

Δυνατότητες εφαρμογής μεθόδου Regime σε Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Συγκοινωνιακών Έργων

Γ. Σ. ΓΙΩΤΗΣ

Υποψ. Διδάκτορας Ε Μ Π – Πολιτικός Μηχανικός Ε Μ Π

Περίληψη

Στην εποχή μας το έντονο ενδιαφέρον για οντότητες που δεν αποτιμώνται κατ' ανάγκη σε χρηματικές αξίες, όπως το περιβάλλον και η ποιότητα ζωής, εγείρει την αναγκαιότητα για ενσωμάτωση πολλών κριτηρίων και την αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων. Επίσης, οι σύγχρονες τεχνικές δυνατότητες, παρέχουν εν δυνάμει αρκετές λύσεις για τα περισσότερα ζητήματα κατασκευών συγκοινωνιακής υποδομής, επομένως η αξιολόγηση των υπόψη λύσεων καθίσταται αναγκαία προκειμένου να επιλεγεί η πλέον κατάλληλη για κάθε περίπτωση. Με δεδομένο το προαναφερόμενο υπαρκτό πλαίσιο η διερεύνηση δυνατοτήτων εφαρμογής μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης σε αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων καθίσταται μία επιστημονική περιοχή με σημαντικό ενδιαφέρον.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αλγοριθμική και εννοιολογική θεώρηση της μεθόδου Regime με σκοπό την εφαρμογή της σε αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων. Ακόμη, λαμβάνει χώρα εφαρμογή της υπόψη μεθόδου σε πραγματικό πρόβλημα πολυκριτηριακής αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων, ώστε να φανούν οι δυνατότητες εφαρμογής της και να επαληθευτούν τα αναλυθέντα. Τέλος, γίνεται μία διεξοδική κριτική ανάλυση της μεθόδου με εστίαση σε χαρακτηριστικά και απαιτήσεις της αξιολόγησης των συγκοινωνιακών έργων. (Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν σε κάποιο βαθμό και σε άλλα τεχνικά έργα, όπως ενέργειας ή περιβάλλοντος).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Στα περισσότερα προβλήματα αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων οι διαφαινόμενες λύσεις είναι περισσότερες της μίας, επομένως, είναι χρήσιμο η εν λόγω αξιολόγηση να καταλήξει σε κάποιο εξαγόμενο σύγκρισης των λύσεων.

Ως «εναλλακτική», ορίζεται κάθε εναλλακτική διαφαινόμενη λύση για κάθε πρόβλημα αξιολόγησης είτε γενικού χαρακτήρα ή ειδικότερα σε προβλήματα αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων.

Ως «κριτήριο» ορίζεται κάθε παράγοντας βάσει του οποίου γίνεται η αξιολόγηση των εναλλακτικών.

Ως «δείκτης κριτηρίου» ορίζεται η οντότητα που υποστασιοποιεί το κριτήριο και επιτρέπει την ποσοτική του έκφραση. Για παράδειγμα, το κριτήριο της οικονομικής ανάπτυξης μπορεί να μετρηθεί με τον Δείκτη Εσωτερικής Ανταποδοτικότητας ("IRR"), ή με την Καθαρά Παρούσα Αξία ("NPV"), ή με τον Λόγο Ωφέλειας/Κόστους ("BCR") [1], [3], [11].

Για να συμπεριληφθούν όσο το δυνατό καλύτερα εννοιολογικά και ακριβέστερα ποσοτικά αρκετά κριτήρια σε μία αξιολόγηση έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης. Μία από αυτές είναι η μέθοδος «Regime» [2], [4], [8], [9], [11].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση δυνατοτήτων εφαρμογής της υπόψη μεθόδου σε πραγματικά προβλήματα πολυκριτηριακής αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων. Στο πλαίσιο αυτό δίδεται αλγοριθμική ανάπτυξη της μεθόδου, γίνεται ανάλυση του βαθμού απόκρισης της στα χαρακτηριστικά αξιολόγησης των συγκοινωνιακών έργων (τα οποία σε κάποιο βαθμό εμπίπτουν και σε άλλα τεχνικά έργα) και παρατίθεται εφαρμογή της σε πραγματικό πρόβλημα, η οποία και αξιολογείται.

1.1. Συμβολισμοί

- Ai: Εναλλακτική υπό αξιολόγηση λύση.
- I: Πλήθος εναλλακτικών.
- Cj: Κριτήριο αξιολόγησης εναλλακτικών λύσεων.
- J: Πλήθος κριτηρίων.
- Φij: Αρχική (συνήθως φυσική) επίδοση της εναλλακτικής Ai στο κριτήριο Cj.
- iii': Διάνυσμα Regime σύγκρισης των εναλλακτικών Ai και Ai' (διατεταγμένως).
- iii' j: Συνιστώσα για το κριτήριο Cj διανύσματος Regime ti, i' (διανύσματος Regime σύγκρισης των εναλλακτικών Ai και Ai').
- R: Πίνακας Regime.
- λj: Σχετική βαρύτητα του κριτηρίου Cj.
- Pij: Επίδοση Διάταξης της εναλλακτικής Ai στο κριτήριο Cj.
- iii': Δείκτης Διαφοράς Ελκυστικότητας της εναλλακτικής Ai από την εναλλακτική Ai' (διατεταγμένως).
- Σj [...]: Άθροισμα ως προς τον δείκτη j αυτών που ακολουθούν στη συνέχεια.
- S: Χώρος Τιμών, ήτοι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων, έκαστο των οποίων έχει ως συνιστώσες τις δυνατές σχετικές βαρύτητες των κριτηρίων.
- Sk: Υπόχωρος Τιμών, δηλαδή τμήμα του Χώρου Τιμών στο οποίο πέρα από τις ισχύουσες σε ολόκληρο το Χώρο σχέσεις, ισχύουν και ιδιαίτερες σχέσεις μεταξύ των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων.
- Uii'(k): Αριθμός σύγκρισης του διατεταγμένου ζεύγους των εναλλακτικών Ai και Ai' αναφορικά με τον υπόχωρο τιμών Sk.
- V(k): Πίνακας αριθμών σύγκρισης αναφορικά με τον υπόχωρο τιμών Sk.
- Xω: Ακραίο σημείο (κορυφή) του Χώρου Τιμών.
- tk: Μέγεθος του υποχώρου Sk.

2. ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ REGIME

2.1. Γενικά

Η πολυκριτηριακή μέθοδος αξιολόγησης Regime [2], [4], [8], [9], [11] αξιοποιεί και προϋποθέτει για τη λειτουργία της τα ακόλουθα:

- απλή ποιοτική ιεράρχηση των κριτηρίων,
- απλή ποιοτική ιεράρχηση των ανά κριτήριο επιδόσεων των εναλλακτικών.

Η έννοια «ποιοτική ιεράρχηση ως προς τα κριτήρια», σημαίνει ότι αρχικά χρειάζεται απλά η ποιοτική πληροφορία εάν κάποιο κριτήριο είναι σημαντικότερο από κάποιο άλλο και δεν απαιτείται η ποσοτική πληροφορία πόσο σημαντικότερο είναι.

Παρόμοια, η έννοια «ποιοτική ιεράρχηση ως προς τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών» σημαίνει ότι αρχικά χρειάζεται απλά η ποιοτική πληροφορία, εάν κάποια εναλλακτική είναι καλύτερη από κάποια άλλη ως προς κάποιο κριτήριο και δεν απαιτείται η ποσοτική πληροφορία πόσο καλύτερη είναι.

2.2. Αλγόριθμος και εννοιολογικές αρχές της μεθόδου

Βήμα 1^ο: Από τις αρχικές ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών, οι οποίες εκφράζονται συνήθως στις φυσικές κλίμακες των κριτηρίων (οι εν λόγω επιδόσεις μπορούν να συμβολιστούν με P_{ij}) ευρίσκονται οι αριθμοί διάταξης P_{ij} . Οι εν λόγω αριθμοί διατάσσουν τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων και αντανακλούν την προαναφερόμενη ποιοτική ιεράρχηση αυτών. Οι υπόψη αριθμοί χαρακτηρίζονται «τακτικοί», όπου, ο χαρακτηρισμός αυτός αποδίδει το ποιοτικό στοιχείο της προαναφερθείσας ιεράρχησης [2], [8], [11].

Εάν για παράδειγμα αξιολογούνται τρεις εναλλακτικές, τότε στην περίπτωση που στο κριτήριο C_j δεν παρατηρείται κάποια ισοδυναμία επιδόσεων των εναλλακτικών, οι αριθμοί διάταξης P_{ij} λαμβάνουν τις τιμές 1, 2, 3. Στην περίπτωση ισοδυναμίας των δύο καλύτερων στο υπόψη κριτήριο λύσεων, οι αριθμοί διάταξης λαμβάνουν τις τιμές 2, 2, 1.

Ευρίσκοντας για όλα τα κριτήρια και για όλες τις εναλλακτικές τους αριθμούς διάταξης P_{ij} , σχηματίζεται ο αντίστοιχος πίνακας.

Βήμα 2^ο: Εντός κάθε κριτηρίου συγκρίνονται κατά ζεύγη εναλλακτικών λύσεων οι αριθμοί διάταξης. Έτσι, για δύο εναλλακτικές λύσεις A_i και A_i' συγκρίνονται για κάθε κριτήριο j τα αντίστοιχα P_{ij} και $P_{i'j}$. Από τη σύγκριση αυτή προκύπτει η συνιστώσα $r_{ii',j}$ του διανύσματος Regime $r_{ii'}$, το οποίο συγκρίνει διατεταγμένα τις δύο εναλλακτικές A_i και A_i' . Η εν λόγω συνιστώσα λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές:

$$\begin{aligned} &+1, \text{ εάν } P_{ij} > P_{i'j}, \\ &-1, \text{ εάν } P_{ij} < P_{i'j}, \\ &0, \text{ εάν } P_{ij} = P_{i'j}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Η συνιστώσα $r_{ii',j}$ του διανύσματος Regime $r_{ii'}$, λαμβάνει τις αντίθετες από τη συνιστώσα $r_{ii',j}$ του διανύσματος Regime $r_{ii'}$ τιμές, βάσει του ότι η σύγκριση των εναλλακτι-

κών γίνεται διατεταγμένα στα διανύσματα Regime.

Εφόσον ευρεθούν όλες οι συνιστώσες $r_{ii',j}$, μορφώνεται το διάνυσμα Regime $r_{ii'}$ ως εξής:

$$[r_{ii'}] = [r_{ii',1}, r_{ii',2}, r_{ii',3}, \dots, r_{ii',j}, \dots, r_{ii',J}], \quad (2.2)$$

όπου J , το πλήθος των κριτηρίων αξιολόγησης.

Μ' αυτόν τον τρόπο μορφώνονται όλα τα διανύσματα Regime, τα οποία και αποτελούν γραμμές του τελικά καταρτιζομένου πίνακα Regime, ο οποίος παρίσταται με R .

Βήμα 3^ο: Ιεραρχούνται ποιοτικά τα κριτήρια. Είναι βολικό ο δείκτης j του κριτηρίου C_j να είναι τόσο μικρότερος, όσο σημαντικότερο ιεραρχείται το υπόψη κριτήριο. Δηλαδή, είναι βολικό εάν λ_j η σχετική βαρύτητα του κριτηρίου C_j να υφίσταται η εξής ακολουθία σχέσεων (διάταξη) των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_j \geq \dots \geq \lambda_J, \quad (2.3)$$

όπου J , το πλήθος των κριτηρίων.

Επίσης, μπορεί να θεωρηθεί για λόγους κανονικοποίησης των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων ότι ισχύει και η ακόλουθη σχέση:

$$\sum_j [\lambda_j] = 1,00. \quad (2.4)$$

Βήμα 4^ο: Θεωρείται για κάθε ζεύγος εναλλακτικών (διατεταγμένως θεωρουμένων) ο Δείκτης διαφοράς ελκυστικότητας $\mu_{ii'}$, ο οποίος δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_{ii'} = \sum_j [\lambda_j * r_{ii',j}]. \quad (2.5)$$

Με δεδομένη από προηγούμενο βήμα ακολουθία σχέσεων (διάταξη) των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων ευρίσκονται από τα διανύσματα Regime, εκείνα που μπορούν να δώσουν ετερόσημες τιμές σε ένα έστω δείκτη διαφοράς ελκυστικότητας. Αυτά τα διανύσματα Regime χαρακτηρίζονται «κρίσιμα». [2], [8], [11].

Για παράδειγμα, εάν θεωρούνται τρία κριτήρια κρίσιμα διανύσματα Regime, είναι τα ακόλουθα (εφόσον τηρείται ο συμβολισμός του όσο μικρότερος ο δείκτης ενός κριτηρίου, άρα και όσο καλύτερη η σειρά του, τόσο σπουδαιότερο το κριτήριο αυτό):

$$\begin{aligned} &[+1, -1, -1], \\ &[-1, +1, +1]. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Ανά δύο τα κρίσιμα διανύσματα Regime ορίζουν μία κρίσιμη εξίσωση μεταξύ των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων. Για παράδειγμα, τα προαναφερθέντα διανύσματα Regime, ορίζουν την κρίσιμη εξίσωση:

$$\lambda_1 = \lambda_2 + \lambda_3. \quad (2.7)$$

Η υπόψη εξίσωση είναι συμβατή με τη διάταξη $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων αξιολόγησης (όπως βέβαια είναι συμβατή και με τη σχέση της κανονικότητας των βαρών, δηλαδή με: $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1,00$).

Βήμα 5^ο: Ευρίσκεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων, έκαστο των οποίων έχει ως συνιστώσες τις δυνατές σχετικές βαρυότητες των κριτηρίων. Η έννοια «δυνατές» σημαίνει τη συναλήθευση των δεκτών ή θεσπισμένων σχέσεων, που έχουν δοθεί προηγουμένως μεταξύ των σχετικών βαρυτήτων

των κριτηρίων. Πρόκειται, δηλαδή, για τη συναλήθευση των σχέσεων κανονικότητας και ιεράρχησης των κριτηρίων αξιολόγησης, ήτοι αντιστοίχως των σχέσεων:

$$\sum_j [\lambda_j] = 1,00, \\ \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_j \geq \dots \geq \lambda_J.$$

Ο εν λόγω γεωμετρικός τόπος χαρακτηρίζεται ως «Χώρος Τιμών» και παρίσταται με S.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των τριών κριτηρίων που αναφέρθηκε, η συναλήθευση των προαναφερομένων σχέσεων, οδηγεί στην οριοθέτηση του γεωμετρικού τόπου των βαρών των κριτηρίων, δηλαδή του Χώρου Τιμών, ως τριγώνου, με συντεταγμένες των κορυφών-βάρη των κριτηρίων τα ακόλουθα σημεία:

$$\begin{aligned} X1: [1, 0, 0], \\ X2: [1/2, 1/2, 0], \\ X3: [1/3, 1/3, 1/3]. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Παρατηρείται ότι ο Χώρος Τιμών έχει πλήθος βαθμών ελευθερίας (J-1), όπου (ως ήδη αναφέρθηκε) J είναι το πλήθος των κριτηρίων. (Για παράδειγμα στην περίπτωση τριών κριτηρίων, ο Χώρος Τιμών είναι τρίγωνο, δηλαδή τμήμα επιπέδου, άρα είναι τόπος με δύο βαθμούς ελευθερίας). Η μείωση κατά ένα βαθμό ελευθερίας έναντι του πλήθους J των κριτηρίων, οφείλεται στην ισχύ της εξίσωσης κανονικότητας, πέραν των ανισοτήτων (σχέσεων) διάταξης των βαρών των κριτηρίων.

Βήμα 6^ο: Ευρίσκονται οι «Υπόχωροι Τιμών», ήτοι οι Sk, δηλαδή, οι γεωμετρικοί υπόχωροι που ανήκουν στον Χώρο Τιμών S, όπου για κάθε Υπόχωρο Τιμών, πέρα από τις σχέσεις ολόκληρου του Χώρου (κανονικότητα και διάταξη των κριτηρίων), ισχύει ένα ιδιαίτερο σύνολο ανισοτήτων καθοριζόμενων από τις κρίσιμες εξισώσεις.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των τριών κριτηρίων η κρίσιμη εξίσωση

$$\lambda_1 = \lambda_2 + \lambda_3, \text{ ορίζει δύο ανισότητες: τη}$$

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 + \lambda_3, \quad (2.9)$$

η οποία ορίζει με την ισχύ της τον Υπόχωρο Τιμών S1, και τη

$$\lambda_1 \leq \lambda_2 + \lambda_3, \quad (2.10)$$

η οποία ορίζει με την ισχύ της τον Υπόχωρο Τιμών S2.

Έκαστος των δύο υπόψη Υποχώρων είναι ένα τρίγωνο. Τα ακραία σημεία (κορυφές) έχουν ανά Υπόχωρο τις εξής συντεταγμένες:

$$\begin{aligned} \text{Για τον S1:} \\ X1: [1, 0, 0], \\ X2: [1/2, 1/2, 0], \\ X4: [1/2, 1/4, 1/4]. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Για τον S2:

$$\begin{aligned} X2: [1/2, 1/2, 0], \\ X4: [1/2, 1/4, 1/4], \\ X3: [1/3, 1/3, 1/3], \end{aligned} \quad (2.12)$$

Παρατηρείται ότι ο Υπόχωρος Τιμών S1 έχει κοινές κορυφές με ολόκληρο τον Χώρο Τιμών S τα σημεία X1 και X2, ενώ ο Υπόχωρος Τιμών S2 έχει κοινές κορυφές με ολόκληρο τον Χώρο Τιμών S τα σημεία X2 και X3.

Μεταξύ τους οι δύο Υπόχωροι (S1 και S2) έχουν κοινές τις κορυφές X2 και X4 και το μεταξύ αυτών οριζόμενο ευθύγραμμο τμήμα.

Βήμα 7^ο: Ευρίσκεται το «Μέγεθος» κάθε Υπόχωρου Sk, το οποίο παρίσταται με tk. Το Μέγεθος αυτό εννοιολογικά μπορεί να καθοριστεί ως το πλήθος των σημείων που ανήκουν στον υπόψη Υπόχωρο, ενώ λογισμικά μπορεί να προσδιοριστεί ως η απόλυτη τιμή της ορίζουσας του πίνακα ο οποίος έχει ως σειρές τα ακραία σημεία του Υπόχωρου. Παρόμοια, μπορεί να οριστεί και το μέγεθος ολόκληρου του Χώρου Λύσεων S, το οποίο παρίσταται με t.

Το πηλίκο του μεγέθους κάθε υπόχωρου τιμών προς το μέγεθος του χώρου τιμών, δηλαδή το (tk/t), εκφράζει τη σχετική πιθανότητα ο συνδυασμός των βαρών των κριτηρίων να ευρίσκεται εντός του συνόλου συνδυασμών βαρών του υπόψη υπόχωρου.

Εύκολα μπορεί να δειχθεί με βάση την ανωτέρω πιθανοτική προσομοίωση ότι:

$$\sum_k [(tk/t)] = 1,00. \quad (2.13)$$

Βήμα 8^ο: Για κάθε Υπόχωρο Τιμών ευρίσκονται οι συντεταγμένες του Κεντροειδούς του, το οποίο μπορεί να προσομοιωθεί με το κέντρο βάρους του υπόψη Υπόχωρου.

Κάθε συνιστώσα του Κεντροειδούς υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων συνιστωσών των ακραίων σημείων (κορυφών) του αντίστοιχου Υπόχωρου.

Βήμα 9^ο: Για κάθε Υπόχωρο Τιμών Sk ευρίσκονται οι Δείκτες Διαφοράς Ελκυστικότητας μii' για κάθε θεωρούμενο ζεύγος Εναλλακτικών Ai και Ai', δηλαδή ευρίσκεται το μii'(κ). Για να ευρεθεί μάλιστα και η συγκεκριμένη τιμή για κάθε Υπόχωρο τιμών και κάθε διατεταγμένο ζεύγος εναλλακτικών ως σχετικές βαρύτητες των κριτηρίων λαμβάνονται οι συνιστώσες του κεντροειδούς για κάθε Υπόχωρο.

Ακόμη, σημειώνεται ότι το πρόσημο κάθε Δείκτη Διαφοράς Ελκυστικότητας είναι σταθερό εντός κάθε Υπόχωρου Τιμών, όπως αυτό καθορίζεται από τις συγκεκριμένες σχέσεις ανισοτήτων μεταξύ των βαρών των κριτηρίων.

Βήμα 10^ο: Για κάθε Υπόχωρο τιμών Sk και αναφορικά με κάθε διατεταγμένο ζεύγος εναλλακτικών Ai και Ai' υπολογίζεται από το αντίστοιχο μii'(κ) ο «Αριθμός Σύγκρισης». Ο αριθμός σύγκρισης παρίσταται με Uii'(k), εκφράζει μονοσήμαντα την υπεροχή, υστέρηση ή ισότητα μίας εναλλακτικής έναντι μίας άλλης αναφορικά με ένα Υπόχωρο τιμών. Οι τιμές που λαμβάνει στην κλασική μέθοδο Regime κάθε αριθμός σύγκρισης, ήτοι κάθε Uii'(k), είναι οι εξής:

$$\begin{aligned} U_{ii'}(k) &= +1, \text{ εάν } \mu_{ii'}(k) > 0, \\ U_{ii'}(k) &= -1, \text{ εάν } \mu_{ii'}(k) < 0, \\ U_{ii'}(k) &= 0, \text{ εάν } \mu_{ii'}(k) = 0. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Αφού ευρεθούν για κάθε Υπόχωρο τιμών Sk όλοι οι Uii'(k), μορφώνεται ο πίνακας V(k). Στην κύρια διαγώνιο κάθε πίνακα V(k), όπου i = i', δηλαδή η κάθε εναλλακτική συγκρίνεται με τον εαυτό της, τα στοιχεία είναι μηδενικά, δη-

λαδή:

$$\text{Για } i = i', U_{ii}'(k) = 0. \quad (2.15)$$

Βήμα 11^ο: Ευρίσκεται η γενική (στα κριτήρια) επίδοση κάθε εναλλακτικής A_i για κάθε Υπόχωρο τιμών Sk . Η επίδοση αυτή συμβολίζεται με $Ei(k)$. Η υπόψη επίδοση δίδεται από τη σχέση:

$$Ei(k) = \sum i' [U_{ii}'(k)]. \quad (2.16)$$

Με βάση την $Ei(k)$, κατατάσσεται κάθε εναλλακτική A_i αναφορικά με τον υπόχωρο τιμών Sk [όσο μεγαλύτερη αλγεβρικά η $Ei(k)$, τόσο καλύτερη η εναλλακτική A_i αναφορικά με τον υπόχωρο τιμών Sk].

Βήμα 12^ο: Υπερτίθενται οι ανά υπόχωρο τιμών κατατάξεις των εναλλακτικών. Η υπέρθεση αυτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα σχετικά μεγέθη των Υποχώρων, όπως αυτά έχουν προσδιοριστεί από προηγούμενο βήμα.

Για κάθε εναλλακτική A_i η τελική ολική επίδοση σε ολόκληρο τον χώρο τιμών, ήτοι η Ei , μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$Ei = \sum k \{Ei(k) * [tk/t]\} \quad (2.17)$$

Με βάση τις επιδόσεις Ei κατατάσσονται σε ολόκληρο τον χώρο τιμών, δηλαδή, τελικά οι εναλλακτικές A_i (όσο μεγαλύτερη αλγεβρικά η Ei , τόσο καλύτερη η εναλλακτική A_i).

3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ REGIME

3.1. Γενικά

Παρατίθεται εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου σε πραγματικό πρόβλημα πολυκριτηριακής αξιολόγησης. Πρόκειται για πρόβλημα αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων της Βουλγαρίας [10], [12].

Υπάρχουν τρία προς αξιολόγηση σιδηροδρομικά συγκοινωνιακά έργα, τα οποία είναι τα εξής:

«A1»: Ηλεκτροδότηση και ανακατασκευή του τμήματος Dupnitsa-Kulata.

«A2»: Εκσυγχρονισμός ορισμένων τμημάτων της γραμμής Vidin-Sofia-Kulata.

«A3»: Κατασκευή του τμήματος από Gyueshevo μέχρι σύνορα Βουλγαρίας-Σκοπιών.

Αξιολογούνται για την ανάθεση της καλύτερης λύσης με βάση τρία κριτήρια αξιολόγησης, τα οποία είναι τα εξής:

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
- Ποιότητα προσφερομένων συγκοινωνιακών υπηρεσιών,
- Χρηματική αποδοτικότητα του έργου για τον ιδιώτη επενδυτή.

Από τα τρία κριτήρια για αυτό της χρηματικής αποδοτικότητας δίδεται ως δείκτης έκφρασης ο Δείκτης Εσωτερικής Ανταποδοτικότητας (IRR). Στο υπόψη κριτήριο, η εναλλακτική λύση A1 έχει τιμή 94%, η A2 τιμή 162% και η A3 τιμή 74%.

Για τα άλλα δύο κριτήρια υπάρχουν απλώς ποιοτικοί χαρακτηρισμοί για τις συνέπειες/ επιδόσεις των υπό αξιολόγηση

έργων.

Έτσι, για το περιβαλλοντικό κριτήριο, εκτιμήθηκε ότι τα έργα A1 και A3 θα έχουν περίπου τις ίδιες επιπτώσεις, ενώ το έργο A2 θα έχει αισθητά χειρότερες επιπτώσεις.

Για το κριτήριο της ποιότητας των προσφερόμενων συγκοινωνιακών υπηρεσιών εκτιμήθηκε ότι το έργο A1 θα έχει πολύ καλύτερη επιρροή από καθένα εκ των άλλων δύο έργων. Ακόμη, εκτιμήθηκε ότι το A3 θα έχει καλύτερη σχετικά με το A2 επιρροή στο υπόψη κριτήριο.

3.2. Εφαρμογή των βημάτων του αλγορίθμου της μεθόδου Regime

Βήμα 1^ο: Από τις αρχικές επιδόσεις (ποσοτικές και ποιοτικές) ευρίσκονται οι αριθμοί διάταξης P_{ij} . Ο ακόλουθος πίνακας συνοψίζει τους αριθμούς διάταξης της εφαρμογής της μεθόδου Regime στο υπόψη παράδειγμα.

Πίνακας 1: Αριθμοί Διάταξης P_{ij} .

Table 1: Order Numbers P_{ij} .

	Περιβαλλοντ. επιπτώσεις	Ποιότητα συγκοινων. υπηρεσιών	Χρηματική αποδοτικότητα
A1	2	3	2
A2	1	1	3
A3	2	2	1

Βήμα 2^ο: Ευρίσκονται τα διανύσματα Regime με χρήση των προαναφερθεισών σχέσεων (2.1) και (2.2):

$$r_{12} = [+1, +1, -1],$$

$$r_{21} = [-1, -1, +1],$$

$$r_{13} = [0, +1, +1],$$

$$r_{31} = [0, -1, -1],$$

$$r_{23} = [-1, -1, +1],$$

$$r_{32} = [+1, +1, -1].$$

Βήμα 3^ο: Ιεραρχούνται ποιοτικά τα κριτήρια και αντίστοιχα δίδονται και οι τιμές στον δείκτη j για κάθε C_j .

Έστω ότι ισχύει η ακόλουθη ιεράρχηση (με βάση γνωμοδότηση ειδημόνων):

Το κριτήριο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σπουδαιότερο του κριτηρίου της ποιότητας των συγκοινωνιακών υπηρεσιών και αυτό σπουδαιότερο του κριτηρίου της χρηματικής αποδοτικότητας, οπότε η αντιστοίχιση με τα C_j , έχει ως ακολούθως:

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις → C1,

Ποιότητα συγκοινωνιακών υπηρεσιών → C2,

Χρηματική αποδοτικότητα → C3.

Βήμα 4^ο: Εύρεση των κρίσιμων διανυσμάτων Regime.

Είναι τα ακόλουθα:

$$[+1, -1, -1],$$

$$[-1, +1, +1].$$

Από αυτά προκύπτει η κρίσιμη εξίσωση, η οποία είναι η ακόλουθη:

$$\lambda_1 = \lambda_2 + \lambda_3.$$

Βήμα 5^ο: Ευρίσκεται ο χώρος τιμών S. Για το υπόψη παράδειγμα είναι ένα τρίγωνο με ακραία σημεία-κορυφές τα ακόλουθα:

$$\begin{aligned} X1: & [1, 0, 0], \\ X2: & [1/2, 1/2, 0], \\ X3: & [1/3, 1/3, 1/3]. \end{aligned}$$

Βήμα 6^ο: Ευρίσκονται οι υπόχωροι τιμών. Στο υπόψη παράδειγμα με τρία το πλήθος κριτήρια διακρίνονται δύο υπόχωροι τιμών: ο S1 και ο S2. Έκαστος εξ' αυτών είναι τρίγωνο, με ακραία σημεία-κορυφές τα ακόλουθα:

Για τον S1:

$$\begin{aligned} X1: & [1, 0, 0], \\ X2: & [1/2, 1/2, 0], \\ X4: & [1/2, 1/4, 1/4]. \end{aligned}$$

Για τον S2:

$$\begin{aligned} X2: & [1/2, 1/2, 0], \\ X4: & [1/2, 1/4, 1/4], \\ X3: & [1/3, 1/3, 1/3]. \end{aligned}$$

Βήμα 7^ο: Ευρίσκεται το «Μέγεθος» κάθε Υπόχωρου Sk, δηλαδή το tk.

Το μέγεθος κάθε υπόχωρου υπολογίζεται ως η απόλυτη τιμή της ορίζουσας του πίνακα, ο οποίος έχει σειρές τις συντεταγμένες των ακραίων σημείων – κορυφών του υπόχωρου αυτού.

Έτσι, η ορίζουσα του S1, ήτοι η $\det(S1)$ ισούται με:

$$\det(S1) = +1/8,$$

οπότε το t1 ισούται με την απόλυτη τιμή της, δηλαδή:

$$t1 = |\det(S1)| = 1/8 = 3/24.$$

Αντίστοιχα η ορίζουσα του S2, ήτοι η $\det(S2)$ ισούται με:

$$\det(S2) = -1/24,$$

οπότε:

$$t2 = |\det(S2)| = 1/24.$$

Αντίστοιχα, το μέγεθος ολόκληρου του χώρου τιμών έχει ως εξής:

$$t = |\det(S)| = |1/6| = 1/6 = 4/24.$$

Βήμα 8^ο: Για κάθε Υπόχωρο Τιμών ευρίσκονται οι συντεταγμένες του Κεντροειδούς του. Συγκεκριμένα, οι συντεταγμένες των Κεντροειδών των υποχώρων έχουν ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Συντεταγμένες Κεντροειδούς S1: } & [(1+1/2+1/2)/3, \\ & (0+1/2+1/4)/3, (0+0+1/4)/3] = \\ & [24/36, 9/36, 3/36]. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Συντεταγμένες Κεντροειδούς S2: } & [(1/2+1/3+1/2)/3, \\ & (1/2+1/3+1/4)/3, (0+1/3+1/4)/3] = \\ & [16/36, 13/36, 7/36]. \end{aligned}$$

Βήμα 9^ο: Για κάθε Υπόχωρο Τιμών Sk ευρίσκονται οι Δείκτες Διαφοράς Ελκυστικότητας μ_{ii} για κάθε θεωρούμενο ζεύγος Εναλλακτικών A_i και A_i' , δηλαδή, ευρίσκεται το $\mu_{ii}(k)$ με εφαρμογή της (2.5).

Έτσι:

$$\mu_{12}(1) = +24/36 + 9/36 - 3/36 = +30/36.$$

$$\mu_{21}(1) = -24/36 - 9/36 + 3/36 = -30/36.$$

$$\mu_{13}(1) = +0 + 9/36 + 3/36 = +12/36.$$

$$\mu_{31}(1) = +0 - 9/36 - 3/36 = -12/36.$$

$$\mu_{23}(1) = -24/36 - 9/36 + 3/36 = -30/36.$$

$$\mu_{32}(1) = +24/36 + 9/36 - 3/36 = +30/36.$$

$$\mu_{12}(2) = +16/36 + 13/36 - 7/36 = +22/36.$$

$$\mu_{21}(2) = -16/36 - 13/36 + 7/36 = -22/36.$$

$$\mu_{13}(2) = +0 + 13/36 + 7/36 = +20/36.$$

$$\mu_{31}(2) = +0 - 13/36 - 7/36 = -20/36.$$

$$\mu_{23}(2) = -16/36 - 13/36 + 7/36 = -22/36.$$

$$\mu_{32}(2) = +16/36 + 13/36 - 7/36 = +22/36.$$

Βήμα 10^ο: Για κάθε υπόχωρο τιμών Sk και αναφορικά με κάθε διατεταγμένο ζεύγος εναλλακτικών A_i και A_i' , υπολογίζεται από το αντίστοιχο $\mu_{ii}(k)$ ο $U_{ii}(k)$, με εφαρμογή της (2.14):

$$U_{11}(1) = 0,$$

$$U_{12}(1) = +1,$$

$$U_{13}(1) = +1,$$

$$U_{21}(1) = -1,$$

$$U_{22}(1) = 0,$$

$$U_{23}(1) = -1,$$

$$U_{31}(1) = -1,$$

$$U_{32}(1) = +1,$$

$$U_{33}(1) = 0,$$

οπότε ο V(1) είναι ως παρακάτω:

Πίνακας 2: V(1) στο παρόν παράδειγμα.

Table 2: V(1) in the present example.

0	+1	+1
-1	0	-1
-1	+1	0

Και

$$U_{11}(2) = 0,$$

$$U_{12}(2) = +1,$$

$$U_{13}(2) = +1,$$

$$U_{21}(2) = -1,$$

$$U_{22}(2) = 0,$$

$$U_{23}(2) = -1,$$

$$U_{31}(2) = -1,$$

$$U_{32}(2) = +1,$$

$$U_{33}(2) = 0,$$

οπότε ο V(2) είναι ως παρακάτω:

Πίνακας 3: V(2) στο παρόν παράδειγμα.

Table 3: V(2) in the present example.

0	+1	+1
-1	0	-1
-1	+1	0

Βήμα 11^ο: Ευρίσκεται η γενική (στα κριτήρια) επίδοση κάθε εναλλακτικής A_i για κάθε υπόχωρο τιμών Sk, δηλαδή η $E_i(k)$ με εφαρμογή της (2.16):

Υπόχωρος S1:

$$E1(1) = U11(1) + U12(1) + U13(1) = 0+1+1 = +2,$$

$$E2(1) = U21(1) + U22(1) + U23(1) = -1+0-1 = -2,$$

$$E3(1) = U31(1) + U32(1) + U33(1) = -1+1+0 = 0.$$

Επομένως, στον υπόχωρο S1 βέλτιστη είναι η A1, ακολουθεί η A3 και έπεται η A2.

Υπόχωρος S2:

$$E1(2) = U11(2) + U12(2) + U13(2) = 0+1+1 = +2,$$

$$E2(2) = U21(2) + U22(2) + U23(2) = -1+0-1 = -2,$$

$$E3(2) = U31(2) + U32(2) + U33(2) = -1+1+0 = 0.$$

Επομένως, στον υπόχωρο S2 βέλτιστη είναι η A1, ακολουθεί η A3 και έπεται η A2.

Βήμα 12^ο: Υπερτίθενται οι ανά υπόχωρο τιμών κατατάξεις των εναλλακτικών με βάση την προαναφερθείσα σχέση: $E_i = \sum_k \{E_i(k) * [tk/t]\}$, δηλαδή τη (2.17).

Έτσι:

$$E1 = \sum_k \{E1(k) * [tk/t]\} = E1(1) * [t1/t] + E1(2) * [t2/t] = (+2)*[(3/24)/(4/24)] + (+2)*[(1/24)/(4/24)] = +6/4 + 2/4 = +8/4.$$

$$E2 = \sum_k \{E2(k) * [tk/t]\} = E2(1) * [t1/t] + E2(2) * [t2/t] = + (-2)*[(3/24)/(4/24)] + (-2)*[(1/24)/(4/24)] = -6/4 - 2/4 = -8/4.$$

$$E3 = \sum_k \{E3(k) * [tk/t]\} = E3(1) * [t1/t] + E3(2) * [t2/t] = 0*[(3/24)/(4/24)] + 0*[(1/24)/(4/24)] = 0 + 0 = 0.$$

Επομένως, βέλτιστη αναδεικνύεται η εναλλακτική λύση A1, με επίδοση +8/4, ακολουθεί η A3, με επίδοση 0 και έπεται η A2, με επίδοση -8/4.

Δηλαδή, η τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων, από τη βέλτιστη έως τη χειρίστη, έχει ως εξής: A1 – A3 – A2.

Σημειώνεται ότι σε πολυκριτηριακή αξιολόγηση που έγινε από διεθνείς φορείς και με τη συμμετοχή του Υπουργείου Μεταφορών της Βουλγαρίας [12], η κατάταξη των τριών προαναφερθέντων έργων ήταν η ίδια με αυτή που προέκυψε από την ανάλυση της παρούσας εργασίας. Επίσης, η ίδια κατάταξη προέκυψε και με εφαρμογή της πολυκριτηριακής μεθόδου Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης [10].

4. ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ REGIME

4.1. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων

Η αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων διέπεται από ορισμένα χαρακτηριστικά [4], [5], [6], [7], [9], [10], όπως:

- το σημαντικό πλήθος εναλλακτικών λύσεων, αφού για τα περισσότερα συγκοινωνιακά ζητήματα είναι δυνατές πολλές εναλλακτικές λύσεις, τόσο λόγω των σύγχρονων μεγάλων τεχνικών δυνατοτήτων στις κατασκευές, όσο και λόγω του πολυσχιδούς των οικονομικών θεωρήσεων των υπόψη έργων,
- το σημαντικό πλήθος κριτηρίων αξιολόγησης, αφού οι επιρροές των συγκοινωνιακών έργων είναι πολυσχιδείς,

- το σημαντικό πλήθος και την εν δυνάμει σημαντική ετερογένεια των αποφασιζόντων/αξιολογητών, αφού έχοντας μεγάλο πεδίο επιρροής, τα συγκοινωνιακά έργα εγείρουν το ενδιαφέρον πολλών εμπλεκόμενων σε αυτά για αξιολόγηση: χρηστών, περιοίκων, κατασκευαστών, μελετητών, φορέων εκμετάλλευσής τους κ.ά.

- την ετερογένεια των κριτηρίων αξιολόγησης, αφού προέρχονται από διαφορετικούς μεταξύ τους χώρους: περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία, τεχνικό πεδίο κ.ά., όπου η υπόψη ετερογένεια των κριτηρίων σημαίνεται μεθοδολογικά περαιτέρω από την έκφραση-απόδοσή τους σε διαφορετικούς μεταξύ τους δείκτες και κλίμακες (φυσικές, αριθμητικές, λεξιλογιακές κ.ά.),

- τη δυσκολία ποσοτικής απόδοσης των επιδόσεων των λύσεων στα κριτήρια αξιολόγησης, αφού πολλά από τα υπόψη κριτήρια είναι ποιοτικά εκ φύσεως (περιβαλλοντικά, κοινωνικά, πολιτισμικά).

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά της διαδικασίας αξιολόγησης συγκοινωνιακών έργων δεν μπορεί παρά να αποτελούν και βασικούς άξονες θεώρησης και εκτίμησης των μεθόδων αξιολόγησης των υπόψη έργων, αφού είναι προφανές ότι μία μέθοδος αξιολόγησης ενός έργου ή ενός συνόλου έργων είναι απαραίτητο να θεωρεί τα χαρακτηριστικά τους. Σημειώνεται ότι και η αξιολόγηση άλλων τεχνικών έργων, που αναφέρονται στην ενέργεια ή το περιβάλλον, παρουσιάζουν σε σημαντικό βαθμό τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά των συγκοινωνιακών έργων. Έτσι, θα μπορούσε να εξεταστεί και εκεί η εφαρμογή της μεθόδου Regime.

Στα επόμενα γίνεται κριτική θεώρηση της μεθόδου Regime σύμφωνα με τα εν λόγω χαρακτηριστικά.

4.2. Πλήθος εναλλακτικών αξιολογούμενων λύσεων

Η μέθοδος Regime δεν παρουσιάζει πρόβλημα με το μεγάλο πλήθος των εναλλακτικών λύσεων, αφού η κύρια γεωμετρική της προσομοίωση αναφέρεται στα κριτήρια αξιολόγησης και όχι στις εν λόγω εναλλακτικές λύσεις. Επομένως, το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του χώρου τιμών και των υποχώρων τιμών καθορίζονται από το πλήθος των κριτηρίων αξιολόγησης και όχι από το πλήθος των εναλλακτικών λύσεων.

Επίσης, η υπέρθεση των κατά ζεύγη συγκρίσεων γίνεται με σαφήνεια και απλότητα με τη δημιουργία των επιδόσεων $E_i(k)$ των εναλλακτικών λύσεων A_i στους υπόχωρους τιμών Sk , βάσει των πινάκων $V(k)$ των αριθμών συγκρίσεως $U_{ii}'(k)$, όπως προαναφέρθηκε.

4.3. Πλήθος κριτηρίων αξιολόγησης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η βασική γεωμετρική προσομοίωση της μεθόδου Regime αναφέρεται στα κριτήρια αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, όπως και στην αλγοριθμική και εννοιολογική παρουσίαση της μεθόδου αναπτύχθηκε, κάθε κριτήριο αξιολόγησης προσομοιώνεται με άξονα ενός γεωμετρικού ευκλείδειου χώρου. Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των εν λόγω κριτηρίων, τόσο μεγαλύτερη πολλαπλότητα έχει ο υπόψη γεωμετρικός χώρος. Άρα, όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των κριτηρίων αξιολόγησης, τόσο πολυπλοκοποιείται η διαδικασία λειτουργίας

της μεθόδου Regime.

Για την αντιμετώπιση του υπόψη ζητήματος έχει αναπτυχθεί μία νεότερη μέθοδος, η οποία ονομάζεται Nested Regime [4], [8]. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί σε δύο επίπεδα κριτηρίων: τα απλά κριτήρια και τα υπερκριτήρια θεωρώντας ότι σύνολα απλών κριτηρίων μπορούν να ενταχθούν σε ευρύτερα κριτήρια, δηλαδή σε υπερκριτήρια. Η ένταξη των απλών κριτηρίων σε υπερκριτήρια μπορεί να γίνει με εννοιολογικούς συσχετισμούς. Για παράδειγμα, τα κριτήρια της χημικής ρύπανσης, ηχορύπανσης, αισθητικής του τοπίου, χλωρίδας και της πανίδας, μπορούν να ενταχθούν στο υπερκριτήριο περιβάλλον. Στη Nested Regime αφού ενταχθούν τα απλά κριτήρια αξιολόγησης σε υπερκριτήρια, γίνεται σε πρώτο επίπεδο αξιολόγηση εντός κάθε υπερκριτηρίου με την απλή Regime. Δηλαδή, επαναλαμβάνεται η εφαρμογή της απλής Regime τόσες φορές, όσες το πλήθος των υπερκριτηρίων. Είναι σαφές ότι σε κάθε υπερκριτήριο η απλή Regime εφαρμόζεται με τα απλά κριτήρια του υπερκριτηρίου αυτού. Αφού ολοκληρωθούν οι εφαρμογές της απλής Regime για όλα τα υπερκριτήρια, λαμβάνονται τόσες το πλήθος ιεραρχήσεις εναλλακτικών λύσεων, όσα τα υπερκριτήρια (φυσικά κάποιες από αυτές συμπίπτουν μεταξύ τους). Στο δεύτερο επίπεδο λαμβάνει χώρα εφαρμογή της απλής Regime, μεταξύ πλέον των υπερκριτηρίων. Για κάθε υπερκριτήριο λαμβάνονται ως ποιοτικές επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων αυτές της τελικής διάταξής τους στο υπόψη υπερκριτήριο, όπως έχουν προκύψει από την αντίστοιχη εφαρμογή στο πρώτο επίπεδο αξιολόγησης.

4.4. Πλήθος και βαθμός ετερογένειας των αποφασιζόντων

Η μέθοδος Regime, όπως και προηγουμένως τονίστηκε, λειτουργεί με εισαγόμενα ποιοτικής μόνο διάταξης, δηλαδή με απλή ποιοτική ιεράρχηση, τόσο ως προς τις σχετικές βαρύτητες των κριτηρίων αξιολόγησης, όσο και ως προς τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων. Επομένως, δεν απαιτεί στα αρχικά της δεδομένα ακριβείς αριθμητικές τιμές. Άρα, ο συγκερασμός σημαντικού πλήθους και ετερογενών θέσεων και απόψεων είναι εφικτός σε μεγάλο βαθμό.

4.5. Βαθμός ετερογένειας κριτηρίων αξιολόγησης

Η μέθοδος Regime χειρίζεται αρκετά καλά ετερογενή κριτήρια, αφού ως προς τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων δέχεται ως εισαγόμενο μία απλή ποιοτική ιεράρχηση επιδόσεων ανά κριτήριο. Δηλαδή, οι εκφρασμένες με διαφορετικούς δείκτες και σε ποικίλες κλίμακες ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων εύκολα ιεραρχούνται (ανά κριτήριο), άρα και εύκολα τίθενται ως εισαγόμενα προς εφαρμογή της μεθόδου Regime.

4.6. Ποσοτική απόδοση επιδόσεων εναλλακτικών λύσεων

Η μέθοδος Regime λόγω του ότι χειρίζεται με απλές μόνον διατάξεις ιεράρχησης τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων, μπορεί με αρκετή απλότητα και ευχρηστία να χειριστεί ποιοτική όσο και ποσοτική πληροφόρηση σχετικά με τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων. Αυτό είναι προτέρημα της μεθόδου.

Ωστόσο, η λειτουργία της μεθόδου με απλές ιεραρχικές διατάξεις των ανά κριτήριο επιδόσεων των εναλλακτικών λύσεων, ενέχει το μειονέκτημα της ανεπαρκούς αξιοποίησης ποσοτικής πληροφόρησης για τις ανά κριτήριο επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων. Πιο συγκεκριμένα, η κλασική μέθοδος Regime (όπως ήδη παρουσιάστηκε), δεν έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει πληροφορία σχετικά με το «πόσο καλύτερη» είναι η επίδοση μίας εναλλακτικής λύσης σε ένα κριτήριο, σε σχέση με την επίδοση μίας άλλης στο ίδιο κριτήριο. Δηλαδή, δεν αποδίδει με ακρίβεια πλήρως την ποσοτική πληροφορία διαφορών επιδόσεων, παρά μόνο αξιοποιεί την απλή διάταξη των ανά κριτήριο επιδόσεων. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως πρόβλημα ακρίβειας.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το υπάρχον εν δυνάμει μειονέκτημα της μεθόδου, έχει προταθεί από αρκετούς ερευνητές [4], [8], οι συνιστώσες Regime, δηλαδή οι iii^j , να μπορούν εκτός των τιμών +1, -1, 0, να παίρνουν και τις τιμές +1/2, -1/2, ή και ακόμη περισσότερες, ενδιάμεσες τιμές.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος Regime είναι μία μέθοδος πολυκριτηριακής αξιολόγησης, η οποία στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στη διανυσματική προσομοίωση των κριτηρίων αξιολόγησης. Στην υπόψη προσομοίωση κάθε κριτήριο επέχει θέση άξονα γεωμετρικού τόπου. Με δεδομένη μία απλή ιεράρχηση των κριτηρίων αξιολόγησης καθορίζεται για κάθε πρόβλημα πολυκριτηριακής αξιολόγησης ο προαναφερθείς γεωμετρικός χώρος, ο οποίος ονομάζεται χώρος τιμών.

Η υπόψη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί με αρκετή επιτυχία σε αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων, αφού η δομή της ανταποκρίνεται αρκετά ικανοποιητικά, όπως αναλύθηκε προηγουμένως, στις συνθήκες των έργων αυτών, άρα και στις απαιτήσεις της αξιολόγησής τους. (Σημειώνεται, ότι σε κάποιο βαθμό τα χαρακτηριστικά των συγκοινωνιακών έργων εμφανίζονται και σε άλλα τεχνικά έργα, όπως τα σχετικά με την ενέργεια ή με το περιβάλλον, επομένως δεν πρέπει να αποκλείεται ούτε η εκεί χρήση της μεθόδου.) Αναλυτικότερα, η μέθοδος Regime ανταποκρίνεται αρκετά καλά σε μεγάλο πλήθος εναλλακτικών λύσεων, σε μεγάλο πλήθος και ετερογένεια αποφασιζόντων, ενώ παρουσιάζει εύκολο χειρισμό τόσο ποιοτικών, όσο και ποσοτικών κριτηρίων αξιολόγησης. Η έλλειψη μεγάλης ακρίβειας απόδοσης αρχικής ποσοτικής πληροφορίας όπως ως προς τις αρχικά δεδομένες ανά κριτήριο επιδόσεις εναλλακτικών λύσεων μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εισαγωγή περισσότερων, ενδιάμεσων των συνήθων τιμών στις συνιστώσες των διανυσμάτων Regime. Η λογισμική πολυπλοκότητα για αρκετά μεγάλο πλήθος κριτηρίων αξιολόγησης μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εφαρμογή της Nested Regime, η οποία κατορθώνει τη συσσωμάτωση απλών κριτηρίων σε υπερκριτήρια, λειτουργώντας έτσι σε δύο επίπεδα αξιολόγησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αμπακούμιν Κ.: «Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων» Εκδόσεις Συμμετρία, 1990.

2. Hinloopen E. – Nijkamp P. – Rietveld P.: „Qualitative Discrete Multiple Criteria Choice Models in Regional Planning“, Regional Science and Urban Economics 13 (1983), North Holland.
3. Κοινοπραξία NAMA – ΕΥΠΑΛΙΝΟΣ: «Προδιαγραφές Μελετών Σκοπιμότητας», μελέτη ανατεθείσα από το ΥΠΕΧΩΔΕ, 1995.
4. Nijkamp P., Blaas E.,:“Impact Assessment and Evaluation in Transportation Planning“, Kluwer Academic Publishers, 1993.
5. Roy Bernard “Methodologie Multicritere d’ Aide a la Decision”, Economica, 1985.
6. Scharlig Alain: “Decider sur plusieurs criteres”, Presses Polutechniques Romandes, 1985.
7. Szidarovszky F., Gershon M.E., Duckstein L. : « Techniques for Multiobjective Decision Making in Systems Management », Elsevier Science Publishers, 1986.
8. Tsamboulas D., Pearman A., Watson S., Yiotis G.: “Deliverable-2 (D-2) of EUNET Project”, 1997.
9. Tsamboulas D., Yiotis G., Panou K. : « Potential Application of Multicriteria Methods in Transportation Investment Evaluation: A comparative analysis”, ASCE, Transport Engineering, Volume 125, No5, Sep.-Oct. 1999.
10. Τσαμπούλας Δ., Γιώτης Γ., Ροϊλός Η.: «Δυνατότητες Εφαρμογής και Ενσωμάτωσης Ποσοτικών – Ποιοτικών Κριτηρίων σε Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Συγκοινωνιακών Έργων», Τεχνικά Χρονικά, Σεπτέμβριος-Δεκέμβριος 1999, Τόμος 19, Νο 3.
11. Τσαμπούλας Δ.: «Στοιχεία για την αξιολόγηση έργων συγκοινωνιακής υποδομής», Εγχειρίδιο ΕΜΠ, 2004.
12. Bonifica, Doxiadis Associates, T.E.C.N.I.C.: “Preparation of Traffic Forecasts and Investment Programmes for the years 2000 and 2010 for the Development of the Bulgarian Transport System, in consideration of the transition to a free market economy”, Republic of Bulgaria, Ministry of Transport, 1999.

Extended Summary

Potential application of Regime method in Multi-Criteria Evaluation of Transport Projects

G.S. YIOTIS

Candidate Doctor Engineer N.T.U.A.-Civil Engineer N.T.U.A.

Abstract

In our dates, the interest for entities that are not assessed only in monetary values, makes necessary the incorporation of many criteria in transport projects evaluation. Environment and the quality of life are such entities. Also, the introduction of new technology provides the potential overcoming transportation infrastructure problems. Thus, both the above reasons drive to several potential alternatives concerning transport projects problems.

Considering the afore-mentioned frame, investigation for potential application of multi-criteria analysis in transport projects evaluation becomes very interesting.

At the present work, an algorithmic and theoretical approach and analysis of method Regime takes place. The approach and analysis purposes on the potential application of the method in transport projects evaluation. So, a critical analysis focusing on the especial characteristics of transport projects evaluation takes place, in order to respect the aforementioned transport projects evaluation. An application of the method in a real problem is given, proving that the method can be applied successfully in transport projects multi-criteria evaluation.

Introduction-Definitions

In the most of transport projects the potential alternatives are more than one. So, generally the evaluation should result in a comparison among the alternatives through a multi-criteria evaluation.

“Alternative” is each alternative potential solution of an evaluation problem. The definition could be given generally for evaluation problems and especially for transport projects evaluation problems.

“Criterion” is each object that is part of the evaluation basis.

“Indicator of a criterion” is an entity that do a criterion to be understandable and potentially measurable. For example, the criterion of economic development can be measured by using as indicator the Internal Rate (IRR) of Return or the Net Present Value (NPV) or the Benefit/Cost Ratio (BCR).

Many multi-criteria analysis methods have been developed, including use of many criteria in a multi-criteria evaluation. A such method is Regime.

Mainly, the aim of the present paper is the potential application of this multi-criteria method in the evaluation of real transport projects.

Presentation of Regime method**Generally**

The multi-criteria method Regime has as prerequisite inputs the following ones:

- A simple qualitative order of criteria,
- A simple qualitative order of per criterion performances of alternatives.

The method exploits these inputs.

Theoretical and algorithmic presentation of the method

Step-1: The initial per criterion performances Φ_{ij} of alternatives are converted into ordinal numbers P_{ij} .

Step-2: Regarding each criterion, the ordinal numbers between the alternatives of each considering alternative pair, are compared and Regime components $rii'_{,j}$ emerge. The following relation is used for the calculation of $rii'_{,j}$:

$$\begin{aligned} &+1, \text{ if } P_{ij} > P_{i'j}, \\ &-1, \text{ if } P_{ij} < P_{i'j}, \\ &0, \text{ if } P_{ij} = P_{i'j}. \end{aligned}$$

After calculation of $rii'_{,j}$, Regime vectors rii' are generated, as follows:

$$[rii'] = [rii',1, rii',2, rii',3, \dots, rii',j, \dots, rii',J],$$

where J, the criteria number.

Regime matrix, that is R, is generated if Regime vectors are considered as its rows.

Step-3: The criteria C_j are ordered. Thus, their relative weights λ_j are set in an order. For example: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_j \geq \dots \geq \lambda_J$.

Also, the normalization relation that is: $\sum_j [\lambda_j] = 1,00$, is valid.

Step-4: For each pair of alternatives (considered in order), the Indicator of attractiveness difference $\mu_{ii'}$ is determined by the following relation:

$$\mu_{ii'} = \sum_j [\lambda_j * rii'_{,j}].$$

Having the criteria order (from the previous step), Regime vectors are examined concerning their potential results in at least one indicator of attractiveness difference that would have both of positive and negative values. These Regime vectors are named “critical”.

Step-5: The total of geometric points that have as geometric components the potential criteria weights, is determined as a geometric space. The term “potential” is concerning the co-validation of both criteria ordering and criteria weights normalization.

The above-mentioned geometric space “S” is named Space of values.

For example, in the case of three criteria, the space of values is a triangle, with borderline points the following ones:

X1: [1, 0, 0],

X2: [1/2, 1/2, 0],

X3: [1/3, 1/3, 1/3].

Step-6: The Subspaces of values are determined. They are determined as subtotals of the Space of values. In each such subtotal, apart from the validated relations of the total Space of values, a special relation, derived by the critical vectors, is valid. For example, in the case of three criteria, the total space of values S is separated in the two following subspaces:

S1, where the special validated relation is: $\lambda_1 \geq \lambda_2 + \lambda_3$, and,
S2, where the special validated relation is: $\lambda_1 \leq \lambda_2 + \lambda_3$.

Both of the two subspaces are triangles, where the extreme points are:

For S1:

X1: [1, 0, 0],

X2: [1/2, 1/2, 0],

X4: [1/2, 1/4, 1/4].

For S2:

X2: [1/2, 1/2, 0],

X4: [1/2, 1/4, 1/4],

X3: [1/3, 1/3, 1/3].

Step-7: The size t_k of each subspace of values S_k is calculated. By a similar way, the size t of the total space of values S is calculated. The quotient (t_k/t) is a possibility. It is obvious that: $\sum_k [(t_k/t)] = 1,00$.

Step-8: The Centroid point of each subspace of values is determined by its components. Each component is the average of the corresponding components of the borderline points of the subspace.

Step-9: For each subspace of values S_k and for each ordered pair of alternatives A_i και $A_{i'}$, the indicator of attractiveness difference $\mu_{ii'}(\kappa)$ is calculated. The components of the corresponding centroid are used for each subspace of values.

Step-10: The indicators of attractiveness difference result in the comparison numbers $U_{ii'}(k)$, using the following relation:

$U_{ii'}(k) = +1$, if $\mu_{ii'}(\kappa) > 0$,

$U_{ii'}(k) = -1$, if $\mu_{ii'}(\kappa) < 0$,

$U_{ii'}(k) = 0$, if $\mu_{ii'}(\kappa) = 0$.

After finding all the $U_{ii'}(k)$, the tables $V(k)$ [one for each subspace of values S_k] are created. Each $V(k)$ have the comparison numbers $U_{ii'}(k)$ as elements. In the main diagonal,

that is for elements with $i = i'$, the $U_{ii'}(k) = 0$ is valid.

Step-11: The total performance of each alternative A_i and relatively to each subspace of values S_k , is represented by $E_i(\kappa)$ and is calculated by the following relation: $E_i(\kappa) = \sum_{i'} [U_{ii'}(k)]$.

The alternatives A_i are ordered in each subspace of values relatively to their $E_i(\kappa)$: The bigger $E_i(\kappa)$, the better A_i .

Step-12: For each alternative A_i , the total performances in the subspaces of values $E_i(\kappa)$ are overlapped in the total performance in the space of values E_i , by using of the following relation: $E_i = \sum_k \{E_i(\kappa) * [t_k/t]\}$.

The ordering of the alternatives takes place relatively to their E_i , that is the bigger E_i , the better A_i .

Critical analysis of Regime method

The characteristics of transport projects evaluation

Transport projects evaluation (and the evaluation of other technical projects up to a point) is characterized by some characteristics, as the following ones:

- great number of alternatives,
- great number of criteria,
- great number of involved evaluators and the differences among them,
- differences among evaluation criteria,
- difficulty in quantification of performances of alternatives per criterion.

Regime method is considered and assessed relatively to the above characteristics, in order to be applied in transport projects evaluation.

Number of alternatives

Regime method does not have problem in the cases of a small or a great number of alternatives, because the geometrical simulation of the method is structured relatively to the criteria and not relatively to the alternatives.

Number of criteria

The method can be considered as complicated for a big number of criteria, due to its geometrical simulation that is based on the criteria space. A way to overcome this problem is the application of a two-levels Regime method, that is called Nested Regime. This method considers two types of criteria, simple criteria and composite criteria (as a group of simple criteria) and it operates at two levels of evaluation.

Number of evaluators and differences among them

Regime method operates with a quality way, that is simple ordering in both of criteria weights and per criterion performances of alternatives. Thus, the method does not require accurate initial data. So, the method can include and overlap a big number of different views (that potentially are derived by a big number of different evaluators).

Differences among criteria

Regime method handles well different criteria, because it accepts a simple qualitative order of per criterion performances of alternatives. Thus, performances which are given in different indicators, can be ordered with simplicity.

Quantitative conversion of performances of alternatives

Due to its qualitative operation, Regime method cannot exploit with a large accuracy information concerning quantitative differences among per criterion performances of alternatives. In order to overcome this potential disadvantage, the values $+1/2$, $-1/2$ (and if possible and other ones) could be given in Regime components, apart from the classic values $+1$, -1 , 0 .

Conclusions

Regime is a multi-criteria method that is based mainly on the geometric simulation of criteria. Each criterion is considered as a geometric axis. By a simple qualitative ordering of criteria, the above-mentioned geometric space is determined.

The method can be applied successfully in transport projects evaluation (and not only), because its structure corresponds well to the characteristics of the afore-mentioned evaluation.

G. S. Yiotis

Candidate Doctor Engineer N.T.U.A. – Civil Engineer N.T.U.A., Lokridos 10 & Edison, Gyzi, Athens,
Mail Area Code: 11474