι των (περισσοτέρων) άλλων χονδροειδών και συμπυκνωμένων ζωοτροφών.

Πρακτικά, εάν η πρώτη λύση ήταν αποδεκτή, τα 6,896kg άχυρου, κόστους 0,62€ θα συνεισέφεραν στο τελικό σιτηρέσιο ενέργεια ίση με 19,72 MJ ΚΕΓ, έναντι των 25,82MJ ΚΕΓ που θα συνεισέφερε ο σανός κόστους 1,04€. Η χρησιμοποίηση ενσιρώματος αραβοσίτου είναι μάλλον ενδεδειγμένη αφού συνεισφέρει ενέργεια με τον πλέον αποδοτικό οικονομικά τρόπο. Επίσης, η χρήση ενσιρώματος συνεισφέρει αποδοτικότερα ΞΟ έναντι του σανού που «έδωσε» μια αποδεκτή λύση (παραπάνω), υστερεί έντονα όμως σε ΙΟ.

Τελικά, επιδίωξη σε αυτό το στάδιο είναι η χρήση ενός μείγματος άχυρου και ενσιρώματος. Το μεν άχυρο χρησιμοποιείται ως η πλέον οικονομική πηγή ΞΟ, ενώ το ενσίρωμα «αμβλύνει» την περιεκτικότητα ΙΟ στο τελικό σιτηρέσιο προσφέροντας όμως ταυτόχρονα φθηνή ενέργεια στο μείγμα.

Ελέγχοντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς άχυρου και ενσιρώματος προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4: Πιθανά μείγματα άχυρου / ενσιρώματος και χαρακτηριστικά τους

| Ποσ. άχυρου (kg) | Ποσ. Ενσιρ. (kg) | Κόστος (€) | ΞΟ (kg) | ΞΟ Μεταξύ 6-9kg | ΙΟ (kg) | ΙΟ Μεταξύ 2,07-2,43 στο τελικό μείγμα | MJ ΚΕΓ | Λιγότερο από 51,35 MJ | Κόστος ΚΕΓ (€/MJ) | Αποδεκτή λύση ; |
|------------------|------------------|------------|---------|-----------------|---------|---------------------------------------|--------|-----------------------|-------------------|-----------------|
| 7 | 0 | 0,63 | 6,09 | ΝΑΙ | 2,80 | ΌΧΙ | 20,02 | ΝΑΙ | 0,03147 | ΌΧΙ |
| 6 | 0 | 0,54 | 5,22 | ΌΧΙ | 2,40 | ΙΣΩΣ | 17,16 | ΝΑΙ | 0,03147 | ΌΧΙ |
| 6 | 1 | 0,59 | 5,52 | ΌΧΙ | 2,45 | ΌΧΙ | 19,31 | ΝΑΙ | 0,03055 | ΌΧΙ |
| 5 | 1 | 0,50 | 4,65 | ΌΧΙ | 2,05 | ΙΣΩΣ | 16,45 | ΝΑΙ | 0,03040 | ΌΧΙ |
| 5 | 2 | 0,55 | 4,95 | ΌΧΙ | 2,11 | ΙΣΩΣ | 18,60 | ΝΑΙ | 0,02957 | ΌΧΙ |
| 5 | 3 | 0,60 | 5,25 | ΌΧΙ | 2,16 | ΙΣΩΣ | 20,75 | ΝΑΙ | 0,02892 | ΌΧΙ |
| 5 | 4 | 0,65 | 5,55 | ΌΧΙ | 2,21 | ΙΣΩΣ | 22,90 | ΝΑΙ | 0,02838 | ΌΧΙ |
| 5 | 5 | 0,70 | 5,85 | ΌΧΙ | 2,27 | ΙΣΩΣ | 25,05 | ΝΑΙ | 0,02794 | ΌΧΙ |
| 5 | 6 | 0,75 | 6,15 | ΝΑΙ | 2,32 | ΙΣΩΣ | 27,20 | ΝΑΙ | 0,02757 | ΝΑΙ |
| 4 | 6 | 0,66 | 5,28 | ΌΧΙ | 1,92 | ΙΣΩΣ | 24,34 | ΝΑΙ | 0,02712 | ΌΧΙ |
| 4 | 7 | 0,71 | 5,58 | ΌΧΙ | 1,97 | ΙΣΩΣ | 26,49 | ΝΑΙ | 0,02680 | ΌΧΙ |
| 4 | 8 | 0,76 | 5,88 | ΌΧΙ | 2,02 | ΙΣΩΣ | 28,64 | ΝΑΙ | 0,02654 | ΌΧΙ |
| 4 | 9 | 0,81 | 6,18 | ΝΑΙ | 2,08 | ΙΣΩΣ | 30,79 | ΝΑΙ | 0,02631 | ΝΑΙ |
| 3 | 9 | 0,72 | 5,31 | ΌΧΙ | 1,68 | ΙΣΩΣ | 27,93 | ΝΑΙ | 0,02578 | ΌΧΙ |
| 3 | 10 | 0,77 | 5,61 | ΌΧΙ | 1,73 | ΙΣΩΣ | 30,08 | ΝΑΙ | 0,02560 | ΌΧΙ |
| 3 | 11 | 0,82 | 5,91 | ΌΧΙ | 1,78 | ΙΣΩΣ | 32,23 | ΝΑΙ | 0,02544 | ΌΧΙ |
| 3 | 12 | 0,87 | 6,21 | ΝΑΙ | 1,84 | ΙΣΩΣ | 34,38 | ΝΑΙ | 0,02531 | ΝΑΙ |
| 3 | 13 | 0,92 | 6,51 | ΝΑΙ | 1,89 | ΙΣΩΣ | 36,53 | ΝΑΙ | 0,02518 | ΝΑΙ |
| 3 | 14 | 0,97 | 6,81 | ΝΑΙ | 1,94 | ΙΣΩΣ | 38,68 | ΝΑΙ | 0,02508 | ΝΑΙ |
| 3 | 15 | 1,02 | 7,11 | ΝΑΙ | 2,00 | ΙΣΩΣ | 40,83 | ΝΑΙ | 0,02498 | ΝΑΙ |
| 3 | 16 | 1,07 | 7,41 | ΝΑΙ | 2,05 | ΙΣΩΣ | 42,98 | ΝΑΙ | 0,02490 | ΝΑΙ |
| 3 | 17 | 1,12 | 7,71 | ΝΑΙ | 2,10 | ΙΣΩΣ | 45,13 | ΝΑΙ | 0,02482 | ΝΑΙ |

| | | | | | | | | | | |
|---|----|------|------|-----|-------|------|-------|-----|---------|-----|
| 2 | 17 | 1,03 | 6,84 | ΝΑΙ | 1,70 | ΙΣΩΣ | 42,27 | ΝΑΙ | 0,02437 | ΝΑΙ |
| 2 | 18 | 1,08 | 7,14 | ΝΑΙ | 1,75 | ΙΣΩΣ | 44,42 | ΝΑΙ | 0,02431 | ΝΑΙ |
| 2 | 19 | 1,13 | 7,44 | ΝΑΙ | 1,81 | ΙΣΩΣ | 46,57 | ΝΑΙ | 0,02426 | ΝΑΙ |
| 2 | 20 | 1,18 | 7,74 | ΝΑΙ | 1,86 | ΙΣΩΣ | 48,72 | ΝΑΙ | 0,02422 | ΝΑΙ |
| 1 | 20 | 1,09 | 6,87 | ΝΑΙ | 1,46 | ΙΣΩΣ | 45,86 | ΝΑΙ | 0,02377 | ΝΑΙ |
| 1 | 21 | 1,14 | 7,17 | ΝΑΙ | 1,51 | ΙΣΩΣ | 48,01 | ΝΑΙ | 0,02375 | ΝΑΙ |
| 1 | 22 | 1,19 | 7,47 | ΝΑΙ | 1,57 | ΙΣΩΣ | 50,16 | ΝΑΙ | 0,02372 | ΝΑΙ |
| 1 | 23 | 1,24 | 7,77 | ΝΑΙ | 1,62 | ΙΣΩΣ | 52,31 | ΌΧΙ | 0,02370 | ΌΧΙ |
| 0 | 23 | 1,15 | 6,9 | ΝΑΙ | 1,219 | ΙΣΩΣ | 49,45 | ΝΑΙ | 0,02326 | ΝΑΙ |
| 0 | 24 | 1,2 | 7,2 | ΝΑΙ | 1,272 | ΙΣΩΣ | 51,6 | ΌΧΙ | 0,02326 | ΌΧΙ |

Εάν απομονωθούν οι αποδεκτές πιθανές λύσεις, προκύπτει ο επόμενος πίνακας:

Πίνακας 5: Αποδεκτά μείγματα άχυρου / ενσιρώματος και χαρακτηριστικά τους

| A/A | Συμ. άχυρου (kg) | Συμ. Ενσιρ. (kg) | Κόστος (€) | ΞΟ (kg) | Μεταξύ 6-9kg | ΙΟ (kg) | Μεταξύ 2,07-2,43 στο τελικό μείγμα | MJ ΚΕΓ | Λιγότερο από 51,35 MJ | Κόστος ΚΕΓ (€/MJ) |
|-----|------------------|------------------|------------|---------|--------------|---------|------------------------------------|--------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 5 | 6 | 0,75 | 6,15 | ΝΑΙ | 2,32 | ΙΣΩΣ | 27,20 | ΝΑΙ | 0,02757 |
| 2 | 4 | 9 | 0,81 | 6,18 | ΝΑΙ | 2,08 | ΙΣΩΣ | 30,79 | ΝΑΙ | 0,02631 |
| 3 | 3 | 12 | 0,87 | 6,21 | ΝΑΙ | 1,84 | ΙΣΩΣ | 34,38 | ΝΑΙ | 0,02531 |
| 4 | 3 | 13 | 0,92 | 6,51 | ΝΑΙ | 1,89 | ΙΣΩΣ | 36,53 | ΝΑΙ | 0,02518 |
| 5 | 3 | 14 | 0,97 | 6,81 | ΝΑΙ | 1,94 | ΙΣΩΣ | 38,68 | ΝΑΙ | 0,02508 |
| 6 | 3 | 15 | 1,02 | 7,11 | ΝΑΙ | 2,00 | ΙΣΩΣ | 40,83 | ΝΑΙ | 0,02498 |
| 7 | 3 | 16 | 1,07 | 7,41 | ΝΑΙ | 2,05 | ΙΣΩΣ | 42,98 | ΝΑΙ | 0,02490 |
| 8 | 3 | 17 | 1,12 | 7,71 | ΝΑΙ | 2,10 | ΙΣΩΣ | 45,13 | ΝΑΙ | 0,02482 |
| 9 | 2 | 17 | 1,03 | 6,84 | ΝΑΙ | 1,70 | ΙΣΩΣ | 42,27 | ΝΑΙ | 0,02437 |
| 10 | 2 | 18 | 1,08 | 7,14 | ΝΑΙ | 1,75 | ΙΣΩΣ | 44,42 | ΝΑΙ | 0,02431 |
| 11 | 2 | 19 | 1,13 | 7,44 | ΝΑΙ | 1,81 | ΙΣΩΣ | 46,57 | ΝΑΙ | 0,02426 |
| 12 | 2 | 20 | 1,18 | 7,74 | ΝΑΙ | 1,86 | ΙΣΩΣ | 48,72 | ΝΑΙ | 0,02422 |
| 13 | 1 | 20 | 1,09 | 6,87 | ΝΑΙ | 1,46 | ΙΣΩΣ | 45,86 | ΝΑΙ | 0,02377 |
| 14 | 1 | 21 | 1,14 | 7,17 | ΝΑΙ | 1,51 | ΙΣΩΣ | 48,01 | ΝΑΙ | 0,02375 |
| 15 | 1 | 22 | 1,19 | 7,47 | ΝΑΙ | 1,57 | ΙΣΩΣ | 50,16 | ΝΑΙ | 0,02372 |
| 16 | 0 | 23 | 1,15 | 6,9 | ΝΑΙ | 1,22 | ΙΣΩΣ | 49,45 | ΝΑΙ | 0,02326 |

Παρατηρείται πως τα μείγματα με μεγαλύτερο αύξοντα αριθμό (A/A) έχουν μεγαλύτερη και «οικονομικότερη» περιεκτικότητα σε ενέργεια (βλ. στήλη «Κόστος ΚΕΓ»). Ωστόσο, εκείνα που περιέχουν άχυρο σε πολύ μικρή ποσότητα (A/A: 13-16) έχουν μικρή περιεκτικότητα σε ΙΟ. Αυτό δεν είναι απαραίτητα κακό, στην προκειμένη περίπτωση όμως, η έλλειψη αυτή σε ΙΟ πρέπει να καλυφθεί από τις συμπυκνωμένες ζωοτροφές. Οι τροφές αυτές είναι σε γενικές γραμμές ελλιπέστατες σε ΙΟ (εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων) και δεδομένου πως θα χρησιμοποιηθούν σε

μικρές ποσότητες (αφού οι ανάγκες θα καλυφθούν επαρκώς με σχετική ευκολία), κρίνεται φρόνιμο να επιλεγεί ένα μείγμα που θα καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες σε ΙΟ αλλά θα έχει και ανταγωνιστική κοστολόγηση.

Κατόπιν λοιπόν των ανωτέρω ελέγχων («δοκιμών»), το μείγμα που δίνει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι το εξής:

- 20kg ενσίρωμα αραβοσίτου
- 2kg άχυρο
 - Συνολικά συνεισφέρουν: 7,74kg ΞΟ (οπότε καλύπτεται ο περιορισμός των 6kg κατ' ελάχιστον), 48,72MJ ΚΕΓ, 590g ΟΑΟ και 1860g ΙΟ και κοστίζουν **1,18€**
 - Πρέπει, ως εκ τούτου, να παρασκευαστεί μείγμα συμπυκνωμένων ζωοτροφών (κατά κύριο λόγο, χωρίς όμως να αποκλείονται οι χονδροειδείς ζωοτροφές) που να καλύπτει:
 - τουλάχιστον $(9 - 7,74) = 1,26\text{kg}$ ΞΟ
 - τουλάχιστον $(51,35 - 48,72) = 2,63\text{MJ}$ ΚΕΓ
 - τουλάχιστον $(890 - 590) = 300\text{g}$ ΟΑΟ
 - και να μην υπερβαίνει σε περιεκτικότητα τα $(2,43 - 1,86) = 0,57\text{kg}$ ΙΟ, αλλά να περιέχει τουλάχιστον $(2,07 - 1,86) = 0,21\text{kg}$ ΙΟ

Για να καλυφθούν οι ανωτέρω προδιαγραφές, πρέπει υποχρεωτικά να κατασκευαστεί μείγμα ζωοτροφών, καθώς, καμία από τις συμπυκνωμένες ζωοτροφές που δίδονται δεν μπορεί αυτόνομα να καλύψει τις ανάγκες του ζώου οικονομικά, χωρίς να προκύψει μεγάλο πλεόνασμα ενέργειας.

Σημ.: Η τελική επιλογή του μείγματος του Πιν. 5 φαίνεται να γίνεται κάπως «αυθαίρετα». Αυτό, είναι λίγο έως πολύ αναμενόμενο σε αυτό το στάδιο κατάρτισης του σιτηρεσίου. Λόγω της αδυναμίας να ελεγχθούν «εξονυχιστικά» όλα τα ενδεχόμενα «με το χέρι», είναι σύνηθες να γίνεται κάποια λογική παραδοχή από τον υπεύθυνο κατάρτισης του σιτηρεσίου και η διαδικασία να προχωρά στο επόμενο στάδιο. Για το λόγο αυτό, η κατάρτιση σιτηρεσίων με αυτή τη μέθοδο πρέπει να γίνεται από άτομα σχετικώς πεπειραμένα με το αντικείμενο.

2^ο στάδιο

Για την παρασκευή του μείγματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα απλό σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους (συνήθως ενέργεια και ΟΑΟ), με συντελεστές που θα αντιστοιχούν στις περιεκτικότητες των ζωοτροφών στις δύο αυτές κατηγορίες θρεπτικών συστατικών. Με τη μέθοδο αυτή, αρκεί να επιλεγούν δύο ζωοτροφές που όμως υποχρεωτικά πρέπει να έχουν (π.χ. για την ενέργεια) η μία μικρότερο (του ζητούμενου) ενεργειακό περιεχόμενο ενώ η άλλη υψηλότερο, και να λυθεί το σύστημα.

Εντούτοις, επιδιώκεται πάντα η χρησιμοποίηση περισσότερων των 2 ζωοτροφών για λόγους μεγαλύτερης οικονομίας και ελαχιστοποίησης του κινδύνου εξάρτησης από λίγες πρώτες ύλες αυτής της φύσεως. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η κατάρτιση του μείγματος βάσει της μεθόδου των **λογιστικών τετραγώνων**, όπου χρησιμοποιούνται κατ' ελάχιστον 3 ζωοτροφές.

Για να επιλυθεί το πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο, επιλέγονται 4 ζωοτροφές (Α,Β,Γ,Δ) και χωρίζονται σε 2 ζεύγη (Πρόμειγμα Ι & ΙΙ). Σε κάθε ζεύγος, επιδιώκεται η μία τροφή να έχει υψηλότερο (του ζητούμενου) ενεργειακό περιεχόμενο και η άλλη χαμηλότερο. Επίσης, πρέπει το ένα ζεύγος να έχει τελικά μεγαλύτερη (της ζητούμενης) περιεκτικότητα σε ΟΑΟ και το άλλο μικρότερη.

Για το πρόμειγμα Ι με επιθυμητό συντελεστή ενεργειακού περιεχομένου Ε

Συμμετέχουν οι τροφές:

Ζωοτροφή Α με συντελεστή ενεργειακού περιεχομένου x

Ζωοτροφή Β με συντελεστή ενεργειακού περιεχομένου y

- Αρχικά αφαιρείται ο συντελεστής Ε από τον x και προκύπτει ο συντελεστής a
- Κατόπιν αφαιρείται ο συντελεστής y από τον Ε και προκύπτει ο συντελεστής b
- Προστίθεται ο συντελεστής a με τον b
- Το πηλίκο $[a/(a+b)]$ δίνει το ποσοστό συμμετοχής της ζωοτροφής Β στο πρόμειγμα Ι
- Το πηλίκο $[b/(a+b)]$ δίνει το ποσοστό συμμετοχής της ζωοτροφής Α στο πρόμειγμα Ι

Για το πρόμειγμα ΙΙ με επιθυμητό συντελεστή ενεργειακού περιεχομένου Λ

Συμμετέχουν οι τροφές:

Ζωοτροφή Γ με συντελεστή ενεργειακού περιεχομένου x

Ζωοτροφή Δ με συντελεστή ενεργειακού περιεχομένου y

- Αρχικά αφαιρείται ο συντελεστής Λ από τον x και προκύπτει ο συντελεστής c
- Κατόπιν αφαιρείται ο συντελεστής y από τον Λ και προκύπτει ο συντελεστής d
- Προστίθεται ο συντελεστής c με τον d
- Το πηλίκο $[c/(c+d)]$ δίνει το ποσοστό συμμετοχής της ζωοτροφής Δ στο πρόμειγμα ΙΙ
- Το πηλίκο $[d/(c+d)]$ δίνει το ποσοστό συμμετοχής της ζωοτροφής Γ στο πρόμειγμα ΙΙ

Στη συνέχεια, με βάση το ποσοστό συμμετοχής των Α, Β και Γ, Δ, υπολογίζεται ο συντελεστής που εκφράζει την περιεκτικότητα κάθε προμείγματος σε ΟΑΟ. Κατόπιν, όπως παραπάνω, υπολογίζεται με τη μέθοδο των λογιστικών τετραγώνων, η συμμετοχή κάθε προμείγματος στο τελικό μείγμα, με βάση αυτούς του νέους συντελεστές.

Τελικά, ελέγχεται η συνεισφορά όλων των θρεπτικών συστατικών των ζωοτροφών του τελικού μείγματος και εφόσον δεν παραβαίνουν κάποιον από τους περιορισμούς η κατάρτιση του σιτηρεσίου έχει ολοκληρωθεί. Σε διαφορετική περίπτωση, αντικαθίσταται κάποια (ή κάποιες) από τις ζωοτροφές και επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί. (Ζέρβας, 2007, Biovision Foundation, 2010)

Για το παράδειγμα που αναλύεται από την αρχή αυτής της ενότητας, και προκειμένου να καλυφθούν οι υπολειπόμενες ανάγκες, κατασκευάζεται το πρόμειγμα Ι με τις εξής αυθαίρετα επιλεγμένες τροφές:

1. Ενσίρωμα αραβοσίτου* (μικρό ενεργειακό περιεχόμενο)
2. Ηλιάλευρο (μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο)

**Σημ. το ενσίρωμα αραβοσίτου επιλέγεται επί τούτου προκειμένου να αποδειχθεί πως η χρήση χονδροειδών ζωοτροφών σε αυτό το στάδιο δεν είναι απαγορευτική.*

Για το ενσίρωμα, ο συντελεστής ενεργειακού περιεχομένου x ισούται με 2,15. Για το ηλιάλευρο, ο αντίστοιχος συντελεστής y ισούται 6,6. Ο επιθυμητός συντελεστής ενεργειακού περιεχομένου E ισούται με 2,63.

Συνεπώς [$a = x - E = 0,48$] (κατά απόλυτη τιμή), ενώ [$b = y - E = 3,97$] και [$a+b=4,45$]. Το πηλίκο υπολογίζεται σε [$a/(a+b) = 0,48 / 4,45 = 0,108$] ή 10,8%, ενώ το πηλίκο [$b/(a+b) = 3,97 / 4,45 = 89,2$] ή 89,2%.

Το πρόμειγμα αυτό συντίθεται, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, από 89,2% ενσίρωμα αραβοσίτου και 10,8% ηλιάλευρο και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- $\Xi\text{O} = 363,72 \text{ g/kg}$
- $\text{IO} = 66,93 \text{ g/kg}$
- $\text{KE}\Gamma = 2,63 \text{ MJ/kg}$
- $\text{OAO} = 56,48 \text{ g/kg}$

Το πρόμειγμα αυτό χαρακτηρίζεται από μικρή περιεκτικότητα σε ΟΑΟ. Επομένως, πρέπει το πρόμειγμα ΙΙ να παρασκευαστεί με υψηλή περιεκτικότητα σε ΟΑΟ. Για το πρόμειγμα αυτό, επιλέγονται αυθαίρετα οι ζωοτροφές:

1. Βαμβακόπιτα (μικρό ενεργειακό περιεχόμενο)
2. Σογιάλευρο (μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο)

Υπολογίζοντας όπως παραπάνω, δεν προκύπτει καμιά αποδεκτή λύση. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο γιατί το ενεργειακό περιεχόμενο αυτών των δύο τροφών είναι πολύ υψηλότερο από το ζητούμενο (υπολείπονται μόλις 2,63 MJ ΚΕΓ, τη στιγμή που για να καλυφθούν οι ανάγκες σε ΞΟ απαιτείται τουλάχιστον 1,5kg κάποιας ζωοτροφής, και η ζωοτροφή με το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο περιέχει 2,15 MJ ΚΕΓ/kg). Συνεπώς πρέπει να επιλεγεί ένα διαφορετικό ζεύγος ζωοτροφών. Από τις υπόλοιπες, μόνο το ενσίρωμα αραβοσίτου έχει ενεργειακό περιεχόμενο χαμηλότερο από 2,63 MJ ΚΕΓ, το οποίο όμως έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο πρόμειγμα Ι. Σε αυτό το σημείο, η επίλυση του προβλήματος καθίσταται θεωρητικά αδύνατη με τις διαθέσιμες τροφές.

Ωστόσο, η περιεκτικότητα του τελικού μείγματος σε ενέργεια, είναι ένα από τα χαρακτηριστικά του σιτηρεσίου που δεν έχει «αυστηρά» ορισμένο ανώτατο όριο. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή αυτής της ενότητας, το ενεργειακό περιεχόμενο του σιτηρεσίου πρέπει οπωσδήποτε να καλύπτει τις ανάγκες του ζώου, ωστόσο, μικρό πλεόνασμα ενέργειας δεν είναι απαγορευτικό καθώς δεν προκαλεί προβλήματα στην υγεία του ζώου, ούτε επιδρά αρνητικά στη διαδικασία της πέψης.

Επομένως, εάν χρησιμοποιηθούν οι ζωοτροφές αυτές με σκοπό την παρασκευή του προμείγματος ΙΙ, που όμως απαιτείται να έχει ενεργειακό περιεχόμενο 6 MJ (έναντι 2,63 MJ), προκύπτει (με τη μέθοδο των λογιστικών τετραγώνων) μείγμα βαμβακόπιτας 44,26% και σογιάλευρου 55,74% με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ΞΟ = 898 g/kg
- ΙΟ = 148 g/kg
- ΚΕΓ = 6 MJ/kg
- ΟΑΟ = 347,55 g/kg

Τα προμείγματα συνδυάζονται με την ίδια μέθοδο (των λογιστικών τετραγώνων) προκειμένου να προκύψει το τελικό μείγμα περιεκτικότητας 300gr ΟΑΟ/kg.

Υπολογίζοντας όπως παραπάνω, προκύπτει πως το πρόμειγμα Ι συμμετέχει με 16,34% και το πρόμειγμα ΙΙ συμμετέχει με 83,66%. Συνδυασμένα αποφέρουν:

- ΞΟ = 810,7 g/kg
- ΙΟ = 134,76 g/kg
- ΚΕΓ = 5,45 MJ/kg
- ΟΑΟ = 300 g/kg

Επομένως, για να καλυφθούν οι υπολειπόμενες ανάγκες περιεκτικότητας σε ΞΟ του σιτηρεσίου χρειάζονται $(1,26\text{kg} / 0,8107\text{kg/kg}) = 1,56\text{kg}$ από το «μείγμα των δύο προμειγμάτων». Τα 1,56kg συνεισφέρουν:

- ΙΟ = 210,23 g/kg (απαιτούνταν 0,21 – 0,57kg)

- ΚΕΓ = 8,5 MJ/kg (απαιτούνταν τουλάχιστον 2,63MJ, προκύπτει δηλαδή μικρό πλεόνασμα 5,87MJ)
- ΟΑΟ = 468 g/kg (απαιτούνταν τουλάχιστον 300 g/kg)

Συμπερασματικά, το τελικό σιτηρέσιο συντίθεται από τις ζωοτροφές του 1^{ου} και του 2^{ου} σταδίου και αποτελείται από:

1. $20\text{kg} + (1,56\text{kg} \times 16,34\% \times 89,2\%) = \mathbf{20,23\text{kg}}$ ενσίρωμα αραβοσίτου
2. **2kg** άχυρο σίτου
3. $1,56\text{kg} \times 16,34\% \times 10,8\% = \mathbf{0,03\text{kg}}$ ηλιάλευρο
4. $1,56\text{kg} \times 83,66\% \times 44,26\% = \mathbf{0,58\text{kg}}$ βαμβακόπιτα
5. $1,56\text{kg} \times 83,66\% \times 55,74\% = \mathbf{0,73\text{kg}}$ σογιάλευρο

και κοστίζει **1,5291€ζώο/ημέρα** καλύπτοντας πλήρως τις ανάγκες του ζωικού οργανισμού, και προσφέροντας μικρό πλεόνασμα ενέργειας και ΟΑΟ.

Πίνακας 6: Η συμμετοχή των ζωοτροφών στο τελικό σιτηρέσιο

| Ζωοτροφή | Άχυρο σιτ. | Ενσιρ. Αραβ. | Σογιάλευρο | Βαμβακόπ. | Ηλιάλ. |
|----------------------------|------------|--------------|------------|-----------|--------|
| Συμμετοχή (kg) | 2 | 20,23 | 0,73 | 0,58 | 0,03 |
| Κόστος (€/kg) | 0,09 | 0,05 | 0,32 | 0,17 | 0,18 |
| Συνολικό κόστος (€) | 1,5291 | | | | |

Πίνακας 7: Η περιεκτικότητα του τελικού σιτηρεσίου σε θρεπτικά συστατικά

| Θρεπτικό συστατικό | Περιεκτικότητα (gr) | Ελαχ. απαιτήσεις |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| ΞΟ από ΧΖ | 7809 | 6000 |
| Συνολική ΞΟ | 9011,8 | 9000 |
| ΙΟ | 2070,81 | 2000 |
| MJ ΚΕΓ | 57,272 | 51,35 |
| ΟΑΟ | 1060,46 | 890 |
| Θρεπτικό συστατικό | Περιεκτικότητα (gr) | Μέγιστες απαιτήσεις |
| ΙΟ | 2070,81 | 2430 |

Σημ. Εάν το πλεόνασμα θρεπτικών συστατικών και ενέργειας είναι εξ' ορισμού μη επιθυμητό, το «πρόβλημα» μπορεί να λυθεί με δύο τρόπους. Ο προφανής είναι να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές ζωοτροφές που να είναι καταλληλότερες για την περίπτωση. Εάν κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό (ή «απαγορεύεται» εξ' ορισμού), μπορεί κανείς να επιστρέψει στο 1^ο στάδιο της λύσης, εκείνο δηλαδή που ασχολείται με τις χονδροειδείς ζωοτροφές, και να επιλέξει μια διαφορετική (πλην όμως αποδεκτή) λύση. Αυτή η ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε κατάρτιση σιτηρεσίου «αυστηρών» προδιαγραφών, που όμως δεν είναι το πλέον ανταγωνιστικό από πλευράς κόστους (κατά πάσα πιθανότητα). Στην πράξη, η επίλυση τέτοιων «προβλημάτων» είναι (σχεδόν) πάντα δυνατή λόγω πλειάδας διαθέσιμων ζωοτροφών. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις λίγων εναλλακτικών επιλογών, οι παραγωγοί συνήθως «προτιμούν» να

εφοδιάζουν τους ζωικούς οργανισμούς με ελαφρώς πλεονασματικά σιτηρέσια, ειδικά στις περιπτώσεις εκείνες που τέτοια σιτηρέσια κοστίζουν τελικώς φθηνότερα.

B) Επίλυση με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού

Η κατάρτιση σιτηρεσίων με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προϋποθέτει οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών, τουλάχιστον ως προς την περιεκτικότητά τους στα κυριότερα θρεπτικά συστατικά και το ενεργειακό τους περιεχόμενο. Πρακτικά ωστόσο, η πλήρης οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών, είναι σχεδόν αδύνατο να πραγματοποιηθεί σε εύλογο χρονικό διάστημα, χωρίς τη χρήση Η/Υ ή να βασιστεί αποκλειστικά στην εμπειρία του υπεύθυνου διατροφής. Στην πράξη, η οικονομική αξιολόγηση πρέπει να έχει περισσότερα από 2-3 κριτήρια, καθώς τα θρεπτικά συστατικά των ζωοτροφών είναι πολυάριθμα, και κάποια από αυτά είναι ιδιαίτερος υψηλού κόστους (για παράδειγμα, ορισμένα απαραίτητα αμινοξέα).

Συνεπώς, για να καταρτιστεί ένα σιτηρέσιο πραγματικά ανταγωνιστικού κόστους, πρέπει να συνεκτιμηθούν οι διαθέσιμες ζωοτροφές και τα χαρακτηριστικά τους, το ύψος των αναγκών του εκάστοτε ζώου, και προφανώς η τιμή αγοράς των ζωοτροφών. Ένα τέτοιο σύστημα που συνυπολογίζει όλους αυτούς τους παράγοντες ταυτόχρονα, παρουσιάζεται και οργανώνεται ως πρόβλημα **γραμμικού προγραμματισμού**.

Η κατάρτιση σιτηρεσίων ανήκει στην κατηγορία εκείνη των γραμμικών προβλημάτων που επιδέχονται πολλές λύσεις. Αυτό συμβαίνει διότι οι προδιαγραφές των σιτηρεσίων των ζώων σπάνια είναι ορισμένες επακριβώς. Συνήθως δίνονται με ένα μικρό εύρος. Για παράδειγμα, στο πρόβλημα που αναλύεται παραπάνω, οι ανάγκες του ζώου σε ΞΟ από τις χονδροειδείς ζωοτροφές είναι τουλάχιστον 6kg, αλλά μπορεί να διατραφεί με σχεδόν 9kg χωρίς να επηρεάζεται η υγεία και η παραγωγικότητά του. Επιπρόσθετα, οι διαθέσιμες τροφές είναι στην πραγματικότητα πολυάριθμες και οι συνδυασμοί αυτών που δίνουν «κατάλληλα» σιτηρέσια είναι πάρα πολλοί.

Εάν από όλες τις αποδεκτές λύσεις πρέπει να επιλεγεί μία, αυτό γίνεται με προσθήκη στο πρόβλημα περισσότερων περιορισμών. Ο συνηθέστερος από αυτούς, είναι εκείνος που ορίζει το οικονομικότερο σιτηρέσιο να είναι η **άριστη λύση** του συστήματος.

Ο γραμμικός προγραμματισμός επιλύει τέτοιας φύσεως προβλήματα, αναζητώντας μεταξύ των λύσεων εκείνη που χαρακτηρίζεται άριστη, και χρησιμοποιείται για την κατάρτιση σιτηρεσίων από το 1953 και τον Waugh στις ΗΠΑ. Στην Ευρώπη χρησιμοποιήθηκε για τον ίδιο σκοπό από τους Weinschenk & Neander το 1959 και στην Ελλάδα από τους Αντωνέα και Καλαϊσάκη το 1963. (Αντωνέας & Καλαϊσάκης, 1964)

Ο γραμμικός προγραμματισμός, δηλαδή, είναι η διαδικασία εκείνη «εύρεσης» μιας λύσης μιας γραμμικής συνάρτησης, η οποία πρέπει να «σέβεται» (μαθηματικά) ένα σύνολο ανισοτήτων, επίσης γραμμικών. Με άλλα λόγια, η μεθοδολογία του γραμμικού προγραμματισμού χρησιμοποιείται προκειμένου να αριστοποιήσουμε (ελαχιστοποιώντας ή μεγιστοποιώντας) μια γραμμική συνάρτηση η οποία υπόκειται σε γραμμικούς περιορισμούς.

Στην οικονομία, ο γραμμικός προγραμματισμός είναι μια χρήσιμη τεχνική λήψης αποφάσεων, αφού μπορεί να ασχοληθεί με την κατανομή των (λογικά περιορισμένων) πόρων μιας επιχείρησης σε ανταγωνιστικές δραστηριότητες, κατά τρόπο τέτοιο που να οδηγεί σε βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα. Ο όρος «προγραμματισμός» δε, έχει την έννοια του σχεδιασμού των δραστηριοτήτων του συστήματος που περιγράφει, με σκοπό να «προκύψει» το άριστο αποτέλεσμα στο εκάστοτε πρόβλημα. Γενικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προτυποποίηση και την επίλυση προβλημάτων, φαινομενικά άσχετων με το γραμμικό προγραμματισμό, καθώς πολλά προβλήματα στην οικονομία μπορούν να αναχθούν («μετατραπούν») σε γραμμικά. Η πρώτη μαθηματική διατύπωση γραμμικών προβλημάτων, αλλά και η πρώτη συστηματική διαδικασία επίλυσης αυτών με τη λεγόμενη «μέθοδο **Simplex**», οφείλεται στον G. B. **Dantzig** το 1947.

Το γραμμικό υπόδειγμα αποτελείται πρακτικά από 3 στοιχεία:

- Τις μεταβλητές του προβλήματος
- Τους περιορισμούς στις μεταβλητές ώστε να ικανοποιούνται όλες οι συνθήκες του προβλήματος, και
- Τον αντικειμενικό στόχο που πρέπει να επιτευχθεί

Ο σκοπός της χρησιμοποίησης του γραμμικού προγραμματισμού στην κατάρτιση σιτηρεσίων είναι η ελαχιστοποίηση μιας συνάρτησης Y , που εκφράζει το χρηματικό κόστος του σιτηρεσίου (τιμή αγοράς των ζωοτροφών) και είναι της μορφής:

$$Y = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_v X_v$$

όπου το Y είναι η τελική χρηματική αξία που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, το α είναι η χρηματική αξία 1kg κάθε μίας ζωοτροφής (από 1 έως v) και το X είναι η ποσότητα με την οποία μετέχει κάθε μία ζωοτροφή στο τελικό μείγμα (από 1 έως v).

Οι μεταβλητές X , όπως ορίζονται παραπάνω, συνδέονται με τους περιορισμούς του προβλήματος («προδιαγραφές του σιτηρεσίου») με σειρά γραμμικών ανισοτήτων και (κατά το δυνατόν) λιγότερων ισοτήτων. Επίσης, καμιά μεταβλητή X δεν μπορεί να πάρει αρνητική τιμή. Συνεπώς, η γενική μορφή τέτοιων προβλημάτων κατάρτισης σιτηρεσίων διατυπώνεται ως εξής:

Να βρεθούν οι τιμές $X_i \geq 0$ (όπου $i = 1, 2, \dots, v$)

ώστε $\sum_{i=1}^n aiXi = \min$, χωρίς να παραβιάζεται κανένας από τους περιορισμούς του προβλήματος.

Η λύση ενός τέτοιου προβλήματος πραγματοποιείται με τον αλγόριθμο του Dantzig (μοναδιαία μήτρα), η εφαρμογή του οποίου συνεχώς επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η τιμή Y της ανωτέρω συνάρτησης δεν επιδέχεται περαιτέρω μείωσης. Έχει δηλαδή βρεθεί η λύση εκείνη που μειώνει το κόστος κατά το μέγιστο δυνατό, σύμφωνα με τους περιορισμούς του προβλήματος.

Εφόσον το πρόβλημα έχει πράγματι λύση, κάτι που εξαρτάται προφανώς από την πληθώρα και το είδος των περιορισμών που έχουν τεθεί αλλά και την ορθή διατύπωση του προβλήματος, η άριστη λύση προκύπτει μετά από τόσες επαναλήψεις όσες είναι περίπου οι ανισότητες του προβλήματος επί δύο. Για το λόγο αυτό, και επειδή κάθε επανάληψη προϋποθέτει πλήθος μαθηματικών πράξεων, η κατάρτιση σιτηρεσίων με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού σχεδόν «απαιτεί» τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. (Ζέρβας, 2007)

B1) Επίλυση με χρήση του αλγόριθμου Simplex

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος αναπαράστασης (ή η γενική μορφή) ενός γραμμικού προβλήματος είναι ο εξής:

Μεγιστοποίηση της σχέσης $p = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ (αντικειμενική συνάρτηση) με τους εξής περιορισμούς:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \{ \geq, =, \leq \} b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \{ \geq, =, \leq \} b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \{ \geq, =, \leq \} b_m$$

$$x_j \geq 0 \text{ όπου } j = 1, 2, \dots, n$$

Για παράδειγμα:

Μεγιστοποίηση της σχέσης $p = 2x - 3y + z$ με τους εξής περιορισμούς:

$$x + y + z \leq 10$$

$$4x - 3y + z \leq 3$$

$$2x + y - z \leq 10$$

$$x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$$

Για να επιλυθεί το ανωτέρω παράδειγμα αλγεβρικά, εισάγουμε στο πρόβλημα μεταβλητές τέτοιες ώστε κάθε περιορισμός να μετατραπεί από ανισότητα σε ισότητα. Οι μεταβλητές αυτές καλούνται «άεργες» (slack variables). Η νέα μορφή του παραδείγματος είναι η εξής:

$$x + y + z + s = 10$$

$$4x - 3y + z + t = 3$$

$$2x + y - z + u = 10$$

ενώ η αντικειμενική συνάρτηση λαμβάνει τη μορφή: $-2x + 3y - z + p = 0$.

Η διαδικασία της επίλυσης γίνεται με τη βοήθεια διαδοχικών πινάκων Simplex σύμφωνα με την ανάλογη μεθοδολογία.

Σημ.: Η ακριβής περιγραφή της μεθοδολογίας ξεφεύγει από τα όρια των στόχων αυτής της μελέτης. Για περισσότερες πληροφορίες προτείνεται η παραπομπή στη σχετική βιβλιογραφία.

Οι άεργες μεταβλητές, όταν επιτευχθεί η άριστη λύση, μπορούν να πάρουν τιμές θετικές ή μηδέν. Όταν για παράδειγμα επιλύεται ένα γραμμικό πρόβλημα που αφορά διαδικασίες παραγωγής μιας επιχείρησης, οι άεργες μεταβλητές που λαμβάνουν τιμή μηδέν, υποδηλώνουν πως ο παραγωγικός συντελεστής (που προφανώς αναπαριστούν) έχει εξαντληθεί πλήρως και επομένως είναι «κρίσιμος». Αντίθετα, όταν λάβουν τιμές μεγαλύτερες του μηδενός, υποδηλώνουν την «ποσότητα» του παραγωγικού συντελεστή που δεν αξιοποιείται.

Ένας περιορισμός που καθίσταται ισότητα από την άριστη λύση, καλείται δεσμευτικός. Σε αντίθετη περίπτωση, χαρακτηρίζεται χαλαρός.

Πέραν αυτής της «τυπικής» μορφής των γραμμικών προβλημάτων που περιγράφεται παραπάνω, είναι δυνατή η επίλυση προβλημάτων που δεν ακολουθούν αυτή τη δομή. Για να επιλυθούν, πρώτο μέλημα είναι η μετατροπή τους σε «τυπική μορφή». Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι αυτό των προβλημάτων ελαχιστοποίησης. Φερ' ειπείν, εάν το ανωτέρω παράδειγμα επεδίωκε την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης, θα ήταν της μορφής:

Ελαχιστοποίηση της σχέσης $p = 2x - 3y + z$ με τους εξής περιορισμούς:

$$x + y + z \leq 10$$

$$4x - 3y + z \leq 3$$

$$2x + y - z \leq 10$$

$$x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$$

Το πρόβλημα αυτό για να επιλυθεί με τη συνηθισμένη μεθοδολογία πρέπει να μετατραπεί σε γραμμικό πρόβλημα τυπικής μορφής, δηλαδή σε πρόβλημα μεγιστοποίησης. Τούτο μπορεί εύκολα να γίνει με το εξής τέχνασμα: αντί να επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (p), επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της συνάρτησης ($-p$). Έτσι, το πρόβλημα λαμβάνει τη μορφή:

Μεγιστοποίηση της σχέσης $q = (-p) = -2x + 3y - z$ με τους εξής περιορισμούς:

$$x + y + z \leq 10$$

$$4x - 3y + z \leq 3$$

$$2x + y - z \leq 10$$

$$x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$$

και επιλύεται σύμφωνα με τη γνωστή μεθοδολογία.

Παρακάτω, επιλύεται το ίδιο πρόβλημα που αναλύθηκε στην ενότητα των ελαχίστων τετραγώνων, με τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού.

Η επίλυση του προβλήματος κατάρτισης του σιτηρεσίου της προηγούμενης ενότητας είναι ένα τυπικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους. Για να επιλυθεί, πρέπει αρχικά να εκφραστεί αλγεβρικά. Η αντικειμενική συνάρτηση και οι γραμμικοί περιορισμοί, αρχικά έχουν την ακόλουθη μορφή:

- Οι ποσότητες των ζωοτροφών στο τελικό μείγμα συμβολίζονται με: $k, l, m, r, s, t, u, v, w, x, y, z$
- Το κόστος παρασκευής του σιτηρεσίου (€/kg) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $0,15k + 0,09l + 0,05m + 0,18r + 0,17s + 0,17t + 0,16u + 0,15v + 0,14w + 0,32x + 0,17y + 0,18z = -p$
- Ο 1^{ος} περιορισμός αφορά την ελάχιστη περιεκτικότητα σε Ξ.Ο. από χονδροειδείς ζωοτροφές και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $860k + 870l + 300m \geq 6000$
- Ο 2^{ος} περιορισμός αφορά την ελάχιστη περιεκτικότητα σε Ξ.Ο. και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $860k + 870l + 300m + 880r + 860s + 870t + 870u + 900v + 900w + 900x + 895y + 890z \geq 9000$
- Ο 3^{ος} περιορισμός αφορά την ελάχιστη περιεκτικότητα σε Ι.Ο. και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $310k + 400l + 53m + 22r + 48s + 26t + 103u + 155v + 126w + 62x + 255y + 182z \geq 2000$
- Ο 4^{ος} περιορισμός αφορά την ελάχιστη περιεκτικότητα σε ενέργεια και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $3,7k + 2,86l + 2,15m + 8r + 7,6s + 7,9t + 5,75u + 6,6v + 6,7w + 7,35x + 4,3y + 6,6z \geq 51,35$

- Ο 5^{ος} περιορισμός αφορά την ελάχιστη περιεκτικότητα σε Ο.Α.Ο. και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $130k + 25l + 27m + 85r + 106s + 112t + 160u + 90v + 59w + 425x + 250y + 300z \geq 890$
- Ο 6^{ος} περιορισμός αφορά τη μέγιστη περιεκτικότητα σε Ι.Ο. και εκφράζεται από τη σχέση:
 - $310k + 400l + 53m + 22r + 48s + 26t + 103u + 155v + 126w + 62x + 255y + 182z \leq 2430$

Προκειμένου να λάβει η αντικειμενική συνάρτηση την τυπική μορφή, αλλά και να εισαχθούν οι «άεργες» μεταβλητές, το πρόβλημα λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

- Η αντικειμενική συνάρτηση τροποποιείται ως εξής:
 - $0,15k + 0,09l + 0,05m + 0,18r + 0,17s + 0,17t + 0,16u + 0,15v + 0,14w + 0,32x + 0,17y + 0,18z + p = 0$
- Ενώ οι περιορισμοί λαμβάνουν την ακόλουθη δομή:
 - $860k + 870l + 300m -s1 = 6000$
 - $860k + 870l + 300m + 880r + 860s + 870t + 870u + 900v + 900w + 900x + 895y + 890z -s2 = 9000$
 - $310k + 400l + 53m + 22r + 48s + 26t + 103u + 155v + 126w + 62x + 255y + 182z -s3 = 2000$
 - $3,7k + 2,86l + 2,15m + 8r + 7,6s + 7,9t + 5,75u + 6,6v + 6,7w + 7,35x + 4,3y + 6,6z -s4 = 51,35$
 - $130k + 25l + 27m + 85r + 106s + 112t + 160u + 90v + 59w + 425x + 250y + 300z -s5 = 890$
 - $310k + 400l + 53m + 22r + 48s + 26t + 103u + 155v + 126w + 62x + 255y + 182z +s6 = 2430$

όπου s1-s6 οι άεργες μεταβλητές.

Τώρα που το πρόβλημα έχει την τυπική μορφή ενός προβλήματος μεγιστοποίησης, επιλύεται με διαδοχικούς πίνακες Simplex. (βλ. Παράρτημα 1)

Η αντικειμενική συνάρτηση (-p) μετά τον τελικό πίνακα λαμβάνει τιμή -1,33023, δηλαδή το κόστος του μείγματος του σιτηρεσίου στην άριστη λύση είναι **1,33023€ζώο/ημέρα**.

Οι τροφές συμμετέχουν στο τελικό μείγμα με τις ακόλουθες ποσότητες:

Πίνακας 8: Σύνθεση του τελικού σιτηρεσίου (kg)

| <i>Άχυρο σίτου</i> | <i>Ενσίρωμα αραβ</i> | <i>Πίτυρα σίτου</i> | <i>Στέμφουλα εσπ.</i> | <i>Ηλιάλευρο</i> |
|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| 3,7941 | 8,9972 | 1,5937 | 1,0093 | 0,7923 |

Ο τελικός πίνακας Simplex δίνει και τις δυικές τιμές κάθε μεταβλητής. Για τις τροφές δίνονται οι τιμές:

Πίνακας 9: Δυικές τιμές ζωοτροφών

| Ζωοτροφή | Δ. τιμή |
|-----------------|----------------|
| Σανός μηδ | 0,02369 |
| Καρπός αραβ | 0,01933 |
| Καρπός κριθ | 0,01273 |
| Καρπός σίτου | 0,00594 |
| Στέμφυλα ζαχ. | 0,00840 |
| Σογιάλευρο | 0,09104 |
| Βαμβακόπιτα | 0,01346 |

που δηλώνουν τη μεταβολή που πρέπει να υποστούν τα κόστη των ζωοτροφών, προκειμένου να συμμετάσχουν στο μείγμα. Οι δυικές τιμές των άεργων μεταβλητών δηλώνουν τη μεταβολή που θα επιφέρει στην αντικειμενική συνάρτηση η μεταβολή τους κατά 1 μονάδα και είναι οι εξής:

Πίνακας 10: Δυικές τιμές άεργων μεταβλητών

| | |
|----|-----------|
| s1 | 0,000012 |
| s2 | 0,000161 |
| s3 | 0,000000 |
| s4 | 0,000544 |
| s5 | 0,000212 |
| s6 | -0,000170 |

Σημ.: Περαιτέρω επεξήγηση των δυικών τιμών πραγματοποιείται στην επόμενη ενότητα.

B2) Επίλυση με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού στον Η/Υ

Στον Η/Υ, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει μια πληθώρα προγραμμάτων γραμμικού προγραμματισμού. Απλών και εξειδικευμένων, ελεύθερων και εμπορικών, αυτόνομων εφαρμογών και «πρόσθετων» (plug-ins) σε άλλα μεγαλύτερα πακέτα εφαρμογών. Στο (ελληνικό) εμπόριο, διατίθενται εξειδικευμένα εμπορικά πακέτα κατάρτισης σιτηρεσίων με υψηλό συνήθως αντίτιμο, και δυστυχώς χαμηλής αξιοπιστίας και προσαρμοστικότητας (δεν είναι δυνατή, για παράδειγμα, η καταχώρηση στις βάσεις δεδομένων μιας νέας ζωοτροφής – πολλά χαρακτηριστικά είναι «κλειδωμένα»).

Αυτά, αποτελούνται συνήθως από 4 μέρη:

1. Βάση δεδομένων ζωοτροφών: περιλαμβάνει πλήθος ζωοτροφών και τις περιεκτικότητές τους σε θρεπτικά συστατικά.

2. Βάση δεδομένων αναγκών αγροτικών ζώων: περιλαμβάνει τις ανάγκες πολλών κατηγοριών αγροτικών ζώων σε ενέργεια και θρεπτικά συστατικά ανάλογα με την ηλικία, το φύλο, τη φυλή, το στάδιο ανάπτυξης κλπ.
3. Βάση δεδομένων ειδικών σχέσεων και περιορισμών: περιλαμβάνει σχέσεις που πρέπει να τηρούνται και αφορούν θρεπτικά συστατικά, καθώς και περιορισμούς που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατάρτιση σιτηρεσιών.
4. Πρόγραμμα γραμμικού προγραμματισμού: το κυρίως πρόγραμμα και ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί για την κατάρτιση των σιτηρεσιών.

Ένα «ιδανικό» πρόγραμμα κατάρτισης σιτηρεσιών με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού, οφείλει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τροποποιήσιμη βάση δεδομένων ζωοτροφών: η καλλιέργεια νέα ποικιλιών φυτών και η βελτίωση παλαιών δημιουργεί την ανάγκη για συνεχή διόρθωση των θρεπτικών συστατικών που αυτά περιέχουν. Επίσης, η ίδια ποικιλία φυτού αποδίδει διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή και ενδέχεται να τροποποιείται ελαφρώς η περιεκτικότητά του σε κάποια θρεπτικά συστατικά.
- Τροποποιήσιμη βάση δεδομένων διατροφικών αναγκών: οι ανάγκες των ζώων διαφοροποιούνται ανάλογα με τη φυλή αλλά και τις γενικότερες συνθήκες εκτροφής. Υπάρχει ανάγκη μικρής τροποποίησης των προδιαγραφών του σιτηρεσιού ανάλογα με την εκτρεφόμενη φυλή (ή υποφυλή) και το περιβάλλον στο οποίο αυτή εκτρέφεται (κλίμα, εντατική – εκτατική εκτροφή, παράγοντες stress, κλπ).
- Αξιόπιστο πρόγραμμα γραμμικού προγραμματισμού: τα περισσότερα εμπορικά προγράμματα είναι βασισμένα στον ενσωματωμένο αλγόριθμο επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού του Microsoft Excel. Σε απλά γραμμικά προβλήματα περιορισμένης έκτασης, ο ενσωματωμένος αλγόριθμος Simplex μάλλον κρίνεται κατάλληλος, όσο όμως η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνει, οι δυνατότητες του Excel συνήθως δεν επαρκούν.

B2-I) Επίλυση με χρήση του Solver του Microsoft Excel

Χρησιμοποιώντας το απλούστερο πρόγραμμα που έχει κανείς στη διάθεσή του, το Solver του Microsoft Excel 2010 (αναπτύσσεται από την εταιρεία *Frontline Systems Inc.*) και τον ενσωματωμένο αλγόριθμο Simplex, εισάγονται, με κατάλληλο τρόπο, τα στοιχεία των ζωοτροφών αλλά και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού σιτηρεσιού. Κατόπιν, εισάγονται όλοι οι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να διασφαλιστεί η υγεία του ζώου.

Σημ. Οι δυνατότητες του Microsoft Excel και του Solver επαρκούν για αυτό το απλοποιημένο πρόβλημα. Λόγω της περιορισμένης πολυπλοκότητας του προβλήματος και του μικρού πλήθους των περιορισμών, δεν τίθεται θέμα αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Ο πίνακας των ζωοτροφών είναι όπως παραπάνω (Πίνακας 1, στην ενότητα των λογιστικών τετραγώνων).

Οι αρχικές τιμές που υποδηλώνουν τη συμμετοχή (σε κιλά) κάθε ζωοτροφής στο τελικό μείγμα είναι μηδέν. Στην επόμενη γραμμή του πίνακα, εισάγεται το κόστος κάθε ζωοτροφής ανά κιλό και τελικά η **αντικειμενική συνάρτηση** (το συνολικό κόστος του σιτηρεσίου), η οποία αρχικά παίρνει τιμή μηδέν. Κατόπιν, τοποθετούνται σε πίνακα όλα τα χαρακτηριστικά εκείνα των ζωοτροφών (περιεκτικότητα σε ενέργεια, ΞΟ, κλπ) που υπόκεινται σε περιορισμούς, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του σιτηρεσίου και τις ιδιαιτερότητες των ζώων. Τελικά, δεξιά από τον πίνακα τοποθετούνται τα όρια τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κατάρτιση του σιτηρεσίου. Ορισμένα από αυτά δηλώνουν τη μέγιστη (max) τιμή που μπορεί να λάβει μια ανισότητα που υπολογίζει την περιεκτικότητα κάποιου συστατικού στο τελικό μείγμα, ενώ άλλα την ελάχιστη (min) τιμή.

Πίνακας 11: Δεδομένα ζωοτροφών (κελιά B4-M11) και περιορισμοί του προβλήματος (κελιά A6-A11 & P6-P11)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|---------------|---|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|-----------|----------|------|-------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | Σανός μηδ | Άχυρο σίτου | Ενσίρωμα αραβ | Καρπός αραβ | Καρπός κριθ | Καρπός σίτου | Πίτυρα σίτου | Στέμφυλα ζαχ. | Στέμφυλα εσπ. | Σογιάλευρο | Βαμβακόπιτα | Ηλιόλευρο | | | |
| 3 values | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| 4 cost | | 0,15 | 0,09 | 0,05 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,32 | 0,17 | 0,18 | tot cost | | 0 |
| 5 constraints | | | | | | | | | | | | | | LHS | sign | RHS |
| 6 min XZ | | 860 | 870 | 300 | | | | | | | | | | 0 | >= | 6000 |
| 7 ΞΟ (g/kg) | | 860 | 870 | 300 | 880 | 860 | 870 | 870 | 900 | 900 | 900 | 895 | 890 | 0 | >= | 9000 |
| 8 ΙΟ (g/kg) | | 310 | 400 | 53 | 22 | 48 | 26 | 103 | 155 | 126 | 62 | 255 | 182 | 0 | >= | 2000 |
| 9 MJ KEF/kg | | 3,7 | 2,86 | 2,15 | 8 | 7,6 | 7,9 | 5,75 | 6,6 | 6,7 | 7,35 | 4,3 | 6,6 | 0 | >= | 51,35 |
| 10 ΟΑΟ g/kg | | 130 | 25 | 27 | 85 | 106 | 112 | 160 | 90 | 59 | 425 | 250 | 300 | 0 | >= | 890 |
| 11 ΙΟ | | 310 | 400 | 53 | 22 | 48 | 26 | 103 | 155 | 126 | 62 | 255 | 182 | 0 | <= | 2430 |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Πίνακας 12: Η αντικειμενική συνάρτηση (πλαίσιο) είναι το άθροισμα του κόστους της ποσοτικής συμμετοχής κάθε ζωοτροφής στο τελικό μείγμα και είναι «τοποθετημένη» στο κελί O3. Το κόστος κάθε ζωοτροφής φαίνεται στα κελιά της γραμμής 4, ενώ η ποσότητα με την οποία συμμετέχει στο τελικό μείγμα στα κελιά της γραμμής 3 (αρχικά έχουν όλα τιμή μηδέν)

| O4 | | fx {=SUMPRODUCT(B3:M3;B4:M4)} | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|-----------|----------|---|--|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | Σανός μηδ | Άχυρο σίτου | Ενσίρωμα αραβ | Καρπός αραβ | Καρπός κριθ | Καρπός σίτου | Πίτυρα σίτου | Στέμφυλα ζαχ. | Στέμφυλα εσπ. | Σογιάλευρο | Βαμβακόπιτα | Ηλιόλευρο | | | |
| 3 values | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| 4 cost | | 0,15 | 0,09 | 0,05 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,32 | 0,17 | 0,18 | tot cost | 0 | |

Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα, δηλώνεται ο επιθυμητός αλγόριθμος επίλυσης, Simplex, και η «κατεύθυνση» που πρέπει να λάβει η αντικειμενική συνάρτηση. Στην προκειμένη περίπτωση πρέπει να ελαχιστοποιηθεί το κόστος παρασκευής του μείγματος του σιτηρεσίου. Μετά την επίλυση, ο Πίνακας 11 παίρνει την ακόλουθη μορφή:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|----|-------------|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|-------------|-----------|----------|---------|-------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | Σανός μηδ | Άχυρο σίτου | Ενσίρωμα αραβ | Καρπός αραβ | Καρπός κριθ | Καρπός σίτου | Πίτυρα σίτου | Στέμφυλα ζαχ. | Στέμφυλα εσπ. | Σογιάλευρο | Βαμβακόπιτα | Ηλιάλευρο | | | |
| 3 | values | 0,00 | 3,79 | 9,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,59 | 0,00 | 1,01 | 0,00 | 0,00 | 0,79 | | | |
| 4 | cost | 0,15 | 0,09 | 0,05 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,32 | 0,17 | 0,18 | tot cost | 1,33023 | |
| 5 | constraints | | | | | | | | | | | | | LHS | sign | RHS |
| 6 | min XZ | 860 | 870 | 300 | | | | | | | | | | 6000 | >= | 6000 |
| 7 | EO (g/kg) | 860 | 870 | 300 | 880 | 860 | 870 | 870 | 900 | 900 | 900 | 895 | 890 | 9000 | >= | 9000 |
| 8 | IO (g/kg) | 310 | 400 | 53 | 22 | 48 | 26 | 103 | 155 | 126 | 62 | 255 | 182 | 2430 | >= | 2000 |
| 9 | MJ ΚΕΓ/kg | 3,7 | 2,86 | 2,15 | 8 | 7,6 | 7,9 | 5,75 | 6,6 | 6,7 | 7,35 | 4,3 | 6,6 | 51,35 | >= | 51,35 |
| 10 | OAO g/kg | 130 | 25 | 27 | 85 | 106 | 112 | 160 | 90 | 59 | 425 | 250 | 300 | 890 | >= | 890 |
| 11 | IO | 310 | 400 | 53 | 22 | 48 | 26 | 103 | 155 | 126 | 62 | 255 | 182 | 2430 | = < | 2430 |

Παρατηρείται πως κάποιες ζωοτροφές έχουν κριθεί μη συμφέρουσες και έχουν ως εκ τούτου απορριφθεί (δεν συμμετέχουν στο τελικό μείγμα – έχουν λάβει τιμή μηδέν στα κελιά της 3^{ης} γραμμής). Επίσης, το τελικό μείγμα έχει χαρακτηριστικά (κελιά N6-N11) που ταυτίζονται με πολύ μεγάλη ακρίβεια με τις προδιαγραφές που είχαν τεθεί για το σιτηρέσιο (κελιά P6-P11). Το κόστος του σιτηρεσίου είναι υπολογισμένο με ακρίβεια (αντικειμενική συνάρτηση – κελί O4) στο **1,33023€ζώο/ημέρα**.

Οι δυνατότητες του Solver του Excel και του ενσωματωμένου αλγόριθμου Simplex, περιλαμβάνουν επίσης ανάλυση ευαισθησίας των δεδομένων του ανωτέρω προβλήματος. Στην πράξη, το Excel είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να εμφανίζει «καλύτερα» τις δυικές τιμές, διευκολύνοντας την ερμηνεία τους. Μετά την επίλυση, δίδεται η δυνατότητα μέσω του Excel, προβολής του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 13: Ανάλυση ευαισθησίας

| Cell | Name | Final Value | Reduced Cost | Objective Coefficient | Allowable Increase | Allowable Decrease |
|-------|----------------------|-------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| ΒB\$3 | values Σανός μηδ | 0 | 0,0237 | 0,15 | 1E+30 | 0,0237 |
| ΒC\$3 | values Άχυρο σίτου | 3,7941 | 0 | 0,09 | 0,0042 | 0,0141 |
| ΒD\$3 | values Ενσίρωμα αραβ | 8,9972 | 0 | 0,05 | 0,0049 | 0,0014 |
| ΒE\$3 | values Καρπός αραβ | 0 | 0,0193 | 0,18 | 1E+30 | 0,0193 |
| ΒF\$3 | values Καρπός κριθ | 0 | 0,0127 | 0,17 | 1E+30 | 0,0127 |
| ΒG\$3 | values Καρπός σίτου | 0 | 0,0059 | 0,17 | 1E+30 | 0,0059 |
| ΒH\$3 | values Πίτυρα σίτου | 1,5937 | 0 | 0,16 | 0,0007 | 0,0167 |
| ΒI\$3 | values Στέμφυλα ζαχ. | 0 | 0,0084 | 0,15 | 1E+30 | 0,0084 |
| ΒJ\$3 | values Στέμφυλα εσπ. | 1,0093 | 0 | 0,14 | 0,0071 | 0,0012 |
| ΒK\$3 | values Σογιάλευρο | 0 | 0,0910 | 0,32 | 1E+30 | 0,0910 |
| ΒL\$3 | values Βαμβακόπιτα | 0 | 0,0135 | 0,17 | 1E+30 | 0,0135 |
| ΒM\$3 | values Ηλιάλευρο | 0,7923 | 0 | 0,18 | 0,0277 | 0,0018 |

Η χρησιμότητα αυτού του πίνακα στην οικονομική ανάλυση είναι τεράστια καθώς δίνει τις κρίσιμες εκείνες τιμές αγοράς των ζωοτροφών στις οποίες θα αλλάξει (ή θα πρέπει να αλλάξει) η σύσταση του μείγματος προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα μέσω μείωσης του κόστους διατροφής.

Πρακτικά, η στήλη “Final Value” δίνει τη συμμετοχή (σε κιλά) κάθε ζωοτροφής όπως αυτή δίνεται και στον προηγούμενο πίνακα, αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η στήλη “Reduced Cost” δίνει το **κόστος ευκαιρίας**. Δηλώνει πόσο δηλαδή φθηνότερος θα πρέπει να ήταν, για παράδειγμα, ο σανός μηδικής για να

χρησιμοποιηθεί στο μείγμα έναντι κάποιας άλλης ζωοτροφής (ή άλλων ζωοτροφών). Όπως είναι προφανές, η στήλη αυτή περιέχει τιμές μόνο για τις ζωοτροφές που δεν συμμετέχουν στο μείγμα.

Στην πράξη, το κόστος ευκαιρίας έχει μεγάλη οικονομική αξία για τον παραγωγό. Γνωρίζει, για παράδειγμα, πως αν πετύχει (ή «παζαρέψει») μια έκπτωση της τάξης των 0,0059€/kg στον προμηθευτή του καρπού σίτου, θα συμφέρει οικονομικά να αγοράσει αυτή τη ζωοτροφή έναντι κάποιας άλλης. Οι λόγοι για να κάνει κάτι τέτοιο ο εκάστοτε παραγωγός, να επιδιώξει δηλαδή μια εναλλακτική άριστη λύση, είναι πολλοί και δεν είναι απαραίτητα οικονομικοί:

- Ενδέχεται να θεωρεί το συγκεκριμένο προμηθευτή πιο αξιόπιστο έναντι άλλων (χρόνοι παράδοσης, σταθερή ποιότητα προϊόντος, επάρκεια στη διαθεσιμότητα, κλπ).
- Μπορεί ο καρπός σίτου να είναι καταλληλότερη ζωοτροφή για τις συνθήκες αποθήκευσης της μονάδας ή της περιοχής του (θερμοκρασία, υγρασία, παράσιτα, κλπ).
- Ενδέχεται να επεξεργάζεται καλύτερα με το μηχανολογικό εξοπλισμό που ήδη διαθέτει η μονάδα (μύλος ζωοτροφών, αυτόματη ταινία – διάδρομος διανομής σιτηρεσίου, κλπ) αντί μιας ζωοτροφής, που για παράδειγμα, είναι πιο ρευστής μορφής (όπως π.χ. το ενσίρωμα).
- Χρησιμοποιεί τη συγκεκριμένη ζωοτροφή και σε άλλες χρήσεις (π.χ. στη διατροφή άλλων οικόσιτων ζώων που δεν εκτρέφονται για οικονομικό αποτέλεσμα).
- Θέλει να συνεργαστεί με τον προμηθευτή καρπού σίτου για άλλους κοινωνικούς λόγους (φιλίας, συγγένειας, εντοπιότητας, κλπ), χωρίς όμως να ζημιώνεται οικονομικά.
- Παράγει ο ίδιος τη συγκεκριμένη ζωοτροφή και θέλει να γνωρίζει πόσο πρέπει να μειώσει το κόστος παραγωγής της, ώστε να συμφέρει η χρησιμοποίησή της στο σιτηρέσιο (σε περιπτώσεις μεικτών εκμεταλλεύσεων).

Παρόμοιας χρησιμότητας πληροφορίες δίδουν και οι στήλες “Allowable Increase” και “Allowable Decrease”. Η πρώτη, δίνει το ποσό εκείνο της αύξησης της τιμής αγοράς της ζωοτροφής, πέρα από το οποίο θα μεταβληθεί η σύσταση του σιτηρεσίου. Για παράδειγμα, εάν η τιμή αγοράς των πιτύρων σίτου αυξηθεί (ακόμα και ελάχιστα) κατά 0,0007€/kg, τότε πρέπει να αντικατασταθεί με κάποια άλλη. Διαφορετικά, θα επιβαρυνθούν τα οικονομικά αποτελέσματα. Η άλλη στήλη δίνει αντίστοιχα το ποσό εκείνο της μείωσης της τιμής αγοράς έκαστης ζωοτροφής, πέρα από το οποίο θα μεταβληθεί η σύσταση του σιτηρεσίου. Για παράδειγμα το σογιάλευρο, θα χρησιμοποιηθεί στο σιτηρέσιο, έναντι κάποιας άλλης τροφής, μόνο εφόσον η τιμή αγοράς του μειωθεί κατά 0,091€/kg. Παρατηρείται πως η τιμή αυτής της στήλης είναι ίδια με το κόστος ευκαιρίας για τις ζωοτροφές που δεν συμμετέχουν στο μείγμα.

Οι πληροφορίες αυτών των δύο στηλών έχουν επίσης μεγάλη χρησιμότητα και αξία για τον παραγωγό. Στην πρώτη περίπτωση για παράδειγμα, εάν η χρήση πιτύρων σίτου κρίνεται επιτακτική για διάφορους λόγους, μπορεί ο παραγωγός να κρίνει πως πρέπει να «δεσμεύσει» αυτή τη συμφέρουσα τιμή και να αποφύγει δυσάρεστες εκπλήξεις είτε υπογράφοντας κάποιο συμφωνητικό συνεργασίας, είτε προμηθευόμενος έγκαιρα μεγάλες ποσότητες ζωοτροφής, όσο η τιμή παραμένει χαμηλή. Στη δεύτερη περίπτωση, εάν για παράδειγμα εκτιμά πως επίκειται πτώση της τιμής του καρπού σίτου, μπορεί να προμηθευτεί περιορισμένες ποσότητες από τις υπόλοιπες ζωοτροφές εφόσον θεωρεί πως σύντομα θα αλλάξει τη σύσταση του σιτηρεσίου του για να συμπεριλάβει καρπό σίτου σε αυτή.

Πέραν των ανωτέρω πληροφοριών που αφορούν τις ζωοτροφές, το Excel και ο Solver δίνουν και πληροφορίες σχετικές με το σιτηρέσιο στο σύνολό του (τις προδιαγραφές του):

Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά του άριστου σιτηρεσίου

| Cell | Name | Final Value | Shadow Price | Constraint R.H. Side | Allowable Increase | Allowable Decrease |
|---------|-------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| \$N\$6 | min XZ LHS | 6000 | 1,23003E-05 | 6000 | 967,60 | 2478,13 |
| \$N\$7 | ΞO (g) LHS | 9000 | 0,00016 | 9000 | 252,64 | 224,85 |
| \$N\$8 | IO (g) LHS | 2430 | 0 | 2000 | 430 | 1E+30 |
| \$N\$9 | MJ KEΓ LHS | 51,35 | 0,00054 | 51,35 | 2,04 | 2,22 |
| \$N\$10 | ΟΑΟ (g) LHS | 890 | 0,00021 | 890 | 192,14 | 261,89 |
| \$N\$11 | IO (g) LHS | 2430 | -0,00017 | 2430 | 156,32 | 164,37 |

Σύμφωνα με τον ανωτέρω πίνακα, εάν οι προδιαγραφές του σιτηρεσίου μεταβληθούν αναφορικά για την περιεκτικότητά του σε ινώδεις ουσίες (IO), για παράδειγμα, οι ζωοτροφές που χρησιμοποιούνται στο δείγμα δεν θα αλλάξουν, εάν απαιτηθεί αύξηση της περιεκτικότητας κατά 156,32 g το πολύ ή μείωση κατά 164,37g το πολύ. Το μείγμα θα αποτελείται από τις ίδιες ζωοτροφές αλλά σε διαφορετική αναλογία.

Ο ανωτέρω πίνακας δίνει επίσης και τη **σκιώδη τιμή (Shadow Price)** για κάθε προδιαγραφή του σιτηρεσίου. Η τιμή αυτή δηλώνει πόσο θα αυξηθεί το κόστος του τελικού σιτηρεσίου εάν απαιτηθεί μια μονάδα αύξηση σε κάποια από τις περιεκτικότητες των συστατικών. Για παράδειγμα, εάν απαιτηθεί σιτηρέσιο περιεκτικότητας 52,35 MJ KEΓ (αντί 51,35 MJ KEΓ), τότε το κόστος θα επιβαρυνθεί κατά 0,00054€ ανά ζώο. Αντίθετα, εάν απαιτηθεί σιτηρέσιο περιεκτικότητας 2431g σε ινώδεις ουσίες (αντί 2430g) τότε το κόστος του σιτηρεσίου θα μειωθεί κατά 0,00017€ ανά ζώο.

Τελικά, το σιτηρέσιο που προκύπτει από τη μέθοδο αυτή έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 15: Η συμμετοχή των ζωοτροφών στο τελικό σιτηρέσιο

| <i>Άγρο σίτου</i> | <i>Ενσίρωμα αραβ</i> | <i>Πίτυρα σίτου</i> | <i>Στέμφυλα εσπ.</i> | <i>Ηλιάλευρο</i> |
|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| 3,7941 | 8,9972 | 1,5937 | 1,0093 | 0,7923 |

Πίνακας 16: Η περιεκτικότητα του τελικού σιτηρεσίου σε θρεπτικά συστατικά

| <i>Θρεπτικό συστατικό</i> | <i>Περιεκτικότητα (gr)</i> | <i>Ελαχ. απαιτήσεις</i> |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ΞΟ από ΧΖ | 6000 | 6000 |
| Συνολική ΞΟ | 9000 | 9000 |
| ΙΟ | 2430 | 2000 |
| ΜJ ΚΕΓ | 51,35 | 51,35 |
| ΟΑΟ | 890 | 890 |
| <i>Θρεπτικό συστατικό</i> | <i>Περιεκτικότητα (gr)</i> | <i>Μέγιστες απαιτήσεις</i> |
| ΙΟ | 2430 | 2430 |

Παρατηρείται πως η επίλυση του γραμμικού προβλήματος στον Η/Υ δίνει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με αυτά που προέκυψαν κατά την αναλυτική εφαρμογή της μεθοδολογίας Simplex και των διαδοχικών πινάκων επίλυσης.

Ωστόσο, η χρήση του Excel για την καταγραφή και παρουσίαση του προβλήματος παρουσιάζει κάποιες τεχνικές αδυναμίες. Πρακτικά, η εμφάνιση μιας νέας ζωοτροφής, απαιτεί το σχεδιασμό των πινάκων εκ νέου. Επίσης, η εισαγωγή ενός νέου περιορισμού προϋποθέτει νέες δομές και πίνακες, καθώς και αναδιατύπωση των μαθηματικών σχέσεων και επανασχεδιασμό του γραμμικού προβλήματος, συνολικά.

Βεβαίως, η χρήση του Excel εξυπηρετεί την επίλυση γραμμικών προβλημάτων που είναι πρακτικά αδύνατον να λυθούν με την παραδοσιακή εφαρμογή της μεθοδολογίας του αλγορίθμου Simplex και το σχεδιασμό των διαδοχικών πινάκων επίλυσης στο «χαρτί». Όμως, είναι φανερό πως η προτυποποίηση και προτυποποίηση τέτοιων προβλημάτων χρήζει περαιτέρω βελτίωσης. Στην επόμενη ενότητα, θα παρουσιαστεί ο τρόπος δόμησης τέτοιων γραμμικών υποδειγμάτων με την ελάχιστη (επί του παρόντος) προσπάθεια και τη μεγαλύτερη δυνατή ευελιξία.

B2-II) Επίλυση με χρήση του GAMS

Το General Algebraic Modeling System ή **GAMS** είναι ένα σύστημα προτυποποίησης υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιείται στο μαθηματικό προγραμματισμό και τη βελτιστοποίηση. Πρόκειται για ένα λογισμικό πακέτο που αποτελείται από ένα compiler (μεταγλωττιστής κειμένου που είναι γραμμένο σε μια γλώσσα προγραμματισμού, σε μια άλλη γλώσσα προγραμματισμού που είναι «κατανοητή» από το εκάστοτε λογισμικό πακέτο) και ένα πλήθος ενσωματωμένων

αλγορίθμων επίλυσης, υψηλού επιπέδου. Το GAMS είναι «κατασκευασμένο» για πολύπλοκες εφαρμογές προτυποποίησης μεγάλης κλίμακας, και επιτρέπει την δημιουργία μεγάλων «βασικών» υποδειγμάτων που προσαρμόζονται γρήγορα στις εκάστοτε συνθήκες του προβλήματος που καλείται κανείς να επιλύσει χρησιμοποιώντας μαθηματικό προγραμματισμό. (Rosenthal, 2011)

Το GAMS έχει αναπτυχθεί ειδικά για προτυποποίηση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού (Linear Programming – LP), μη γραμμικού προγραμματισμού (Non-Linear Programming) και προβλημάτων βελτιστοποίησης (γραμμικών και μη γραμμικών) μεικτών ακεραίων (Mixed Integer Optimization Problems – MILP ή MINLP). Το λογισμικό είναι διαθέσιμο για προσωπικούς υπολογιστές, σταθμούς εργασίας και υπέρ-υπολογιστές. Η χρήση του σε προσωπικούς υπολογιστές είναι ελεύθερη για υποδείγματα χαμηλής σχετικής πολυπλοκότητας (υποδείγματα που έχουν μικρό αριθμό μεταβλητών). Για την παρούσα μελέτη, γίνεται χρήση της πλήρους άδειας χρήσης του λογισμικού που διαθέτει το Εργαστήριο Διοίκησης Γεωργικών Επιχειρήσεων και Εκμεταλλεύσεων του τμήματος Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης του πανεπιστημίου.

Η δομή του GAMS είναι τέτοια ώστε ο ερευνητής να επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του εκάστοτε υποδείγματος με τρόπο απλό και συμπαγή σύνταξη, σε μια γλώσσα προγραμματισμού ελάχιστα περίπλοκη αλλά αυστηρή στη δομή. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται (ή «γλώσσα εισαγωγής») είναι παρόμοια με άλλες, ευρύτατα διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού, διευκολύνοντας οιονδήποτε έχει έστω και μια στοιχειώδη γνώση προγραμματισμού. Ο χρήστης οφείλει απλώς να αναπτύξει το υπόδειγμα απλά και δομημένα, χωρίς να χρειάζεται να ασχοληθεί διόλου με προβλήματα τεχνικής φύσεως (συνεργασίας του λογισμικού με τον εκάστοτε υπολογιστή και τρόπου ανάλυσης των αποτελεσμάτων). Υπερέχει γενικά του Excel, γιατί μια αλλαγή στα δεδομένα ενός προβλήματος (για παράδειγμα η προσθήκη μιας νέας μεταβλητής) δεν προϋποθέτει μεγάλες τροποποιήσεις στο υπάρχον υπόδειγμα ή σχεδιασμό των πινάκων από την αρχή (τροποποιήσεις που αυξάνονται εκθετικά ανάλογα με το μέγεθος των προβλημάτων), διαδικασίες δηλαδή χρονοβόρες και σχετικά πολύπλοκες.

Πρακτικά, πέραν της ανάπτυξης του υποδείγματος, ο ερευνητής οφείλει να επιλέξει τον επιθυμητό αλγόριθμο επίλυσης. Σε όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και σε αυτά που θα ακολουθήσουν, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι ο Simplex. Στο GAMS, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος υπάρχει ενσωματωμένος υπό του solver CPLEX. (GAMS - The Solver Manual, 2011)

Το πρόβλημα της «δίαιτας» ή της κατάρτισης ενός σιτηρεσίου είναι ένα από τα πρώτα προβλήματα που απασχόλησαν το γραμμικό προγραμματισμό. Αντικειμενικός στόχος είναι η δημιουργία ενός μείγματος τροφών που καλύπτει κάποιες προδιαγραφές με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η προτυποποίηση αυτού του τυπικού προβλήματος ακολουθεί επιγραμματικά τα εξής βήματα:

1. Θρεπτικά στοιχεία προς εξέταση: επιλογή των διατροφικών εκείνων χαρακτηριστικών (θερμίδες, λιπαρά, πρωτεΐνες, κλπ) που πρέπει να ορίζονται από κάποια ελάχιστα ή / και μέγιστα όρια περιεκτικότητας. Αυτά συγκροτούν το σύνολο i.
2. Καθορισμός των διαθέσιμων τροφών: ποιες τροφές / ζωοτροφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την επίλυση του προβλήματος. Αυτές συγκροτούν το σύνολο j.
3. Ορίζεται η μεταβλητή F_j που υποδηλώνει την ποσότητα (F) συμμετοχής κάθε μίας τροφής του συνόλου j στο τελικό μείγμα.
4. Καθορισμός των περιορισμών του προβλήματος:
 - Η συμμετοχή κάθε τροφής στο τελικό μείγμα δεν μπορεί να είναι αρνητική
 - Πρέπει η περιεκτικότητα του τελικού μείγματος σε κάθε ένα από τα θρεπτικά συστατικά να είναι μεγαλύτερη ή ίση της ελάχιστης περιεκτικότητας που ορίζουν οι προδιαγραφές
 - Πρέπει η περιεκτικότητα του τελικού μείγματος σε κάθε ένα από τα θρεπτικά συστατικά να είναι μικρότερη ή ίση της μέγιστης περιεκτικότητας που ορίζουν οι προδιαγραφές
 - Πρέπει να οριστεί ο μέγιστος ή / και ο ελάχιστος επιτρεπτός όγκος του μείγματος.
5. Ορισμός των προδιαγραφών του τελικού μείγματος: ορίζεται η ελάχιστη και μέγιστη επιθυμητή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά του τελικού μείγματος. Πρέπει να οριστεί η περιεκτικότητα σε κάθε ένα συστατικό του συνόλου i.
6. Χαρακτηριστικά των τροφών: ορίζεται η περιεκτικότητα κάθε τροφής του συνόλου j σε θρεπτικά συστατικά (τουλάχιστον σε αυτά που συγκροτούν το σύνολο i).
 - *Συνεπώς ορίζονται σταθερές της μορφής a_{ij} όπου το a είναι η περιεκτικότητα μιας τροφής j σε ένα θρεπτικό συστατικό i.*
 - *Ορίζονται επίσης μεταβλητές UL_i και LL_i που υποδηλώνουν την μέγιστη και ελάχιστη «παρουσία» κάθε θρεπτικού συστατικού i στο τελικό μείγμα της δίαιτας.*
7. Ορίζονται οι περιορισμοί του προβλήματος: το άθροισμα των ποσοτήτων των θρεπτικών συστατικών κάθε μιας ζωοτροφής που τελικά συμμετέχει στο μείγμα ($a_{ij}F_j$) είναι επαρκές, αλλά δεν ξεπερνά τις μέγιστες επιτρεπτές ποσότητες που ορίζουν οι προδιαγραφές.
 - $\sum_j a_{ij}F_j \leq UL_i$
 - $\sum_j a_{ij}F_j \geq LL_i$

8. Ορίζεται το επιθυμητό βάρος του μείγματος: καθορίζεται το ελάχιστο, μέγιστο ή επακριβές βάρος του μείγματος θεωρώντας, προφανώς, πως αυτό ισούται με το βάρος των τροφών που το συνθέτουν
- $\sum_j F_j = 1$
9. Τελικά, ορίζεται η αντικειμενική συνάρτηση: αρχικά, καθορίζεται το σύνολο των σταθερών c έτσι ώστε το κόστος κάθε τροφής να συμβολίζεται με c_j . Κατόπιν, ορίζεται η εξίσωση που προσθέτει το κόστος κάθε τροφής που χρησιμοποιείται και υπολογίζει το συνολικό κόστος της διαίτας.
- $\sum_j c_j F_j$
10. Συμπερασματικά το υπόδειγμα γραμμικού προγραμματισμού οφείλει να ελαχιστοποιήσει τη συνάρτηση $\sum_j c_j F_j$ «σεβόμενο» όλους τους περιορισμούς:
- $\sum_j a_{ij} F_j \leq ULi$ για κάθε i
 - $\sum_j a_{ij} F_j \geq LLi$ για κάθε i
 - $\sum_j F_j = 1$
 - $F_j \geq 0$ για κάθε j

Η σύνταξη ενός απλοϊκού – εισαγωγικού υποδείγματος διαίτας με την ανωτέρω μεθοδολογία παρουσιάζεται, επιλύεται και εξηγείται στο Παράρτημα 2.

Η σύνταξη και η παρουσίαση στο GAMS του προβλήματος κατάρτισης σιτηρεσίων που απασχολεί τις προηγούμενες ενότητες αυτής της μελέτης, γίνεται στο Παράρτημα 3. Η επίλυσή του με τη βοήθεια του GAMS δίδει τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα και την ίδια ανάλυση ευαισθησίας με αυτά που προκύπτουν και με τη χρήση του Microsoft Excel.

Γ) Σύγκριση των μεθόδων

Τα σιτηρέσια που προέκυψαν, ανεξάρτητα με το λογισμικό επίλυσης που επιλέχθηκε, διαφέρουν στη σύσταση και το κόστος τους:

Πίνακας 17: Συστατικά και κόστος των σιτηρεσίων

| Ζωοτροφή | Άχυρο σίτου | Ενσίρ. αραβ. | Πίτυρα σίτου | Στέμφ. εσπ. | Σογιάλ. | Βαμβακ. | Ηλιάλ. | Συν. κόστος | |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------|---------|--------|------------------------|--------------------|
| Συμμετοχή (kg) | 2 | 20,23 | 0 | 0 | 0,73 | 0,58 | 0,03 | <u>1,5291</u> | Ελ. τετραγ. |
| Κόστος (€/kg) | 0,09 | 0,05 | 0,16 | 0,14 | 0,32 | 0,17 | 0,18 | | |
| Συμμετοχή (kg) | 3,79 | 9 | 1,59 | 1,01 | 0 | 0 | 0,79 | <u>1,3302</u> | Γρ. προγρ. |

Συνεπώς, εφόσον διαφοροποιείται η σύστασή τους, διαφοροποιείται και η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά:

Πίνακας 18: Θρεπτική αξία σιτηρεσίων

| | <i>Γραμ. προγραμ.</i> | | <i>Ελαχ. τετραγώνων</i> |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Θρεπτικό συστ. | Περιεκτικότητα (gr) | Ελαχ. απαιτήσεις | Περιεκτικότητα (gr) |
| ΞΟ από ΧΖ | 6000 | 6000 | 7809 |
| Συνολική ΞΟ | 9000 | 9000 | 9012 |
| ΙΟ | 2430 | 2000 | 2071 |
| MJ ΚΕΓ | 51,35 | 51,35 | 57,27 |
| ΟΑΟ | 890 | 890 | 1060 |
| Θρεπτικό συστ. | Περιεκτικότητα (gr) | Μέγ. απαιτήσεις | Περιεκτικότητα (gr) |
| ΙΟ | 2430 | 2430 | 2071 |

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει πως:

- Η επίλυση τέτοιων προβλημάτων με τη μέθοδο των λογιστικών τετραγώνων δεν απαιτεί τη χρήση Η/Υ
- Η χρήση μεθοδολογίας γραμμικού προγραμματισμού απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και ενδεχομένως δυσεύρετο ή ακριβό λογισμικό (το κόστος, ωστόσο, πρέπει να υπολογίζεται συναρτήσει του μεγέθους της μονάδας)
- Η μεθοδολογία των λογιστικών τετραγώνων περιλαμβάνει πολλές αριθμητικές πράξεις που αυξάνονται περαιτέρω αναλόγως της πληθώρας των διαθέσιμων επιλογών (ζωοτροφών)
- Η μεθοδολογία των λογιστικών τετραγώνων προϋποθέτει οικονομική αξιολόγηση αμφιβόλου αξιοπιστίας καθώς επιλέγονται αυθαίρετα τα κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης. Επιπρόσθετα, ο υπεύθυνος διατροφής οδηγείται πολλές φορές (κατά τη διάρκεια της επίλυσης του προβλήματος) σε παραδοχές άγνωστου οικονομικού κόστους
- Η κατάρτιση σιτηρεσίων με τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού γίνεται ταυτόχρονα με την οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών συναρτήσει όλων (θεωρητικά) των πιθανών κριτηρίων
- Πολλοί υπολογισμοί στην κατάρτιση σιτηρεσίων μπορούν να «αυτοματοποιηθούν» με τη βοήθεια λογισμικό διαχείρισης λογιστικών φύλλων (π.χ. Microsoft Excel) και στη συνέχεια να εισαχθούν ευκολότερα σε προγράμματα επίλυσης προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, διευκολύνοντας έτσι την εκ νέου κατάρτιση των σιτηρεσίων ακόμα και μετά από μικρές αλλαγές στα στοιχεία ή στις τιμές των ζωοτροφών
- Κρίσιμες οικονομικές πληροφορίες όπως οι σκιώδεις τιμές προκύπτουν μόνο με τη χρήση μεθοδολογίας γραμμικού προγραμματισμού
- Η χρήση του GAMS έναντι του Excel διευκολύνει την επίλυση μεγάλων και πολύπλοκων σε έκταση προβλημάτων. Επιπρόσθετα, υπερτερεί του Excel καθώς μικρές (ή μεγαλύτερες) μεταβολές στα στοιχεία του προβλήματος (για παράδειγμα, περισσότερες ζωοτροφές) δεν απαιτούν την εκ νέου σύνταξη του προβλήματος, των εξισώσεων ή των μεταβλητών του.
 - Η προσθήκη μιας νέας ζωοτροφής για παράδειγμα:

- Στο Excel απαιτεί:
 - Την προσθήκη μιας επιπλέον στήλης που θα αντιστοιχεί στη νέα τροφή
 - Τη δήλωση στο κατάλληλο κελί του κόστους αγοράς της τροφής
 - Τη συμπλήρωση ενός επιπλέον κελιού (με τα χαρακτηριστικά της ζωοτροφής) σε κάθε γραμμή του φύλλου που αντιστοιχεί σε (κάθε) περιορισμό
 - Τον αναπρογραμματισμό των μαθηματικών πράξεων που απαιτούνται για τον υπολογισμό του δεξιού μέλους όλων των μαθηματικών σχέσεων
 - Τη δήλωση στο Solver των νέων θέσεων των κελιών, αφού η προσθήκη μιας νέας στήλης έχει αλλάξει το μέγεθος του πίνακα και έχει τροποποιήσει τη θέση των «κρίσιμων» (για τους υπολογισμούς) κελιών
- Στο GAMS απαιτεί:
 - Την προσθήκη ενός επιπλέον όρου (τροφής) στο αντίστοιχο set (των ζωοτροφών),
 - Την προσθήκη μιας νέας παραμέτρου που θα δηλώνει το κόστος της τροφής,
 - Την προσθήκη μιας γραμμής στον ήδη υπάρχοντα πίνακα των θρεπτικών στοιχείων, όπου θα αναφέρεται η περιεκτικότητα της «νέας» τροφής σε αυτά τα συστατικά
- Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, η επίλυση προβλημάτων κατάρτισης σιτηρεσίων με μεθοδολογία γραμμικού προγραμματισμού, επιτρέπει τη ταυτόχρονη εκτίμηση (και συν-υπολογισμό) πολλών μεταβλητών, ακόμα και άσχετων με τη διατροφή του ζώου. Για παράδειγμα, ενδέχεται η κατάρτιση σιτηρεσίου να αφορά μεικτές εκμεταλλεύσεις που ιδιοπαράγουν μέρος των ζωοτροφών ή / και χρησιμοποιούν βοσκοτόπους στη διατροφή των ζώων, όπου ο υπεύθυνος της εκτροφής θέλει υποχρεωτικά να συμπεριλάβει κάποια ζωοτροφή στο σιτηρέσιο ή να «αξιολογεί» τη ζωοτροφή που ιδιοπαράγει και είτε να την αξιοποιεί είτε να την πωλεί.

Ενότητα 2^η – Οικονομική αξιολόγηση σε επίπεδο εκμετάλλευσης

Η διατροφή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος του κόστους παραγωγής των ζωικών προϊόντων. Ωστόσο, το κόστος καθορίζεται από ένα πλήθος παραγόντων που διαφέρουν από εκμετάλλευση σε εκμετάλλευση και επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον ανθρώπινο παράγοντα. Ακόμα και η κατάρτιση σιτηρεσίων για τη διατροφή των ζώων μπορεί να μεταβληθεί έτσι, ώστε να «εξυπηρετεί» την εκτροφή (εκμετάλλευση) συνολικά, ακόμα και αν το οικονομικό αποτέλεσμα δεν είναι το καλύτερο «με μια πρώτη ματιά».

Για παράδειγμα, στις μεικτές εκμεταλλεύσεις, εκείνες δηλαδή που συνδυάζουν γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή, μπορεί το σιτηρέσιο να καταρτιστεί έτσι ώστε να αξιοποιούνται τα εκάστοτε καλλιεργούμενα είδη ή τα παραπροϊόντα τους (καλλιεργούμενος αραβόσιτος, βαμβακόπιτα, κλπ.). Επιπλέον, σε αυτές τις εκμεταλλεύσεις, ενδέχεται ένα μέρος της καλλιέργειας να προορίζεται για βόσκηση από τα ζώα της μονάδας, ένα άλλο μέρος για πώληση ή αποθήκευση και ενδεχομένως για ιδιοκατανάλωση προκειμένου να καλύψει μέρος ή το σύνολο των αναγκών του παραγωγού ή / και της οικογένειάς του. Η καλλιέργεια μηδικής για παράδειγμα σε μια μεικτή εκμετάλλευση, μπορεί να γίνεται για την παραγωγή σανού ή / και σπόρου, με σκοπό την πώληση αυτών των προϊόντων ως ζωοτροφές στην αγορά. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διατροφή των ζώων της ίδιας εκμετάλλευσης ή να αποτελεί η ίδια η καλλιέργεια αντικείμενο περιτροπικής βόσκησης. Σε κάθε περίπτωση ενδέχεται η μηδική να καλλιεργείται για να καλύψει τις άμεσες ανάγκες των ζώων ή να «παράγεται» ζωοτροφή που αποθηκεύεται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ή να πωληθεί ετεροχρονισμένα (όταν οι τιμές στην αγορά είναι εξαιρετικά συμφέρουσες).

Όπως γίνεται κατανοητό, η επίτευξη του «συνολικού» βέλτιστου οικονομικού αποτελέσματος μιας εκμετάλλευσης μπορεί να επιτευχθεί με τρόπο τέτοιο ώστε να μην προϋποθέτει ταυτόχρονα το άριστο οικονομικό αποτέλεσμα κάθε μιας υπό-δραστηριότητας. Ενδέχεται δηλαδή η κτηνοτροφική δραστηριότητα να μην αποδίδει τα μέγιστα σε μια εκμετάλλευση επειδή το σιτηρέσιο που έχει επιλεγεί προς χορήγηση να μην είναι το πλέον οικονομικό, αλλά μπορεί να είναι εκείνο που εκμεταλλεύεται «υποχρεωτικά» την ιδιοπαραγόμενη ζωοτροφή X, η καλλιέργεια της οποίας αποδίδει τα μέγιστα στο κλίμα της περιοχής που βρίσκεται το χωράφι της εκμετάλλευσής, αλλά που δύσκολα διατίθεται στην αγορά λόγω μειωμένης ζήτησης. Μπορεί δηλαδή, οι κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες μιας περιοχής να ευνοούν την καλλιέργεια ζωοτροφών που έχουν «απορριφθεί» κατά την οικονομική αξιολόγηση που προηγείται της κατάρτισης του σιτηρεσίου. Έτσι, ενώ μια ζωοτροφή απορρίπτεται λόγω της τιμής αγοράς της, μπορεί την ίδια στιγμή να είναι η «καταλληλότερη» λόγω του κόστους ιδιοπαραγωγής της.

Συνεπώς, η απόφαση για το είδος που θα καλλιεργηθεί σε μια μεικτή εκμετάλλευση εξαρτάται από:

- Τη χρήση του καλλιεργούμενου είδους
 - Ζωοτροφή για ιδιοκατανάλωση διότι:
 - το κόστος αγοράς της είναι απαγορευτικό
 - το κόστος μεταφοράς της είναι δυσανάλογο
 - η καλλιέργειά της επιδοτείται
 - είναι δυσεύρετη
 - η χρήση της είναι καθοριστικής σημασίας και έτσι (με την ιδιοπαραγωγή) ελέγχεται καλύτερα η ποιότητα και η επάρκειά της
 - Ζωοτροφή για πώληση διότι:
 - πωλείται σε καλή τιμή, ενώ είναι ακατάλληλη για το εκτρεφόμενο είδος
 - η παραγόμενη ποσότητα είναι υπέρ-αρκετή για τις ίδιες ανάγκες και επομένως «πρέπει» να διατίθεται και στην αγορά και να προκύπτει κέρδος
 - Καλλιέργεια για βόσκηση διότι:
 - το κόστος παρασκευής και χορήγησης του σιτηρεσίου είναι υψηλό
 - ενθαρρύνεται η βόσκηση για άλλους λόγους
 - Καλλιέργεια για ανθρώπινη κατανάλωση
 - Πώληση προϊόντων
 - Κάλυψη αναγκών παραγωγού και οικογενείας του
 - Οποιοσδήποτε συνδυασμός των παραπάνω
- Την «απόδοση» του καλλιεργούμενου είδους
 - Τιμή που «απολαμβάνει» στην αγορά
 - Κοινοτικές ενισχύσεις που απορρέουν από την καλλιέργειά του
 - Παραγωγικότητα στις ιδιαίτερες κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της περιοχής
 - Απαιτήσεις σε καλλιεργητικές φροντίδες, εξοπλισμό (μηχανήματα, οχήματα) και τεχνογνωσία

Πέραν των ανωτέρω «προφανών» οικονομικών κριτηρίων, η απόφαση εξαρτάται και από άλλους παράγοντες που επηρεάζουν έμμεσα και με λιγότερο εμφανή τρόπο το οικονομικό αποτέλεσμα.

Έτσι, η καλλιέργεια πρέπει να αντιμετωπισθεί ως μια οικονομική δραστηριότητα που επιδιώκει τη βέλτιστη χρήση των παραγωγικών συντελεστών: του εδάφους, του κεφαλαίου και της εργασίας. Ο παραγωγός (ή ο υπεύθυνος παραγωγής) σε μια μεικτή εκμετάλλευση, οφείλει να μοιράσει τη διαθέσιμη εργασία (εργατοώρες του ίδιου, της οικογένειάς του, των υπαλλήλων και τρίτων) μεταξύ γεωργικής και κτηνοτροφικής δραστηριότητας. Ομοίως, το διαθέσιμο κεφάλαιο επιμερίζεται μεταξύ εφοδίων της καλλιέργειας (σπόροι, λιπάσματα, μοσχεύματα, καύσιμα για τα οχήματα, κλπ.) και της κτηνοτροφικής μονάδας (γενετικό υλικό, φάρμακα και κτηνιατρική μέριμνα, συμπληρώματα διατροφής, κλπ.). Τέλος, το έδαφος μιας εκμετάλλευσης

προορίζεται συνήθως για καλλιέργεια ζωοτροφών (για ιδιοκατανάλωση ή πώληση), μπορεί όμως ταυτόχρονα να αξιοποιείται για την παραγωγή κηπευτικών ειδών για ιδιοκατανάλωση (του ιδιοκτήτη και της οικογένειάς του), για την καλλιέργεια βιομηχανικών ειδών ή ειδών για ανθρώπινη κατανάλωση, ή να αξιοποιείται το ίδιο το έδαφος ως βοσκότοπος (με καλλιεργητικές παρεμβάσεις ή μη).

Στη συνέχεια αυτής της μελέτης, θα παρουσιαστεί αναλυτικά ένα τυπικό μαθηματικό υπόδειγμα μεικτής εκμετάλλευσης που βασίζεται στα παραπάνω. Το υπόδειγμα αυτό, κατασκευάστηκε από τους Swart, Smith & Holderby το 1975 και αναφέρεται συχνά στη σχετική βιβλιογραφία (ενδεικτικά αναφέρεται: από τον Williams στο βιβλίο του “Model Building in Mathematical Programming”, 1999, από τον Holmes στο άρθρο του “A Collection of Stochastic Programming Problems”, 1994 και τον Glen στο άρθρο του “A development planning model for deer farming”, 1996).

Υπόδειγμα ανάπτυξης μεικτής γεωργικής – κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης:

Σκοπός του επόμενου υποδείγματος είναι η κατασκευή ενός υποδείγματος προσομοίωσης της λειτουργίας μιας μεγάλης μονάδας γαλακτοπαραγωγής που έχει σκοπό τη σταδιακή μεγέθυνσή της και τη βέλτιστη λειτουργία της κατά το χρονικό διάστημα αυτής της μεγέθυνσης. Η εκμετάλλευση χρησιμοποιεί για τη διατροφή των ζώων ζωοτροφές ιδιοπαραγόμενες, αγοραζόμενες και αποθέματα ζωοτροφών από προηγούμενες (οικονομικές) χρήσεις (ή καλλιεργητικές περιόδους). Γενικώς, επιδιώκεται η χρήση μεθοδολογίας γραμμικού προγραμματισμού, προκειμένου (α) να καθοριστεί το είδος των ζωοτροφών που θα καλλιεργηθούν στα εδάφη της εκμετάλλευσης, αλλά και (β) τον αριθμό των ζώων που ετησίως θα πωλούνται, αντικαθιστούνται ή προστίθενται στο ζωικό κεφάλαιο ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή μεγέθυνση. (Swart *et al.*, 1975)

Στοιχεία της εκμετάλλευσης:

- Μονάδα παραγωγής και πώλησης φρέσκου γάλακτος
- Αρχικό ζωικό κεφάλαιο: (περίπου) 1000 αγελάδες
- Τα ζώα χωρίζονται σε 4 ομάδες αναλόγως της ηλικίας τους και της παραγωγικής τους δραστηριότητας, με σκοπό την «ευκολότερη» διατροφή τους:
 1. 1^η ομάδα: νεαρά άτομα ηλικίας το πολύ 3 μηνών
 2. 2^η ομάδα: νεαρά άτομα ηλικίας 3-12 μηνών
 3. 3^η ομάδα: νεαρά άτομα 12-24 μηνών
 4. 4^η ομάδα: ώριμα ενήλικα άτομα πλήρως γαλακτοπαραγωγά (ηλικίας 2 ετών και άνω)
 - Η προώθηση από τις δύο πρώτες ομάδες στην 3^η διαρκεί ένα χρόνο, ενώ η προώθηση από την 3^η στην 4^η, άλλο ένα χρόνο.

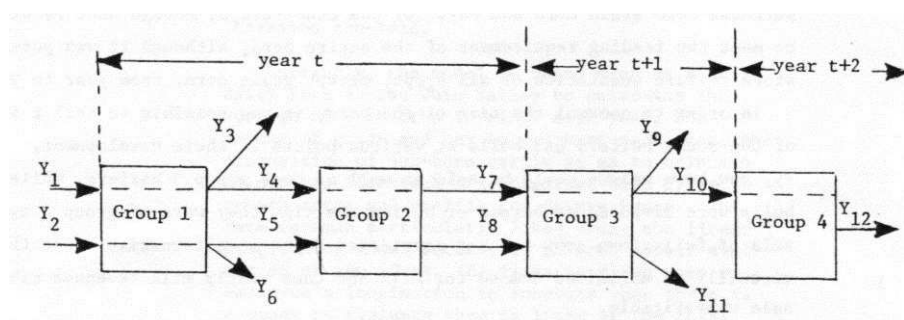
- Κάθε ομάδα ζώων διατρέφεται με τις ίδιες ζωοτροφές, σε διαφορετική ωστόσο αναλογία
- Η διατροφή γίνεται αποκλειστικά με:
 1. Καπούς αραβοσίτου
 2. Ενσίρωμα αραβοσίτου
 3. Χόρτο μηδικής
 4. Ενσίρωμα μηδικής
- Οι μόνες ζωοτροφές που είναι «αποδεκτό» (από τον υπεύθυνο της εκμετάλλευσης) να αγοραστούν είναι ο καρπός αραβοσίτου και το χόρτο μηδικής. Οι υπόλοιπες, πρέπει να παράγονται επαρκώς στις εκτάσεις της εκμετάλλευσης
- Στο τέλος κάθε οικονομικής χρήσης, ποσότητες τροφών που πλεονάζουν μπορούν να αποθηκευθούν για να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον, με εξαίρεση τον καρπό αραβοσίτου.
- Μέλημα της εκμετάλλευσης είναι η πλήρης κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ζώων με ιδιοπαραγόμενες και αγοραζόμενες ζωοτροφές.
- Για τον έλεγχο του μεγέθους του κοπαδιού, ένας αριθμός θηλυκών μοσχारीών θα πρέπει να πωλείται αμέσως μετά τη γέννηση ή όταν γίνουν «μέλη» της 3^{ης} ομάδας (και εφόσον δεν προορίζονται για την 4^η ομάδα). Πρακτικά, όλα τα αρσενικά άτομα (ταυρίδια) πωλούνται κατά τη γέννηση ή οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή, οπωσδήποτε όμως πριν το κατώφλι της εισόδου τους στην 4^η ομάδα.
- Η πώληση ώριμων (ενήλικων και παραγωγικών) αγελάδων δεν θεωρείται (εξ' ορισμού) οικονομικά συμφέρουσα, καθώς η ζήτηση για γάλα θεωρείται απεριόριστη. Συνεπώς, δεν πραγματοποιείται (ή επιδιώκεται) πώληση θηλυκών παραγωγικών ζώων.

Τα κυριότερα προβλήματα της εκμετάλλευσης που «αναζητούσαν» λύση μέσω του υποδείγματος γραμμικού προγραμματισμού ήταν τα εξής:

1. Κάποιες από τις ζωοτροφές παράγονταν πλεονασματικά, την ίδια στιγμή που άλλες αγοράζονταν ενώ θα μπορούσαν να έχουν ιδιοπαραχθεί με πρόσθετη δαπάνη – επένδυση κεφαλαίου
2. Αδυναμία λήψης αποφάσεων σχετικά με την κατασκευή νέων κτιριακών υποδομών (αχυρώνες, βουστάσια, κλπ) λόγω αβεβαιότητας σχετικά με το ρυθμό ανάπτυξης του ζωικού κεφαλαίου και της εκμετάλλευσης γενικά
3. Αδυναμία εκτίμησης – αξιολόγησης των εναλλακτικών που είχε η εκμετάλλευση σχετικά (α) με την ενοικίαση (ή μη) πρόσθετης καλλιεργούμενης έκτασης, (β) της επέκτασης (ή μη) του ζωικού κεφαλαίου διατηρώντας τα αρσενικά ζώα στην εκμετάλλευση και την ανατροφή τους για εκμετάλλευση προϊόντων κρέατος και τέλος (γ) την κατασκευή (ή μη) νέων αποθηκευτικών χώρων.

Οι αποφάσεις που αφορούν την εκμετάλλευση, όποιες και αν είναι αυτές, συνοψίζονται γενικά σε δύο ομάδες: αφενός, αφορούν τη γη, η οποία υπάρχει ήδη και αξιοποιείται για την καλλιέργεια ζωοτροφών και αφετέρου το ζωικό κεφάλαιο, αφού το μέγεθος της αγέλης αναπόφευκτα μεταβάλλεται λόγω γεννήσεων και «φθορών» (θανάτων, αντικαταστάσεων λόγω παραγωγικής «απαξίωσης» των πιο ηλικιωμένων ζώων). Το υπόδειγμα θα πρέπει να δίνει «απαντήσεις» σχετικά με τη βέλτιστη χρήση της ιδιόκτητης έκτασης (καλλιέργεια ζωοτροφών, ενοικίαση σε τρίτους, ανέγερση κτιρίων) και το ρυθμό μεγέθυνσης της αγέλης (αριθμός ζώων που πωλούνται, αριθμός ζώων που διατηρούνται, βέλτιστος χρόνος πώλησης του ζωικού κεφαλαίου που πλεονάζει), έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η δαπάνη – επένδυση κεφαλαίου και να μεγιστοποιείται το οικονομικό όφελος.

Σχηματικά, οι σχέσεις μεταξύ των ομάδων των ζώων είναι ως εξής:



Όπου:

- Y_1 είναι ο αριθμός των θηλυκών μοσχαριών που γεννιούνται και θεωρούνται αυτομάτως μέλη της 1^{ης} ομάδας
- Y_2 είναι ο αριθμός των ταυριδίων που γεννιούνται
- Y_3 είναι ο αριθμός των μοσχίδων που πωλούνται κατά τη γέννηση, ενώ
- Y_4 είναι ο αριθμός των μοσχίδων που προωθούνται στη 2^η ομάδα
- Y_5 είναι ο αριθμός των ταυριδίων που προωθούνται στη 2^η ομάδα, ενώ
- Y_6 είναι ο αριθμός των ταυριδίων που πωλούνται κατά τη γέννηση
- Y_7 είναι ο αριθμός των μοσχίδων της 2^{ης} ομάδας που προωθούνται «ως έχουν» στην 3^η ομάδα (θεωρητικά χωρίς αυξομειώσεις καθώς πρακτικά μπορεί να υπάρξουν κάποιες απώλειες λόγω θνησιμότητας)
- Y_8 είναι αντίστοιχα ο αριθμός των ταυριδίων της 2^{ης} ομάδας που προωθούνται στην 3^η
- Y_9 είναι ο αριθμός των μοσχίδων της 3^{ης} ομάδας που πωλείται πριν προωθηθεί στην 4^η ομάδα (την «παραγωγική» ομάδα)
- Y_{10} είναι ο αριθμός των μοσχίδων που τελικά θα γίνει μέλος της παραγωγικής αγέλης
- Y_{11} είναι ο αριθμός των ταυριδίων που πωλούνται πριν γίνουν μέλη της 4^{ης} ομάδας
- Y_{12} είναι το πλήθος των αγελάδων που συγκροτούν την παραγωγική αγέλη (4^η ομάδα)

Για τις ζωοτροφές που χρησιμοποιούνται ισχύουν τα εξής:

- Ο καρπός αραβοσίτου χρησιμοποιείται στη διατροφή και των τεσσάρων ομάδων ζώων
- Το ενσίρωμα αραβοσίτου χρησιμοποιείται για τη διατροφή των ζώων των ομάδων 2, 3, 4
- Το χόρτο μηδικής χρησιμοποιείται για τη διατροφή των ομάδων 1, 2
- Το ενσίρωμα μηδικής χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τη διατροφή της 4^{ης} ομάδας

Από τα παραπάνω, και με δεδομένο πως κάθε άτομο (προφανώς θηλυκό) της 4^{ης} ομάδας έχει έναν απόγονο κατ' έτος (με πιθανότητες 50% ο απόγονος να είναι μοσχίδα και 50% ταυρίδιο), προκύπτουν οι εξής μαθηματικές σχέσεις:

- $Y_{3,t} + Y_{4,t} = 0,5 \times Y_{12,t}$
- $Y_{5,t} + Y_{6,t} = 0,5 \times Y_{12,t}$
- Επίσης, εφόσον κανένα ζώο δεν πωλείται για όσο είναι μέλος της 2^{ης} ομάδας ισχύει πως:
 - $Y_{7,t} = Y_{4,t}$
 - $Y_{8,t} = Y_{5,t}$
- Αφού κανένα ταυρίδιο δεν φθάνει στην 4^η ομάδα, τότε:
 - $Y_{10,t+1} + Y_{9,t+1} = Y_{7,t}$
 - $Y_{11,t+1} = Y_{8,t}$
- Τέλος, δεδομένης της θνησιμότητας αλλά και της παραγωγικής «απαξίωσης» των ηλικιωμένων αγελάδων, ο πληθυσμός της 4^{ης} ομάδας μειώνεται κατά 30% ετησίως, αλλά «συμπληρώνεται» με τα άτομα που προωθούνται από την 3^η ομάδα:
 - $Y_{12,t+1} = Y_{10,t} + 0,7Y_{12,t}$

Για τις ζωοτροφές ισχύουν τα εξής:

- Η ετήσια διαθέσιμη ποσότητα για κάθε ζωοτροφή προκύπτει αθροίζοντας (α) την αγοραζόμενη ποσότητα, (β) την ιδιοπαραγόμενη ποσότητα και (γ) τη διαθέσιμη αποθηκευμένη (από προηγούμενα έτη) ποσότητα. Συνεπώς διαμορφώνονται οι παρακάτω μεταβλητές:
 - $X_{1,t}$ ο αριθμός των στρεμμάτων που καλλιεργούνται για να παραχθεί ενσίρωμα αραβοσίτου
 - $X_{2,t}$ ο αριθμός των στρεμμάτων που καλλιεργούνται για παραγωγή καρπού αραβοσίτου
 - $X_{3,t}$ ο αριθμός των στρεμμάτων που καλλιεργούνται για παραγωγή ενσιρώματος μηδικής
 - $X_{4,t}$ ο αριθμός των στρεμμάτων που καλλιεργούνται για παραγωγή χόρτου μηδικής
 - $X_{5,t}$ ο αριθμός των bushels (αμερικάνικη μονάδα όγκου που ισούται με 35,24 λίτρα) καρπού αραβοσίτου που αγοράζονται

- $X_{6,t}$ ο αριθμός των δεματίων χόρτου μηδικής που αγοράζονται
- $Z_{1,t}$ ο αριθμός των τόνων ενσιρώματος αραβοσίτου που βρίσκεται αποθηκευμένο στο τέλος του έτους t
- $Z_{2,t}$ ο αριθμός των τόνων ενσιρώματος μηδικής που βρίσκεται αποθηκευμένο στο τέλος του έτους t
- $Z_{3,t}$ ο αριθμός των δεματίων χόρτου μηδικής που βρίσκεται αποθηκευμένο στο τέλος του έτους t
- $W_{i,t}$ η συνολική ποσότητα κάθε ζωοτροφής i που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια του έτους t από το σύνολο των ζώων

Από τα παραπάνω προκύπτουν οι εξής μαθηματικές σχέσεις:

- Για το ενσίρωμα αραβοσίτου ισχύει
 - $Z_{1,t} + 20X_{1,t} - W_{1,t} - Z_{1,t+1} = 0$
 - Ο πολλαπλασιαστής του $X_{1,t}$ (20) υποδηλώνει τη στρεμματική απόδοση σε τόνους ενσιρώματος αραβοσίτου
- Για τη συνολική κατανάλωση ενσιρώματος αραβοσίτου σε ετήσια βάση ισχύει:
 - $W_{1,t} = 2,45(Y_{7,t} + Y_{8,t}) + 4,9(Y_{9,t} + Y_{10,t} + Y_{11,t}) + 5,6Y_{12,t}$
 - Όπου οι πολλαπλασιαστές 2,45, 4,9, και 5,6 δηλώνουν την κατανάλωση (σε τόνους) ενσιρώματος αραβοσίτου ανά ζώο σε κάθε διατροφική (ηλικιακή) κλάση αντίστοιχα και με δεδομένο πως η 1^η ομάδα δεν λαμβάνει καθόλου αυτή τη ζωοτροφή
- Για τη δυνατότητα αποθήκευσης του πλεονάζοντος ενσιρώματος αραβοσίτου ισχύει πως $Z_{1,t} \leq 18000$ καθώς οι αποθηκευτικοί χώροι είναι δυναμικότητας 18000 τόνων

Ομοίως, προκύπτουν και οι σχέσεις που αφορούν στις άλλες τρεις ζωοτροφές

- Για τον καρπό αραβοσίτου ισχύει:
 - $X_{5,t} + 150X_{2,t} - W_{2,t} = 0$
 - $W_{2,t} = 4(Y_{4,t} + Y_{5,t}) + 17(Y_{7,t} + Y_{8,t}) + 4,8(Y_{9,t} + Y_{10,t} + Y_{11,t}) + 93,2Y_{12,t}$
 - $150X_{2,t} \leq 38600$
- Για το ενσίρωμα χόρτου μηδικής ισχύει:
 - $Z_{2,t} + 12X_{3,t} - W_{3,t} - Z_{2,t+1} = 0$
 - $W_{3,t} = Y_{12,t}$
 - $Z_{2,t} \leq 2400$
- Για το χόρτο μηδικής ισχύει:
 - $Z_{3,t} + 100X_{4,t} + X_{6,t} - W_{4,t} - Z_{3,t+1} = 0$
 - $W_{4,t} = 5(Y_{4,t} + Y_{5,t}) + 14Y_{8,t}$

$$\circ Z_{3,t} \leq 12000$$

Για την καλλιεργούμενη έκταση ισχύουν τα εξής:

- Καθώς η έκταση που διατίθεται προς ενοικίαση (σε τρίτους) κατ' έτος είναι το πολύ 160 στρέμματα και δεδομένου πως η ιδιόκτητη έκταση (160 + 530 στρέμματα) πρέπει (για καλλιεργητικούς λόγους) να χρησιμοποιείται κάθε χρονιά (ανελλιπώς), προκύπτει η παρακάτω σχέση:
 - $X_{1,t} + X_{2,t} + X_{3,t} + X_{4,t} + V_t = 690$ με $V_t \leq 160$
 - όπου V_t είναι η έκταση που δεν εκμισθώνεται σε τρίτους

Τέλος, ο ιδιοκτήτης επιθυμεί έκταση 80 στρεμμάτων κατ' ελάχιστον, να αξιοποιείται για τη καλλιέργεια μηδικής, ασχέτως αν αυτή θα χρησιμοποιηθεί για παραγωγή χόρτου μηδικής ή ενσιρώματος χόρτου μηδικής. Συνεπώς:

$$X_{3,t} + X_{4,t} \geq 80$$

Προτυποποίηση

Ο απώτερος σκοπός του υπευθύνου της εκμετάλλευσης είναι η αύξηση της εκμετάλλευσης δια της αυξήσεως των εκτρεφόμενων ζώων. Συνεπώς, το υπόδειγμα γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να δομηθεί έτσι ώστε το μέγεθος της αγέλης να μεγιστοποιείται, με ρυθμό που σέβεται όλους τους περιορισμούς που έχουν τεθεί. Πρακτικά, επιθυμείται η μεγέθυνση της αγέλης μέχρι το σημείο εκείνο (αριθμός ζώων) που το ιδιοπαραγόμενο ενσίρωμα (μηδικής και αραβοσίτου) επαρκεί για να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες του συνόλου των ζώων, σε συνδυασμό με τις άλλες δύο (ιδιοπαραγόμενες και αγοραζόμενες) ζωοτροφές.

Για να υπολογιστούν τα μεικτά κέρδη, χρησιμοποιήθηκαν οικονομικά στοιχεία από τα λογιστικά βιβλία της εκμετάλλευσης, οι γνώσεις και η εμπειρία των εργαζομένων στην εκμετάλλευση, αλλά και του ιδιοκτήτη. Για το κόστος αποθήκευσης των ζωοτροφών ειδικότερα, υπολογίστηκε το πηλίκο του κόστους καλλιέργειας (με την εκάστοτε ζωοτροφή) ενός στρέμματος εδάφους, δια την αντίστοιχη στρεμματική απόδοση, και το αποτέλεσμα της διαίρεσης πολλαπλασιάστηκε με τον τόκο κεφαλαίου που θα απολάμβανε αυτό το ποσό, εάν, αντί για την «επένδυσή» του στην εκμετάλλευση είχε τοποθετηθεί σε έναν απλό τραπεζικό λογαριασμό. Το κόστος αυτό δηλαδή, αντιπροσωπεύει το διαφυγόν όφελος που θα είχε μια τέτοια «σίγουρη» επένδυση, αφού αντί αυτής, επιλέχθηκε η επένδυση του διαθέσιμου κεφαλαίου στην καλλιέργεια του εδάφους.

Συνεπώς, για κάθε έτος t , το μεικτό κέρδος R_t , προκύπτει από τη σχέση:

$$R_t = 35(Y_{3,t} + Y_{6,t}) + 500Y_{9,t} + 258,3Y_{11,t} + 662Y_{12,t} - 54,9(Y_{4,t} + Y_{5,t}) - 23,5(Y_{7,t} + Y_{8,t}) - 18,7Y_{10,t} - 87,2X_{1,t} - 97,2X_{2,t} - 67,4X_{3,t} - 68,4X_{4,t} - 1,5X_{5,t} - 2,25X_{6,t} - 0,39Z_{2,t} - 0,30Z_{1,t} - 0,047Z_{3,t}$$

όπου:

- $Y_{3,t}$, $Y_{6,t}$ είναι τα ζώα της 1^{ης} ομάδας που μπορούν να πωληθούν για \$35 έκαστο
- $Y_{9,t}$ είναι η μοσχίδα της 3^{ης} ομάδας που μπορεί να πωληθεί για \$500 έκαστη
- $Y_{11,t}$ είναι το ταυρίδιο της 3^{ης} ομάδας που μπορεί να πωληθεί για \$258,3 έκαστο
- $Y_{12,t}$ είναι οι αγελάδες της 4^{ης} ομάδας που αποφέρουν έσοδα (από το γάλα που παράγουν), ίσα με \$662 έκαστη
- $Y_{4,t}$, $Y_{5,t}$ είναι τα ζώα της 1^{ης} ομάδας που απαιτούν για τη φροντίδα και την ανατροφή τους, \$54,9 έκαστο
- $Y_{7,t}$, $Y_{8,t}$ είναι τα ζώα της 2^{ης} ομάδος που απαιτούν για τη φροντίδα και την ανατροφή τους, \$23,5 έκαστο
- $Y_{10,t}$ είναι οι μοσχίδες της 3^{ης} ομάδας που απαιτούν για τη φροντίδα και την ανατροφή τους, \$18,7 έκαστη
- $X_{1,t}$ είναι το κόστος καλλιέργειας ενός στρέμματος αραβοσίτου με σκοπό την παραγωγή ενσιρώματος, ύψους \$87,2
- $X_{2,t}$ είναι το κόστος καλλιέργειας ενός στρέμματος αραβοσίτου με σκοπό την παραγωγή καρπού, ύψους \$97,2
- $X_{3,t}$ είναι το κόστος καλλιέργειας ενός στρέμματος μηδικής με σκοπό την παραγωγή ενσιρώματος, ύψους \$67,4
- $X_{4,t}$ είναι το κόστος καλλιέργειας ενός στρέμματος μηδικής με σκοπό την παραγωγή χόρτου, ύψους \$ 68,4
- $X_{5,t}$ είναι το κόστος αγοράς καρπού αραβοσίτου, \$1,5 ανά bushel
- $X_{6,t}$ είναι το κόστος αγοράς χόρτου μηδικής, \$2,25 ανά δεμάτι
- $Z_{1,t}$ είναι το κόστος αποθήκευσης ενσιρώματος αραβοσίτου, $\$(0,07 \times 67,4 / 20)$ ανά τόνο
- $Z_{2,t}$ είναι το κόστος αποθήκευσης ενσιρώματος μηδικής, $\$(0,07 \times 87,2 / 12)$ ανά τόνο
- $Z_{3,t}$ είναι το κόστος αποθήκευσης χόρτου μηδικής, $\$(0,07 \times 68,4 / 100)$ ανά δεμάτι

Όλες οι σχέσεις που έχουν καταγραφεί μέχρι στιγμής, πρέπει να αποτελέσουν μέρος του υποδείγματος, και να ικανοποιούνται για κάθε έτος t . Αντίθετα, το μεικτό κέρδος πρέπει να μεγιστοποιηθεί με 25ετή ορίζοντα. Ωστόσο, για λόγους ευκολίας αλλά και για λόγους απλοποίησης του υποδείγματος, αρκεί η μεγιστοποίηση του κέρδους κατ' έτος. Συνεπώς, για μια δεδομένη χρονιά t , οι παραπάνω μαθηματικές σχέσεις μπορούν να αποδοθούν με τη μορφή πίνακα, ως εξής:

Για τα 25 έτη, αντίστοιχα, πρέπει να κατασκευαστούν 25, παρόμοιοι με τον προηγούμενο, πίνακες, όπου το μεικτό κέρδος κάθε χρονιάς, θα πρέπει να διορθώνεται με βάση κάποιο συντελεστή (επιτόκιο - κόστος ευκαιρίας) ώστε να αντικατοπτρίζει την παρούσα αξία του χρήματος (καθαρή παρούσα αξία χρηματικών ροών / επένδυσης). Επίσης, ο αριθμός των ζώων κάθε ομάδας στο τέλος της χρονιάς, θα είναι ο αριθμός των ζώων που υπάρχει στην αντίστοιχη ομάδα την επόμενη χρονιά με τις ανάλογες αυξομειώσεις λόγω γεννήσεων και απωλειών. Με άλλα λόγια, ο αριθμός των ζώων που θα υπολογίζεται από το υπόδειγμα στο τέλος κάθε χρονιάς, ως αποτέλεσμα, θα είναι ένας αριθμός – δεδομένο για το υπόδειγμα της επόμενης περιόδου. Τέτοια προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού, τα δεδομένα των οποίων εξαρτώνται από τα αποτελέσματα του ίδιου υποδείγματος / προβλήματος παρελθόντων χρονικών περιόδων, ονομάζονται δυναμικά. Ως εκ τούτου, οι αποφάσεις που μπορεί να λάβει κάποιος σε διοικητικό επίπεδο αξιοποιώντας τα αποτελέσματα – πληροφορίες του υποδείγματος αυτού εξαρτώνται άμεσα από τις αντίστοιχες αποφάσεις που είχε λάβει (ή είχε οδηγηθεί) στο παρελθόν.

Παρουσίαση του υποδείγματος στο GAMS

Για να κατασκευασθεί το υπόδειγμα του ανωτέρω προβλήματος στο GAMS, απαιτείται ο προσδιορισμός του μεγέθους των ομάδων των ζώων τη χρονική στιγμή t_0 . Από τα στοιχεία των πινάκων για τη χρονική στιγμή $t=1$ προκύπτει πως:

- $Y_4 = Y_7 = 159$ και
- $Y_3 = Y_9 = 0$ και
- $Y_{10} = 154$ και
- $Y_{12} = 317$ συνεπώς
 - Το μέγεθος της 4^{ης} ομάδας ζώων είναι (περίπου) **317** αφού κάθε θηλυκό ζώο έχει (περίπου) έναν απόγονο
 - Το μέγεθος της 1^{ης} ομάδας ζώων είναι (περίπου) **318** αφού τα θηλυκά είναι ($Y_3 + Y_4$) 159 και προφανώς άλλα τόσα είναι τα αρσενικά δεδομένου πως η πιθανότητα γέννησης αρσενικό / προς θηλυκό είναι 1:1
 - Το μέγεθος της 3^{ης} ομάδας ζώων είναι τουλάχιστον **159** ζώα (Y_7). Ωστόσο, το ακριβές μέγεθος δεν μπορεί να προσδιοριστεί λόγω άγνοιας του αριθμού των αρσενικών ζώων (Y_8)
 - Το μέγεθος της 2^{ης} ομάδας ζώων είναι τουλάχιστον **159** ζώα (Y_4). Ωστόσο, το ακριβές μέγεθος δεν μπορεί να προσδιοριστεί λόγω άγνοιας του αριθμού των αρσενικών ζώων (Y_5)
- Εάν υποθεθεί πως το Y_6 είναι 318 ζώα (εφόσον $Y_2 = Y_1 = Y_3 + Y_4$), το σύνολο δηλαδή των αρσενικών νεογέννητων ζώων πωλείται αμέσως μετά τη γέννηση, τότε το σύνολο της αγέλης της εκμετάλλευσης είναι **317 + 318 + 159 + 159 = 953** ζώα. Ο αριθμός αυτός συνάδει με τα δεδομένα του προβλήματος («περίπου 1000 αγελάδες»).

Με αυτά τα αριθμητικά δεδομένα και με τη δομή των μαθηματικών σχέσεων όπως αυτή δίνεται λίγο παραπάνω, είναι δυνατή η κατασκευή ενός υποδείγματος που υπολογίζει και μεγιστοποιεί το κέρδος κάθε δεδομένη χρονιά. Για την παρουσίαση της σύνταξης του υποδείγματος στο GAMS προκειμένου να υπολογιστούν οι τιμές των μεταβλητών και το οικονομικό αποτέλεσμα της πρώτης χρονιάς, βλ. Παράρτημα 4.

Επίλυση - Αποτελέσματα

Όπως γίνεται αντιληπτό, τα περισσότερα έσοδα προκύπτουν από την πώληση γάλακτος των αγελάδων της 4^{ης} ομάδας. Συνεπώς, επιδιώκεται η ταχύτερη ανάπτυξη του μεγέθους της αγέλης της 4^{ης} ομάδας, γεγονός που αφενός μεγιστοποιεί τα έσοδα, αφετέρου είναι στην κατεύθυνση του κύριου σκοπού του ιδιοκτήτη (μεγέθυνση της αγέλης).

Οι διαθέσιμες προς καλλιέργεια εκτάσεις είναι υπέρ-αρκετές για να καλύψουν τις ανάγκες της υπάρχουσας αγέλης. Έτσι, η καλλιέργειά τους, βοηθά στη παραγωγή πλεονασμάτων που αποθηκεύονται και δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό μεγάλα αποθέματα ζωοτροφών (τις πρώτες χρονιές). Λόγω αυτών των αποθεμάτων η αύξηση της αγέλης είναι ταχεία και απροβλημάτιστη.

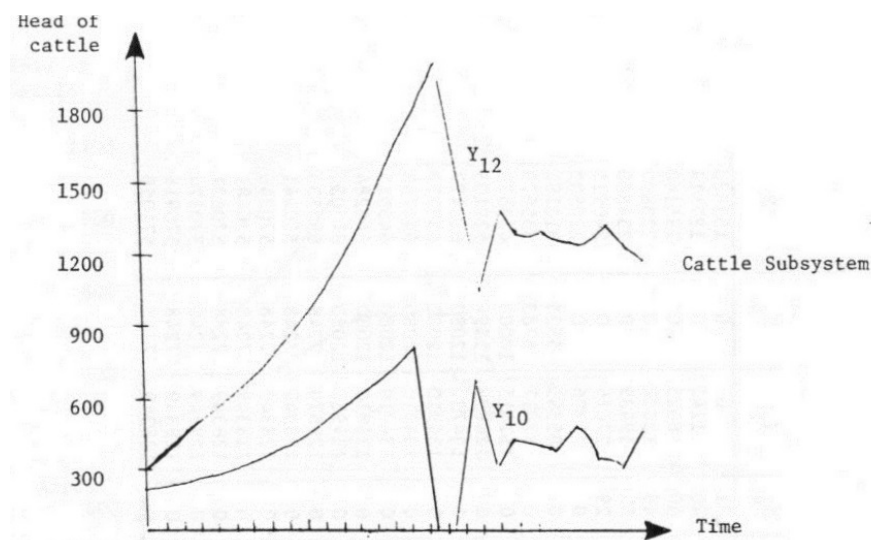
Ωστόσο, την 15^η χρονιά, ο αριθμός των αγελάδων είναι τόσο μεγάλος, που τα αποθέματα εξαντλούνται εντελώς (φθίνουν σταδιακά από την 11^η χρονιά) και λόγω αυτού του γεγονότος, προκύπτει ανάγκη πώλησης αγελάδων της 4^{ης} ομάδας, καθώς την επόμενη χρονική περίοδο, δεν υπάρχει δυνατότητα να καλυφθούν οι διατροφικές τους ανάγκες. Για να επιλυθεί αυτή η «κρίση», πραγματοποιείται μια ραγδαία μείωση του αριθμού των ζώων τις δύο επόμενες χρονιές. Τελικά, η μείωση αυτή βοηθά στη δημιουργία κάποιων αποθεμάτων εκ νέου σε ζωοτροφές και την επακόλουθη αύξηση του αριθμού των ζώων. Τις επόμενες χρονιές (18^η – 25^η), ο αριθμός των ζώων παρουσιάζει συνεχείς αυξομειώσεις της τάξης του 8-15%.

Επιγραμματικά, ο αριθμός των ζώων της 4^{ης} ομάδας (Y_{12}), των αποθεμάτων (Z_{1-3}) και των κερδών (R) αποτυπώνεται (μεταξύ άλλων) στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 20: Αποτελέσματα επίλυσης του αρχικού υποδείγματος για τις βασικότερες μεταβλητές

| t | Cattle Subsystem | | | | | Crop Subsystem | | | | | | | | | | R |
|----|------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|---|
| | Y ₃ | Y ₄ , Y ₇ | Y ₉ | Y ₁₀ | Y ₁₂ | z ₁ | z ₂ | z ₃ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | | |
| 1 | 0 | 159 | 0 | 154 | 317 | 4200 | 1000 | 1500 | 0 | 224 | 175 | 131 | 0 | 0 | 155886 | |
| 2 | 0 | 188 | 0 | 159 | 376 | 1326 | 2400 | 11602 | 164 | 257 | 69 | 40 | 1142 | 0 | 187514 | |
| 3 | 0 | 211 | 0 | 188 | 422 | 1318 | 2400 | 12000 | 315 | 257 | 77 | 40 | 6025 | 0 | 195140 | |
| 4 | 0 | 242 | 0 | 211 | 483 | 3885 | 2400 | 12000 | 298 | 257 | 89 | 46 | 12508 | 0 | 223892 | |
| 5 | 0 | 274 | 0 | 242 | 549 | 5586 | 2400 | 12000 | 280 | 257 | 101 | 52 | 19489 | 0 | 254880 | |
| 6 | 0 | 313 | 0 | 274 | 626 | 6330 | 2400 | 12000 | 289 | 257 | 115 | 29 | 27616 | 0 | 290911 | |
| 7 | 0 | 356 | 0 | 313 | 713 | 6582 | 2400 | 8946 | 559 | 0 | 131 | 0 | 75396 | 0 | 276503 | |
| 8 | 0 | 406 | 0 | 356 | 812 | 11472 | 2400 | 2176 | 541 | 0 | 149 | 0 | 85885 | 5535 | 310192 | |
| 9 | 0 | 462 | 0 | 406 | 924 | 15124 | 2400 | 0 | 521 | 0 | 169 | 0 | 97817 | 8783 | 355679 | |
| 10 | 0 | 526 | 0 | 462 | 1053 | 17365 | 2400 | 0 | 497 | 0 | 193 | 0 | 111415 | 10003 | 413570 | |
| 11 | 0 | 600 | 0 | 526 | 1199 | 18000 | 2400 | 0 | 470 | 0 | 220 | 0 | 126899 | 11394 | 480086 | |
| 12 | 0 | 683 | 0 | 600 | 1366 | 16805 | 2400 | 0 | 440 | 0 | 250 | 0 | 144537 | 12977 | 556448 | |
| 13 | 0 | 778 | 0 | 683 | 1556 | 13526 | 2400 | 0 | 405 | 0 | 285 | 0 | 164625 | 14781 | 644016 | |
| 14 | 842 | 45 | 0 | 778 | 1772 | 7873 | 2400 | 0 | 365 | 0 | 325 | 0 | 169834 | 847 | 902236 | |
| 15 | 1009 | 0 | 45 | 0 | 2018 | 1578 | 2400 | 0 | 483 | 0 | 207 | 0 | 188333 | 0 | 1089607 | |
| 16 | 36 | 671 | 0 | 0 | 1413 | 0 | 443 | 0 | 468 | 0 | 222 | 0 | 145765 | 12740 | 605864 | |
| 17 | 234 | 260 | 0 | 671 | 989 | 0 | 0 | 0 | 466 | 0 | 224 | 0 | 100860 | 4942 | 429432 | |
| 18 | 299 | 383 | 0 | 260 | 1363 | 0 | 510 | 0 | 483 | 0 | 207 | 0 | 136303 | 7272 | 624890 | |
| 19 | 263 | 344 | 0 | 383 | 1214 | 0 | 0 | 0 | 467 | 0 | 223 | 0 | 122225 | 6543 | 546507 | |
| 20 | 264 | 352 | 0 | 344 | 1232 | 0 | 0 | 0 | 464 | 0 | 226 | 0 | 123929 | 6691 | 556430 | |
| 21 | 172 | 431 | 0 | 352 | 1207 | 0 | 0 | 0 | 469 | 0 | 221 | 0 | 123260 | 8194 | 527140 | |
| 22 | 288 | 310 | 0 | 431 | 1197 | 0 | 0 | 0 | 471 | 0 | 219 | 0 | 120167 | 5897 | 542146 | |
| 23 | 351 | 284 | 0 | 310 | 1269 | 0 | 0 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 125743 | 5388 | 590742 | |
| 24 | 0 | 599 | 0 | 284 | 1199 | 0 | 0 | 0 | 470 | 0 | 220 | 0 | 125685 | 11389 | 492696 | |
| 25 | 310 | 251 | 171 | 428 | 1123 | 0 | 0 | 0 | 484 | 0 | 206 | 0 | 112797 | 4771 | 595945 | |

Διαγραμματικά, ο αριθμός των ζώων που εισέρχονται στην 4^η ομάδα (Y₁₀) και παραμένουν σε αυτή μέχρι το επόμενο έτος (Y₁₂) παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Αυτά τα πρώτα αποτελέσματα της επίλυσης παρουσιάστηκαν στον ιδιοκτήτη της μονάδας, χωρίς όμως να γίνουν αποδεκτά με «ευχαρίστηση». Ο επιχειρηματίας, για λόγους φήμης, ψυχολογίας και (τελικά) πρακτικής ευκολίας, θα ήθελε ο αριθμός των ζώων της 4^{ης} ομάδας να παραμένει σταθερός ή να αυξάνεται από χρονιά σε χρονιά. Προσωπικά, θεωρούσε πως οι αυξομειώσεις βγάζουν προς το εξωτερικό περιβάλλον μια αίσθηση κακοδιαχείρισης ή έλλειψης γνώσεων για το αντικείμενο. Θεωρούσε πως μια οικονομικά υγιής εκμετάλλευση δεν πρέπει να παρουσιάζει τέτοιες διακυμάνσεις στα κέρδη της και το ενεργητικό της. Τελικά, θα προτιμούσε μια λύση «λιγότερο άριστη» που όμως θα είχε τα χαρακτηριστικά που ζητούσε.

Για να ικανοποιηθεί αυτή η νέα συνθήκη, είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο υπόδειγμα μιας επιπλέον μαθηματικής σχέσης. Για κάθε χρονική περίοδο t θα πρέπει να ισχύει πως:

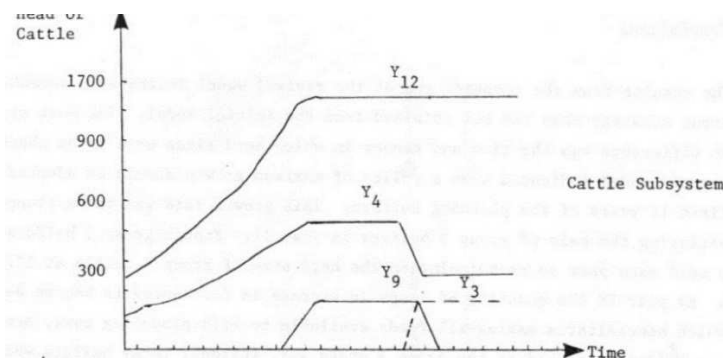
$$Y_{12,t} \leq Y_{12,t+1}$$

Η εκ νέου επίλυση του υποδείγματος έδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η μεγιστοποίηση της αγέλης της 4^{ης} ομάδας έγινε την 12^η χρονιά, χωρίς να μεταβληθεί ο ρυθμός αύξησης και το μεικτό κέρδος τις πρώτες έντεκα ετήσιες περιόδους. Κατόπιν, ο αριθμός των ζώων παρέμεινε απολύτως σταθερός, ενώ τα κέρδη της εκμετάλλευσης τα επόμενα έτη παρουσίασαν ανεπαίσθητες αυξομειώσεις. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, η επίλυση του προβλήματος με τα νέα αυτά δεδομένα δεν δίνει τα υπερκέρδη που εμφανίζονται επί 2-3 έτη στην «άριστη» λύση.

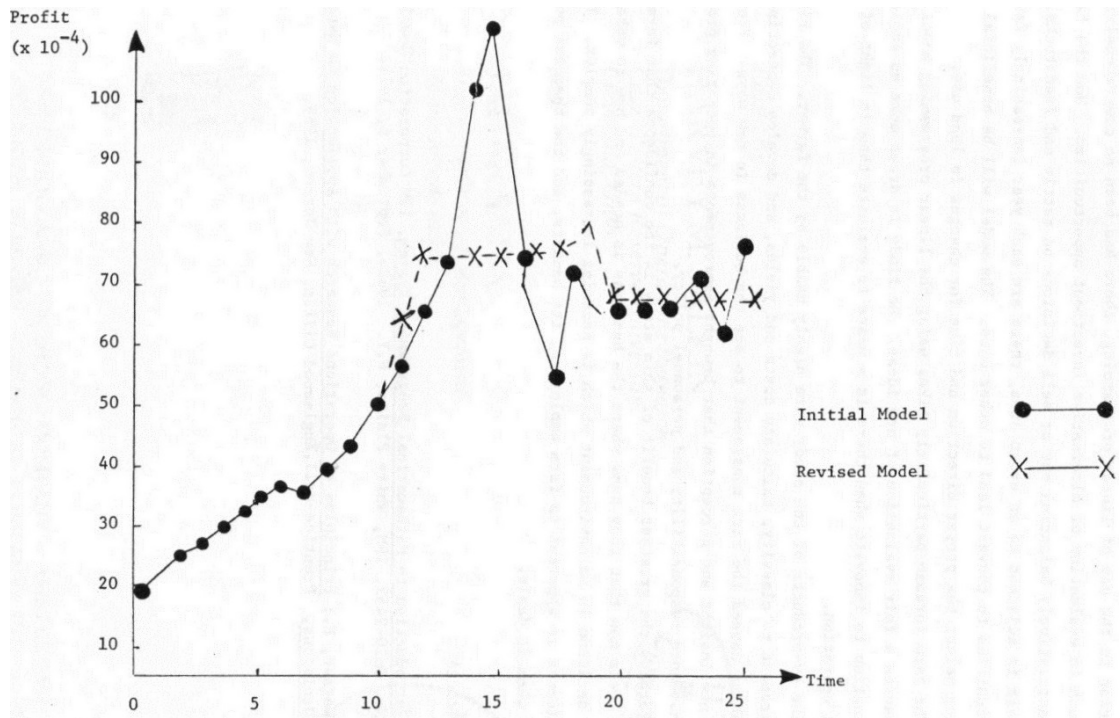
Πίνακας 21: Αποτελέσματα επίλυσης του αναθεωρημένου υποδείγματος για τις βασικότερες μεταβλητές

| t | Cattle Subsystem | | | | | Crop Subsystem | | | | | | | | | | R |
|----|------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|---|
| | Y ₃ | Y ₄ , Y ₇ | Y ₉ | Y ₁₀ | Y ₁₂ | Z ₁ | Z ₂ | Z ₃ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | | |
| 1 | 0 | 159 | 0 | 154 | 317 | 4200 | 1000 | 1500 | 0 | 224 | 175 | 131 | 0 | 0 | 155886 | |
| 2 | 0 | 188 | 0 | 159 | 375 | 1326 | 2400 | 11602 | 164 | 257 | 69 | 40 | 1142 | 0 | 187514 | |
| 3 | 0 | 211 | 0 | 188 | 422 | 1318 | 2400 | 12000 | 315 | 257 | 77 | 40 | 6025 | 0 | 195140 | |
| 4 | 0 | 242 | 0 | 211 | 483 | 3885 | 2400 | 12000 | 298 | 257 | 89 | 46 | 12058 | 0 | 223892 | |
| 5 | 0 | 274 | 0 | 242 | 549 | 5586 | 2400 | 12000 | 280 | 257 | 100 | 52 | 19489 | 0 | 254880 | |
| 6 | 0 | 313 | 0 | 274 | 626 | 6330 | 2400 | 12000 | 289 | 257 | 115 | 29 | 27616 | 0 | 290911 | |
| 7 | 0 | 356 | 0 | 313 | 712 | 6582 | 2400 | 8946 | 559 | 0 | 131 | 0 | 75396 | 0 | 270503 | |
| 8 | 0 | 406 | 0 | 356 | 812 | 11472 | 2400 | 2176 | 541 | 0 | 149 | 0 | 85885 | 5535 | 310192 | |
| 9 | 0 | 462 | 0 | 406 | 924 | 15124 | 2400 | 0 | 521 | 0 | 169 | 0 | 97817 | 8783 | 355679 | |
| 10 | 0 | 526 | 0 | 462 | 1053 | 17365 | 2400 | 0 | 497 | 0 | 193 | 0 | 111415 | 10003 | 413570 | |
| 11 | 0 | 600 | 95 | 432 | 1199 | 18000 | 2400 | 0 | 470 | 0 | 220 | 0 | 126899 | 11394 | 529103 | |
| 12 | 0 | 636 | 218 | 381 | 1272 | 16805 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 134737 | 12080 | 625477 | |
| 13 | 0 | 636 | 254 | 381 | 1272 | 14504 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 134910 | 12080 | 653979 | |
| 14 | 0 | 636 | 254 | 381 | 1272 | 12026 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 134910 | 12080 | 644748 | |
| 15 | 0 | 636 | 254 | 381 | 1272 | 9548 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 134910 | 12080 | 645515 | |
| 16 | 0 | 636 | 254 | 381 | 1272 | 7071 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 134910 | 12080 | 646284 | |
| 17 | 0 | 636 | 254 | 381 | 1272 | 4593 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 134910 | 12080 | 647052 | |
| 18 | 254 | 381 | 254 | 381 | 1272 | 2115 | 2400 | 0 | 457 | 0 | 233 | 0 | 129570 | 7248 | 695533 | |
| 19 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 260 | 2400 | 0 | 474 | 0 | 216 | 0 | 128349 | 7248 | 570441 | |
| 20 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 0 | 2191 | 0 | 487 | 0 | 203 | 0 | 128349 | 7248 | 570346 | |
| 21 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 0 | 1826 | 0 | 487 | 0 | 203 | 0 | 128349 | 7248 | 570481 | |
| 22 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 0 | 1461 | 0 | 487 | 0 | 203 | 0 | 128349 | 7248 | 570631 | |
| 23 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 0 | 1095 | 0 | 487 | 0 | 203 | 0 | 128349 | 7248 | 570774 | |
| 24 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 0 | 730 | 0 | 487 | 0 | 203 | 0 | 128349 | 7248 | 570916 | |
| 25 | 254 | 381 | 0 | 381 | 1272 | 0 | 365 | 0 | 487 | 0 | 203 | 0 | 128349 | 7248 | 571058 | |

Ο αριθμός των ζώων της 4^{ης} ομάδας (Y₁₂) παραμένει «ακλόνητος», ενώ οι άλλες ομάδες απορροφούν τις αναγκαίες αυξομειώσεις:



Συγκριτικά, τα μεικτά κέρδη της άριστης και της «εναλλακτικής» λύσης παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα:



Ενότητα 3^η – Μελέτες περιπτώσεων

Α' Μελέτη περίπτωσης – Μεικτή εκμετάλλευση - Αγελαδοτροφία με μη προκαθορισμένο σιτηρέσιο

Παρουσίαση

Κτηνοτροφική εκμετάλλευση διαθέτει 30 αγελάδες με σκοπό την παραγωγή και πώληση γάλακτος. Οι διατροφικές ανάγκες καλύπτονται από ζωοτροφές που αγοράζονται από τρίτους στο σύνολό τους.

Στον ιδιοκτήτη της επιχείρησης παρουσιάζεται η προοπτική αγοράς καλλιεργούμενης έκτασης με σκοπό τη παραγωγή (ολικώς ή μερικώς) των απαιτούμενων τροφών για τη διατροφή των ζώων. Ο υπεύθυνος της εκμετάλλευσης καλείται να αξιολογήσει οικονομικά αυτή την προοπτική, εκτιμώντας τα οφέλη αυτής της αγοράς εντός εύλογου χρονικού διαστήματος (5ετίας).

Το σύνολο των ζώων βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο από πλευράς διατροφικών αναγκών. Πρόκειται για ενήλικα θηλυκά ζώα, πλήρως παραγωγικά. Η ανανέωση του κοπαδιού γίνεται με αγορά παραγωγικά ώριμων, νεαρών ζώων από τρίτους, ενώ τα ζώα που γεννιούνται εντός της μονάδας πωλούνται σε πολύ νεαρή ηλικία για το κρέας τους. Μέχρι την πώλησή τους, η διατροφή τους γίνεται με τεχνητό γάλα, καθιστώντας έτσι το σύνολο της παραγόμενης ποσότητας γάλακτος διαθέσιμο προς πώληση.

Η διατροφή των ζώων διαφοροποιείται σχεδόν κάθε έτος, ανάλογα με τις ισχύουσες τιμές αγοράς των ζωοτροφών. Το σιτηρέσιο δηλαδή, δεν είναι σταθερό, αλλά επαναπροσδιορίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι τιμές συμφωνούνται με τους προμηθευτές και παραμένουν σταθερές τουλάχιστον για ένα χρόνο.

Ο υπεύθυνος της επιχείρησης δεν θέλει να τροποποιήσει αυτή την πρακτική καθώς την θεωρεί ιδιαιτέρως συμφέρουσα. Έτσι, η έκταση που πρόκειται να αποκτηθεί θα αξιοποιείται για διαφορετικές καλλιέργειες, αναλόγως των οικονομικών δεδομένων κάθε χρονιάς. Για το λόγο αυτό, δεν θα πραγματοποιηθούν επενδύσεις σε οχήματα και μηχανολογικό εξοπλισμό, αλλά τα απαραίτητα για κάθε καλλιέργεια μηχανήματα θα ενοικιάζονται αποκλειστικά από τρίτους για όσο χρόνο χρειαστεί.

Στα ζώα της μονάδας παρέχεται ημερησίως το κάτωθι βασικό σιτηρέσιο:

Πίνακας 22: Βασικό σιτηρέσιο ανά αγελάδα

| | <i>Άχυρο σίτου</i> | <i>Ενσίρωμα αραβ.</i> | <i>Πίτυρα σίτου</i> |
|------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| Ποσότητα (kg) | 3,4 | 10,7 | 3,2 |
| Κόστος (€/kg) | 0,09 | 0,05 | 0,16 |
| Συνολικό κόστος | 1,36 | | |

Επίλυση – Αποτελέσματα

Για τη μελέτη και επίλυση της ανωτέρω περίπτωσης θα πρέπει αρχικά να κατασκευαστεί υπόδειγμα το οποίο θα αξιολογεί οικονομικά τις ζωοτροφές και θα επιλέγει αυτόματα τις πλέον συμφέρουσες για να ενσωματωθούν στο μείγμα. Οι ζωοτροφές αγοράζονται αρχικά στο σύνολό τους από τρίτους καθιστώντας ιδιαίτερα επίπονη την οικονομική αξιολόγησή τους λόγω της πληθώρας των διαθέσιμων επιλογών. Για το λόγο αυτό, και για να διευκολυνθεί ακόμα περισσότερο η σύνταξη και ανάπτυξη του υποδείγματος στο GAMS, θα χρησιμοποιηθεί παράλληλα και το Microsoft Excel προκειμένου να απλοποιηθεί η εισαγωγή των στοιχείων των ζωοτροφών.

Στο Microsoft Excel η εισαγωγή των στοιχείων είναι τυπικής μορφής. Μια στήλη αφιερώνεται στο όνομα της ζωοτροφής, μια δεύτερη στην τιμή αγοράς της και οι υπόλοιπες στα θρεπτικά της περιεχόμενα. Προφανώς, επειδή η οικονομική αξιολόγηση θα γίνει αυτοματοποιημένα, όσες περισσότερες είναι οι πληροφορίες για τα συστατικά κάθε τροφής τόσο αναλυτικότερο και «αποδοτικότερο» θα είναι το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης.

Έτσι, στο Excel κατασκευάζεται μια δομή όπως αυτή του ακόλουθου πίνακα:

Πίνακας 23: Δομή του πίνακα των ζωοτροφών και των συστατικών τους

| Ζωοτροφές | Τιμή αγοράς | Ξηρά ουσία | Ινώδεις ουσίες | Ενέργεια | Αζωτούχες ουσίες |
|------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| c | price_eur_per_kg | dry_matter | fib_matter | energy_mj_per_kg | nitrogen_per_kg |
| Sanos | 0,150 | 0,860 | 0,102 | 3,70 | 0,130 |
| Αχυρο | 0,090 | 0,870 | 0,120 | 2,86 | 0,025 |
| Ensiroma | 0,050 | 0,300 | 0,090 | 2,15 | 0,027 |

Σημ.: Λόγω περιορισμών του GAMS, τα ονόματα των ζωοτροφών και γενικότερα όλα τα στοιχεία που προορίζονται να εισαχθούν στο υπόδειγμα πρέπει να καταγράφονται με λατινικούς χαρακτήρες.

Όπως είναι φυσικό, κάθε νέα τροφή καταλαμβάνει μια επιπλέον γραμμή, πρακτικά χωρίς κανένα περιορισμό ως προς το τελικό μέγεθος του πίνακα. Σε περίπτωση πολλαπλών προμηθευτών για κάποιες τροφές, είναι δυνατή η εισαγωγή επιπλέον γραμμών στον πίνακα. Εάν για παράδειγμα υπάρχουν δύο διαφορετικοί προμηθευτές αραβοσίτου που προσφέρουν το ίδιο προϊόν σε διαφορετική τιμή, η εισαγωγή στον πίνακα της ζωοτροφής του φθηνότερου προμηθευτή είναι προφανής. Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση να προσφέρεται, για παράδειγμα, αραβόσιτος σε διαφορετικές τιμές με ελαφρώς διαφορετικό περιεχόμενο σε ξηρά ουσία. Σε αυτή την περίπτωση η εισαγωγή των στοιχείων είναι απαραίτητη για να πραγματοποιηθεί οικονομική αξιολόγηση και δίνει πίνακα της ακόλουθης μορφής:

Πίνακας 24: Δομή του πίνακα των ζωοτροφών σε περίπτωση πολλαπλών προμηθευτών για ζωοτροφές «σχεδόν» παρόμοιων χαρακτηριστικών

| <i>Ζωοτροφές</i> | <i>Τιμή αγοράς</i> | <i>Ξ.Ο.</i> |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| C | Price_eur_per_kg | Dry_matter |
| Karpos_arav1 | 0,180 | 0,888 |
| Karpos_arav2 | 0,175 | 0,880 |
| Karpos_arav3 | 0,190 | 0,900 |

Με αυτά τα δεδομένα, η κατάρτιση του σιτηρεσίου στον υπολογιστή είναι σχετικά απλή. Η κατασκευή ενός υποδείγματος για την οικονομική αξιολόγηση των ζωοτροφών και τη τελική σύσταση του μείγματος, γίνεται με τρόπο παρόμοιο με αυτό του υποδείγματος διαίτας της προηγούμενης ενότητας.

Στην προκειμένη περίπτωση ωστόσο, το πρόβλημα αφορά σε μεικτή αγροτοκτηνοτροφική εκμετάλλευση. Σε απλές κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, όλες οι ζωοτροφές αγοράζονται. Συνεπώς η τιμή αγοράς τους είναι το κριτήριο εκείνο που ορίζεται ως το πλέον σημαντικό και αποτελεί το κριτήριο εκείνο με βάση το οποίο θα βελτιστοποιηθεί το οικονομικό αποτέλεσμα. Στις μεικτές εκμεταλλεύσεις ωστόσο, παρουσιάζεται το εξής «πρόβλημα»: οι παραγόμενες ζωοτροφές δεν «έχουν», εκ των πραγμάτων τιμή αγοράς. Όπως και οι υπόλοιπες τροφές, έτσι και αυτές, έχουν κάποιο κόστος αλλά αυτό δεν είναι άμεσο. Οι ιδιοπαραγόμενες ζωοτροφές «κοστίζουν» σε έδαφος, εργασία, κεφάλαιο και ενδεχομένως και σε άλλους παράγοντες (νερό άρδευσης, κλπ). Εάν λοιπόν εισαχθούν σε υπόδειγμα όπως αυτό του 1^{ου} υποδείγματος, προφανώς το αποτέλεσμα θα είναι συντριπτικό υπέρ της χρήσης αυτών των ζωοτροφών και κατά της χρήσης των αγοραζόμενων, αφού η αξιολόγησή τους γίνεται μόνο βάσει της τιμής κόστους αγοράς αυτών.

Για να προκύψει ένα «πιο αποδεκτό» αποτέλεσμα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα υπόδειγμα παρόμοιο με του 1^{ου} υποδείγματος για την κατάρτιση του μείγματος, αλλά με πολλά στοιχεία από το υπόδειγμα του 2^{ου} υποδείγματος ώστε να αξιολογηθεί οικονομικά το κόστος παραγωγής των ζωοτροφών, τους περιορισμούς που επιβάλλονται από το μέγεθος της καλλιεργούμενης έκτασης, την ανάγκη σε εργασία, τα διαθέσιμα κεφάλαια για την ανάπτυξη αγροτικής δραστηριότητας, τις αποδόσεις των καλλιεργούμενων φυτών / ποικιλιών και ενδεχομένως άλλων περιοριστικών παραγόντων (ανάγκη για αρδευόμενες εκτάσεις, κλπ).

Συνεπώς, τα πρώτα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι οι ανάγκες σε παραγωγικούς συντελεστές ανά καλλιέργεια και ανά καλλιεργούμενη έκταση. Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα στοιχεία αυτά, για τις καλλιέργειες που είναι δυνατόν να αναπτυχθούν στην περιοχή (βάσει (α) κλίματος και (β) διαθεσιμότητας της απαιτούμενης ξένης ανθρώπινης και μηχανικής εργασίας).

Πίνακας 25: Πιθανές καλλιέργειες και χαρακτηριστικά τους

| Ζωοτροφές | Ετήσια Στρεμ. Απόδοση (kg) | Ξηρά ουσία | Ινώδεις ουσίες | Ενεργειακό περιεχ. | Αζωτούχες ουσίες | Απαιτήσεις σε γή (στρ. ανά κιλό) |
|-------------------|----------------------------|------------|----------------|--------------------|------------------|----------------------------------|
| Σανός μηδικής | 1.050 | 0,860 | 0,102 | 3,7 | 0,130 | 0,000952381 |
| Καρπός αραβοσίτου | 800 | 0,880 | 0,022 | 8,0 | 0,085 | 0,001250000 |
| Καρπός κριθής | 245 | 0,860 | 0,048 | 7,6 | 0,106 | 0,004081633 |
| Καρπός σίτου | 325 | 0,870 | 0,026 | 7,9 | 0,112 | 0,003076923 |

| Ζωοτροφές | Απαιτήσεις σε αρδευση | Ετήσιες Δαπάνες καλλιέργειας ανά στρέμμα | Ετήσιες Δαπάνες εργασίας ανά στρέμμα | Συν. Ετήσιες δαπάνες ανά στρέμμα | Δαπάνες ανά κιλό |
|-------------------|-----------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|------------------|
| Σανός μηδικής | ναί | 45 | 30 | 75 | 0,071 |
| Καρπός αραβοσίτου | ναί | 70 | 50 | 120 | 0,150 |
| Καρπός κριθής | όχι | 22 | 16 | 38 | 0,155 |
| Καρπός σίτου | όχι | 30 | 20 | 50 | 0,154 |

Τελικά, με αυτά τα δεδομένα, ο πίνακας 23 μπορεί να διευρυνθεί για να συμπεριλάβει τις ιδιοπαραγόμενες ζωοτροφές. Ο πίνακας αυτός θα αποτελέσει το μέσο εισαγωγής των δεδομένων των ζωοτροφών στο GAMS.

Κάθε χαρακτηριστικό της ζωοτροφής (τιμή, περιεκτικότητα σε θρεπτικά χαρακτηριστικά, απαιτήσεις σε καλλιεργήσιμη γη, κλπ) είναι για το γραμμικό πρόβλημα μία παράμετρος. Πέραν αυτών των παραμέτρων που αφορούν τις ζωοτροφές, υπάρχει ένα ακόμη πλήθος παραμέτρων που αφορά τα ζώα και ένα τρίτο που αφορά τους τεχνικούς συντελεστές (διαθέσιμους παραγωγικούς συντελεστές και λοιπούς πόρους).

Πίνακας 26: Ημερήσιες διατροφικές ανάγκες ανά αγελάδα

| Θρεπτικό συστατικό | Ποσότητα |
|--------------------|-------------|
| ΞΟ | 9kg |
| Ενέργεια | 51,35MJ ΚΕΓ |
| ΟΑΟ | 890g |
| Ca | 42g |
| P | 24,5g |
| Mg | 14g |
| Na | 12,5g |

Πέραν των παραμέτρων, το γραμμικό πρόβλημα θα έχει μια σειρά περιορισμών (υπό μορφή μαθηματικών σχέσεων – εξισώσεων και ανισώσεων) και φυσικά μια σειρά μεταβλητών που αφορά στις ζωοτροφές που τελικώς θα χρησιμοποιηθούν για το τελικό μείγμα. Οι περιορισμοί αφορούν: (α) το ζωικό οργανισμό (για παράδειγμα η περιεκτικότητα του τελικού μείγματος σε συμπυκνωμένες ζωοτροφές πρέπει να είναι τέτοια που να μην επιβαρύνει την υγεία του ζώου) και (β) τους διαθέσιμους παραγωγικούς πόρους (καλλιεργούμενη έκταση, κλπ).

Πίνακας 27: Διατροφικοί περιορισμοί του ζωικού οργανισμού

| Περιορισμοί |
|---------------------------------------|
| ΞΟ από ΧΖ \geq 1% ΣΒ δηλαδή 6kg |
| ΙΟ = 23-27% ΞΟ δηλαδή 2,07 έως 2,43kg |

Η αρχική δομή του προβλήματος στο GAMS παρουσιάζεται στο Παράρτημα 5.

Αποτελέσματα

Η επίλυση του αρχικού προβλήματος, πριν δηλαδή την ενσωμάτωση της έκτασης που ενδεχομένως αγοραστεί στο υπόδειγμα (/land 0, labour 0, irr_land 0/), δίνει ως βέλτιστο σιτηρέσιο το εξής:

```
---- Crop quantity used (kg)
Axyro      3.795,   Ensiroma  14.995,   Vamvakop   0.274,   Hlialevro  1.073
---- Total feed costs 1.331 (euros)
```

Παρατηρείται δηλαδή, ένα σιτηρέσιο ελαφρώς διαφορετικό από αυτό που παρέχεται αρχικά στα ζώα (αυτό που παρέχει ο παραγωγός, πριν την εύρεση του οικονομικότερου σιτηρεσίου). Η χρήση δύο επιπλέον ζωοτροφών, της βαμβακόπιτας και του ηλιαλεύρου δίνει ένα σιτηρέσιο ανταγωνιστικότερο του αρχικού (1,331 ευρώ αντί 1,36 ευρώ) βελτιώνοντας το κόστος διατροφής κατά 2,13%.

Κατόπιν εισάγονται στο υπόδειγμα τα δεδομένα της έκτασης που ενδέχεται να αποκτηθεί και η διαθεσιμότητα των λοιπών παραγωγικών συντελεστών (/land 1.2, labour 15, irr_land 0.8/).

Πίνακας 28: Τεχνικοί συντελεστές

| <i>Τεχνικοί συντελεστές</i> | Συνολικά | Ανά ζώο ετησίως |
|-------------------------------------|----------|-----------------|
| <i>Καλλιεργούμενη έκταση (στρ.)</i> | 36 | 1,2 |
| <i>Αρδευόμενη έκταση (στρ.)</i> | 24 | 0,8 |
| <i>Διαθέσιμη εργασία (ώρες)</i> | 450 | 15 |

Επιπλέον, το υπόδειγμα τροποποιείται έτσι ώστε να υπολογίζει το κόστος του σιτηρεσίου ανά ζώο σε ημερήσια βάση ενώ οι τεχνικοί συντελεστές έχουν ετήσια βάση υπολογισμού. Η αναθεωρημένη μορφή του υποδείγματος υπάρχει στο Παράρτημα 5.

Η επίλυσή του δίνει τα εξής αποτελέσματα:

- Οι ανάγκες των ζώων καλύπτονται από τις κάτωθι ζωοτροφές

```
---- Crop quantity used (kg) ανά ζώο σε ετήσια βάση
Axyro      481.270,   Ensiroma      6658.632
idiop_Sanos  840.000,   idiop_Karpos_sit  130.000
Vamvakop    37.101
```

- Το κόστος του σιτηρεσίου είναι μειωμένο

---- 1.223 Total feed costs (euro) ανά ζώο ημερησίως

Παρατηρείται περαιτέρω μείωση του κόστους διατροφής στα 1,223 ευρώ ανά ζώο ανά ημέρα. Υπάρχει δηλαδή μια μείωση του κόστους διατροφής της τάξεως του 10,07% σε σχέση με το ισχύων σιτηρέσιο, είτε μια μείωση της τάξεως του 8,11% σε σχέση με το άριστο σιτηρέσιο που προτείνει το υπόδειγμα στην πρώτη περίπτωση (μηδενικής ιδιοπαραγωγής).

Πίνακας 29: Σύγκριση κόστους σιτηρεσίων

| | <i>Κόστος</i> | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Ισχύων σιτηρέσιο | 1,36 | <i>Κέρδος από τη διαφορά</i> |
| Άριστο σιτηρέσιο χωρίς ιδιοπ. | 1,331 | 2,13% |
| Άριστο σιτηρέσιο με ιδιοπ. | 1,223 | 10,07% |

Στους παραγωγικούς συντελεστές παρατηρείται επάρκεια της διαθέσιμης εργασίας αλλά εξάντληση των διαθέσιμων στρεμμάτων:

- Χρήση παραγωγικών συντελεστών και σκιάδεις τιμές αυτών

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|----------|-------|--------|--------|----------|
| land | -INF | 1.200 | 1.200 | -0.037 |
| labour | -INF | 12.800 | 15.000 | . |
| irr_land | -INF | 0.800 | 0.800 | -0.043 |

Πιο συγκεκριμένα, η διαθέσιμη εργασία (ανά στρέμμα) είναι 15 ώρες, αλλά αξιοποιούνται μόνο οι 12,8. Τα διαθέσιμα στρέμματα γης (συνολικά – αρδευόμενα και μη) χρησιμοποιούνται πλήρως. Εάν, τέλος υπήρχε περισσότερη έκταση διαθέσιμη, το κόστος του σιτηρεσίου θα μειωνόταν περαιτέρω.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η αγορά της καλλιεργούμενης έκτασης από τον παραγωγό αποφέρει μείωση του κόστους διατροφής της τάξεως του 10%. Το ποσοστό αυτό, για το παρόν μέγεθος της εκμετάλλευσης μεταφράζεται σε ένα όφελος της τάξης των (30 ζώα x 365 ημέρες x 0,137€ =) 1500€ετησίως. Όπως γίνεται κατανοητό, ένα τέτοιο όφελος δεν μπορεί να αποσβέσει το κόστος αγοράς μιας έκτασης 36 στρεμμάτων (όποιο και αν είναι το τίμημα) εντός ευλόγου χρονικού διαστήματος.

Ωστόσο, στην παρούσα συγκυρία και με χρονικό ορίζοντα 5ετίας, η αγορά της έκτασης μπορεί να θεωρηθεί αξιόλογη καθώς:

- Η γη είναι ένα πρακτικά «άφθαρτο» πάγιο κεφάλαιο, αλλά και το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα είναι τέτοιο που θεωρητικά αποκλείει την απαξίωση της σε

τόσο σύντομο χρόνο (από πλευράς παραγωγικότητας, αντικειμενικής αξίας, κλπ)

- Τα μακροοικονομικά δεδομένα της επόμενης 5ετίας είναι τέτοια που μειώσεις του κόστους διατροφής της τάξεως του 10% είναι μάλλον αξιόλογες, καθώς μειώνουν το συνολικό κόστος παραγωγής και θωρακίζουν την ανταγωνιστικότητα της εκμετάλλευσης
- Οποιαδήποτε αλλαγή προς το χειρότερο στα κόστη αγοράς των ζωοτροφών ή / και στα κόστη καλλιέργειας αυτών δεν είναι εκ των προτέρων «καταστροφική» γιατί το πλήθος των δυνητικά καλλιεργούμενων ειδών είναι μεγάλο αλλά και η σύσταση του σιτηρεσίου μπορεί να μεταβληθεί έτσι ώστε να «αποκλείσει» τις μη ανταγωνιστικές τροφές από το μείγμα. Πρακτικά δηλαδή, η αγορά μια καλλιεργούμενης έκτασης προσφέρει μια πληθώρα εναλλακτικών επιλογών σύστασης των σιτηρεσίων, που μακροπρόθεσμα αποδεσμεύει τον παραγωγό από συγκεκριμένους προμηθευτές, προστατεύοντάς τον από τις διακυμάνσεις στις τιμές αγοράς των ζωοτροφών.

Β' Μελέτη περίπτωσης – Μεικτή εκμετάλλευση - Προβατοτροφία με προκαθορισμένο σιτηρέσιο και χρήση βοσκοτόπων

Εισαγωγή

Στην πράξη, οι περισσότερες γεωργικές εκμεταλλεύσεις (αμιγώς γεωργικές και γεωργο-κτηνοτροφικές), επιλέγουν να καλλιεργήσουν λίγες και συγκεκριμένες ποικιλίες επί μακρόν, ακόμα και αν αυτό δεν επιφέρει (κατά περιόδους) το μέγιστο κέρδος. Η πρακτική αυτή, επιτρέπει βέβαια τη σταδιακή βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος λόγω εξειδίκευσης του παραγωγού και κρατά χαμηλά τα έξοδα αφού απαιτεί λιγότερα πάγια (κτίρια, αποθήκες, έγγειες βελτιώσεις) και ημι-πάγια κεφάλαια (οχήματα, μηχανολογικός εξοπλισμός, λιπάσματα, κλπ). Επιπρόσθετα, ενδέχεται να ευνοείται η καλλιέργεια μη κτηνοτροφικών ποικιλιών για λόγους κρατικών οικονομικών ενισχύσεων – επιδοτήσεων.

Το υπόδειγμα που παρουσιάζεται στην προηγούμενη ενότητα, βοηθά τον υπεύθυνο της εκμετάλλευσης να καταρτίσει ένα ανταγωνιστικό σιτηρέσιο για την κτηνοτροφική υπομονάδα του. Τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης, για παράδειγμα οι σκιώδεις τιμές, επιτρέπουν στον παραγωγό μια ασφαλέστερη πρόβλεψη σχετικά με την οικονομική «τύχη» ενός καλλιεργούμενου είδους (ή ποικιλίας) επί μακρόν. Εάν μια ζωοτροφή, λόγω χάρη ο αραβόσιτος, (α) ευδοκιμεί στην περιοχή, (β) παρουσιάζει μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις, (γ) αξιοποιείται στη διατροφή των ζώων της εκμετάλλευσης και (δ) οι σκιώδεις τιμές «συνηγορούν» στην χρήση του επί μακρόν, είναι δυνατόν να επικεντρωθεί η γεωργική παραγωγή στην καλλιέργειά του.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπου το σιτηρέσιο της κτηνοτροφικής υπομονάδας μιας μεικτής εκμετάλλευσης είναι μερικώς (ή ολικώς) προκαθορισμένο, μαθηματικά μοντέλα όπως αυτό της προηγούμενης ενότητας είναι ακατάλληλα για οικονομική αξιολόγηση. Σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται η σύνταξη ενός μαθηματικού υποδείγματος με στοιχεία όπως αυτά του υποδείγματος της 3^{ης} ενότητας: ενός υποδείγματος δηλαδή, το οποίο μεγιστοποιεί το οικονομικό αποτέλεσμα αριστοποιώντας το εισόδημα από την κτηνοτροφική και τη γεωργική υπομονάδα, η οποία όμως «οφείλει» να συντηρεί (μερικώς ή ολικώς) και να μεγεθύνει (εάν είναι δυνατόν) την αγέλη, και άρα το συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα.

Μέρος των στοιχείων που χρησιμοποιούνται παρακάτω, προέρχονται από τη μελέτη περίπτωσης των Sintori, Rozakis & Tsiboukas, όπως αυτή παρουσιάζεται στο άρθρο τους “Utility-derived supply function of sheep milk: The case of Etoloakarnania, Greece” που δημοσιεύθηκε το 2010 και χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από την Α. Σιντόρη στην ευρύτερη περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας στο πλαίσιο της διπλωματικής της εργασίας.

Παρουσίαση

Παραγωγός διαθέτει στην περιοχή της δυτικής Ελλάδας εκμετάλλευση που αποτελείται από ιδιόκτητο βοσκότοπο, ένα ποιμνιο προβάτων και καλλιεργούμενες εκτάσεις 28 στρεμμάτων. Η εκμετάλλευση έχει έσοδα από την πώληση πρόβειου γάλακτος και κρέατος και έσοδα από την πώληση ζωοτροφών που καλλιεργούνται και παράγονται στις ιδιόκτητες εκτάσεις. Το σιτηρέσιο των ζώων είναι προκαθορισμένο και αποτελείται από αραβόσιτο και μηδική. Η αναλογία δεν είναι αυστηρά καθορισμένη, απαιτείται ωστόσο το 43% (κατ' ελάχιστο) της ενέργειας που προσλαμβάνει το ζώο να προέρχεται από συμπυκνωμένες ζωοτροφές.

Πίνακας 30: Διαθέσιμες εκτάσεις

| <i>Έκταση</i> | <i>Μέγεθος (στρ.)</i> | |
|--------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Ιδιόκτητη ξηρική | 0 | |
| Ιδιόκτητη ποτιζόμ. | 28 | |
| Βοσκότοπος ιδιόκτ. | 15 | <i>Κόστος χρήσης (€ /στρ.)</i> |
| Βοσκότοπος κοινοτ. | 20 | 50 |
| Βοσκότοπος ενοικ. | 50 | 100 |

Τα έσοδα του παραγωγού προέρχονται όπως προαναφέρθηκε από την πώληση ζωικών προϊόντων, από οικονομικές ενισχύσεις που παρέχονται για ένα μέρος των προβατίνων της εκμετάλλευσης (το πολύ 15 προβατίνες), από την πώληση ιδιοπαραγόμενων ζωοτροφών και από οικονομικές ενισχύσεις αναλόγως του είδους της καλλιέργειας και της αντίστοιχης καλλιεργούμενης έκτασης.

Πίνακας 31: Πηγές εσόδων

| <i>Πηγές εσόδων</i> | <i>Επιδοτ. Προβατίνες</i> | <i>Μη επιδοτ. Προβ.</i> |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Από πώληση γάλακτος & αρνιών γάλακτος | 178 | 153 |
| Από πώληση γάλακτος & αρνιών ηλικ. 3 μηνών | 210 | 170 |
| <i>Πώληση ζωοτροφών</i> | <i>€/κιλό</i> | |
| Καρπός αραβοσίτου | 0,21 | |
| Μηδική | 0,18 | |
| <i>Ενισχύσεις</i> | <i>€/στρ.</i> | |
| Καλλιέργεια αραβοσίτου | 56,32 | |

Όλες οι εργασίες που απαιτούνται για την κτηνοτροφική δραστηριότητα, καλύπτονται από τη διαθέσιμη οικογενειακή εργασία και μόνο. Αντίθετα, για τις γεωργικές εργασίες, προσλαμβάνεται και ξένη εργασία από την ευρύτερη περιοχή, όταν και για όσο χρονικό διάστημα χρειαστεί, με μέσο κόστος 2,5€/ώρα. Συνεπώς, το μέγεθος του ποιμνίου πρέπει να είναι τέτοιο που να καθίσταται διαχειρίσιμο αποκλειστικά από την οικογένεια.

Πίνακας 32: Διαθέσιμη οικογενειακή εργασία

| <i>Μήνας</i> | <i>Ώρες</i> |
|--------------|-------------|
| Ιανουάριος | 216 |
| Φεβρουάριος | 288 |
| Μάρτιος | 312 |
| Απρίλιος | 312 |
| Μάιος | 324 |
| Ιούνιος | 300 |
| Ιούλιος | 324 |
| Αύγουστος | 324 |
| Σεπτέμβριος | 300 |
| Οκτώβριος | 324 |
| Νοέμβριος | 312 |
| Δεκέμβριος | 312 |

Τα νεαρά αρνιά του κοπαδιού πωλούνται για το κρέας τους. Η πώλησή τους γίνεται είτε κατά τη γέννησή τους, είτε στην ηλικία των 3 μηνών. Λόγω αυτών των διαφορετικών επιλογών, οι ανάγκες σε διατροφή ανά προβατίνα διαφοροποιούνται κάποιους μήνες του έτους. Για τον ίδιο λόγο, οι ανάγκες σε εργασία ανά προβατίνα (κατά τους ίδιους μήνες) είναι ελαφρώς αυξημένες στην περίπτωση εκείνη, κατά την οποία τα νεαρά αρνιά πωλούνται στην ηλικία των 3 μηνών.

Οι διαφοροποιήσεις αυτές επηρεάζουν τη διαθέσιμη οικογενειακή εργασία που «κατευθύνεται» στις γεωργικές δραστηριότητες και προφανώς επηρεάζουν και τις οικονομικές απολαβές του παραγωγού αφού:

- Απαιτείται αυξημένη πρόσληψη ξένης εργασίας
- Διαφοροποιείται η συνολική πρόσοδος ανά προβατίνα λόγω:
 - ο Μικρότερης διαθέσιμης ποσότητας γάλακτος προς πώληση (τα νεαρά αρνιά θηλάζουν επί 3μήνου)
 - ο Τα αρνιά 3 μηνών αποφέρουν σαφώς μεγαλύτερο έσοδο (υψηλότερο σωματικό βάρος)

Πίνακας 33: Ανάγκες προβατοτροφίας σε εργασία (ανά προβατίνα)

| <i>Μήνας</i> | <i>Ώρες</i> | <i>Ώρες</i> |
|--------------|-------------|-------------|
| Ιανουάριος | 3,53 | 3,53 |
| Φεβρουάριος | 0,44 | 0,44 |
| Μάρτιος | 2,35 | 2,35 |
| Απρίλιος | 1,67 | 1,67 |
| Μάιος | 1,57 | 1,73 |
| Ιούνιος | 0,72 | 0,87 |
| Ιούλιος | 0,33 | 0,33 |
| Αύγουστος | 0,33 | 0,33 |

| | | |
|----------------------|-----------------|----------------|
| Σεπτέμβριος | 0,32 | 0,32 |
| Οκτώβριος | 0,33 | 0,33 |
| Νοέμβριος | 0,32 | 0,32 |
| Δεκέμβριος | 0,33 | 0,33 |
| Πώληση αρνιών | γάλακτος | 3 μηνών |

Πίνακας 34: Ανάγκες καλλιέργειας σε εργασία (ανά στρέμμα)

| Μήνας | Ωρες | Ωρες |
|--------------------|-------------------|---------------|
| Ιανουάριος | 0 | 0 |
| Φεβρουάριος | 0 | 0,2 |
| Μάρτιος | 0 | 0 |
| Απρίλιος | 3,9 | 0 |
| Μάιος | 2,2 | 2,96 |
| Ιούνιος | 4,3 | 2,96 |
| Ιούλιος | 4 | 4,96 |
| Αύγουστος | 2 | 2,96 |
| Σεπτέμβριος | 0 | 2,96 |
| Οκτώβριος | 0,7 | 0 |
| Νοέμβριος | 0 | 0 |
| Δεκέμβριος | 0 | 0 |
| Καλλιέργεια | Αραβόσιτος | Μηδική |

Για την διατροφή των ζώων, πέραν των ιδιοπαραγόμενων ζωοτροφών, υπάρχει δυνατότητα χρήσης βοσκοτόπων (ιδιόκτητων, κοινοτικών και ενοικιαζόμενων) και βεβαίως η αγορά ζωοτροφών από το εμπόριο.

Πίνακας 35: Ανάγκες διατροφής (ανά προβατίνα)

| Μήνας | Ξ.Ο. (κιλά) | Ξ.Ο. (κιλά) | Αζωτ. Ουσίες (κιλά) | Αζωτ. Ουσίες (κιλά) | Ενέργεια (MJ) | Ενέργει α (MJ) |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Ιανουάριος | 41,65 | 41,65 | 3,22 | 3,22 | 273,21 | 273,21 |
| Φεβρουάριος | 46,7 | 46,7 | 4,1 | 4,1 | 323,44 | 323,44 |
| Μάρτιος | 53,98 | 66,42 | 4,77 | 5,86 | 365,58 | 449,9 |
| Απρίλιος | 46,08 | 52,89 | 3,67 | 4,2 | 303,84 | 344,64 |
| Μάιος | 46,21 | 46,21 | 3,79 | 3,79 | 313,97 | 313,97 |
| Ιούνιος | 38,77 | 38,77 | 2,44 | 2,44 | 242,04 | 242,04 |
| Ιούλιος | 29,61 | 29,61 | 1,58 | 1,58 | 180,36 | 180,36 |
| Αύγουστος | 32,79 | 32,79 | 1,93 | 1,93 | 196,19 | 196,19 |
| Σεπτέμβριος | 33,78 | 33,78 | 2,21 | 2,21 | 214,02 | 214,02 |
| Οκτώβριος | 34,91 | 34,91 | 2,28 | 2,28 | 221,15 | 221,15 |
| Νοέμβριος | 33,78 | 33,78 | 2,21 | 2,21 | 214,02 | 214,02 |
| Δεκέμβριος | 34,91 | 34,91 | 2,28 | 2,28 | 221,15 | 221,15 |
| Πώληση αρνιών | γάλακτος | 3 μηνών | γάλακτος | 3 μηνών | γάλακτος | 3 μηνών |

Πίνακας 36: Θρεπτική αξία ζωοτροφών

| Ζωοτροφή | Ξ.Ο. (κιλά / κιλό) | Αζωτ. Ουσίες (κιλά / κιλό) | Ενέργεια (MJ/kg) |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| ιδιοπ. Αραβόσιτος | 0,88 | 0,07 | 8,4 |
| ιδιοπ. Μηδική | 0,85 | 0,105 | 4,1 |
| αγορ. Αραβόσιτος | 0,88 | 0,073 | 8,4 |
| αγορ. Μηδική | 0,85 | 0,105 | 4,1 |

Πίνακας 37: Θρεπτική αξία βοσκοτόπων (ανά στρέμμα)

| Μήνας | Ξ.Ο. (κιλά) | Αζωτ. Ουσίες (κιλά) | Ενέργεια (MJ) |
|--------------|--------------------|----------------------------|----------------------|
| Ιανουάριος | 4 | 0,422 | 25,111 |
| Φεβρουάριος | 4 | 0,422 | 25,111 |
| Μάρτιος | 8,5 | 0,897 | 53,361 |
| Απρίλιος | 8,6 | 0,908 | 53,989 |
| Μάιος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Ιούνιος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Ιούλιος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Αύγουστος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Σεπτέμβριος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Οκτώβριος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Νοέμβριος | 8,7 | 0,918 | 54,617 |
| Δεκέμβριος | 4 | 0,422 | 25,111 |

Σημ.: Τα στοιχεία των ανωτέρω πινάκων περιλαμβάνουν τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά του συνόλου του κοπαδιού των ζώων (ενήλικων αρσενικών, ενήλικων θηλυκών και νεαρών ανώριμων προβάτων). Ωστόσο, για λόγους ευκολίας, τα στοιχεία έχουν αναχθεί και παρουσιάζονται «ανά προβατίνα» (ενήλικο, θηλυκό, πλήρως παραγωγικό πρόβατο). Κάθε προβατίνα, δηλαδή, περιέχει αναλογικά τις ανάγκες των κριών και των αρνιών του κοπαδιού.

Αντικειμενικός σκοπός είναι η κατασκευή υποδείγματος που θα μεγιστοποιεί το κέρδος του παραγωγού καθορίζοντας το μέγεθος της αγέλης, το είδος και την έκταση της καλλιέργειας, το ύψος των αγοραζόμενων τροφών και την έκταση της χρήσης (ή μη) των διαθέσιμων βοσκοτόπων.

Πίνακας 38: Κόστος καλλιέργειας (ετήσιο)

| Κόστος καλλιέργειας | € /στρ. |
|----------------------------|----------------|
| Καρπός αραβοσίτου | 119,6 |
| Μηδική | 74,73 |

Πίνακας 39: Κόστος αγοράς ζωοτροφών

| <i>Αγορά ζωοτροφών</i> | <i>€ /κιλό</i> |
|------------------------|----------------|
| Καρπός αραβοσίτου | 0,21 |
| Μηδική | 0,18 |

Πίνακας 40: Στρεμματική απόδοση

| <i>Απόδοση καλλιέργειας</i> | <i>κιλά / στρ.</i> |
|-----------------------------|--------------------|
| Καρπός αραβοσίτου | 500 |
| Μηδική | 1250 |

(Sintori *et al.*, 2010)

Μαθηματική διατύπωση

Τα σύνολα ορίζονται ως εξής:

- Οι καλλιεργούμενες ζωοτροφές αποτελούν το σύνολο f_i
 - Το υποσύνολο $irr(f_i)$ περιέχει τις ποτιστικές καλλιέργειες
 - Το υποσύνολο $conc_c_c(f_i)$ περιέχει τις συμπυκνωμένες καλλιεργούμενες ζωοτροφές
- Οι αγοραζόμενες ζωοτροφές αποτελούν το σύνολο f_s
 - Το υποσύνολο $conc_p_c(f_s)$ περιέχει τις συμπυκνωμένες αγοραζόμενες ζωοτροφές
- Οι διαφορετικές επιλογές της ηλικίας πώλησης των αρνιών αποτελούν το σύνολο a , ενώ της ύπαρξης (ή μη) επιδότησης το σύνολο r
- Οι διαφορετικές «κατευθύνσεις» της διαθέσιμης εργασίας αποτελούν το σύνολο l
- Οι διαφορετικές «πηγές» της διαθέσιμης εργασίας αποτελούν το σύνολο s
- Το σύνολο των ημερολογιακών μηνών συμβολίζεται με t
- Οι βοσκότοποι διαφορετικής προέλευσης αποτελούν το σύνολο g
- Τα θρεπτικά συστατικά αποτελούν το σύνολο u

Οι παράμετροι του υποδείγματος είναι οι εξής:

- Η απόδοση της γης σε κιλά
 - $Yield(f_i)$
- Η μηνιαία θρεπτική αξία των βοσκοτόπων σε κιλά
 - $nv_past(t,u)$
- Η θρεπτική αξία των καλλιεργούμενων ζωοτροφών σε κιλά (ή MJ) ανά κιλό
 - $nv_cul(f_i,u)$
- Η θρεπτική αξία των αγοραζόμενων ζωοτροφών σε κιλά (ή MJ) ανά κιλό

- $nv_pur(fs,u)$
- Οι μηνιαίες ανάγκες διατροφής σε κιλά ανά προβατίνα
 - $n(a,t,u)$
- Η μισθολογική δαπάνη σε ευρώ ανά ώρα
 - $w(l,s)$
- Οι μηνιαίες ανάγκες των καλλιεργειών σε εργασία σε ώρες ανά στρέμμα
 - $lab_req_crops(fi,t)$
- Οι μηνιαίες ανάγκες των ζώων σε εργασία σε ώρες ανά προβατίνα
 - $lab_req_anim(a,t)$
- Η διαθέσιμη μηνιαία οικογενειακή εργασία σε ώρες
 - $avail(t)$
- Η διαθέσιμη ιδιόκτητη αρδευόμενη έκταση σε στρέμματα
 - irr_land
- Η διαθέσιμη ιδιόκτητη βοσκούμενη έκταση σε στρέμματα
 - own_land
- Η διαθέσιμη κοινοτική βοσκούμενη έκταση σε στρέμματα
 - $graz_mun$
- Η διαθέσιμη ενοικιαζόμενη βοσκούμενη έκταση σε στρέμματα
 - $rent_land$
- Η συνολική ιδιόκτητη έκταση σε στρέμματα
 - $land$
- Ο μέγιστος αριθμός επιδοτούμενων προβατίνων
 - num_elig
- Η ακαθάριστη πρόσοδος από την πώληση ζωοτροφών σε ευρώ ανά κιλό
 - $crop_sell_p(fi)$
- Η ακαθάριστη πρόσοδος από την πώληση ζώων και ζωικών προϊόντων σε ευρώ ανά προβατίνα
 - $anim_gross_r(a,r)$
- Τα ετήσια κόστη καλλιέργειας σε ευρώ ανά στρέμμα
 - $cul_crop_cost(fi)$
- Τα κόστη εκτροφής σε ευρώ ανά προβατίνα
 - $anim_cost(a)$
- Τα ετήσια κόστη ενοικίασης των βοσκοτόπων σε ευρώ ανά στρέμμα
 - $pasture_cost(g)$
- Τα κόστη αγοράς των ζωοτροφών σε ευρώ ανά κιλό
 - $feed_cost(fs)$
- Οι ετήσιες επιδοτήσεις για τα καλλιεργούμενα είδη σε ευρώ ανά στρέμμα
 - $subsidy(fi)$
- Το ποσοστό της ενέργειας που πρέπει να καλύπτεται (θρεπτικά) από τις συμπυκνωμένες ζωοτροφές
 - $percent_energy$

Οι μεταβλητές του υποδείγματος είναι οι εξής:

- Τα εδάφη των παραγόμενων για ιδιοκατανάλωση τροφών σε στρέμματα
 - $land_crop_cons(fi)$
- Τα εδάφη των παραγόμενων για πώληση τροφών σε στρέμματα
 - $land_crop_sold(fi)$
- Οι ποσότητες των αγοραζόμενων τροφών σε κιλά ανά μήνα
 - $feed_purc(fs,t)$
- Η κατανάλωση των παραγόμενων τροφών σε κιλά ανά μήνα
 - $feed_cons(fi,t)$
- Η προέλευση και ο προορισμός των μηνιαίων αναγκών εργασίας σε ώρες
 - $lab(l,s,t)$
- Η έκταση των διαφόρων βοσκοτόπων σε στρέμματα
 - $gland(g)$
- Ο αριθμός των προβατίνων που δικαιούνται επιδότηση ή μη και γεννούν αρνιά που πωλούνται αμέσως ή στην ηλικία των 3 μηνών
 - $anim(a,r)$

Συνεπώς, το γραμμικό πρόβλημα μπορεί να αποτυπωθεί συνοπτικά με τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

- Η απόδοση της γης (*yield*) που απασχολείται για την καλλιέργεια ειδών με σκοπό την ιδιοκατανάλωση ($land_crop_cons$) πρέπει να ισούται με την ετήσια κατανάλωση αυτών ($feed_cons$)
 - $Yield(fi) \times land_crop_cons(fi) = \sum_t feed_cons(fi, t)$ για κάθε στοιχείο του συνόλου fi
- Το συνολικό περιεχόμενο σε θρεπτικά στοιχεία (u) των αγοραζόμενων (nv_pur), καλλιεργούμενων (nv_cul) και βοσκομένων (nv_past) τροφών πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το σύνολο των αναγκών των ζώων (n)
 - $$\begin{aligned} & \sum_g nv_past(t, u) \times gland(g) && + \\ & \sum_{fi} nv_cul(fi, u) \times feed_cons(fi, t) && + \\ & \sum_{fs} nv_pur(fs, u) \times feed_purc(fs, t) && \geq \\ & \sum_a \sum_r n(a, t, u) \times anim(a, r) \end{aligned}$$
 για κάθε στοιχείο του συνόλου t και u
- Το περιεχόμενο της χορηγούμενης τροφής σε ενέργεια ($u = energy$) πρέπει να προέρχεται από τις συμπυκνωμένες ζωοτροφές ($conc_c_c$ και $conc_p_c$) σε ποσοστό τουλάχιστον ίσο με 43% ($percent_energy$)
 - $$\begin{aligned} & \sum_{conc_c_c} nv_cul(conc_c_c, u) \times yield(conc_c_c) \times land_crop_cons(conc_c_c) \\ & + \sum_t \sum_{conc_p_c} nv_pur(conc_p_c, u) \times feed_purc(conc_p_c, t) \geq \\ & percent_energy \times \sum_a \sum_r \sum_t n(a, t, u) \times anim(a, r) \end{aligned}$$
 για $u = energy$
- Οι ανάγκες εργασίας (μοναδιαίες χρήσης εργασίας) για τις πωλούμενες ($land_crop_sold$) και τις καταναλισκόμενες καλλιέργειες ($land_crop_cons$) πρέπει να καλύπτονται από τη διαθέσιμη οικογενειακή και ξένη εργασία

- $\sum_{fi} lab_req_crops(fi, t) \times (land_crop_sold(fi) + land_crop_cons(fi)) = \sum_s lab(l, s, t)$ για κάθε t και $l = crops$
- Η οικογενειακή εργασία (lab) πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον τις ανάγκες εργασίας της προβατοτροφίας (lab_req_anim)
 - $\sum_r \sum_a (lab_req_anim(a, t) \times anim(a, r)) \leq lab(l, s, t)$ για κάθε t , ενώ $l = flock$ και $s = own$
- Οι ανάγκες σε οικογενειακή εργασία της γεωργικής και κτηνοτροφικής δραστηριότητας (lab) δεν πρέπει να υπερβαίνουν τη διαθέσιμη
 - $\sum_l lab(l, s, t) \leq avail(t)$ για κάθε t ενώ $s = own$
- Τα εδάφη που καλλιεργούνται με ποτιστικές καλλιέργειες (irr) δεν μπορούν να είναι περισσότερα από τη συνολική αρδευόμενη έκταση (irr_land)
 - $\sum_{irr} (land_crop_sold(irr) + land_crop_cons(irr)) \leq irr_land$
- Τα εδάφη που καλλιεργούνται για παραγωγή ζωοτροφών (προς πώληση και ιδιοκατανάλωση) και τα ιδιόκτητα βοσκούμενα εδάφη ($gland$) δεν μπορούν να ξεπερνούν τη συνολική διαθέσιμη ιδιόκτητη έκταση ($land$)
 - $\sum_{fi} (land_crop_sold(fi) + land_crop_cons(fi)) + gland(g) \leq land$ για $g = own$
- Η έκταση του ενοικιαζόμενου βοσκότοπου ('rent') δεν μπορεί να υπερβαίνει τα διαθέσιμα προς ενοικίαση βοσκοτόπια ($rent_land$)
 - $gland('rent') \leq rent_land$
- Η έκταση του κοινοτικού βοσκότοπου ('commun') που χρησιμοποιείται δεν μπορεί να υπερβαίνει τη συνολική έκταση του κοινοτικού βοσκότοπου ($graz_mun$)
 - $gland('commun') \leq graz_mun$
- Οι προβατίνες που εκτρέφονται ($anim$) και δικαιούνται επιδότησης ('elig') δεν μπορεί να είναι περισσότερες από 15 (num_elig)
 - $\sum_a anim(a, r) \leq num_elig$ για $r = elig$

Η αντικειμενική συνάρτηση εκφράζει το ακαθάριστο κέρδος που πρέπει να μεγιστοποιηθεί και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned}
 F = & \sum_{fi} (crop_sell_p(fi) \times land_crop_sold(fi) \times yield(fi)) - \\
 & \sum_{fi} (cul_crop_cost(fi) \times (land_{crop_cons(fi)} + land_{crop_sold(fi)})) + \\
 & \sum_{fi} (subsidy(fi) \times (land_{crop_cons(fi)} + land_{crop_sold(fi)})) + \\
 & \sum_r \sum_a (anim_gross_r(a, r) \times anim(a, r)) - \sum_r \sum_a (anim_cost(a) \times anim(a, r)) - \\
 & \sum_g (pasture_cost(g) \times gland(g)) - \sum_t \sum_{fs} (feed_cost(fs) \times feed_purc(fs, t)) - \\
 & \sum_t \sum_s \sum_l (lab(l, s, t) \times w(l, s))
 \end{aligned}$$

Δηλαδή το κέρδος προκύπτει από:

- τα έσοδα της φυτικής παραγωγής που πωλείται
- μείον το κόστος καλλιέργειας των εδαφών

- συν τις όποιες επιδοτήσεις για τις καλλιέργειες
- συν τα έσοδα της ζωικής παραγωγής που πωλείται (συμπεριλαμβάνονται οι ενισχύσεις που λαμβάνουν κάποιες προβατίνες)
- μείον τα έξοδα ανατροφής των ζώων
- μείον το κόστος ενοικίασης βοσκοτόπων
- μείον το κόστος αγοράς ζωοτροφών
- μείον το εργατικό (μισθολογικό) κόστος

Σύνταξη στο GAMS

Η σύνταξη του υποδείγματος στο GAMS παρουσιάζεται στο Παράρτημα 6.

Αποτελέσματα

Η επίλυση του υποδείγματος γίνεται επιτυχώς και δίνει στην άριστη λύση κέρδος ίσο με 8666 ευρώ.

Στην άριστη λύση, το ποίμνιο των προβατίνων αριθμεί 61 ζώα ως εξής:

Πίνακας 41: Αριθμός ζώων

| <i>Πώληση αρνιών</i> | <i>Επιδοτ.</i> | <i>Αριθμός προβατίνων</i> |
|----------------------|----------------|---------------------------|
| γάλακτος | ναι | 0 |
| 3 μηνών | ναι | 15 |
| γάλακτος | όχι | 0 |
| 3 μηνών | όχι | 46 |

Ο μέγιστος αριθμός των ζώων καθορίζεται από τη διαθέσιμη οικογενειακή εργασία ανά μήνα:

Πίνακας 42: Αξιοποίηση οικογενειακής εργασίας

| | <i>Οικογενειακή εργασία</i> | | |
|--------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
| | <i>Διαθέσ.</i> | <i>Αξιοπ.</i> | <i>Περισ.</i> |
| <i>Ιανουάριος</i> | 216 | 215,3 | 0,7 |
| <i>Φεβρουάριος</i> | 288 | 32,44 | 255,6 |
| <i>Μάρτιος</i> | 312 | 143,35 | 168,7 |
| <i>Απρίλιος</i> | 312 | 101,87 | 210,1 |
| <i>Μάιος</i> | 324 | 188,41 | 135,6 |
| <i>Ιούνιος</i> | 300 | 135,95 | 164,1 |
| <i>Ιούλιος</i> | 324 | 159,01 | 165 |
| <i>Αύγουστος</i> | 324 | 103,01 | 221 |
| <i>Σεπτέμβριος</i> | 300 | 46,4 | 253,6 |
| <i>Οκτώβριος</i> | 324 | 20,13 | 303,9 |

| | | | |
|-------------------|-----|-------|-------|
| <i>Νοέμβριος</i> | 312 | 19,52 | 292,5 |
| <i>Δεκέμβριος</i> | 312 | 20,13 | 291,9 |

Αναφορικά με τις ιδιόκτητες εκτάσεις, αυτές αξιοποιούνται πλήρως για βόσκηση και καλλιέργεια ζωοτροφών ως εξής:

- Μηδική για κατανάλωση καλλιεργείται σε 17,4 στρέμματα
- Μηδική για πώληση καλλιεργείται σε 10,6 στρέμματα
- Αραβόσιτος δεν καλλιεργείται καθόλου

Οι αγορές αραβοσίτου ανά μήνα είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 43: Αγορά ζωοτροφών από το εμπόριο (kg)

| <i>Μήνας</i> | <i>Ποσότητα</i> |
|--------------|-----------------|
| Ιανουάριος | 1041 |
| Φεβρουάριος | 1420 |
| Μάρτιος | 1857 |
| Απρίλιος | 1269 |
| Μάιος | 1291 |
| Ιούνιος | 762 |
| Ιούλιος | 505 |
| Αύγουστος | 513 |
| Σεπτέμβριος | 704 |
| Οκτώβριος | 729 |
| Νοέμβριος | 704 |
| Δεκέμβριος | 754 |

Η ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων (βλ. Παράρτημα 6) έδειξε πως:

- Ένα επιπλέον στρέμμα αρδευόμενης έκτασης θα αύξανε τα κέρδη κατά 150 ευρώ
- Η χρήση των κοινοτικών βοσκοτόπων θα ήταν συμφέρουσα εάν το κόστος ενοικίασής τους ήταν μειωμένο κατά 30 ευρώ, ενώ των ενοικιαζόμενων από τρίτους βοσκοτόπων εάν ήταν φθηνότερο κατά 80 ευρώ.
- Ο αραβόσιτος θα καλλιεργούταν στα ιδιόκτητα εδάφη εάν ήταν φθηνότερο το κόστος καλλιέργειάς του κατά 108,5 ευρώ ανά στρέμμα (ή απολάμβανε μεγαλύτερη επιδότηση, τουλάχιστον κατά 108,5)
- Η ξένη εργασία δεν είναι καθόλου απαραίτητη
- Μία παραπάνω προβατίνα θα απέφερε κέρδη τουλάχιστον 46 ευρώ και ενδεχομένως μέχρι 98 ευρώ (αναλόγως της ηλικίας πώλησης των αρνιών που θα γεννούσε και της δυνατότητας να επιδοτηθεί)

Αξιοποίηση του υποδείγματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δόμηση, παρουσίαση και επίλυση τέτοιων προβλημάτων στο GAMS ενέχει πολλά πλεονεκτήματα. Η ανάλυση ευαισθησίας που προηγήθηκε σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την άριστη λύση, αποτελούν ένα εξαιρετικό συμβουλευτικό εργαλείο για τον παραγωγό. Στη συνέχεια, παρατίθενται σύντομα δύο απλοί τρόποι αξιοποίησης του υποδείγματος που θα μπορούσαν κάλλιστα να αποτελέσουν προτάσεις προς τον παραγωγό, προκειμένου να αυξήσει τα κέρδη του.

- Από τον Πίνακα 42 προκύπτει πως ο μήνας Ιανουάριος είναι μάλλον ο καθοριστικότερος για την αξιοποίηση της οικογενειακής εργασίας. Δεδομένης της «άφθονης» περίσσειας διαθέσιμης οικογενειακής εργασίας τον υπόλοιπο χρόνο, μια χρήσιμη πρόταση προς τον παραγωγό, θα ήταν η πρόσληψη ξένης βοηθητικής εργασίας για τις κτηνοτροφικές εργασίες έστω για το μήνα Ιανουάριο και μόνο. Ενδεικτικά αναφέρεται πως 100 επιπλέον ώρες ξένης εργασίας τον Ιανουάριο, θα είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ακαθάριστων κερδών κατά 1635 ευρώ, με μισθολογικό κόστος 250 ευρώ, μόνο.
- Η ευελιξία στη δόμηση και τροποποίηση του υποδείγματος φαίνεται και στο εξής υποθετικό παράδειγμα:
 - Έστω ότι ο παραγωγός διαθέτει πλέον μια νέα, μη αρδευόμενη έκταση επιφάνειας 15 στρεμμάτων, όπου έχει τη δυνατότητα να σπείρει και να θερίσει κριθάρι προκειμένου να το χρησιμοποιήσει ως ζωοτροφή ή να το πουλήσει στο εμπόριο. Ταυτόχρονα, στην περιοχή που έχει τις καλλιέργειές του, εγκαθίσταται δύο νέες εργοστασιακές μονάδες: η μία έχει ως αντικείμενο την επεξεργασία βάμβακος και η άλλη την παραγωγή ζάχαρης. Συνεπώς, ο παραγωγός βρίσκεται σε δίλημμα σχετικά με το είδος της καλλιέργειας που θα επιλέξει, αφού μπορεί πλέον να καλλιεργεί και κριθάρι, ενώ υπάρχει και η ευκαιρία αξιοποίησης της (συνολικής) έκτασης του για καλλιέργεια βάμβακος (απολαμβάνει αξιόλογων ενισχύσεων) ή ζαχαροτεύλων. Οι δύο τελευταίες καλλιέργειες δεν μπορούν μεν να αξιοποιηθούν από τα ζώα του, κάτι τέτοιο όμως δεν φαίνεται να τον απασχολεί εφόσον η αγορά ζωοτροφών από το εμπόριο είναι μια πολύ βολική λύση.
 - Το υπόδειγμα που έχει ήδη δομηθεί στο GAMS μπορεί να τροποποιηθεί ελαφρώς (βλ. Παράρτημα 7) προκειμένου να συμπεριλάβει τις τρεις νέες εναλλακτικές καλλιέργειες και να δώσει την άριστη λύση. Συνολικά, η προσαρμογή στα νέα δεδομένα δεν απαιτεί περισσότερα από 5 λεπτά !
 - Η επίλυση δίδει τα ακόλουθα αποτελέσματα:
 - Το κριθάρι καλλιεργείται σε έκταση 15 στρεμμάτων (ξηρική καλλιέργεια).

- Τα 28 αρδευόμενα στρέμματα αξιοποιούνται για την παραγωγή βάμβακος.
- Η διατροφή των ζώων καλύπτεται από το παραγόμενο κριθάρι, τον ιδιόκτητο βοσκότοπο και την αγορά ζωοτροφών (αραβοσίτου και μηδικής) από το εμπόριο.
- Το κέρδος του στην άριστη λύση ανέρχεται πλέον στα 11568,70 €

Συμπεράσματα

Η οικονομική αξιολόγηση του κόστους διατροφής μιας κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης είναι καλύτερη, ουσιαστικότερη και πιο ολοκληρωμένη, όταν γίνεται με τη μεθοδολογία του γραμμικού προγραμματισμού. Η παραδοσιακή μέθοδος κατάρτισης σιτηρεσίων, εκτός από επίπονη και χρονοβόρα, δεν μπορεί σε καμιά περίπτωση να είναι απολύτως αξιόπιστη από πλευράς οικονομικού αποτελέσματος. Η αιτία αυτού του γεγονότος έγκειται στην δυσκολία και το πλήθος των πράξεων που πρέπει να γίνουν προκειμένου να προσδιοριστεί το μείγμα διατροφής. Επιπρόσθετα, ο υπεύθυνος διατροφής πρέπει, κατά τη διάρκεια κατάρτισης του μείγματος, να οδηγηθεί αναγκαστικά σε κάποια συμπεράσματα και παραδοχές αμφίβολου οικονομικού κόστους. Η δυσκολία στις διαδικασίες κατάρτισης σιτηρεσίων, αυξάνεται περαιτέρω όσο αυξάνουν και οι διαθέσιμες επιλογές στις ζωοτροφές. Αντί, δηλαδή, περισσότερες διαθέσιμες τροφές να οδηγούν σε σιτηρέσια πιο ανταγωνιστικού κόστους, υπάρχει περίπτωση αυτό να μην επιτυγχάνεται λόγω αδυναμίας «εκτεταμένης» οικονομικής αξιολόγησης όλων αυτών των επιλογών.

Αντίθετα, με τη χρήση μεθοδολογίας γραμμικού προγραμματισμού, η οικονομική αξιολόγηση και ο προσδιορισμός του κόστους διατροφής γίνεται ασφαλώς αναλυτικότερα. Όλα τα κριτήρια (περιορισμοί) εξετάζονται ταυτόχρονα, αυξάνοντας την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος. Η οικονομική αξιολόγηση των τροφών μπορεί, πρακτικά, να πραγματοποιηθεί σε δεκάδες κατηγορίες θρεπτικών συστατικών και να οδηγήσει σε μαθηματικά άριστο, οικονομικά, αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει κατά την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας «συνοδεύεται» και από ανάλυση ευαισθησίας. Η σημασία αυτής είναι κεφαλαιώδης, καθώς μπορεί να υποδείξει στον υπεύθυνο διατροφής τις πλέον σημαντικές ζωοτροφές προκειμένου να εξασφαλιστεί η επάρκειά τους, ή εκείνες τις τροφές που οριακά συμμετέχουν στο μείγμα και εύκολα μπορεί να αντικατασταθούν εάν το κόστος απόκτησής τους διαφοροποιηθεί προς τα πάνω.

Η κατάρτιση σιτηρεσίων με τη μεθοδολογία του γραμμικού προγραμματισμού είναι μεν ευκολότερη, πρακτικά απαιτεί ωστόσο τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (με διαθέσιμο το εμπορικό πακέτο MS Excel) και ενδεχομένως τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού (GAMS). Στις περισσότερες «καθημερινές» περιπτώσεις πάντως, απαιτεί εξοπλισμό και λογισμικό τυπικό, διαθέσιμο στον καθένα. Από πλευράς γνώσεων, η χρήση του γραμμικού προγραμματισμού είναι ελάχιστα πολυπλοκότερη της κλασσικής μεθοδολογίας κατάρτισης μειγμάτων, αλλά δεν ξεφεύγει γενικά των γνώσεων ενός γεωπόνου-ζωοτέχνη με στοιχειώση εμπειρία στην κατάρτιση σιτηρεσίων.

Πέραν της διατροφής, οι δυνατότητες του γραμμικού προγραμματισμού είναι πραγματικά μεγάλες και ιδιαίτερες χρήσιμες στις μεικτές εκμεταλλεύσεις. Οι περισσότεροι, κατά γενική ομολογία, παραγωγοί – ιδιοκτήτες μεικτών εκμεταλλεύσεων αντιμετωπίζουν προβλήματα στην αξιολόγηση των πολλών και διαφορετικών επιλογών καλλιέργειας που έχουν και στους επαγόμενους συνδυασμούς

διατροφής και εκτροφής των ζώων της μονάδας τους. Ενδεικτικά αναφέρεται πως οι καλλιέργειες μπορεί να εξυπηρετούν ίδιες ανάγκες (διατροφή ζώων, διατροφή ανθρώπων) ή / και εμπορικές ανάγκες (πώληση ζωοτροφών / καλλιέργειών στο εμπόριο), οι ανάγκες των εκμεταλλεύσεων να καλύπτονται από την οικογένεια αλλά και από ξένη εργασία, καθώς και να υπάρχει οικονομική ενίσχυση για κάποια από τα καλλιεργούμενα είδη ή / και τα εκτρεφόμενα ζώα.

Η τελευταία, ειδικά, παράμετρος είναι καθαρά εξωγενής, επηρεάζει ωστόσο καταλυτικά το εισόδημα του παραγωγού και επομένως τις επιλογές του. Η κρατική ή / και κοινοτική νομοθεσία μεταβάλλεται κατά καιρούς, δημιουργώντας στον παραγωγό την ανάγκη αξιολόγησης των νέων εναλλακτικών επιλογών καλλιέργειας και εκτροφής που του παρουσιάζονται. Ένα υπόδειγμα γραμμικού προγραμματισμού, μπορεί να συνυπολογίσει όλους αυτούς τους παράγοντες και να κατευθύνει τον παραγωγό στις επιλογές εκείνες που του αποφέρουν το βέλτιστο όφελος.

Ενδεικτικά, ένα «διευρυμένο» υπόδειγμα γραμμικού προγραμματισμού για μεικτές εκμεταλλεύσεις, μπορεί να συνυπολογίζει: τις διαθέσιμες καλλιεργούμενες εκτάσεις και το είδος τους, την έκταση, το είδος και το κόστος των βοσκοτόπων, το ύψος και το είδος των κρατικών / κοινοτικών οικονομικών ενισχύσεων, το είδος των νομικών περιορισμών στις επιδοτήσεις, το είδος και την παραγωγική κατεύθυνση των εκτρεφόμενων ζώων, αλλά και τη διαθέσιμη οικογενειακή και ξένη εργασία προκειμένου να δίνει τις κατευθύνσεις για τη μεγιστοποίηση του εισοδήματος του παραγωγού.

Η επίλυση τέτοιων προβλημάτων δίνει κατευθύνσεις σχετικά με: την έκταση της καλλιέργειας κάθε φυτικού είδους, τον «προορισμό» κάθε καλλιεργούμενου είδους (κατανάλωση, πώληση), το βέλτιστο χρόνο πώλησης των εκτρεφόμενων ζώων (στη γέννηση, στον απογαλακτισμό, μετά από εντατική πάχυνση, κλπ), τις ανάγκες σε εργασία ανά πηγή (ίδια, ξένη), κατεύθυνση και χρονική περίοδο, τις ανάγκες σε κεφάλαια ανά χρονική περίοδο και δραστηριότητα, ενώ μπορεί να δώσει κατευθύνσεις για το μέγεθος εκείνο της εκτροφής, που, δεδομένων των περιορισμών, αποφέρει τελικά το μεγαλύτερο κέρδος.

Τα υποδείγματα αυτά που αναφέρονται σε μεικτές εκμεταλλεύσεις απαιτούν, βεβαίως, μεγαλύτερη εμπειρία και γνώσεις για την κατασκευή τους, είναι ωστόσο ευπροσάρμοστα σε νέα δεδομένα και τα αποτελέσματά τους κρίνονται μάλλον πολύτιμα.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως τα υποδείγματα γραμμικού προγραμματισμού είναι ικανά για εξαγωγή συμπερασμάτων όποιο και αν είναι το αντικειμενικό κριτήριο. Το κέρδος, είναι βεβαίως το κυριότερο στοιχείο που συνήθως χρήζει βελτιστοποίησης, ωστόσο ένα υπόδειγμα γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να δομηθεί έτσι ώστε ταυτόχρονα να βελτιώνει και άλλους παράγοντες. Η ελαχιστοποίηση της χρήσης της οικογενειακής εργασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, για παράδειγμα, θα ήταν ζητούμενο για κάθε παραγωγό και ιδιαιτέρως

αποδεκτό εάν προέκυπτε με μικρό κόστος. Τέτοια δευτερεύοντα ζητήματα, μπορούν να αποτελέσουν τμήμα των υποδειγμάτων, το καθένα μάλιστα με συγκεκριμένη «βαρύτητα» και προτεραιότητα. Η επίλυση, κατόπιν, αυτών των προβλημάτων δίνει ένα αποτέλεσμα το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί πολύπλευρα αποδεκτό, ακόμα και αν δεν είναι άριστο από οικονομική σκοπιά.

Ξενόγλωση Βιβλιογραφία

- Baker, K. R. (2011). *Optimization Modeling with Spreadsheets* (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Biovision Foundation. (2010, September 14). *Animal nutrition and feed rations*. Retrieved August 2, 2011, from infonet-biovision: <http://www.infonet-biovision.org/default/ct/287/animalKeeping>
- Crosson, P., O'Kiely, P., O'Mara, F. P., & Wallace, M. (2006). The development of a mathematical model to investigate Irish beef production systems. *Agricultural Systems*, 89, 349-370.
- GAMS - The Solver Manual*. (2011). Washington DC, USA: GAMS Development Corporation.
- Glen, J. J. (1996, July). A development planning model for deer farming. *Agricultural Systems*, 51(3), 317-337.
- Holmes, D. (1994, April). A Collection of Stochastic Programming Problems. National Science Foundation
- McCarl, B. A., & Spreen, T. H. (2003). Chapter V - Linear Programming Modeling. In B. A. McCarl, & T. H. Spreen, *Applied Mathematical Programming Using Algebraic Systems*. URL: <http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/books.htm>
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J., & Morgan, C. A. (2002). *Animal Nutrition*. Pearson - Prentice Hall.
- Propoi, A. (1977, June). Dynamic Linear Programming Models for Livestock Farms. International Institute for Applied Systems Analysis
- Propoi, A., & Krivonozhko, V. (1978, September). The Simplex Method for Dynamic Linear Programs. International Institute for Applied Systems Analysis
- Ragsdale, C. T. (2008). *Spreadsheet Modeling & Decision Analysis - A Practical Introduction to Management Science* (5th ed.). Thomson - South-Western.
- Rosenthal, R. E. (2011). *GAMS - A User's Guide*. Washington DC, USA: GAMS Development Corporation.
- Sintori, A., Rozakis, S., & Tsiboukas, K. (2010). Utility-derived supply function of sheep milk: The case of Etoloakarnania, Greece. *Food Economics - Acta Agricult Scand C*, 7, 87-99.
- Swart, W., Smith, C., & Holderby, T. (1975). Chapter 8 - Expansion Planning for a Large Dairy Farm. In H. M. Salkin, & J. Saha (Eds.), *Studies in Linear Programming* (pp. 163-182). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Tan, S. T. (2006). *Finite Mathematics for the Managerial, Life and Social Sciences* (8th ed.). Thomson - Brooks/Cole.

Veysset, P., Bebin, D., & Lherm, M. (2005). Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimization of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. *Agricultural Systems*, 83, 179-202.

Williams, H. (1999). *Model Building in Mathematical Programming* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αντωνέας, Γ. Ε., & Καλαϊσάκης, Π. Ν. (1963). Μορφή και λύσις του Γραμμικού προβλήματος. *Σπουδαί*, 1Γ'(6).

Αντωνέας, Γ. Ε., & Καλαϊσάκης, Π. Ν. (1964). Διερεύνησις των συνεπειών εκ της μεταβολής ωρισμένων στοιχείων ενός γραμμικού προβλήματος επί της άριστης λύσεως αυτού, με ειδικάς εφαρμογάς εις την διατροφήν των ζώων. *Σπουδαί*, 1Δ'(6).

Ζέρβας, Γ. Π. (2000). *Τα Ανόργανα Στοιχεία στη Διατροφή των Μηρυκαστικών Ζώων*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθαν. Σταμούλης.

Ζέρβας, Γ. Π. (2007). *Κατάρτιση σιτηρεσίων παραγωγικών ζώων*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Ζέρβας, Γ., Καλαϊσάκης, Π., & Φεγγερός, Κ. (2004). *Διατροφή Αγροτικών Ζώων* (2η έκδοση βελτιωμένη ed.). Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Ζωϊόπουλος, Π. (2011). Στις απαρχές συγκρότησης του θετικιστικού υποδείγματος της γεωπονικής εκπαίδευσης στην Ελλάδα. *Τριπτόλεμος*(32), 15-18.

Καλαϊσάκης, Π. (1982). *Εφηρμοσμένη διατροφή αγροτικών ζώων*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθαν. Σταμούλης.

Παπαδόπουλος, Γ. Κ. (1998). *Τεχνολογία Ζωοτροφών - Ποιοτικός έλεγχος*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθαν. Σταμούλης.

Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, Τ.Ε.Ι. Σερρών. (2008, Νοέμβριος 27). *Γραμμικός Προγραμματισμός (ηλεκτρονικές σημειώσεις)*. (Χ. Σ. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ: Αν. Μπαλουκτσής (από 1/4/2003 έως 9/10/2007), Ed.) Retrieved Οκτώβριος 8, 2011, from Αναμόρφωση του Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής και Επικοινωνιών του Τ.Ε.Ι. Σερρών στο πλαίσιο του ΕΠΕΑΕΚ II: http://anamorfosi.teiser.gr/ekp_yliko/e-notes/Data/linear/main.htm

Παραρτήματα

Παράρτημα 1^ο

(αναφέρεται στη 1^η ενότητα, στην υποενότητα Β1)

Οι πίνακες Simplex παρουσιάζονται αναλυτικά στις ένθετες Α3 σελίδες που ακολουθούν.

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|----|----|-------|
| 860 | 870 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 |
| 860 | 870 | 300 | 880 | 860 | 870 | 870 | 900 | 900 | 900 | 895 | 890 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9000 |
| 310 | 400 | 53 | 22 | 48 | 26 | 103 | 155 | 126 | 62 | 255 | 182 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 2000 |
| 3.7 | 2.86 | 2.15 | 8 | 7.6 | 7.9 | 5.75 | 6.6 | 6.7 | 7.35 | 4.3 | 6.6 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 51.35 |
| 130 | 25 | 27 | 85 | 106 | 112 | 160 | 90 | 59 | 425 | 250 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 890 |
| 310 | 400 | 53 | 22 | 48 | 26 | 103 | 155 | 126 | 62 | 255 | 182 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2430 |
| 0.15 | 0.09 | 0.05 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.32 | 0.17 | 0.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau #2

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|---------|---|----------|---------|--------|---------|----------|----------|---------|---------|----------|---------|----|----|----------|----|----|----|-------|
| 185.75 | 0 | 184.725 | -47.85 | -104.4 | -56.55 | -224.025 | -337.125 | -274.05 | -134.85 | -554.625 | -395.85 | -1 | 0 | 2.175 | 0 | 0 | 0 | 1650 |
| 185.75 | 0 | 184.725 | 832.15 | 755.6 | 813.45 | 645.975 | 562.875 | 625.95 | 765.15 | 340.375 | 494.15 | 0 | -1 | 2.175 | 0 | 0 | 0 | 4650 |
| 0.775 | 1 | 0.1325 | 0.055 | 0.12 | 0.065 | 0.2575 | 0.3875 | 0.315 | 0.155 | 0.6375 | 0.455 | 0 | 0 | -0.0025 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 1.4835 | 0 | 1.77105 | 7.8427 | 7.2568 | 7.7141 | 5.01355 | 5.49175 | 5.7991 | 6.9067 | 2.47675 | 5.2987 | 0 | 0 | 0.00715 | -1 | 0 | 0 | 37.05 |
| 110.625 | 0 | 23.6875 | 83.625 | 103 | 110.375 | 153.563 | 80.3125 | 51.125 | 421.125 | 234.063 | 288.625 | 0 | 0 | 0.0625 | 0 | -1 | 0 | 765 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 430 |
| 0.08025 | 0 | 0.038075 | 0.17505 | 0.1592 | 0.16415 | 0.136825 | 0.115125 | 0.11165 | 0.30605 | 0.112625 | 0.13905 | 0 | 0 | 0.000225 | 0 | 0 | 0 | -0.45 |

Tableau #3

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------|-----------|------|-----------|-----------|----|----|-------------|----|----|----|-----------|
| 0 | -239.677 | 152.968 | -61.0323 | -133.161 | -72.129 | -285.742 | -430 | -349.548 | -172 | -707.419 | -504.903 | -1 | 0 | 2.77419 | 0 | 0 | 0 | 451.613 |
| 0 | -239.677 | 152.968 | 818.968 | 726.839 | 797.871 | 584.258 | 470 | 550.452 | 728 | 187.581 | 385.097 | 0 | -1 | 2.77419 | 0 | 0 | 0 | 3451.61 |
| 1 | 1.29032 | 0.170968 | 0.0709677 | 0.154839 | 0.083871 | 0.332258 | 0.5 | 0.406452 | 0.2 | 0.822581 | 0.587097 | 0 | 0 | -0.00322581 | 0 | 0 | 0 | 6.45161 |
| 0 | -1.91419 | 1.51742 | 7.73742 | 7.0271 | 7.58968 | 4.52065 | 4.75 | 5.19613 | 6.61 | 1.25645 | 4.42774 | 0 | 0 | 0.0119355 | -1 | 0 | 0 | 27.479 |
| 0 | -142.742 | 4.77419 | 75.7742 | 85.871 | 101.097 | 116.806 | 25 | 6.16129 | 399 | 143.065 | 223.677 | 0 | 0 | 0.419355 | 0 | -1 | 0 | 51.2903 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 430 |
| 0 | -0.103548 | 0.0243548 | 0.169355 | 0.146774 | 0.157419 | 0.110161 | 0.075 | 0.0790323 | 0.29 | 0.0466129 | 0.0919355 | 0 | 0 | 0.000483871 | 0 | 0 | 0 | -0.967742 |

Tableau #4

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|---|-----------|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|----|--------------|----|----|----|----------|
| 0 | -1.56685 | 1 | -0.398988 | -0.870519 | -0.471531 | -1.86799 | -2.81105 | -2.28511 | -1.12442 | -4.62463 | -3.30072 | -0.00653733 | 0 | 0.0181358 | 0 | 0 | 0 | 2.95234 |
| 0 | 0 | 0 | 880 | 860 | 870 | 870 | 900 | 900 | 900 | 895 | 890 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3000 |
| 1 | 1.5582 | 0 | 0.139182 | 0.303669 | 0.164488 | 0.651624 | 0.980599 | 0.797132 | 0.39224 | 1.61324 | 1.15141 | 0.00111767 | 0 | -0.00632644 | 0 | 0 | 0 | 5.94686 |
| 0 | 0.463374 | 0 | 8.34285 | 8.34804 | 8.30519 | 7.35517 | 9.01554 | 8.6636 | 8.31622 | 8.27396 | 9.43631 | 0.00991987 | 0 | -0.0155841 | -1 | 0 | 0 | 22.9991 |
| 0 | -135.261 | 0 | 77.679 | 90.027 | 103.348 | 125.725 | 38.4205 | 17.0709 | 404.368 | 165.143 | 239.436 | 0.0312105 | 0 | 0.332771 | 0 | -1 | 0 | 37.1953 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 430 |
| 0 | -0.065388 | 0 | 0.179072 | 0.167976 | 0.168903 | 0.155656 | 0.143463 | 0.134686 | 0.317385 | 0.159245 | 0.172324 | 0.000159216 | 0 | 0.0000421763 | 0 | 0 | 0 | -1.03965 |

Tableau #5

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|---|----------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----------|----------|-----------|-----------|--------------|----|------------|----|------------|----|----------|
| 0 | -11.4633 | 1 | 5.28443 | 5.71634 | 7.08996 | 7.3307 | 0 | -1.03612 | 28.4613 | 7.45815 | 14.2177 | -0.0042538 | 0 | 0.0424831 | 0 | -0.0731654 | 0 | 5.67375 |
| 0 | 3168.5 | 0 | -939.631 | -1248.88 | -1550.93 | -2075.1 | 0 | 500.115 | -8572.32 | -2973.48 | -4718.78 | 0.268895 | -1 | -7.79516 | 0 | 23.425 | 0 | 2128.7 |
| 0 | 5.01046 | 0 | -1.84341 | -1.99407 | -2.47324 | -2.55722 | 0 | 0.361436 | -9.92837 | -2.60168 | -4.95966 | 0.000321093 | 0 | -0.0148197 | 0 | 0.0255228 | 0 | 4.99753 |
| 0 | 32.2031 | 0 | -9.88488 | -12.7772 | -15.9459 | -22.1467 | 0 | 4.65785 | -86.5706 | -30.4777 | -46.7483 | 0.00259619 | 0 | -0.0936703 | -1 | 0.234654 | 0 | 14.2711 |
| 0 | -3.52056 | 0 | 2.02181 | 2.3432 | 2.68992 | 3.27233 | 1 | 0.444316 | 10.5248 | 4.29831 | 6.23198 | 0.000812339 | 0 | 0.00866129 | 0 | -0.0260278 | 0 | 0.96811 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 430 |
| 0 | 0.43968 | 0 | -0.110982 | -0.168187 | -0.216999 | -0.313802 | 0 | 0.070943 | -1.19253 | -0.457403 | -0.721732 | 0.0000426752 | 0 | -0.0012004 | 0 | 0.00373401 | 0 | -1.17853 |

Tableau #6

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|---|---|---|-----------|-------------|------------|------------|---|-----------|------------|-----------|------------|---------------|-----------|--------------|------------|--------------|----------|----------|
| 0 | 0 | 1 | 1.76571 | 1.16805 | 1.41372 | -0.552834 | 0 | 0.621935 | -2.35513 | -3.39097 | -2.42328 | -0.00332964 | 0 | 0.00913937 | -0.355969 | 0.0103644 | 0 | 10.7538 |
| 0 | 0 | 0 | 32.9542 | 8.28168 | 18.0078 | 103.939 | 0 | 41.824 | -184.053 | -54.5408 | 25.2516 | -119.155 | 0.0134528 | -1 | 1.42118 | 98.3912 | 0.337065 | 724.555 |
| 0 | 0 | 0 | -0.305423 | -0.00607677 | 0.00776497 | 0.888565 | 0 | -0.363276 | 3.54109 | 2.14032 | 2.31388 | -0.0000828461 | 0 | -0.000245591 | 0.155589 | -0.0109869 | 0 | 2.77711 |
| 0 | 0 | 0 | -0.306955 | -0.396769 | -0.495166 | -0.687719 | 0 | 0.14464 | -2.68827 | -0.946421 | -1.45167 | 0.0000806193 | 0 | -0.00290874 | -0.0310529 | 0.00728671 | 0 | 0.443158 |
| 0 | 0 | 0 | 0.941162 | 0.946354 | 0.946658 | 0.851179 | 1 | 0.953529 | 1.0606 | 0.966387 | 1.12128 | 0.00109616 | 0 | -0.00157909 | -0.109324 | -0.000374517 | 0 | 2.52827 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 430 |
| 0 | 0 | 0 | 0.0239794 | 0.00626514 | 0.00071541 | -0.0114251 | 0 | 0.0073477 | -0.0105522 | -0.04128 | -0.0834605 | 0.00000722851 | 0 | 0.0000785195 | 0.0136534 | 0.000530193 | 0 | -1.37338 |

Tableau #7

| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p |
|---|---|---|-----------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|----|--------------|-----------|--------------|----|----------|
| 0 | 0 | 1 | 2.37699 | 1.7827 | 2.02857 | 0 | 0.649492 | 1.24124 | -1.66628 | -2.76331 | -1.69502 | -0.00261769 | 0 | 0.00811376 | -0.426974 | 0.0101211 | 0 | 12.3959 |
| 0 | 0 | 0 | -81.973 | -107.279 | -97.5905 | 0 | -122.112 | -74.6133 | -184.053 | -92.7558 | -256.078 | -0.120402 | -1 | 1.614 | 111.741 | 0.382798 | 0 | 415.823 |
| 0 | 0 | 0 | -1.28792 | -0.993997 | -0.980473 | 0 | -1.04392 | -1.35869 | 2.4339 | 1.13149 | 1.14335 | -0.00122716 | 0 | 0.00140285 | 0.269715 | -0.010596 | 0 | 0.137786 |
| 0 | 0 | 0 | 0.453467 | 0.367847 | 0.269696 | 0 | 0.807961 | 0.915054 | -1.83135 | -0.165618 | -0.545719 | 0.000966276 | 0 | -0.00418458 | -0.119382 | 0.00698411 | 0 | 2.4859 |
| 0 | 0 | 0 | 1.10572 | 1.11182 | 1.11217 | 1 | 1.17484 | 1.12025 | 1.24604 | 1.13535 | 1.31733 | 0.00128782 | 0 | -0.00185517 | -0.128438 | -0.000439998 | 0 | 2.97032 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 430 |
| 0 | 0 | 0 | 0.0366123 | 0.0189678 | 0.0134221 | 0 | 0.0134227 | 0.0201466 | 0.00368391 | -0.0283085 | -0.0684098 | 0.000021942 | 0 | 0.0000573239 | 0.0121859 | 0.000525166 | 0 | -1.33944 |

| Tableau #8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|-----------|------------|-----------|---|----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|----|----------------|----|-------------|----|----|----------|
| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p | |
| 1.58306 | 0 | 1 | 0.338134 | 0.209146 | 0.476423 | 0 | -1.0031 | -0.909635 | 2.18673 | -0.972094 | 0.114972 | -0.00456035 | 0 | 0.0103346 | 0 | -0.00665287 | 0 | 0 | 12.614 |
| -414.293 | 0 | 0 | 451.605 | 304.526 | 308.613 | 0 | 310.378 | 488.281 | -1192.4 | -561.524 | -729.76 | 0.388 | -1 | 1.03281 | 0 | 4.77263 | 0 | 0 | 358.739 |
| 3.70762 | 0 | 0 | -4.77513 | -3.68536 | -3.63522 | 0 | -3.87047 | -5.03749 | 9.02399 | 4.19513 | 4.23911 | -0.00454983 | 0 | 0.00520125 | 1 | -0.0392858 | 0 | 0 | 0.51086 |
| 0.442624 | 1 | 0 | -0.116598 | -0.0721192 | -0.164284 | 0 | 0.345896 | 0.313667 | -0.754044 | 0.335205 | -0.0396455 | 0.000423108 | 0 | -0.00356364 | 0 | 0.00229409 | 0 | 0 | 2.54689 |
| 0.476199 | 0 | 0 | 0.492408 | 0.638475 | 0.645273 | 1 | 0.677727 | 0.47324 | 2.40506 | 1.67417 | 1.86179 | 0.000703448 | 0 | -0.00118714 | 0 | -0.00548578 | 0 | 0 | 3.03593 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 430 |
| -0.0451809 | 0 | 0 | 0.0948018 | 0.0638774 | 0.0577207 | 0 | 0.060588 | 0.0815332 | -0.106282 | -0.0794302 | -0.120067 | 0.000077386 | 0 | -0.00000605819 | 0 | 0.0010039 | 0 | 1 | -1.34567 |

| Tableau #9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|-----------|-----------|------------|---|------------|---|------------|-----------|------------|--------------|-------------|--------------|----|-------------|----|----|----------|
| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p | |
| 0.811258 | 0 | 1 | 1.17944 | 0.776458 | 1.05135 | 0 | -0.424885 | 0 | -0.0346368 | -2.01818 | -1.24452 | -0.00383753 | -0.00186293 | 0.0122586 | 0 | 0.00223822 | 0 | 0 | 13.2823 |
| -0.848473 | 0 | 0 | 0.924887 | 0.623671 | 0.632039 | 0 | 0.635654 | 1 | -2.44204 | -1.15 | -1.49455 | 0.000794625 | -0.002048 | 0.0021152 | 0 | 0.00977435 | 0 | 0 | 0.734697 |
| -0.566555 | 0 | 0 | -0.11602 | -0.543627 | -0.45133 | 0 | -0.668365 | 0 | -3.27777 | -1.59799 | -3.28967 | -0.00054691 | -0.0103168 | 0.0158565 | 1 | 0.00995244 | 0 | 0 | 4.21189 |
| 0.708762 | 1 | 0 | -0.406705 | -0.267744 | -0.362534 | 0 | 0.146512 | 0 | 0.0119437 | 0.695923 | 0.429146 | 0.00017386 | 0.000642391 | -0.00422711 | 0 | -0.0007718 | 0 | 0 | 2.31644 |
| 0.877731 | 0 | 0 | 0.0547143 | 0.343329 | 0.346167 | 1 | 0.376909 | 0 | 3.56073 | 2.21839 | 2.56907 | 0.000327399 | 0.000969197 | -0.00218813 | 0 | -0.0101114 | 0 | 0 | 2.68824 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 430 |
| 0.0239979 | 0 | 0 | 0.0193927 | 0.0130275 | 0.00618853 | 0 | 0.00876106 | 0 | 0.0928255 | 0.0143332 | 0.00178807 | 0.0000125976 | 0.00016698 | -0.000178517 | 0 | 0.000206965 | 0 | 1 | -1.40557 |

| Tableau #10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|-----------|------------|------------|---|------------|---|-----------|-------------|------------|---------------|--------------|----|-----------|-------------|----|----|----------|
| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p | |
| 1.24926 | 0 | 1 | 1.26914 | 1.19673 | 1.40027 | 0 | 0.0918254 | 0 | 2.4994 | -0.782775 | 1.29871 | -0.00341471 | 0.00611293 | 0 | -0.773095 | -0.00545597 | 0 | 0 | 10.0261 |
| -0.772897 | 0 | 0 | 0.940364 | 0.696188 | 0.692244 | 0 | 0.724812 | 1 | -2.0048 | -0.936836 | -1.05572 | 0.000867581 | -0.000671783 | 0 | -0.133396 | 0.00844674 | 0 | 0 | 0.172848 |
| -35.7301 | 0 | 0 | -7.31683 | -34.2841 | -28.4633 | 0 | -42.1508 | 0 | -206.714 | -100.778 | -207.465 | -0.0344912 | -0.650634 | 1 | 63.0655 | 0.627655 | 0 | 0 | 265.625 |
| 0.557727 | 1 | 0 | -0.437634 | -0.412667 | -0.482851 | 0 | -0.0316639 | 0 | -0.861861 | 0.269922 | -0.44783 | 0.0000280623 | -0.00210791 | 0 | 0.266585 | 0.00188137 | 0 | 0 | 3.43927 |
| 0.799548 | 0 | 0 | 0.0387041 | 0.268311 | 0.283885 | 1 | 0.284678 | 0 | 3.10841 | 1.99788 | 2.11511 | 0.000251928 | -0.000454477 | 0 | 0.137996 | -0.008738 | 0 | 0 | 3.26947 |
| 35.7301 | 0 | 0 | 7.31683 | 34.2841 | 28.4633 | 0 | 42.1508 | 0 | 206.714 | 100.778 | 207.465 | 0.0344912 | 0.650634 | 0 | -63.0655 | -0.627655 | 1 | 0 | 164.375 |
| 0.0176194 | 0 | 0 | 0.0180866 | 0.00690721 | 0.00110735 | 0 | 0.00123643 | 0 | 0.0559235 | -0.00365744 | -0.0352479 | 0.00000644032 | 0.000050831 | 0 | 0.0112583 | 0.000319013 | 0 | 1 | -1.35815 |

| Tableau #11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|------------|-----------|-------------|---|------------|---|-----------|-----------|---|---------------|-------------|----|-------------|-------------|-------------|----|----------|
| k | l | m | r | s | t | u | v | w | x | y | z | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | s6 | -p | |
| 1.02559 | 0 | 1 | 1.22334 | 0.982119 | 1.22209 | 0 | -0.172034 | 0 | 1.20538 | -1.41364 | 0 | -0.00363063 | 0.00204004 | 0 | -0.378312 | -0.00152691 | -0.0062599 | 0 | 8.99716 |
| -0.591078 | 0 | 0 | 0.977597 | 0.870649 | 0.837085 | 0 | 0.939303 | 1 | -0.952895 | -0.424008 | 0 | 0.0010431 | 0.00263908 | 0 | -0.454316 | 0.0052528 | 0.00508868 | 0 | 1.0093 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 430 |
| 0.634853 | 1 | 0 | -0.42184 | -0.338662 | -0.421411 | 0 | 0.0593221 | 0 | -0.41565 | 0.487461 | 0 | 0.000102514 | -0.00070346 | 0 | 0.130452 | 0.00052652 | 0.00215858 | 0 | 3.79408 |
| 0.435279 | 0 | 0 | -0.0358913 | -0.081217 | -0.00629993 | 1 | -0.145052 | 0 | 1.00095 | 0.970437 | 0 | -0.0000997114 | -0.00708772 | 0 | 0.780952 | -0.00233902 | -0.0101951 | 0 | 1.59366 |
| 0.172222 | 0 | 0 | 0.0352678 | 0.165253 | 0.137196 | 0 | 0.203171 | 0 | 0.996383 | 0.485761 | 1 | 0.000166251 | 0.00313612 | 0 | -0.303982 | -0.00302536 | 0.0048201 | 0 | 0.792303 |
| 0.0236899 | 0 | 0 | 0.0193297 | 0.012732 | 0.00594322 | 0 | 0.00839778 | 0 | 0.0910439 | 0.0134646 | 0 | 0.0000123003 | 0.000161373 | 0 | 0.000543541 | 0.000212375 | 0.000169898 | 1 | -1.33023 |

Παράρτημα 2^ο

(αναφέρεται στη 1^η ενότητα, στην υποενότητα B2-II)

Τα στοιχεία που ακολουθούν προέρχονται από το βιβλίο “Applied Mathematical Programming Using Algebraic Systems” των McCarl & Spreen.

Σημ: Οι πίνακες και τα στοιχεία τους σε αυτήν την ενότητα, αναγράφονται στα αγγλικά γιατί έτσι εξυπηρετείται κατόπιν η σύνταξη του υποδείγματος στο GAMS

Οι προδιαγραφές του μείγματος ανά κιλό πρέπει να είναι οι ακόλουθες:

| <i>Nutrient</i> | <i>Unit</i> | <i>Min Amount</i> | <i>Max Amount</i> |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Net energy | Mega calories | 1,34351 | - |
| Digestive protein | KGs | 0,071 | 0,13 |
| Fat | KGs | - | 0,05 |
| Vitamin A | Int'l units | 2200 | - |
| Salt | KGs | 0,015 | 0,02 |
| Calcium | KGs | 0,0025 | 0,01 |
| Phosphorus | KGs | 0,0035 | 0,012 |
| Weight | KGs | 1 | 1 |

Η περιεκτικότητα των τροφών στα ανωτέρω θρεπτικά συστατικά είναι η ακόλουθη:

| <i>Nutrient</i> | <i>Corn</i> | <i>Hay</i> | <i>Soybean</i> | <i>Urea</i> | <i>Dical</i> | <i>Salt</i> | <i>Vitamin A</i> |
|--------------------------|-------------|------------|----------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| <i>Net energy</i> | 1,48 | 0,49 | 1,29 | - | - | - | - |
| <i>Digestive protein</i> | 0,075 | 0,127 | 0,438 | 2,62 | - | - | - |
| <i>Fat</i> | 0,0357 | 0,022 | 0,013 | - | - | - | - |
| <i>Vitamin A</i> | 600 | 50880 | 80 | - | - | - | 2204600 |
| <i>Salt</i> | - | - | - | - | - | 1 | - |
| <i>Calcium</i> | 0,0002 | 0,0125 | 0,0036 | - | 0,2313 | - | - |
| <i>Phosphorus</i> | 0,0035 | 0,0023 | 0,0075 | 0,68 | 0,1865 | - | - |
| <i>Cost</i> | 0,133 | 0,077 | 0,300 | 0,332 | 0,498 | 0,110 | 0,286 |

Με αυτά τα στοιχεία, τα δεδομένα του προβλήματος μπορούν να γραφούν με τη μορφή εξισώσεων ως εξής:

- Η αντικειμενική συνάρτηση, το κόστος δηλαδή του μείγματος που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί εξαρτάται από το κόστος κάθε μιας τροφής επί το ποσοστό συμμετοχής της
 - $0,133x_C + 0,077x_H + 0,3x_{SB} + 0,332x_{Ur} + 0,498x_d + 0,110x_{SLT} + 0,286x_{VA} \rightarrow \min$

- Τα μέγιστα όρια περιεκτικότητας ανά θρεπτικό στοιχείο δίδονται από τις ανισώσεις
 - Για την πεπτή πρωτεΐνη (Digestive protein) ισχύει πως $0,075x_C + 0,127x_H + 0,438x_{SB} + 2,62x_{Ur} + 0x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \leq 0,13$
 - Για τα λιπαρά (Fat) ισχύει πως $0,0357x_C + 0,022x_H + 0,13x_{SB} + 0x_{Ur} + 0x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \leq 0,05$
 - Για το αλάτι (Salt) ισχύει πως $0x_C + 0x_H + 0x_{SB} + 0x_{Ur} + 0x_d + 1x_{SLT} + 0x_{VA} \leq 0,02$
 - Για το ασβέστιο (Calcium) ισχύει πως $0,0002x_C + 0,0125x_H + 0,036x_{SB} + 0x_{Ur} + 0,2313x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \leq 0,1$
 - Για το φώσφορο (Phosphorus) ισχύει $0,035x_C + 0,023x_H + 0,075x_{SB} + 0,68x_{Ur} + 0,1865x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \leq 0,12$
- Τα ελάχιστα όρια περιεκτικότητας ανά θρεπτικό στοιχείο δίνονται από τις ανισώσεις
 - Για την ενέργεια (Net energy) ισχύει πως $1,48x_C + 0,49x_H + 1,29x_{SB} + 0x_{Ur} + 0x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \geq 1,34351$
 - Για την πεπτή πρωτεΐνη (Digestive protein) ισχύει πως $0,075x_C + 0,127x_H + 0,438x_{SB} + 2,62x_{Ur} + 0x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \geq 0,71$
 - Για την βιταμίνη Α ισχύει πως $600x_C + 50880x_H + 80x_{SB} + 0x_{Ur} + 0x_d + 0x_{SLT} + 2204600x_{VA} \geq 2200$
 - Για το αλάτι (Salt) ισχύει πως $0x_C + 0x_H + 0x_{SB} + 0x_{Ur} + 0x_d + 1x_{SLT} + 0x_{VA} \geq 0,015$
 - Για το ασβέστιο (Calcium) ισχύει πως $0,0002x_C + 0,0125x_H + 0,036x_{SB} + 0x_{Ur} + 0,2313x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \geq 0,0025$
 - Για το φώσφορο (Phosphorus) ισχύει $0,035x_C + 0,023x_H + 0,075x_{SB} + 0,68x_{Ur} + 0,1865x_d + 0x_{SLT} + 0x_{VA} \geq 0,0035$
- Ο συνολικός όγκος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 κιλό και δίνεται από την εξίσωση $x_C + x_H + x_{SB} + x_{Ur} + x_d + x_{SLT} + x_{VA} = 1$

(McCarl & Spreen, 2003)

Η σύνταξη του ανωτέρω υποδείγματος στο GAMS είναι η ακόλουθη:

```

1 SET INGREDT NAMES OF THE AVAILABLE FEED INGREDIENTS
2     /CORN, HAY, SOYBEAN, UREA, DICAL, SALT, VITA/
3     NUTRIENT NUTRIENT REQUIREMENT CATEGORIES
4     /NETENGY, PROTEIN, FAT, VITALIM, SALTLM, CALCIUM, PHOSPHRS/
5     LIMITS TYPES OF LIMITS IMPOSED ON NUTRIENTS /MINIMUM, MAXIMUM/;
6
7 PARAMETER INGREDCOST(INGREDT) FEED INGREDIENT COSTS PER KG PURCHASED
8     /CORN .133, HAY .077, SOYBEAN .300, UREA .332, DICAL .498, SALT .110,
VITA .286/;
9

```

10 TABLE NUTREQUIRE(NUTRIENT, LIMITS) NUTRIENT REQUIREMENTS

| 11 | | MINIMUM | MAXIMUM |
|----|----------|---------|---------|
| 12 | NETENGY | 1.34351 | |
| 13 | PROTEIN | .071 | .130 |
| 14 | FAT | 0 | .05 |
| 15 | VITALIM | 2200 | |
| 16 | SALTLIM | .015 | .02 |
| 17 | CALCIUM | .0025 | .0100 |
| 18 | PHOSPHRS | .0035 | .0120; |

19

20 TABLE CONTENT(NUTRIENT, INGREDT) NUTRIENT CONTENTS PER KG OF FEED

| 21 | | CORN | HAY | SOYBEAN | UREA | DICAL | SALT | VITA |
|----|----------|-------|-------|---------|------|--------|------|---------|
| 22 | NETENGY | 1.48 | .49 | 1.29 | | | | |
| 23 | PROTEIN | .075 | .127 | .438 | 2.62 | | | |
| 24 | FAT | .0357 | .022 | .013 | | | | |
| 25 | VITALIM | 600 | 50880 | 80 | | | | 2204600 |
| 26 | SALTLIM | | | | | | 1 | |
| 27 | CALCIUM | .0002 | .0125 | .0036 | | .2313 | | |
| 28 | PHOSPHRS | .0035 | .0023 | .0075 | .68 | .1865; | | |

29

30

31 POSITIVE VARIABLES

32 FEEDUSE(INGREDT) AMOUNT OF EACH INGREDIENT USED IN MIXING FEED;

33

34 VARIABLES

35 COST PER KG COST OF THE MIXED FEED;

36

37 EQUATIONS

38 OBJT OBJECTIVE FUNCTION (TOTAL COST OF THE FEED)

39 MAXBD(NUTRIENT) MAXIMUM LIMITS ON EACH NUTRIENT IN THE BLENDED FEED

40 MINBD(NUTRIENT) MINIMUM LIMITS ON EACH NUTRIENT IN THE BLENDED FEED

41 WEIGHT REQUIREMENT THAT EXACTLY ONE KG OF FEED BE PRODUCED;

42

43 OBJT.. COST =E= SUM(INGREDT,INGREDCOST(INGREDT) * FEEDUSE(INGREDT));

44 MAXBD(NUTRIENT)\$NUTREQUIRE(NUTRIENT, 'MAXIMUM')..

45 SUM(INGREDT,CONTENT(NUTRIENT, INGREDT) * FEEDUSE(INGREDT))

```

46          =L= NUTREQUIRE(NUTRIENT, 'MAXIMUM');
47          MINBD(NUTRIENT)$NUTREQUIRE(NUTRIENT, 'MINIMUM')..
48          SUM(INGREDT,CONTENT(NUTRIENT, INGREDT) * FEEDUSE(INGREDT))
49          =G= NUTREQUIRE(NUTRIENT, 'MINIMUM');
50          WEIGHT.. SUM(INGREDT, FEEDUSE(INGREDT)) =E= 1 ;
51
52 MODEL FEEDING /ALL/;
53
54 SOLVE FEEDING USING LP MINIMIZING COST;

```

Υπόμνημα – Ερμηνεία:

Η σύνταξη του κώδικα σε GAMS, ακολουθεί όπως φαίνεται παραπάνω κάποια συγκεκριμένη δομή και λογική. Το λογισμικό, χρησιμοποιεί χρώματα για να διευκολύνει τη σύνταξη, ενώ είναι ικανό να εντοπίζει λάθη και να προτείνει πιθανές βελτιώσεις του κώδικα (Debug). Τα βήματα που ακολουθούνται είναι επιγραμματικά τα εξής:

1. Αρχικά, ορίζονται οι ομάδες των μεταβλητών (SET) και αναγράφονται οι μεταβλητές που ανήκουν σε κάθε ομάδα (Corn, Hay, κλπ) καθώς και το όνομα κάθε ομάδας μεταβλητών (Nutrient, Limits, κλπ).
2. Κατόπιν, ορίζεται μια ομάδα παραμέτρων (PARAMETER) που αφορά το κόστος αγοράς κάθε τροφής.
3. Στη συνέχεια, ακολουθούν δύο ομάδες δεδομένων υπό μορφή πινάκων (TABLE). Ο πρώτος αφορά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του σιτηρεσίου, ενώ ο δεύτερος αναγράφει τις περιεκτικότητες κάθε τροφής σε συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά.
4. Έπειτα ορίζονται δύο κατηγορίες μεταβλητών. Η πρώτη αφορά την ποσότητα με την οποία συμμετέχει κάθε τροφή στο τελικό μείγμα. Προφανώς, η συμμετοχή κάθε τροφής μπορεί να λάβει μόνο θετικές τιμές και αυτό δηλώνεται με τον κατάλληλο τρόπο (POSITIVE VARIABLES). Η άλλη μεταβλητή, αφορά το συνολικό τελικό κόστος (ανά κιλό) του μείγματος που θα παρασκευαστεί. Παρόλο που και αυτή η μεταβλητή δεν μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές, στον κώδικα ορίζεται απλά ως VARIABLE (χωρίς να προσδιορίζεται αν είναι θετική – positive ή αρνητική – negative). Η τελευταία αυτή μεταβλητή είναι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που θα προκύψει μετά την επίλυση.
5. Ακολουθεί η αναγραφή των εξισώσεων (EQUATIONS) που θα συμβάλλουν στην επίλυση του υποδείγματος. Αρχικά ορίζεται το όνομα κάθε εξίσωσης (OBJT, WEIGHT, κλπ), ακολουθούμενο (προαιρετικά) από μια σύντομη περιγραφή της εξίσωσης. Στη συνέχεια αυτού του τμήματος του κώδικα, κάθε μία από τις εξισώσεις που μόλις ορίστηκαν, αναγράφεται εκ νέου, ακολουθούμενη από «αλγεβρική» αποτύπωση του τρόπου υπολογισμού της.

Σε αυτό το σημείο, εκτός του «τρόπου» υπολογισμού της εξίσωσης, δηλώνονται με ανάλογο τρόπο όλοι οι περιορισμοί που πρέπει να σεβαστεί κάθε μία από αυτές (=L= όταν η εξίσωση πρέπει να δίνει τιμή μικρότερη από κάποιο όριο, =G= όταν η εξίσωση πρέπει να δίνει τιμή μεγαλύτερη από κάποιο όριο και =E= όταν η εξίσωση πρέπει να δίνει τιμή ίση με κάποιο όριο). Τα όρια είναι αυτά που έχουν οριστεί στο 3^ο βήμα υπό μορφή πίνακα (Maximum, Minimum, κλπ).

6. Τελικά, ορίζεται το όνομα του υποδείγματος (MODEL) που κατασκευάστηκε και δηλώνεται το πλήθος των εξισώσεων που επιθυμείται να χρησιμοποιηθούν στο υπόδειγμα. Σε αυτό το παράδειγμα, όλες οι εξισώσεις (ALL) που αναγράφηκαν παραπάνω, λαμβάνουν μέρος στους υπολογισμούς.
7. Στην τελευταία γραμμή, ο ερευνητής δίνει οδηγίες στο GAMS σχετικά με τον αλγόριθμο που επιθυμεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του εκάστοτε υποδείγματος και την κατεύθυνση που θέλει να λάβει η αντικειμενική συνάρτηση (SOLVE xxxxx USING LP MINIMIZING/MAXIMIZING xxxxx).

Η επίλυση ξεκινά με το πάτημα ενός κουμπιού και διαρκεί λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο. Το GAMS ενημερώνει σχετικά με την ύπαρξη βέλτιστης λύσης, ενώ υπολογίζει ταυτόχρονα και τις δυικές τιμές.

Το αποτέλεσμα της επίλυσης προβάλλεται υπό μορφή κειμένου και πινάκων. Μέρος αυτών (**αποσπασματικά**) φαίνεται παρακάτω:

```

SOLVER CPLEX                FROM LINE  54
**** SOLVER STATUS          1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS           1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE        0.1281

Optimal solution found.
Objective :                 0.128053

OBJT  OBJECTIVE FUNCTION ( TOTAL COST OF THE FEED )

---- EQU MAXBD  MAXIMUM LIMITS ON EACH NUTRIENT IN THE BLENDED FEED

          LOWER      LEVEL      UPPER      MARGINAL

PROTEIN  -INF        0.079      0.130      .
FAT      -INF        0.034      0.050      .
SALT LIM -INF        0.015      0.020      .
CALCIUM  -INF        0.003      0.010      .

```

PHOSPHRS -INF 0.004 0.012 .

---- EQU MINBD **MINIMUM LIMITS ON EACH NUTRIENT IN THE BLENDED FEED**

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|----------|----------|----------|-------|----------|
| NETENGY | 1.344 | 1.344 | +INF | 0.083 |
| PROTEIN | 0.071 | 0.079 | +INF | . |
| VITALIM | 2200.000 | 6081.018 | +INF | . |
| SALTLIM | 0.015 | 0.015 | +INF | 0.100 |
| CALCIUM | 0.002 | 0.002 | +INF | 2.110 |
| PHOSPHRS | 0.004 | 0.004 | +INF | . |

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|------------------------|-------|-------|-------|----------|
| ---- EQU WEIGHT | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.010 |

WEIGHT REQUIREMENT THAT EXACTLY ONE KG OF FEED BE PRODUCED

---- VAR FEEDUSE **AMOUNT OF EACH INGREDIENT USED IN MIXING FEED**

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------|-------|-------|-------|----------|
| CORN | . | 0.872 | +INF | . |
| HAY | . | 0.109 | +INF | . |
| SOYBEAN | . | . | +INF | 0.176 |
| UREA | . | . | +INF | 0.322 |
| DICAL | . | 0.004 | +INF | . |
| SALT | . | 0.015 | +INF | . |
| VITA | . | . | +INF | 0.276 |

Υπόμνημα – Ερμηνεία:

1. Αρχικά, αναγράφεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση, το πλήθος των άριστων λύσεων και η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση στην άριστη λύση.
2. Στους επόμενους δύο πίνακες αναγράφονται οι τιμές που τελικά λαμβάνουν οι μεταβλητές στο τελικό μείγμα συγκρινόμενες, κατά πρώτον

με τις ελάχιστες επιθυμητές και κατόπιν με τις μέγιστες επιτρεπτές προδιαγραφές που ορίζει για το τελικό μείγμα το πρόβλημα. Στους πίνακες αυτούς, υπολογίζονται και αναγράφονται αυτόματα οι δυικές τιμές.

3. Στη συνέχεια αναγράφεται η τελική τιμή της μεταβλητής που αφορά το βάρος του μείγματος και η αντίστοιχη δυική τιμή της.
4. Ακολουθεί ο πίνακας με τις τροφές όπου αναγράφονται οι ποσότητες αυτών που συνθέτουν το τελικό μείγμα και συγχρόνως οι σκιάδεις τιμές για αυτές που απορρίφθηκαν.

Παράρτημα 3^ο

(αναφέρεται στη 1^η ενότητα, στην υποενότητα B2-II)

Η εισαγωγή των στοιχείων των ζωοτροφών γίνεται με τη βοήθεια του Microsoft Excel. Το αρχείο με τον πίνακα που περιέχει εισάγεται με την κατάλληλη εντολή στο GAMS (βλ. γραμμές κώδικα 8-13).

| <i>Ζωοτροφές</i> | <i>Τιμή αγοράς</i> | <i>Ξηρά ουσία</i> | <i>Ινώδεις ουσίες</i> | <i>Ενέργεια</i> | <i>Αζωτούχες ουσίες</i> |
|------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| c | price_eur_per_kg | dry_matter | fib_matter | energy_mj_per_kg | nitrogen_per_kg |
| Sanos | 0,150 | 0,860 | 0,102 | 3,70 | 0,130 |
| Axyro | 0,090 | 0,870 | 0,120 | 2,86 | 0,025 |
| Ensiroma | 0,050 | 0,300 | 0,090 | 2,15 | 0,027 |
| Karpos_arav | 0,180 | 0,880 | 0,022 | 8,00 | 0,085 |
| Karpos_krith | 0,170 | 0,860 | 0,048 | 7,60 | 0,106 |
| Karpos_sit | 0,170 | 0,870 | 0,026 | 7,90 | 0,112 |
| Pityra_sit | 0,160 | 0,870 | 0,103 | 5,75 | 0,160 |
| Stemf_zax | 0,150 | 0,900 | 0,155 | 6,60 | 0,090 |
| Stemf_esp | 0,140 | 0,900 | 0,126 | 6,70 | 0,059 |
| Sogialev | 0,320 | 0,900 | 0,062 | 7,35 | 0,425 |
| Vamvakop | 0,170 | 0,895 | 0,255 | 4,30 | 0,250 |
| Hlialevro | 0,180 | 0,890 | 0,182 | 6,60 | 0,300 |

Σύνταξη υποδείγματος:

```
1 SETS
2 trofes          Crops / Sanos, Axyro, Ensiroma, Karpos_arav, Karpos_krith,
3                Karpos_sit, Pityra_sit, Stemf_zax, Stemf_esp,
4                Sogialev, Vamvakop, Hlialevro /
5 xondro(trofes)  Gross crops / Sanos, Axyro, Ensiroma /
6 elements        Nutritional value / drym, fibers, energ, nitrog /
7
8 PARAMETER data(trofes,*) Dataset for model building;
GDXXIN  D:\KnwBs\MBA\GAMS Projects\Sitiresio\Databook.gdx
--- LOAD  data = 1:data
13
14 PARAMETERS
15 price(trofes)  Crop buying cost
16 requirement(elements)  Requirements for daily nutrition
17 /drym 9, fibers 2.070, energ 51.35, nitrog 0.89/;
18
```

```

19 price(trofes)= data(trofes,'price_eur_per_kg') ;
20
21 PARAMETER content(trofes, elements) Periexomeno trofon se stoixeia;
22 content(trofes, 'drym')= data(trofes,'dry_matter') ;
23 content(trofes, 'fibers')= data(trofes,'fib_matter') ;
24 content(trofes, 'energ')= data(trofes,'energy_mj_per_kg') ;
25 content(trofes, 'nitrog')= data(trofes,'nitrogen_per_kg') ;
26
27 DISPLAY price, content;
28
29 SCALARS
30 enough_drym / 6 / ,    max_fibers / 2.430 /;
31
32 FREE VARIABLES tfc Total feed costs (euro)
33
34 POSITIVE VARIABLES x(trofes) Crop quantity used (kg)
35
36 EQUATIONS enough_feed, exces_fib_mat, needs(elements), obj;
37
38 needs(elements)..      sum(trofes,x(trofes)*content(trofes, elements))
39                        =g=requirement(elements) ;
40 enough_feed..         SUM(xondro,x(xondro)*content(xondro, 'drym'))
41                        =g= enough_drym ;
42 exces_fib_mat..      SUM(trofes,x(trofes)*content(trofes, 'fibers'))
43                        =l= max_fibers ;
44 obj..                 tfc =e= SUM(trofes,x(trofes)*price(trofes)) ;
45
46 MODEL MIX optimization /All/;
47 SOLVE MIX using LP minimizing tfc ;
48
49 PARAMETERS
50 totals(elements) Quantities used at the optimum ;
51
52 totals(elements) = SUM(trofes, x.l(trofes)*content(trofes, elements));
53
54 DISPLAY x.l, tfc.l, totals ;

```

Υπόμνημα – Ερμηνεία:

- Το υπόδειγμα αποτελείται από δύο σύνολα και ένα υποσύνολο.
 - Το ένα σύνολο περιέχει τις τροφές στο σύνολό τους, ενώ το υποσύνολο μόνο τις χονδροειδείς ζωοτροφές
 - Το άλλο σύνολο περιέχει τα θρεπτικά συστατικά
- Οι παράμετροι αποτελούνται από το κόστος αγοράς των ζωοτροφών και τις ανάγκες διατροφής που πρέπει να καλυφθούν (min & max)
- Οι μαθηματικές σχέσεις είναι συνολικά τέσσερις:
 - Υπάρχουν τρεις ανισότητες για την κάλυψη των θρεπτικών αναγκών, και
 - Μία εξίσωση για τον υπολογισμό του κόστους παρασκευής του σιτηρεσίου
- Στο τέλος υπάρχουν κάποιες εντολές προκειμένου να προβληθεί το τελικό σιτηρέσιο και η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία.

Αποτελέσματα:

- Υπάρχει αποδεκτό αποτέλεσμα με χρήση του αλγορίθμου που επιλέξαμε

```
SOLVER CPLEX          FROM LINE 47
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE    1.3309

Optimal solution found.
Objective :              1.330937
```

- Τα επίπεδα και οι σκιάδεις τιμές των θρεπτικών συστατικών είναι τα ακόλουθα:

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------------------|--------|--------|-------|----------|
| ---- EQU enough_fe~ | 6.000 | 7.800 | +INF | . |
| ---- EQU exces_fib~ | -INF | 2.070 | 2.430 | . |
| ---- EQU needs | | | | |
| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
| drym | 9.000 | 9.000 | +INF | 0.055 |
| fibers | 2.070 | 2.070 | +INF | 0.178 |
| energ | 51.350 | 51.350 | +INF | 0.006 |
| nitrog | 0.890 | 0.890 | +INF | 0.207 |

- Το τελικό σιτηρέσιο αποτελείται από τις εξής ζωοτροφές:

---- Crop quantity used (kg)

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|--------------|-------|--------|-------|----------|
| Sanos | . | . | +INF | 0.037 |
| Axyro | . | 3.795 | +INF | . |
| Ensiroma | . | 14.995 | +INF | . |
| Karpos_arav | . | . | +INF | 0.066 |
| Karpos_krith | . | . | +INF | 0.050 |
| Karpos_sit | . | . | +INF | 0.050 |
| Pityra_sit | . | . | +INF | 0.029 |
| Stemf_zax | . | . | +INF | 0.018 |
| Stemf_esp | . | . | +INF | 0.019 |
| Sogialev | . | . | +INF | 0.131 |
| Vamvakop | . | 0.274 | +INF | . |
| Hlialevro | . | 1.073 | +INF | . |

- Τα θρεπτικά συστατικά του τελικού σιτηρεσίου είναι τα ακόλουθα:

---- Quantities used at the optimum

drym 9.000, fibers 2.070, energ 51.350, nitrog 0.890

Παράρτημα 4^ο

(αναφέρεται στο υπόδειγμα της 2^{ης} ενότητας)

Η προτεινόμενη σύνταξη του υποδείγματος προκειμένου να γίνει ο υπολογισμός του κέρδους της πρώτης περιόδου είναι η ακόλουθη:

```
1 SET t      Time periods /1*25/
2   g      Group /1*4/
3   c      Crops /Silage, Corn, Haylage, Hay/
4   sex      /XX , XY/
5   tfirst(t) first period
6   tlast(t) last period
7 ;
8
9 tfirst(t) = yes$(ord(t) eq 1);
10 tlast(t) = yes$(ord(t) eq card(t));
11 DISPLAY tfirst, tlast;
12
13 TABLE P(g,t,sex) Number (population) of animals in Group i in period t
14       XX
15 1.1   159
16 2.1   159
17 3.1   154
18 4.1   318;
19
20 PARAMETER B(t,sex) Number of animals born in period t ;
21 B('1','XX') = 159 ; B('1','XY') = 159 ;
22
23 PARAMETER S(g,t,sex) Number of animals sold in Group i in period t ;
24 S('1','1','XY') = 159 ;
25
26 TABLE ACR(c,t) Number of acres planted of crop c in period t
27       1
28 silage  0
29 corn    224
30 haylage 175
31 hay     131;
```

32

33 Display P, B, S, ACR;

34

35

36 PARAMETER PU(c,t) Purchased units of crop c in period t ;

37 PU('Corn','1') = 0 ; PU('Hay','1') = 0 ;

38

39 TABLE I(c,t) Quantity of crop in storage (inventory) in period t

40 1

41 Silage 4200

42 Haylage 1000

43 Hay 1500 ;

44

45 PARAMETER REV(t) Milk revenue per head (Group 4) in period t ;

46 REV(t) = 662 ;

47

48 PARAMETER A(t) Land available (in acres) ;

49 A(t) = 530 ;

50

51 PARAMETER L(t) Minimum land with alfalfa crops in period t ;

52 L(t) = 80 ;

53

54 PARAMETER PUC(c,t) Purchasing cost of crop c in period t ;

55 PUC('Corn',t) = 1.5 ; PUC('Hay',t) = 2.25 ;

56

57 PARAMETER INVC(c,t) Inventory cost of crop c in period t ;

58 INVC('Silage',t) = 0.393167 ;

59 INVC('Haylage',t) = 0.3052 ;

60 INVC('Hay',t) = 0.04788 ;

61

62 PARAMETER UC(g,t,sex) Upkeep cost of animals in Group i in period t ;

63 UC('1',t,'XX') = 54.9 ;

64 UC('1',t,'XY') = 54.9 ;

65 UC('2',t,'XX') = 23.5 ;

66 UC('2',t,'XY') = 23.5 ;

67 UC('3',t,'XX') = 18.7 ;

68

69 PARAMETER PLC(c,t) Planting cost of crop c in period t ;

70 PLC('Silage',t) = 87.2 ; PLC('Corn',t) = 97.2 ;

71 PLC('Haylage',t) = 67.4 ; PLC('Hay',t) = 68.4 ;

72

73 PARAMETER CS(g,c,t) Feed c consumption of Group i in period t ;

74 CS('2','Silage',t) = 2.45 ;

75 CS('3','Silage',t) = 4.9 ;

76 CS('4','Silage',t) = 5.6 ;

77

78 CS('1','Corn',t) = 4 ;

79 CS('2','Corn',t) = 17 ;

80 CS('3','Corn',t) = 4.8 ;

81 CS('4','Corn',t) = 93.2 ;

82

83 CS('4','Haylage',t) = 1 ;

84

85 CS('1','Hay',t) = 5 ;

86 CS('2','Hay',t) = 14 ;

87

88 PARAMETER SP(g,t,sex) Selling price of animals in Group i in period t ;

89 SP('1',t,sex) = 35 ;

90 SP('3',t,'XX') = 500 ;

91 SP('3',t,'XY') = 258.3 ;

92

93 PARAMETER YLD(c,t) Yield per acre planted of crop c in period t ;

94 YLD('Silage',t) = 20 ;

95 YLD('Corn',t) = 150 ;

96 YLD('Haylage',t) = 12 ;

97 YLD('Hay',t) = 100 ;

98

99 PARAMETER CAP(c) Storage capacity for crop c ;

100 CAP('Silage') = 18000 ;

101 CAP('Haylage') = 2400 ;

102 CAP('Hay') = 12000 ;

103


```

104 VARIABLES
105 Crop_cost(t) Crop planting purchasing & storing costs
106 Revenue(t) Annual revenue
107 Prof(t) Annual profit
108 GProf Gross profit
109 ;
110
111 EQUATIONS
112 Anim_eq1(t) XY born
113 Anim_eq2(t) XX born
114 Anim_eq3(t) XX moved to Group 2
115 Anim_eq4(t) XY moved to Group 2
116 Anim_eq5(t) XX moved to Group 3
117 Anim_eq6(t) XY moved to Group 3
118 Anim_eq7(t) XY sold while on Group 3
119 Anim_eq8(t) XX of Group 4
120
121 Inv_eq1(c,t) Crop inventory
122 Inv_eq2(c,t) Inventory storage limits
123 Inv_eq3(c,t) Inventory storage limits
124
125 Land_eq1(t) Land with crops
126 Land_eq2(t) Land with alfalfa
127
128 Reven(t) Annual revenue from animals
129 C_cost(t) Crop planting purchasing & storing costs
130 Profit(t) Annual profit
131
132 Obj Gross Profit
133 ;
134
135 Anim_eq1(t).. P('1',t,'XY') + S('1',t,'XY') =e= 0.5*P('4',t,'XX') ;
136 Anim_eq2(t).. P('1',t,'XX') + S('1',t,'XX') =e= 0.5*P('4',t,'XX') ;
137 Anim_eq3(t).. P('2',t,'XX') =e= P('2',t,'XX') ;
138 Anim_eq4(t).. P('2',t,'XY') =e= P('2',t,'XY') ;
139 Anim_eq5(t).. P('3',t+1,'XX') + S('3',t+1,'XX') =e= P('2',t,'XX') ;

```

```

140 Anim_eq6(t)..      P('3',t+1,'XY') + S('3',t+1,'XY') =e= P('2',t,'XY') ;
141 Anim_eq7(t)..      S('3',t,'XY') =e= P('3',t,'XY') ;
142 Anim_eq8(t)..      P('4',t+1,'XX') =e= P('3',t,'XX') + 0.7*P('4',t,'XX') ;
143
144 Inv_eq1(c,t)..      I(c,t+1) =e= I(c,t) + (YLD(c,t)*ACR(c,t))
145                    - SUM(g,CS(g,c,t)*(P(g,t,'XX')+P(g,t,'XY'))) ;
146 Inv_eq2(c,t)..      I(c,t) =g= 0 ;
147 Inv_eq3(c,t)..      I(c,t) =l= CAP(c) ;
148
149 Land_eq1(t)..      SUM(c,ACR(c,t)) =l= A(t) ;
150 Land_eq2(t)..      ACR('Hay',t) + ACR('Haylage',t) =g= L(t) ;
151
152 Reven(t)..          Revenue(t) =e= REV(t)*P('4',t,'XX')
153                    + SUM(g,(SP(g,t,'XX')*S(g,t,'XX') + SP(g,t,'XY')*S(g,t,'XY'))) ;
154 C_cost(t)..         Crop_cost(t) =e= SUM(c,(INVC(c,t)*I(c,t)
155                    + PLC(c,t)*ACR(c,t)
156                    + PUC(c,t)*PU(c,t))) ;
157 Profit(t)..         Prof(t) =e= Revenue(t) - Crop_cost(t)
158                    - SUM(g,(UC(g,t,'XX')*P(g,t,'XX')
159                    + UC(g,t,'XY')*P(g,t,'XY'))) ;
160
161 Obj..               GProf =e= SUM(t,Prof(t)) ;
162
163 MODEL FARM Optimization /Reven , C_cost , Profit , Obj/;
164 SOLVE FARM using LP maximizing GProf;

```

Παράρτημα 5^ο

(αναφέρεται στην 1^η μελέτη περίπτωσης της 3^{ης} ενότητας)

Τα χαρακτηριστικά των ζωοτροφών (αγοραζόμενων και ιδιοπαραγόμενων) αναγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί:

| Ζωοτροφές c | Τιμή αγοράς price_eur_per_kg | Ξηρά ουσία | | Ινώδεις ουσίες | | Ενέργεια energy_mj_per_kg | Αζωτούχες ουσίες | | Απαιτήσεις σε γή land_req_str_per_kg | Απαιτήσεις σε εργ. labour_hr_per_kg | Απαιτήσεις σε αρδευση irr_land_req | Συνολ. Δαπάνες/δωλ. cost_per_kg |
|--------------------|---------------------------------|------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------|-------------|---|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| | | dry_matter | fib_matter | nitrogen_per_kg | nitrogen_per_kg | | | | | | | |
| Sanos | 0,150 | 0,860 | 0,102 | 3,70 | 0,130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Axyro | 0,090 | 0,870 | 0,120 | 2,86 | 0,025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ensiroma | 0,050 | 0,300 | 0,090 | 2,15 | 0,027 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Karpos_arav | 0,180 | 0,880 | 0,022 | 8,00 | 0,085 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Karpos_krith | 0,170 | 0,860 | 0,048 | 7,60 | 0,106 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Karpos_sit | 0,170 | 0,870 | 0,026 | 7,90 | 0,112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pityra_sit | 0,160 | 0,870 | 0,103 | 5,75 | 0,160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stemf_zax | 0,150 | 0,900 | 0,155 | 6,60 | 0,090 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stemf_esp | 0,140 | 0,900 | 0,126 | 6,70 | 0,059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sogialef | 0,320 | 0,900 | 0,062 | 7,35 | 0,425 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vamvakop | 0,170 | 0,895 | 0,255 | 4,30 | 0,250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hialevro | 0,180 | 0,890 | 0,182 | 6,60 | 0,300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Idiop_Sanos | 0,000 | 0,860 | 0,102 | 3,70 | 0,130 | 0,000952381 | 0,0114 | 0,000952381 | 0,000952381 | 0,000952381 | 0 | 0,071 |
| Idiop_Karpos_arav | 0,000 | 0,880 | 0,022 | 8,00 | 0,085 | 0,001250000 | 0,0250 | 0,001250000 | 0,001250000 | 0,001250000 | 0 | 0,130 |
| Idiop_Karpos_krith | 0,000 | 0,860 | 0,048 | 7,60 | 0,106 | 0,004081633 | 0,0261 | 0,004081633 | 0,004081633 | 0,004081633 | 0 | 0,106 |
| Idiop_Karpos_sit | 0,000 | 0,870 | 0,026 | 7,90 | 0,112 | 0,003076923 | 0,0246 | 0,003076923 | 0,003076923 | 0,003076923 | 0 | 0,090 |

Η σύνταξη του υποδείγματος στο GAMS είναι αρχικά η ακόλουθη:

```
1 SETS
2 trofes          Crops /Sanos, Axyro, Ensiroma, idiop_Sanos, idiop_Karpos_arav,
3                  idiop_Karpos_krith, idiop_Karpos_sit, Karpos_arav,
4                  Karpos_krith, Karpos_sit, Pityra_sit, Stempf_zax,
5                  Stempf_esp, Sogialev, Vamvakop, Hlialevro/
6 xondro(trofes) Gross crops /Sanos, Axyro, Ensiroma, idiop_Sanos/
7 elements        Threptika stoixeia /drym, fibers, energ, nitrog/
8 factor          Syntelestes paragogis /land, labour, irr_land/ ;
9
10 PARAMETER data(trofes,*) Dataset for model building;
GDXXIN  D:\KnwBs\MBA\GAMS Projects\Sitiresio\Databook.gdx
--- LOAD  data = 1:data
15
16 PARAMETERS
17 */ Δεδομένα ζωοτροφών
18 price(trofes) Crop buying cost
19 cost(trofes) Crop cultivation cost
20
21 */ Διαθέσιμοι παραγωγικοί συντελεστές
22 prod_factors(factor) / land 0 , labour 0 , irr_land 0 /
23
24 requir(elements) Requirements for daily nutrition /drym 9, fibers 2.070,
25                  energ 51.35, nitrog 0.89/ ;
26 price(trofes)= data(trofes,'price_eur_per_kg') ;
27 cost(trofes)= data(trofes,'cost_per_kg') ;
28
29 PARAMETERS
30 */ Περιεχόμενο ζωοτροφών
31 content(trofes, elements) Nutritional value of crops;
32 content(trofes, 'drym')= data(trofes,'dry_matter') ;
33 content(trofes, 'fibers')= data(trofes,'fib_matter') ;
34 content(trofes, 'energ')= data(trofes,'energy_mj_per_kg') ;
35 content(trofes, 'nitrog')= data(trofes,'nitrogen_per_kg') ;
36
37 PARAMETERS
```

```

38 techcoeff(trofes, factor) Requirements for crop cultivation;
39 techcoeff(trofes, 'land')= data(trofes,'land_req_str_per_kg') ;
40 techcoeff(trofes, 'labour')= data(trofes,'labour_hr_per_kg') ;
41 techcoeff(trofes, 'irr_land')= data(trofes,'irr_land_req') ;
42
43 DISPLAY price, cost, content, techcoeff ;
44
45 SCALARS
46 */ Δεδομένα αναγκών
47 min_drym / 6 / , max_fibers / 2.430 / ;
48
49 FREE VARIABLES tfc Total feed costs (euro) ;
50
51 POSITIVE VARIABLES x(trofes) Crop quantity used (kg) ;
52
53 EQUATIONS enough_feed, exces_fib_mat, needs(elements), obj, avail(factor);
54
55 needs(elements).. SUM(trofes,x(trofes)*content(trofes,elements))
56                 =g= requir(elements) ;
57 enough_feed..   SUM(xondro,x(xondro)*content(xondro,'drym')) =g= min_drym;
58 exces_fib_mat.. SUM(trofes,x(trofes)*content(trofes,'fibers')) =l= max_fibers;
59 obj..          tfc =e= SUM(trofes,x(trofes)*price(trofes))
60                 + SUM(trofes,x(trofes)*cost(trofes));
61 avail(factor).. SUM(trofes, x(trofes)*techcoeff(trofes, factor))
62                 =l= prod_factors(factor) ;
63
64 MODEL MIX Optimization / enough_feed, exces_fib_mat, needs, obj, avail/;
65 SOLVE MIX using LP minimizing tfc ;
66
67 PARAMETERS
68 totals(elements) , factors_use(factor) Quantities used at the optimum solution
69 un_land Unused land of the farm (stremma);
70
71 totals(elements)=SUM(trofes, x.l(trofes)*content(trofes, elements));
72 factors_use(factor)=SUM(trofes, x.l(trofes)*techcoeff(trofes,factor));
73 un_land =(prod_factors('land') -factors_use('land'));

```

Υπόμνημα – Ερμηνεία:

1. Αρχικά ορίζονται οι ομάδες των μεταβλητών (SET)
 - i. Ζωοτροφές
 - ii. Χονδροειδείς ζωοτροφές (υποσύνολο)
 - iii. Θρεπτικά συστατικά των τροφών
 - iv. Τεχνικοί συντελεστές
2. Κατόπιν εισάγεται ειδική εντολή (PARAMETER data(trofes,*) Dataset for model building;) προκειμένου το GAMS να εισάγει τα στοιχεία που χρειάζεται από το αρχείο με τα χαρακτηριστικά των ζωοτροφών (φύλλο Excel). Ορίζεται το λογιστικό φύλλο στο οποίο βρίσκονται οι εγγραφές καθώς και τα αντίστοιχα κελιά
3. Στη συνέχεια εισάγονται οι παράμετροι σε ομάδες με τις κατάλληλες εντολές προκειμένου να «λάβουν» αυτόματα τιμές από το αρχείο Excel. Σε διαφορετική περίπτωση, οι τιμές των παραμέτρων ορίζονται «επί τόπου» στον κώδικα
4. Ακολουθεί ο ορισμός των μεταβλητών
 - i. Το κόστος του σιτηρεσίου εισάγεται ως ελεύθερη μεταβλητή, ενώ
 - ii. Οι ποσότητες των ζωοτροφών που τελικά θα συμμετέχουν στο μείγμα ως μη αρνητικές μεταβλητές
5. Το υπόδειγμα αποτελείται από 5 μαθηματικές σχέσεις:
 - i. Το περιεχόμενο του μείγματος σε κάθε ένα από τα θρεπτικά στοιχεία πρέπει να υπερκαλύπτει τις ανάγκες του ζώου
 - ii. Το περιεχόμενο του μείγματος σε ξηρή ουσία που προέρχεται από τις χονδροειδείς ζωοτροφές πρέπει να υπερβαίνει το ελάχιστο επίπεδο
 - iii. Το περιεχόμενο του μείγματος σε ινώδεις ουσίες δεν μπορεί να είναι υπερβολικό (να μην υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο)
 - iv. Οι συνολικές ανάγκες σε παραγωγικούς συντελεστές δεν μπορεί να υπερβαίνουν τις διαθέσιμες ποσότητες αυτών
 - v. Το κόστος του σιτηρεσίου οφείλεται στο κόστος αγοράς των ζωοτροφών και στο αντίστοιχο κόστος καλλιέργειάς τους (αντικειμενική συνάρτηση)
6. Κατόπιν ορίζεται ένα όνομα για το πρόβλημα και καθορίζεται η κατεύθυνση της βελτιστοποίησης (ελαχιστοποίηση του κόστους του σιτηρεσίου)
7. Στο τέλος εισάγονται εντολές ώστε να προβληθούν τα χαρακτηριστικά του σιτηρεσίου που προέκυψε, και η χρήση (εάν προέκυψε τέτοια) των τεχνικών συντελεστών

Το υπόδειγμα τροποποιείται ελαφρώς για να συμπεριλάβει τα χαρακτηριστικά της έκτασης (γραμμή κώδικα 22) και να αναγάγει τις ανάγκες των ζώων σε ετήσια βάση (γραμμές κώδικα 55-60). Τελικά, η νέα δομή της σύνταξης του υποδείγματος είναι η εξής:

```

1  SETS
2  trofes          Crops /Sanos, Axyro, Ensiroma, idiop_Sanos, idiop_Karpos_arav,
3                  idiop_Karpos_krith, idiop_Karpos_sit, Karpos_arav,
4                  Karpos_krith, Karpos_sit, Pityra_sit, Stempf_zax,
5                  Stempf_esp, Sogialev, Vamvakop, Hlialevro/
6  xondro(trofes) Gross crops /Sanos, Axyro, Ensiroma, idiop_Sanos/
7  elements       Threptika stoixeia /drym, fibers, energ, nitrog/
8  factor         Syntelestes paragogis /land, labour, irr_land/ ;
9
10 PARAMETER data(trofes,*) Dataset for model building;
GDXXIN  D:\KnwBs\MBA\GAMS Projects\Sitiresio\Databook.gdx
--- LOAD  data = 1:data
15
16 PARAMETERS
17  */ Δεδομένα ζωοτροφών
18  price(trofes) Crop buying cost
19  cost(trofes) Crop cultivation cost
20
21  */Διαθέσιμες ποσότητες παραγωγικών συντελεστών
22  prod_factors(factor) / land 1.2 , labour 15 , irr_land 0.8 /
23
24  requir(elements) Requirements for daily nutrition /drym 9, fibers 2.070,
25                  energ 51.35, nitrog 0.89/ ;
26  price(trofes)= data(trofes,'price_eur_per_kg') ;
27  cost(trofes)= data(trofes,'cost_per_kg') ;
28
29 PARAMETERS
30  */Περιεχόμενο ζωοτροφών
31  content(trofes, elements) Nutritional value of crops;
32  content(trofes, 'drym')= data(trofes,'dry_matter') ;
33  content(trofes, 'fibers')= data(trofes,'fib_matter') ;
34  content(trofes, 'energ')= data(trofes,'energy_mj_per_kg') ;

```

```

35 content(trofes, 'nitrog')= data(trofes,'nitrogen_per_kg') ;
36
37 PARAMETERS
38 techcoeff(trofes, factor) Requirements for crop cultivation;
39 techcoeff(trofes, 'land')= data(trofes,'land_req_str_per_kg') ;
40 techcoeff(trofes, 'labour')= data(trofes,'labour_hr_per_kg') ;
41 techcoeff(trofes, 'irr_land')= data(trofes,'irr_land_req') ;
42
43 DISPLAY price, cost, content, techcoeff ;
44
45 SCALARS
46 */ Δεδομένα αναγκών
47 min_drym / 6 / , max_fibers / 2.430 / ;
48
49 FREE VARIABLES tfc Total feed costs (euro) ;
50
51 POSITIVE VARIABLES x(trofes) Crop quantity used (kg) ;
52
53 EQUATIONS enough_feed, exces_fib_mat, needs(elements), obj, avail(factor);
54
55 needs(elements).. SUM(trofes,x(trofes)*content(trofes,elements))
56                      =g= 365 * requir(elements) ;
57 enough_feed..      SUM(xondro,x(xondro)*content(xondro,'drym')) =g= 365 * min_drym;
58 exces_fib_mat..   SUM(trofes,x(trofes)*content(trofes,'fibers')) =l= 365 * max_fibers;
59 obj..            tfc * 365 =e= SUM(trofes,x(trofes)*price(trofes))
60                  + SUM(trofes,x(trofes)*cost(trofes));
61 avail(factor)..  SUM(trofes, x(trofes)*techcoeff(trofes, factor))
62                  =l= prod_factors(factor) ;
63
64 MODEL MIX Optimization / enough_feed, exces_fib_mat, needs, obj, avail/;
65 SOLVE MIX using LP minimizing tfc ;
66
67 PARAMETERS
68 totals(elements) , factors_use(factor) Quantities used at the optimum solution
69 un_land Unused land of the farm (stremma)      ;
70

```



```
71 totals(elements)=SUM(trofes, x.l(trofes)*content(trofes, elements));
72 factors_use(factor)=SUM(trofes, x.l(trofes)*techcoeff(trofes,factor));
73 un_land =(prod_factors('land') -factors_use('land'));
74
75 DISPLAY x.l, tfc.l, totals, factors_use, un_land;
```

Παράρτημα 6°

(αναφέρεται στη 2^η μελέτη περίπτωσης της 3^{ης} ενότητας)

Η προτεινόμενη σύνταξη του υποδείγματος στο GAMS είναι η ακόλουθη:

```
1 SET      fi          Cultivated crops /Corn, Alfalfa/
2          irr(fi)     Irrigated cultivated crops /Corn, Alfalfa/
3          conc_c_c(fi) Concentrated cultivated crops /Corn/
4          fs          Purchased crops /Corn, Alfalfa/
5          conc_p_c(fs) Concentrated purchased crops /Corn/
6          a           Lambs sold /weaning, rearing/
7          r           Animal premiums /elig, nelig/
8          l           Destination of labour /Crops, Flock/
9          s           Origin of labour /own, hired/
10         t           Month /01*12/
11         g           Type of pastureland /rent, own, commun/
12         u           Nutritional value /dry_m, nitrogen, energy/ ;
13
14 TABLE nv_cul(fi,u) Nutritional value of cultivated crops (kg or MJ)
15         dry_m  nitrogen  energy
16 Corn      0.88  0.07    8.4
17 Alfalfa   0.85  0.105   4.1
18 ;
19
20 TABLE nv_pur(fs,u) Nutritional value of purchased crops (kg or MJ)
21         dry_m  nitrogen  energy
22 Corn      0.88  0.073   8.4
23 Alfalfa   0.85  0.105   4.1
24 ;
25
26 TABLE nv_past(t,u) Nutritional value of pastureland per stremma per month (kg or MJ)
27         dry_m  nitrogen  energy
28 01        4      0.422   25.111
29 02        4      0.422   25.111
30 03        8.5    0.897   53.361
31 04        8.6    0.908   53.989
32 05        8.7    0.918   54.617
```

| | | | | |
|----|----|-----|-------|--------|
| 33 | 06 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 34 | 07 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 35 | 08 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 36 | 09 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 37 | 10 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 38 | 11 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 39 | 12 | 4 | 0.422 | 25.111 |

40 ;

41

42 TABLE n(a,t,u) Monthly feed requirements per ewe (kg or MJ)

| 43 | | dry_m | nitrogen | energy |
|----|------------|-------|----------|--------|
| 44 | weaning.01 | 41.65 | 3.22 | 273.21 |
| 45 | weaning.02 | 46.7 | 4.10 | 323.44 |
| 46 | weaning.03 | 53.98 | 4.77 | 365.58 |
| 47 | weaning.04 | 46.08 | 3.67 | 303.84 |
| 48 | weaning.05 | 46.21 | 3.79 | 313.97 |
| 49 | weaning.06 | 38.77 | 2.44 | 242.04 |
| 50 | weaning.07 | 29.61 | 1.58 | 180.36 |
| 51 | weaning.08 | 32.79 | 1.93 | 196.19 |
| 52 | weaning.09 | 33.78 | 2.21 | 214.02 |
| 53 | weaning.10 | 34.91 | 2.28 | 221.15 |
| 54 | weaning.11 | 33.78 | 2.21 | 214.02 |
| 55 | weaning.12 | 34.91 | 2.28 | 221.15 |
| 56 | | | | |
| 57 | rearing.01 | 41.65 | 3.22 | 273.21 |
| 58 | rearing.02 | 46.7 | 4.10 | 323.44 |
| 59 | rearing.03 | 66.42 | 5.86 | 449.90 |
| 60 | rearing.04 | 52.89 | 4.20 | 344.64 |
| 61 | rearing.05 | 46.21 | 3.79 | 313.97 |
| 62 | rearing.06 | 38.77 | 2.44 | 242.04 |
| 63 | rearing.07 | 29.61 | 1.58 | 180.36 |
| 64 | rearing.08 | 32.79 | 1.93 | 196.19 |
| 65 | rearing.09 | 33.78 | 2.21 | 214.02 |
| 66 | rearing.10 | 34.91 | 2.28 | 221.15 |
| 67 | rearing.11 | 33.78 | 2.21 | 214.02 |
| 68 | rearing.12 | 34.91 | 2.28 | 221.15 |

69 ;

70

71 PARAMETER avail(t) Available family labour per month (hr) /01 216, 02 288, 03 312,

72 04 312, 05 324, 06 300,

73 07 324, 08 324, 09 300,

74 10 324, 11 312, 12 312/

75

76 TABLE lab_req_crops(fi,t) Monthly labour requirements for crops (hr per stremma)

77 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12

78 Corn 0 0 0 3.9 2.2 4.3 4 2 0 0.7 0 0

79 Alfalfa 0 0.2 0 0 2.96 2.96 4.96 2.96 0.96 0 0 0

80 ;

81

82 TABLE lab_req_anim(a,t) Monthly labour requirements for animal activities (hr per ewe)

83 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12

84 weaning 3.53 0.44 2.35 1.67 1.57 0.72 0.33 0.33 0.32 0.33 0.32 0.33

85 rearing 3.53 0.44 2.35 1.67 1.73 0.87 0.33 0.33 0.32 0.33 0.32 0.33

86 ;

87

88 TABLE w(1,s) Wage (euros per hr)

89 own hired

90 Crops 0 2.5

91 Flock 0 2.5

92 ;

93

94 TABLE anim_gross_r(a,r) Gross revenue from selling animals & animal products (euros/ewe)

95 *Η διαφορά οφείλεται στην επιδότηση (οριζόντια)

96 *Η διαφορά οφείλεται στην ηλικία πώλησης των αρνιών (κάθετα)

97 elig nelig

98 weaning 178 153

99 rearing 210 170

100 ;

101

102 PARAMETERS

103 cul_crop_cost(fi) Variable cost required for cultivated crops (euros per stremma) /Corn
119.6, Alfalfa 74.73/

104 subsidy(fi) Subsidy amount for cultivated crops (euros per stremma) /Corn 56.32, Alfalfa 0/
105 crop_sell_p(fi) Crop selling price (euros per kg) /Corn 0.21, Alfalfa 0.18/
106 Yield(fi) Crop yield (kg per stremma) /Corn 500, Alfalfa 1250/
107 pasture_cost(g) Variable cost required for pastureland (euros per stremma per anno) /own 0, rent 100, commun 50/
108 anim_cost(a) Variable cost required for raising animals (euros per ewe per anno) /weaning 2.65, rearing 2.673/
109 feed_cost(fs) Cost of purchased crops (euros per kg) /corn 0.21, alfalfa 0.18/
110 num_elig Number of premium eligible ewes (number) /15/
111 percent_energy Percent of energy covered from concentrates /0.43/
112 irr_land Irrigated land (stremma) /28/
113 graz_mun Available communal pastureland (stremma) /20/
114 own_land Available owned pastureland (stremma = 0.1 Ha) /15/
115 rent_land Available pastureland for rent (stremma) /50/
116 land Total land (stremma) /43/
117 ;
118
119 POSITIVE VARIABLES
120 land_crop_cons(fi) Cultivated crops for consumption (stremma)
121 land_crop_sold(fi) Cultivated crops for sale (stremma)
122 feed_purc(fs,t) Monthly purchased crops (kg)
123 feed_cons(fi,t) Consumption of cultivated crops (kg)
124 lab(l,s,t) Labour per month & destination & origin (hr)
125 gland(g) Pastureland (stremma)
126 ;
127
128 INTEGER VARIABLES
129 anim(a,r) Ewes (number)
130 ;
131
132 VARIABLES
133 Crop_income Gross margin from crops (euros)
134 Anim_income Gross margin from animals (euros)
135 Labour_cost Labour cost (euros)
136 Gross_margin Gross margin (euros)
137 ;
138

```

139 EQUATIONS
140 Produced(fi)      Distribution of produced feed crops
141 Feed_req(t,u)     Feed requirements
142 Min_en_conc       Min annual energy requirements satisfied from concentrates
143 Lab_req_c(t)      Labour requirements for crops
144 Avail_f_l(t)      Available family labour
145 Lab_req_flock(t) Labour requirements of the flock are covered by family labour only
146
147 Avail_ir_l        Available irrigated land
148 Avail_own_past    Available own pastureland
149 Avail_own_l        Available own land
150 Com_past_l        Communal pasture land
151 Avail_rent_l      Available land for rental
152
153 Num_ewes_r        Number of ewe rights
154
155 Crop_in           Income from crops
156 Anim_in           Income from animals
157 Lab_cost          Hired labour cost
158
159 Obj               Max of gross margin
160 ;
161
162 Produced(fi)..    (yield(fi) * land_crop_cons(fi)) =e= SUM(t,feed_cons(fi,t)) ;
163
164 Feed_req(t,u)..   SUM(g,(nv_past(t,u) * gland(g)))
165                   + SUM(fi,(nv_cul(fi,u) * feed_cons(fi,t)))
166                   + SUM(fs,(nv_pur(fs,u) * feed_purc(fs,t)))
167                   =g= SUM(a,(n(a,t,u) * SUM(r,anim(a,r)))) ;
168
169 Min_en_conc..     SUM(conc_c_c,(nv_cul(conc_c_c,'energy')*yield(conc_c_c) *
land_crop_cons(conc_c_c))
170                   + SUM(t,SUM(conc_p_c,(nv_pur(conc_p_c,'energy') *
feed_purc(conc_p_c,t))))
171                   =g= percent_energy * SUM(a,SUM(r,(SUM(t,n(a,t,'energy')) *
anim(a,r)))) ;
172

```

```

173 Lab_req_c(t).. SUM(fi,(lab_req_crops(fi,t)*(land_crop_sold(fi) +
land_crop_cons(fi))))
174
175
176 Avail_f_l(t).. SUM(l,lab(l,'own',t)) =l= avail(t) ;
177
178 Lab_req_flock(t).. SUM(r,SUM(a,(lab_req_anim(a,t) * anim(a,r)))) =l=
lab('flock','own',t) ;
179
180 Avail_ir_l.. SUM(irr,(land_crop_sold(irr) + land_crop_cons(irr))) =l= irr_land ;
181
182 Avail_own_past.. gland('own') =l= own_land ;
183
184 Avail_own_l.. SUM(fi,(land_crop_sold(fi) + land_crop_cons(fi))) + gland('own') =l=
land ;
185
186 Com_past_l.. gland('commun') =l= graz_mun ;
187
188 Avail_rent_l.. gland('rent') =l= rent_land ;
189
190 Num_ewes_r.. SUM(a,anim(a,'elig')) =l= num_elig ;
191
192 Crop_in.. Crop_income =e= SUM(fi,(crop_sell_p(fi) * land_crop_sold(fi) *
yield(fi)))
193
194 land_crop_sold(fi))))
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205

```

```

206 *          Κόστος αγοράς ζωοτροφών
207          - SUM(t,SUM(fs,(feed_cost(fs) * feed_purc(fs,t))))
208 *          Μισθολογικό κόστος
209          - Labour_cost ;
210 *
211
212 MODEL GMARGIN Optimization /All/;
213
214 SOLVE GMARGIN using MIP maximizing Gross_margin;
215
216 DISPLAY land_crop_cons.l, land_crop_sold.l, feed_purc.l, feed_cons.l, lab.l, gland.l,
217 anim.l, Crop_income.l, Anim_income.l, Labour_cost.l, Gross_margin.l

```

Υπόμνημα

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα μοντέλα αυτής της μελέτης, το παρόν υπόδειγμα δεν έχει μόνο γραμμικές σχέσεις. Ο αριθμός των ζώων δεν μπορεί παρά να είναι ακέραιος. Συνεπώς η επίλυση του προβλήματος γίνεται μεν με τη μέθοδο Simplex αλλά το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού.

Επίλυση – Αποτελέσματα

- Το πρόβλημα έχει άριστη λύση

```

SOLVER CPLEX          FROM LINE 214

**** SOLVER STATUS      1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS      1 OPTIMAL
**** OBJECTIVE VALUE    8666.3852

```

- Στην άριστη λύση παρατηρείται μικρό μηνιαίο πλεόνασμα αζωτούχων ουσιών

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|-------------|-------|--------|-------|----------|
| 01.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 01.nitrogen | . | 79.191 | +INF | . |
| 01.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 02.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 02.nitrogen | . | 50.003 | +INF | . |
| 02.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 03.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 03.nitrogen | . | 74.442 | +INF | . |

| | | | | |
|-------------|---|---------|------|--------|
| 03.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 04.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 04.nitrogen | . | 94.713 | +INF | . |
| 04.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 05.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 05.nitrogen | . | 68.558 | +INF | . |
| 05.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 06.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 06.nitrogen | . | 113.738 | +INF | . |
| 06.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 07.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 07.nitrogen | . | 106.346 | +INF | . |
| 07.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 08.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 08.nitrogen | . | 108.700 | +INF | . |
| 08.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 09.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 09.nitrogen | . | 92.237 | +INF | . |
| 09.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 10.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 10.nitrogen | . | 95.602 | +INF | . |
| 10.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 11.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 11.nitrogen | . | 92.237 | +INF | . |
| 11.energy | . | . | +INF | -0.006 |
| 12.dry_m | . | . | +INF | -0.184 |
| 12.nitrogen | . | 95.990 | +INF | . |
| 12.energy | . | . | +INF | -0.006 |

- Το ποσό της ενέργειας που καλύπτουν οι συμπυκνωμένες ζωοτροφές είναι το ακόλουθο

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------------------|-------|-----------|-------|----------|
| ---- EQU Min_en_co~ | . | 13229.385 | +INF | . |

Min_en_conc Min annual energy requirements satisfied from concentrates

- Η οικογενειακή εργασία που αξιοποιείται κάθε μήνα συνολικά είναι η ακόλουθη

Available family labour

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|----|-------|---------|---------|----------|
| 01 | -INF | 215.330 | 216.000 | . |
| 02 | -INF | 32.440 | 288.000 | . |
| 03 | -INF | 143.350 | 312.000 | . |
| 04 | -INF | 101.870 | 312.000 | . |
| 05 | -INF | 188.410 | 324.000 | . |
| 06 | -INF | 135.950 | 300.000 | . |
| 07 | -INF | 159.010 | 324.000 | . |
| 08 | -INF | 103.010 | 324.000 | . |
| 09 | -INF | 46.400 | 300.000 | . |
| 10 | -INF | 20.130 | 324.000 | . |
| 11 | -INF | 19.520 | 312.000 | . |
| 12 | -INF | 20.130 | 312.000 | . |

- Η αξιοποίηση των ιδιόκτητων εκτάσεων είναι πλήρης, ενώ των ξένων μηδενική

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------------------------|-------|--------|--------|----------|
| Available irrigated land | -INF | 28.000 | 28.000 | 150.270 |
| Available own pastureland | -INF | 15.000 | 15.000 | 19.804 |
| Available own land | -INF | 43.000 | 43.000 | . |
| Communal pasture land | -INF | . | 20.000 | . |
| Available land for rental | -INF | . | 50.000 | . |

- Η έκταση και το είδος που καλλιεργείται για ιδιοκατανάλωση είναι ως εξής:

Cultivated crops for consumption (stremma)

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------|-------|--------|-------|----------|
| Corn | . | . | +INF | -108.550 |
| Alfalfa | . | 17.435 | +INF | . |

- Η έκταση και το είδος που καλλιεργείται για πώληση είναι ως εξής:

Cultivated crops for sale (stremma)

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------|-------|--------|-------|----------|
| Corn | . | . | +INF | -108.550 |
| Alfalfa | . | 10.565 | +INF | . |

- Μηνιαίως αγοράζονται οι κάτωθι ποσότητες ζωοτροφών

Monthly purchased crops (kg)

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|------|-------|-------|----------|----------|
| Corn | .01 | . | 1040.518 | +INF |

| | | | | | |
|------------|-----|---|----------|------|-----------|
| Corn | .02 | . | 1420.308 | +INF | . |
| Corn | .03 | . | 1856.758 | +INF | . |
| Corn | .04 | . | 1269.064 | +INF | . |
| Corn | .05 | . | 1291.310 | +INF | . |
| Corn | .06 | . | 762.197 | +INF | . |
| Corn | .07 | . | 505.348 | +INF | . |
| Corn | .08 | . | 512.558 | +INF | . |
| Corn | .09 | . | 704.202 | +INF | . |
| Corn | .10 | . | 728.856 | +INF | . |
| Corn | .11 | . | 704.202 | +INF | . |
| Corn | .12 | . | 753.531 | +INF | . |
| Alfalfa.01 | . | . | . | +INF | 1.949E-17 |
| Alfalfa.02 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.03 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.04 | . | . | . | +INF | 3.198E-17 |
| Alfalfa.05 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.06 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.07 | . | . | . | +INF | 3.198E-17 |
| Alfalfa.08 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.09 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.10 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.11 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |
| Alfalfa.12 | . | . | . | +INF | 1.177E-17 |

- Μηνιαίως καταναλώνονται οι κάτωθι ποσότητες ιδιοπαραγόμενων ζωοτροφών

Consumption of cultivated crops (kg)

| | | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|------|-----|-------|-------|-------|-----------|
| Corn | .01 | . | . | +INF | 3.949E-17 |
| Corn | .02 | . | . | +INF | . |
| Corn | .03 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Corn | .04 | . | . | +INF | -7.69E-18 |
| Corn | .05 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Corn | .06 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Corn | .07 | . | . | +INF | -7.69E-18 |
| Corn | .08 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Corn | .09 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Corn | .10 | . | . | +INF | -5.27E-18 |

| | | | | | |
|------------|-----|---|----------|------|-----------|
| Corn | .11 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Corn | .12 | . | . | +INF | -5.27E-18 |
| Alfalfa.01 | | . | 1841.170 | +INF | . |
| Alfalfa.02 | | . | 1810.387 | +INF | . |
| Alfalfa.03 | | . | 2694.321 | +INF | . |
| Alfalfa.04 | | . | 2330.016 | +INF | . |
| Alfalfa.05 | | . | 1825.832 | +INF | . |
| Alfalfa.06 | | . | 1839.690 | +INF | . |
| Alfalfa.07 | | . | 1448.240 | +INF | . |
| Alfalfa.08 | | . | 1668.987 | +INF | . |
| Alfalfa.09 | | . | 1541.626 | +INF | . |
| Alfalfa.10 | | . | 1597.196 | +INF | . |
| Alfalfa.11 | | . | 1541.626 | +INF | . |
| Alfalfa.12 | | . | 1654.592 | +INF | . |

- Μηνιαίως παρουσιάζονται οι κάτωθι ανάγκες σε εργασία ανά προέλευση και προορισμό

Labour per month & destination & origin (hr)

| | | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|----------------|-----|-------|---------|-------|----------|
| Crops.own | .01 | . | . | +INF | EPS |
| Crops.own | .02 | . | 5.600 | +INF | . |
| Crops.own | .03 | . | . | +INF | EPS |
| Crops.own | .04 | . | . | +INF | . |
| Crops.own | .05 | . | 82.880 | +INF | . |
| Crops.own | .06 | . | 82.880 | +INF | . |
| Crops.own | .07 | . | 138.880 | +INF | . |
| Crops.own | .08 | . | 82.880 | +INF | . |
| Crops.own | .09 | . | 26.880 | +INF | . |
| Crops.own | .10 | . | . | +INF | . |
| Crops.own | .11 | . | . | +INF | EPS |
| Crops.own | .12 | . | . | +INF | EPS |
| Crops.hired.01 | | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.02 | | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.03 | | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.04 | | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.05 | | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.06 | | . | . | +INF | -2.500 |

| | | | | |
|----------------|---|---------|------|--------|
| Crops.hired.07 | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.08 | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.09 | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.10 | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.11 | . | . | +INF | -2.500 |
| Crops.hired.12 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.own .01 | . | 215.330 | +INF | . |
| Flock.own .02 | . | 26.840 | +INF | . |
| Flock.own .03 | . | 143.350 | +INF | . |
| Flock.own .04 | . | 101.870 | +INF | . |
| Flock.own .05 | . | 105.530 | +INF | . |
| Flock.own .06 | . | 53.070 | +INF | . |
| Flock.own .07 | . | 20.130 | +INF | . |
| Flock.own .08 | . | 20.130 | +INF | . |
| Flock.own .09 | . | 19.520 | +INF | . |
| Flock.own .10 | . | 20.130 | +INF | . |
| Flock.own .11 | . | 19.520 | +INF | . |
| Flock.own .12 | . | 20.130 | +INF | . |
| Flock.hired.01 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.02 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.03 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.04 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.05 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.06 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.07 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.08 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.09 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.10 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.11 | . | . | +INF | -2.500 |
| Flock.hired.12 | . | . | +INF | -2.500 |

• Η αξιοποίηση των μη ιδιόκτητων βοσκότοπων κρίνεται μη συμφέρουσα

Pastureland (stremma)

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|--------|-------|--------|-------|----------|
| own | . | 15.000 | +INF | . |
| rent | . | . | +INF | -80.196 |
| commun | . | . | +INF | -30.196 |

- Η εκμετάλλευση αποδίδει τα μέγιστα εάν αποτελείται από τις εξής προβατίνες

Ewes (number)

| | LOWER | LEVEL | UPPER | MARGINAL |
|---------------|-------|--------|---------|----------|
| weaning.elig | . | . | 100.000 | 70.673 |
| weaning.nelig | . | . | 100.000 | 45.673 |
| rearing.elig | . | 15.000 | 100.000 | 98.390 |
| rearing.nelig | . | 46.000 | 100.000 | 58.390 |

Παράρτημα 7^ο

(αναφέρεται στη 2^η μελέτη περίπτωσης της 3^{ης} ενότητας)

Οι τροποποιήσεις του αρχικού υποδείγματος εμφανίζονται στον ακόλουθο κώδικα με γκριζο φόντο.

```
1 SET      fi          Cultivated crops /Corn, Alfalfa, Cotton, Barley, Sugar_b/
2          irr(fi)     Irrigated cultivated crops /Corn, Alfalfa, Cotton, Sugar_b/
3          conc_c_c(fi) Concentrated cultivated crops /Corn, Barley/
4          fs          Purchased crops /Corn, Alfalfa/
5          conc_p_c(fs) Concentrated purchased crops /Corn/
6          a           Lambs sold /weaning, rearing/
7          r           Animal premiums /elig, nelig/
8          l           Destination of labour /Crops, Flock/
9          s           Origin of labour /own, hired/
10         t           Month /01*12/
11         g           Type of pastureland /rent, own, commun/
12         u           Nutritional value /dry_m, nitrogen, energy/ ;
13
14 TABLE nv_cul(fi,u) Nutritional value of cultivated crops (kg or MJ)
15         dry_m      nitrogen      energy
16 Corn      0.88      0.07          8.4
17 Alfalfa  0.85      0.105         4.1
18 Cotton   0          0              0
19 Barley   0.86      0.106         7.6
20 Sugar_b  0          0              0
21 ;
22
23 TABLE nv_pur(fs,u) Nutritional value of purchased crops (kg or MJ)
24         dry_m      nitrogen      energy
25 Corn      0.88      0.073         8.4
26 Alfalfa  0.85      0.105         4.1
27 ;
28
29 TABLE nv_past(t,u) Nutritional value of pastureland per stremma per month (kg or MJ)
30         dry_m      nitrogen      energy
31 01        4          0.422         25.111
```

| | | | | |
|----|----|-----|-------|--------|
| 32 | 02 | 4 | 0.422 | 25.111 |
| 33 | 03 | 8.5 | 0.897 | 53.361 |
| 34 | 04 | 8.6 | 0.908 | 53.989 |
| 35 | 05 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 36 | 06 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 37 | 07 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 38 | 08 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 39 | 09 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 40 | 10 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 41 | 11 | 8.7 | 0.918 | 54.617 |
| 42 | 12 | 4 | 0.422 | 25.111 |

43 ;

44

45 TABLE n(a,t,u) Monthly feed requirements per ewe (kg or MJ)

| 46 | | dry_m | nitrogen | energy |
|----|------------|-------|----------|--------|
| 47 | weaning.01 | 41.65 | 3.22 | 273.21 |
| 48 | weaning.02 | 46.7 | 4.10 | 323.44 |
| 49 | weaning.03 | 53.98 | 4.77 | 365.58 |
| 50 | weaning.04 | 46.08 | 3.67 | 303.84 |
| 51 | weaning.05 | 46.21 | 3.79 | 313.97 |
| 52 | weaning.06 | 38.77 | 2.44 | 242.04 |
| 53 | weaning.07 | 29.61 | 1.58 | 180.36 |
| 54 | weaning.08 | 32.79 | 1.93 | 196.19 |
| 55 | weaning.09 | 33.78 | 2.21 | 214.02 |
| 56 | weaning.10 | 34.91 | 2.28 | 221.15 |
| 57 | weaning.11 | 33.78 | 2.21 | 214.02 |
| 58 | weaning.12 | 34.91 | 2.28 | 221.15 |
| 59 | | | | |
| 60 | rearing.01 | 41.65 | 3.22 | 273.21 |
| 61 | rearing.02 | 46.7 | 4.10 | 323.44 |
| 62 | rearing.03 | 66.42 | 5.86 | 449.90 |
| 63 | rearing.04 | 52.89 | 4.20 | 344.64 |
| 64 | rearing.05 | 46.21 | 3.79 | 313.97 |
| 65 | rearing.06 | 38.77 | 2.44 | 242.04 |
| 66 | rearing.07 | 29.61 | 1.58 | 180.36 |
| 67 | rearing.08 | 32.79 | 1.93 | 196.19 |


```

68 rearing.09      33.78  2.21      214.02
69 rearing.10     34.91  2.28      221.15
70 rearing.11     33.78  2.21      214.02
71 rearing.12     34.91  2.28      221.15
72 ;
73
74 PARAMETER avail(t) Available family labour per month (hr) /01 216, 02 288, 03 312,
75                                     04 312, 05 324, 06 300,
76                                     07 324, 08 324, 09 300,
77                                     10 324, 11 312, 12 312/
78
79 TABLE lab_req_crops(fi,t) Monthly labour requirements for crops (hr per stremma)
80      01  02  03  04  05  06  07  08  09  10  11  12
81 Corn   0   0   0   3.9 2.2 4.3 4   2   0   0.7 0   0
82 Alfalfa 0  0.2 0   0   2.96 2.96 4.96 2.96 0.96 0   0   0
83 Cotton 0   0   0   0.66 1.7 1   2.8 0.85 0.75 0.67 0.38 0
84 Barley 0  0.07 0.1 0   0   0.3 0   0   0   0   0.55 0
85 Sugar_b 0  0.59 0.36 3.68 0.85 0.6 0.5 0.6 0.9 0.65 0.4 0
86 ;
87
88 TABLE lab_req_anim(a,t) Monthly labour requirements for animal activities (hr per ewe)
89      01  02  03  04  05  06  07  08  09  10  11  12
90 weaning 3.53 0.44 2.35 1.67 1.57 0.72 0.33 0.33 0.32 0.33 0.32 0.33
91 rearing 3.53 0.44 2.35 1.67 1.73 0.87 0.33 0.33 0.32 0.33 0.32 0.33
92 ;
93
94 TABLE w(l,s) Wage (euros per hr)
95      own   hired
96 Crops   0     2.5
97 Flock   0     2.5
98 ;
99
100 TABLE anim_gross_r(a,r) Gross revenue from selling animals & animal products (euros per
ewe)
101 *Η διαφορά οφείλεται στην εξισωτική αποζημίωση (οριζόντια)
102 *Η διαφορά οφείλεται στην ηλικία πώλησης των αρνιών (κάθετα)
103      elig   nelig

```

104 weaning 178 153
105 rearing 210 170
106 ;
107
108 PARAMETERS
109 cul_crop_cost(fi) Variable cost required for cultivated crops (euros per stremma)
110 /Corn 119.6, Alfalfa 74.73, Cotton 116.83, Barley 33.2, Sugar_b
114.76/
111 subsidy(fi) Subsidy amount for cultivated crops (euros per stremma)
112 /Corn 56.32, Alfalfa 0, Cotton 224.94, Barley 0, Sugar_b 0/
113 crop_sell_p(fi) Crop selling price (euros per kg)
114 /Corn 0.21, Alfalfa 0.18, Cotton 0.3, Barley 0.17, Sugar_b
0.04/
115 Yield(fi) Crop yield (kg per stremma)
116 /Corn 500, Alfalfa 1250, Cotton 460, Barley 335, Sugar_b 7000/
117 pasture_cost(g) Variable cost required for pastureland (euros per stremma per anno)
/own 0, rent 100, commun 50/
118 anim_cost(a) Variable cost required for raising animals (euros per ewe per anno)
/weaning 2.65, rearing 2.673/
119 feed_cost(fs) Cost of purchased crops (euros per kg) /corn 0.21, alfalfa 0.18/
120 num_elig Number of premium eligible ewes (number) /15/
121 percent_energy Percent of energy covered from concentrates /0.43/
122 irr_land Irrigated land (stremma) /28/
123 graz_mun Available communal pastureland (stremma) /20/
124 own_land Available owned pastureland (stremma = 0.1 Ha) /15/
125 rent_land Available pastureland for rent (stremma) /50/
126 land Total land (stremma) /43/
127 ;
128
129 POSITIVE VARIABLES
130 land_crop_cons(fi) Cultivated crops for consumption (stremma)
131 land_crop_sold(fi) Cultivated crops for sale (stremma)
132 feed_purc(fs,t) Monthly purchased crops (kg)
133 feed_cons(fi,t) Consumption of cultivated crops (kg)
134 lab(l,s,t) Labour per month & destination & origin (hr)
135 gland(g) Pastureland (stremma)
136 ;
137

```

138 INTEGER VARIABLES
139 anim(a,r)      Ewes (number)
140 ;
141
142 VARIABLES
143 Crop_income    Gross margin from crops (euros)
144 Anim_income    Gross margin from animals (euros)
145 Labour_cost    Labour cost (euros)
146 Gross_margin   Gross margin (euros)
147 ;
148
149 EQUATIONS
150 Produced(fi)   Distribution of produced feed crops
151 Feed_req(t,u)  Feed requirements
152 Min_en_conc    Min annual energy requirements satisfied from concentrates
153 Lab_req_c(t)   Labour requirements for crops
154 Avail_f_l(t)   Available family labour
155 Lab_req_flock(t) Labour requirements of the flock are covered by family labour only
156
157 Avail_ir_l     Available irrigated land
158 Avail_own_past Available own pastureland
159 Avail_own_l    Available own land
160 Com_past_l    Communal pasture land
161 Avail_rent_l   Available land for rental
162
163 Num_ewes_r     Number of ewe rights
164
165 Crop_in        Income from crops
166 Anim_in        Income from animals
167 Lab_cost       Hired labour cost
168
169 Obj            Max of gross margin
170 ;
171
172 Produced(fi).. (yield(fi) * land_crop_cons(fi)) =e= SUM(t,feed_cons(fi,t)) ;
173

```

```

174 Feed_req(t,u).. SUM(g,(nv_past(t,u) * gland(g)))
175                + SUM(fi,(nv_cul(fi,u) * feed_cons(fi,t)))
176                + SUM(fs,(nv_pur(fs,u) * feed_purc(fs,t)))
177                =g= SUM(a,(n(a,t,u) * SUM(r,anim(a,r)))) ;
178
179 Min_en_conc.. SUM(conc_c_c,(nv_cul(conc_c_c,'energy')*yield(conc_c_c)*land_crop_cons(conc_c_c)))
180                +
181                SUM(t,SUM(conc_p_c,(nv_pur(conc_p_c,'energy')*feed_purc(conc_p_c,t))))
182                =g= percent_energy * SUM(a,SUM(r,(SUM(t,n(a,t,'energy')) *
anim(a,r)))) ;
183
183 Lab_req_c(t).. SUM(fi,(lab_req_crops(fi,t)*(land_crop_sold(fi) +
land_crop_cons(fi))))
184                =e= SUM(s,lab('crops',s,t)) ;
185
186 Avail_f_l(t).. SUM(l,lab(l,'own',t)) =l= avail(t) ;
187
188 Lab_req_flock(t).. SUM(r,SUM(a,(lab_req_anim(a,t) * anim(a,r)))) =l=
lab('flock','own',t) ;
189
190 Avail_ir_l.. SUM(irr,(land_crop_sold(irr) + land_crop_cons(irr))) =l= irr_land ;
191
192 Avail_own_past.. gland('own') =l= own_land ;
193
194 Avail_own_l.. SUM(fi,(land_crop_sold(fi) + land_crop_cons(fi))) + gland('own') =l=
land ;
195
196 Com_past_l.. gland('commun') =l= graz_mun ;
197
198 Avail_rent_l.. gland('rent') =l= rent_land ;
199
200 Num_ewes_r.. SUM(a,anim(a,'elig')) =l= num_elig ;
201
202 Crop_in.. Crop_income =e= SUM(fi,(crop_sell_p(fi) * land_crop_sold(fi) *
yield(fi)))
203                - SUM(fi,(cul_crop_cost(fi) * (land_crop_cons(fi) +
land_crop_sold(fi))))
204                + SUM(fi,(subsidy(fi) * (land_crop_cons(fi) +
land_crop_sold(fi)))) ;
205

```

```

206 Anim_in..      Anim_income =e= SUM(r,SUM(a,(anim_gross_r(a,r) * anim(a,r))))
207              - SUM(r,SUM(a,(anim_cost(a) * anim(a,r)))) ;
208
209 Lab_cost..     Labour_cost =e= SUM(t,SUM(s,SUM(l,(lab(l,s,t) * w(l,s)))))) ;
210
211 Obj..          Gross_margin =e=
212 *              Κέρδη από πώληση ζωοτροφών και ζώων
213              Crop_income + Anim_income
214 *              Κόστος χρήσης βοσκοτόπων
215              - SUM(g,(pasture_cost(g) * gland(g)))
216 *              Κόστος αγοράς τροφών για ιδιοκατανάλωση
217              - SUM(t,SUM(fs,(feed_cost(fs) * feed_purc(fs,t))))
218 *              Μισθολογικό κόστος
219              - Labour_cost ;
220 *
221
222 MODEL GMARGIN Optimization /All/;
223
224 SOLVE GMARGIN using MIP maximizing Gross_margin;
225
226 DISPLAY land_crop_cons.l, land_crop_sold.l, feed_purc.l, feed_cons.l, lab.l, gland.l,
227 anim.l, Crop_income.l, Anim_income.l, Labour_cost.l, Gross_margin.l

```