



ΘΑΛΗΣ - Πανεπιστήμιο Πειραιά
Μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τη μελέτη της
ευστάθειας σε προβλήματα λήψης αποφάσεων
με πολλαπλά κριτήρια

Δ9 – Βιβλιογραφική ανασκόπηση ανάλυσης
ευστάθειας σε προβλήματα πολυστοχικού
προγραμματισμού

Π9 – Τεχνική έκθεση (βιβλιογραφική
ανασκόπηση ανάλυσης ευστάθειας σε
προβλήματα πολυστοχικού προγραμματισμού)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Στοιχεία παραδοτέου

Δράση: Δ9 – Βιβλιογραφική ανασκόπηση ανάλυσης ευστάθειας σε προβλήματα πολυστοχικού προγραμματισμού

Τίτλος παραδοτέου: Π9 – Τεχνική έκθεση (βιβλιογραφική ανασκόπηση ανάλυσης ευστάθειας σε προβλήματα πολυστοχικού προγραμματισμού)

Τύπος παραδοτέου: S - PU

Έκδοση: 01

Ημερομηνία: 1 Ιουνίου 2012

Υπεύθυνος σύνταξης: Καθηγητής Ιωάννης Ψαρράς

Ομάδα σύνταξης: Επίκουρος Καθηγητής Δημήτρης Ασκούνης

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	5
2	Πολυστοχικός προγραμματισμός.....	6
2.1	Εισαγωγή στον πολυστοχικό προγραμματισμό	6
2.2	Μέθοδοι επίλυσης ΠΓΠ.....	7
3	Ανάλυση ευστάθειας.....	9
3.1	Εισαγωγή	9
3.2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	10
	Βιβλιογραφία	12

Συνομογραφίες Παραδοτέου

ΕΜΠ ή ΝΤΥΑ: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΠΠ: Πολυστοχικός-Πολυκριτηριακός Προγραμματισμός

ΠΓΠ: Πολυστοχικός ή Πολυκριτήριος ή Πολυκριτηριακός Γραμμικός Προγραμματισμός

1 Εισαγωγή

Η παρούσα τεχνική έκθεση αποτελεί παραδοτέο αντικείμενο της κύριας ερευνητικής ομάδας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για το ερευνητικό πρόγραμμα «ΘΑΛΗΣ». Ο ΘΑΛΗΣ συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή ένωση και στόχος του είναι η ενίσχυση της διεπιστημονικής ή και διδρυματικής έρευνας και καινοτομίας, με δυνατότητα προσέλκυσης ερευνητών υψηλού επιπέδου από το εξωτερικό μέσω της διενέργειας βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας αριστείας.

Τρεις κύριες ερευνητικές ομάδες συνεργάζονται με φυσικό αντικείμενο πράξης τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τη μελέτη της ευστάθειας σε προβλήματα λήψης αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια. Αυτές είναι η συντονίστρια ομάδα του Πανεπιστημίου Πειραιώς, η ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης και η ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αντικείμενο έρευνας της ομάδας του ΕΜΠ είναι η ανάλυση ευστάθειας σε προβλήματα πολυστοχικού προγραμματισμού (multi-objective programming). Το αντικείμενο αυτό διασπάται σε τρεις πράξεις, τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ανάλυσης ευστάθειας, την ανάπτυξη μέτρων αξιολόγησης μέτρων ευστάθειας και την πειραματική αξιολόγηση αυτών των μέτρων σε προβλήματα πολυστοχικού προγραμματισμού.

Η τεχνική αυτή έκθεση έχει σκοπό να καταγράψει τις προσεγγίσεις που έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία πάνω στο αντικείμενο της ανάλυσης ευστάθειας στα πλαίσια προβλημάτων πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης και να κάνει εισαγωγή στα επόμενα βήματα που θα ακολουθήσει η ομάδα του ΕΜΠ.

Το υπόλοιπο της έκθεσης οργανώνεται ως εξής: Στο κεφάλαιο 2 εισάγεται η έννοια του πολυστοχικού-πολυκριτηριακού προγραμματισμού (ΠΠ) και οι προτεινόμενοι τρόποι αντιμετώπισης των συγκεκριμένων προβλημάτων. Το κεφάλαιο 3 περιγράφει εκτενώς την έννοια της ευστάθειας στα προβλήματα ΠΠ και παρουσιάζει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση των προσεγγίσεων ανάλυσης ευστάθειας στα προβλήματα ΠΠ. Η τεχνική έκθεση καταλήγει στο κεφάλαιο 4 με τις προκλήσεις του αντικειμένου και τα επόμενα ερευνητικά βήματα που θα ακολουθήσει η ομάδα του ΕΜΠ.

2 Πολυστοχικός προγραμματισμός

2.1 Εισαγωγή στον πολυστοχικό προγραμματισμό

Ο πολυστοχικός προγραμματισμός ή αλλιώς πολυκριτήριος ή πολυκριτηριακός (γραμμικός) προγραμματισμός (ΠΓΠ) αποτελεί επέκταση αλλά και αναπόσπαστο κομμάτι του γραμμικού προγραμματισμού και η συνεισφορά του στην επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης κρίνεται σημαντική από την κοινότητα της επιχειρησιακής έρευνας. Ο ΠΓΠ αναπτύχθηκε αλματωδώς μέσα στη δεκαετία του '70 και το χαρακτηριστικό του είναι η ύπαρξη πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων προς βελτιστοποίηση. Χαρακτηριστικό επίσης του ΠΓΠ είναι ότι δεν αμφισβητεί ως φιλοσοφία κανένα αποτέλεσμα του κλασικού ΓΠ αλλά έρχεται για να εμπλουτίσει το δεύτερο με περισσότερα αποτελέσματα (Σίσκος, 1998). Έτσι, εξετάζοντας ένα πρόβλημα πολυκριτηριακά, στην ουσία το εξετάζουμε και το βελτιστοποιούμε πιο σφαιρικά και ρεαλιστικά, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα του ενός κριτήρια αξιολόγησης.

Ένα ΠΓΠ μεγιστοποίησης γράφεται και μοντελοποιείται ως εξής:

Να μεγιστοποιηθούν οι n παρακάτω αντικειμενικές συναρτήσεις g_i :

$$g_1(\mathbf{x}) = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1k}x_k$$

$$g_2(\mathbf{x}) = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2k}x_k$$

.....

$$g_n(\mathbf{x}) = c_{n1}x_1 + c_{n2}x_2 + \dots + c_{nk}x_k$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\mathbf{x} \in \mathbf{A} = \{ \mathbf{x} \in \mathbb{R}^t / \mathbf{A}\mathbf{x} \leq \mathbf{b}, \mathbf{x} \geq 0 \}$$

Όπου \mathbf{A} η επιτρεπτή περιοχή των λύσεων που οριοθετείται από το σύστημα των ανισοεξισωτικών περιορισμών και \mathbf{A} , \mathbf{x} και \mathbf{b} είναι αντίστοιχα μήτρες διαστάσεων $m \times k$, $k \times 1$ και $m \times 1$.

Στα προβλήματα ΠΓΠ, επειδή υπάρχουν περισσότερες από μία αλληλοσυγκρουόμενες αντικειμενικές συναρτήσεις, δεν υπάρχει μία λύση που να τις αριστοποιεί συγχρόνως όλες. Η έννοια λοιπόν της άριστης λύσης του ΓΠ αντικαθίσταται στον ΠΓΠ από αυτήν της ικανής λύσης (efficient, non-dominated solution).

Ικανή λύση: Μία λύση x' ενός προβλήματος ΠΚΓΠ λέγεται ικανή (ή κατά Pareto άριστη, ή αποτελεσματική) αν και μόνο αν $x' \in S$ και δεν υπάρχει άλλη λύση $x \in S$ τέτοια ώστε $c_i x \geq c_i x'$ για κάθε $i = 1, 2, \dots, p$ και $c_i x > c_i x'$ για τουλάχιστον ένα i . Κάθε ικανή λύση αντιστοιχεί σε ένα

μη βελτιώσιμο διάνυσμα στο χώρο των αντικειμενικών συναρτήσεων, με την έννοια ότι δεν μπορούμε να βελτιώσουμε την τιμή μίας αντικειμενικής συνάρτησης χωρίς να χειροτερεύσουμε τουλάχιστον μία από τις άλλες.

Αντικειμενικός σκοπός της επίλυσης των προβλημάτων ΠΓΠ είναι αρχικά ο προσδιορισμός των ικανών λύσεων και στη συνέχεια η υποστήριξη του αποφασίζοντα ώστε να επιλέξει εκείνη την ικανή λύση που εκφράζει καλύτερα τις προτιμήσεις του. Απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι μία λύση ενός προβλήματος ΠΓΠ αποδεκτή είναι να πρόκειται για ικανή λύση.

2.2 Μέθοδοι επίλυσης ΠΓΠ

Ενώ στον απλό ΓΠ καθιερώθηκε ως βασική μέθοδος επίλυσης η μέθοδος Simplex, που ανακαλύφθηκε πριν από 50 σχεδόν χρόνια από τον Dantzig, στον ΠΓΠ δεν υπάρχει μία τεχνική που να δείχνει ότι επικράτησε με το πέρασμα των χρόνων. Αν και το βασικό υπολογιστικό υπόβαθρο όλων των τεχνικών ΠΓΠ απορρέει από τη μέθοδο Simplex (με τις διάφορες παραλλαγές της), εν τούτοις οι διάφορες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί διαφέρουν μεταξύ τους (Μαυρωτάς, 2000). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται συνήθως τόσο από τα χαρακτηριστικά του προβλήματος (μέγεθος, είδος μεταβλητών κλπ), όσο και από τις απαιτήσεις και προτιμήσεις του αποφασίζοντα ο οποίος συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία επίλυσης και εύρεσης της τελικής λύσης (Evans 1984, Shin and Ravidran 1991).

Οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων προκύπτουν κυρίως από τους διαφορετικούς τρόπους εμπλοκής του αποφασίζοντα στη διαδικασία επίλυσης και από τη διαφορετική υποστήριξη αποφάσεων που παρέχουν. Έτσι λοιπόν, ένας αρκετά διαδεδομένος τρόπος ταξινόμησης των μεθόδων ΠΓΠ είναι ανάλογα με το στάδιο επίλυσης του προβλήματος από τον αναλυτή, στο οποίο εκφράζει τις προτιμήσεις του ο αποφασίζων (Hwang Masud 1979, Evans 1984). Η έκφραση της προτίμησης μπορεί να γίνεται πριν τη διαδικασία επίλυσης, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επίλυσης και τέλος, μετά την διαδικασία επίλυσης.

Έκφραση προτίμησης πριν την επίλυση (a priori)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μέθοδοι ΠΚΓΠ στις οποίες ο αποφασίζων είναι σε θέση να συγκεκριμενοποιήσει απόλυτα τις προτιμήσεις του πριν τη διαδικασία επίλυσης. Αυτό γίνεται είτε καθορίζοντας a priori τη σημαντικότητα των κριτηρίων είτε καθορίζοντας κάποιες τιμές – στόχους για τα κριτήρια. Στην πρώτη περίπτωση βασίζεται η δημοφιλής **μέθοδος των σταθμισμένων βαρών (weighted sums approach)** όπου ο αποφασίζων αποδίδει σε κάθε κριτήριο – αντικειμενική συνάρτηση έναν συντελεστή βαρύτητας με τη μορφή μοναδιαίων παραχωρήσεων (trade offs). Στη σημαντικότητα των κριτηρίων βασίζεται και η μέθοδος του **συναινετικού προγραμματισμού (compromise programming)**, (Zeleny, 1973), που επιχειρεί να συνδυάσει τις αντικειμενικές συναρτήσεις σε μία ολική, με τη χρήση βαρών λ_i που

κυμαίνονται μεταξύ (0,1) και το άθροισμά τους ισοδυναμεί με τη μονάδα. Από την άλλη, καθορισμό τιμών στόχων για τις αντικειμενικές συναρτήσεις περιλαμβάνει η **μέθοδος του προγραμματισμού στόχων (goal programming)**. Επίσης, στην κατηγορία των a priori μεθόδων ανήκει και η γνωστή αλλά απλοϊκή **λεξικογραφική βελτιστοποίηση**, η οποία συνήθως ενσωματώνεται σαν στάδιο επίλυσης κάποιας άλλης μεθόδου.

Έκφραση προτίμησης κατά τη διάρκεια της επίλυσης (interactive)

Οι μέθοδοι που ανήκουν στην κατηγορία αυτή ονομάζονται αλληλεπιδραστικές λόγω της άμεσης εμπλοκής και καθοδήγησης του αποφασίζοντα στη διαδικασία επίλυσης. Οι αλληλεπιδραστικές μέθοδοι χαρακτηρίζονται από φάσεις διαλόγου με τον αποφασίζοντα που εναλλάσσονται με φάσεις υπολογισμών από το πρόγραμμα. Είναι επαναληπτικές διαδικασίες όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ αποφασίζοντα και μεθόδου συνεχίζεται μέχρι να ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο σύγκλισης και να βρεθεί η τελική λύση.

Χαρακτηριστικές μέθοδοι αυτής της κατηγορίας είναι η **μέθοδος STEM** (Step Method), (Benayoun et al.,1971), η **μέθοδος Zionts-Wallenius**, (Ziont and Wallenius, 1983) και η μέθοδος **Interval Criterion Weights**, (Steur, 1977), κ.α.

Έκφραση προτίμησης μετά την επίλυση (a posteriori)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι λεγόμενες **μέθοδοι παραγωγής (generation methods)** των ικανών λύσεων. Οι μέθοδοι αυτοί έχουν ως αντικείμενο τον υπολογισμό - παραγωγή του συνόλου (Pareto front) ή κάποιου αντιπροσωπευτικού υποσυνόλου των ικανών λύσεων. Μετά την παραγωγή των ικανών λύσεων, ο αποφασίζων τις εξετάζει και επιλέγει την προτιμότερη από αυτές που αποτελεί την τελική λύση.

Πλεονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ότι προσδίδουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στον αποφασίζοντα για την επιλογή του, καθώς του δίνονται όλες οι δυνατές εναλλακτικές και δεν απαιτούν την έντονη εμπλοκή του. Από την άλλη όμως το σημαντικό μειονέκτημά τους, είναι η υπολογιστική τους πολυπλοκότητα που τις καθιστά χρονοβόρες στην επίλυση ή ακόμα και ανέφικτες χρονικά. Τέτοιες μέθοδοι είναι η **μέθοδος των συντελεστών στάθμισης (weighting method)**, η **μέθοδος των περιορισμών (e-constraint method)** και οι **μέθοδοι πολυκριτηριακής Simplex** που παραλλάσσουν τη μέθοδο Simplex ώστε να μπορεί αν διαχειριστεί περισσότερες της μίας αντικειμενικές συναρτήσεις.

3 Ανάλυση ευστάθειας

3.1 Εισαγωγή

Στο πεδίο της λήψης αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας πρωτοπόροι με τις δουλειές τους ήταν ο Dantzig, (Dantzig, 1955) και οι Charnes και Cooper, (Charnes and Cooper, 1959), οι οποίοι έθεσαν τα θεμέλια για το στοχαστικό προγραμματισμό και τη βελτιστοποίηση υπό πιθανολογικούς περιορισμούς, αντίστοιχα.

Όμως, οι δύο παραπάνω τεχνικές και μεθοδολογίες επίλυσης προβλημάτων υπό αβεβαιότητα, θεωρούν ότι οι κατανομές πιθανότητας των αγνώστων παραμέτρων είναι γνωστές, πράγμα που προφανώς δε μπορεί να ισχύει σε κάθε περίπτωση (Scarf, 1958). Επιπλέον, οι άγνωστες πληροφορίες που εισέρχονται στο μαθηματικό μοντέλο μπορούν να οδηγήσουν σε ανέφικτες λύσεις κατά την εφαρμογή τους στην πραγματικότητα ή ακόμα και σε λύσεις οι οποίες θα δώσουν πραγματικά αποτελέσματα που θα απέχουν σε μεγάλο βαθμό από αυτά που εξήχθησαν από την επίλυση του μοντέλου. Ο Soyster (1973), αντιμετώπισε το παραπάνω πρόβλημα, θεωρώντας για κάθε άγνωστη μεταβλητή του μοντέλου την χειρότερη δυνατή τιμή από αυτές που μπορεί να πάρει. Εισήγαγε έτσι την έννοια της ευστάθειας των λύσεων καθώς πέτυχε την ολική προφύλαξη του μοντέλου απέναντι στην αβεβαιότητα των παραμέτρων παρόλο που το μοντέλο του θεωρείται υπερβολικά συντηρητικό.

Από τότε πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί πάνω στην ανάλυση της ευστάθειας των μοντέλων και των βέλτιστων λύσεων που πηγάζουν από αυτά για μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση, ενώ σχετικά πρόσφατα οι μελέτες έχουν στραφεί και στον πολυστοχικό προγραμματισμό.

Ο Roy σε άρθρο του το 2010 (Roy, 2010), ορίζει την ανάλυση ευστάθειας σαν ένα πολύπλευρο πρόβλημα και εισάγει έναν πιο δόκιμο όρο για αυτή την ανάλυση, *robustness concern*. Σύμφωνα με το Roy, στόχος της ανάλυσης ευστάθειας είναι αρχικά να εντοπίσει όλα τα αδύναμα-ασταθή σημεία και τις ζώνες αβεβαιότητας του μοντέλου (*frailty points*) και να τα αντιμετωπίσει με διάφορους τρόπους ώστε να επιτευχθεί η εύρεση ευσταθών λύσεων οι οποίες τα επηρεάζονται το λιγότερο δυνατό από την επικράτηση δυσμενών μελλοντικών σεναρίων.

Τα παραπάνω αδύναμα σημεία μπορεί να είναι ένα από τα παρακάτω στοιχεία ή και συνδυασμός αυτών.

- Άγνωστες τιμές παραμέτρων που αφορούν μελλοντικές καταστάσεις.
- Αβέβαιες τιμές παρόντων δεδομένων του μοντέλου.

- Εξισώσεις που πλαισιώνουν το μοντέλο οι οποίες όμως αποκλίνουν από τις αληθινές.
- Προτιμήσεις του αποφασίζοντα που αφορούν κυρίως στη βαρύτητα των κριτηρίων στον πολυστοχικό προγραμματισμό οι οποίες αποτυπώνονται με αβέβαιο τρόπο.

Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα σημεία που καθιστούν το μοντέλο ασταθές, κάποιες δεδομένες τεχνικές προτείνονται στη βιβλιογραφία.

1. Προσομοίωση και εισαγωγή στο μοντέλο πολλαπλών μελλοντικών σεναρίων, εκ των οποίων ένα θα επαληθευτεί στην πραγματικότητα.
2. Ορισμός κατανομών πιθανότητας για τις αβέβαιες μεταβλητές-παράμετρους όπως στον στοχαστικό προγραμματισμό.
3. Διενέργεια δημοσκοπήσεων για την στατιστική προσέγγιση παραμέτρων που αφορούν δεδομένα του πληθυσμού.
4. Εισαγωγή ασαφών παραμέτρων ως μέτρα ευστάθειας του μοντέλου για να οριστεί η επικινδυνότητα της λήψης απόφασης με τα παρόντα δεδομένα.
5. Έλεγχος της συμπεριφοράς της βέλτιστης λύσης στη μεταβολή των τιμών των αβέβαιων παραμέτρων (ανάλυση ευαισθησίας).

3.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ανασκόπηση στη βιβλιογραφία δείχνει ότι η επιστημονική κοινότητα έχει μελετήσει σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση ευστάθειας σε μονοκριτήρια προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις που χρήζονται ανάλυσης. Επίσης, έχουν δοκιμαστεί και αξιολογηθεί όλες οι παραπάνω πέντε τεχνικές αντιμετώπισης της αστάθειας, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι έχει καλυφθεί πλήρως το αντικείμενο. Ενδεικτικές εργασίες πάνω στην ανάλυση ευστάθειας σε μονοκριτήρια προβλήματα βελτιστοποίησης είναι οι εξής: (Mulvey, et al. 1995), (Ben-Tal and Nemirovski, 1999), (Bertsimas and Sim, ,2003, 2005), (Bertsimas and Thiele, 2006), (Aloulou and Della Croce, 2005), (Roy, 2010)

Στον πολυστοχικό προγραμματισμό που είναι και το αντικείμενο που αφορά την κεντρική ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ, μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι δεν έχει δημοσιευθεί ακόμα αρκετό υλικό. Επίσης, οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί είναι όλες πρόσφατες και οι ομάδες τους συνεχίζουν να δραστηριοποιούνται στις πτυχές αυτού του τόσο ενδιαφέροντος θέματος.

Συγκεκριμένα, έχει επιχειρηθεί προσέγγιση του συνόλου των βέλτιστων λύσεων, όταν στο μοντέλο υπεισέρχονται αβέβαιες παράμετροι που οι τιμές τους είναι ελεύθερες να μεταβάλλονται (Gorissen and Hertdog, 2012).

Επίσης, έχει πραγματοποιηθεί προσέγγιση ενός συνόλου ημιβέλτιστων (near optimal) αλλά ευσταθών λύσεων αντί για το σύνολο των βέλτιστων αλλά ασταθών στις μεταβολές λύσεις,

με τη χρήση ευρετικών εξελικτικών αλγορίθμων, (Jin and Sendhoff, 2003), (Deb and Gupta, 2005, 2006).

Η προσομοίωση πιθανών μελλοντικών καταστάσεων της φύσης (σεναρίων) και έλεγχος της συμπεριφοράς των βέλτιστων λύσεων σε καθένα από αυτά έχει πραγματοποιηθεί και για προβλήματα πολυστοχικού προγραμματισμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις η απόφαση λαμβάνεται με βάση τη στάση του εκάστοτε αποφασίζοντα απέναντι στο ρίσκο.

Κενό στη βιβλιογραφία όμως εντοπίστηκε στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας του πολυστοχικού μοντέλου όσον αφορά στα προτιμησιακά δεδομένα του αποφασίζοντα. Με λίγα λόγια, δεν έχει δημοσιευθεί κάποια εργασία στην οποία να επιχειρείται να καλυφθεί το κενό μεταξύ των πραγματικών προτιμήσεων του αποφασίζοντα στη σημαντικότητα των κριτηρίων και της απεικόνισης αυτών των προτιμήσεων στο επιλυόμενο μοντέλο. Επομένως, δεν έχει επιχειρηθεί και αξιολογηθεί η ευσταθής αποτύπωση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα στο μοντέλο, σημείο στο οποίο θα βασιστεί η έρευνα της ομάδας του ΕΜΠ.

Βιβλιογραφία

- Aloulou, M.A., Della Croce, F. 2005. On the complexity of single machine scheduling problems under scenario-based uncertainty, Universite Paris-Dauphine, Annales du LAMSADE No. 4-5, pp. 1-14.
- Ben-Tal, A., Nemirovski, A. (1999). Robust solutions of uncertainty linear programming, Operations Research Letters, 25, pp. 1-13.
- Benayoun, R., de Montgolfier, J., Tergny, J., Laritchev, O. (1971). Linear Programming with Multiple Objective Functions: Step Method (STEM). Mathematical Programming, 1, pp. 366-375.
- Bertsimas, D., and Sim, S. (2003). Robust discrete optimization and network flows, Mathematical Programming, 98, pp. 49-71.
- Bertsimas, D., and Sim, S. (2004). The price of robustness, Operations Research, 52(1), pp. 35-53.
- Bertsimas, D., and Thiele, A. (2006). Robust and Data-Driven Optimization: Modern Decision-Making Under Uncertainty, Tutorials on Operations Research, INFORMS, 4, pp. 95-122.
- Charnes, A., and Cooper, W. (1959). Chance-constrained programming, Management Science, 6, pp. 73-79.
- Dantzig, G. (1955). Linear programming under uncertainty, Management Science, 1, pp. 197-206
- Deb, K. and Gupta, H. (2005). Searching for robust Pareto-optimal solutions in multiobjective optimization, In Proceedings of the third International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO-05), pp. 150-164.
- Deb, K. and Gupta, H. (2006). Introducing Robustness in Multi-Objective Optimization, Evolutionary Computation, 14, pp. 463-494.
- Evans, G.W. (1984). An overview of techniques for multiobjective mathematical programs, Management Science, 30, pp. 1268-1282.
- Hwang, C.L., Masud, A. (1979). Multiple Objective Decision Making. Methods and Applications: A state of the art survey, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems Vol. 164. Springer-Verlag, Berlin.
- Jin, Y. and Sendhoff, B. (2003). Trade-off between performance and robustness: An evolutionary multiobjective approach, EMO2003, pp. 237-251.

- Makarouni, I., Psarras, J., Siskos, E. (2013). Interactive bicriterion decision support for a large scale industrial scheduling system, *Annals of Operations Research*, submitted.
- Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., Zenios, S.A. (1995). Robust optimization of large-scale systems, *Operations Research Letters*, 43 (2), pp. 264-281.
- Roy, B. (2010). Robustness in operational research and decision aiding: A multi-faceted issue, *European Journal of Operational Research*, 200, pp. 629-638.
- Scarf, H. (1958). *Studies in the mathematical theory of inventory and production, min-max solution of an inventory problem*, Stanford University Press.
- Shin, W.A., Ravidran, A. (1991). Interactive multiple objective optimization: Survey I - Continuous case, *Computers and Operations Research* 18, 97-114.
- Soyster, A.L. (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming, *Operations Research*, 21, pp. 1154-1157.
- Steuer, R.E. (1977). An Interactive Multiple Objective Linear Programming Procedure, *TIMS Studies in the Management Sciences*, 6, pp. 225-239.
- Zeleny, M. (1973). Compromise programming, *Multiple criteria decision making*, J. L. Cochrane and M. Zeleny, eds.
- Zionts, S., Wallenius, J. (1983). An Interactive Multiple Objective Linear Programming for a Class of Underlying Nonlinear Utility Functions, *Management Science* 29, 519-529.
- Μαυρωτάς, Γ., (2000). Πολυκριτηριακός προγραμματισμός σε συνθήκες αβεβαιότητας. Κατασκευή συστήματος υποστήριξης αποφάσεων και εφαρμογή στον ενεργειακό σχεδιασμό. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.
- Σίσκος, Γ. (1998). Γραμμικός Προγραμματισμός, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.