



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΙΔΕΑΤΟ ΣΗΜΕΙΟ - Η ΜΕΘΟΔΟΣ TOPSIS

Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ

Αλέξανδρος Νίκας, Χάρης Δούκας, Ιωάννης Ψαρράς

ΣΚΟΠΟΣ & ΜΕΘΟΔΟΙ

○ Σκοπός των μεθόδων ΠΑΑ που βασίζονται στην απόσταση

Οι μέθοδοι της απόστασης από ένα ιδεατό σημείο αξιολογούν και κατατάσσουν εναλλακτικές βάσει της απόστασής τους από ένα σημείο που αναπαριστά μία υποθετική εναλλακτική, η οποία ανταποκρίνεται με τον βέλτιστο τρόπο στο προτιμησιακό μοντέλο των αποφασιζόντων. Με τον τρόπο αυτό, η εναλλακτική που βρίσκεται πιο κοντά στο υποθετικό αυτό σημείο είναι και η βέλτιστη.

○ Συνήθεις μέθοδοι

- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)
- CP (Compromise Programming)
- VIKOR (Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje ή Means multi-criteria optimization and compromise Solution)

TOPSIS

○ Πλαίσιο

Η TOPSIS αναπτύχθηκε ως εναλλακτική της οικογένειας ELECTRE, και αποτελεί μία μέθοδο σύνθεσης αντιστάθμισης, βασισμένη στην αρχή ότι η επιλεχθείσα εναλλακτική οφείλει να έχει την ελάχιστη γεωμετρική απόσταση από τη θετική ιδεατή λύση και τη μέγιστη από την αρνητική.

○ Συγκριτικά πλεονεκτήματα

- Συνεπής αριθμητική λογική που αντιπροσωπεύει τη λογική της ατομικής επιλογής.
- Λαμβάνει υπόψιν ταυτόχρονα τόσο την ιδεατή όσο και την αντι-ιδεατή λύση.
- Χρησιμοποιεί μία συστηματική και εύκολα προγραμματιζόμενη υπολογιστική διαδικασία.
- Επιτρέπει μεγάλο αριθμό κριτηρίων και εναλλακτικών.
- Διαθέτει πολλαπλές προεκτάσεις για πληθώρα προβλημάτων.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Έννοια	Περιγραφή
Εναλλακτικές	Οι επιλογές ανάμεσα στις οποίες πρέπει να επιλέξουν οι αποφασίζοντες για την επίλυση του προβλήματος.
Κριτήρια κόστους/οφέλους	Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών, βάσει των οποίων θα αξιολογηθούν, των οποίων επιθυμούμε την ελαχιστοποίηση/μεγιστοποίηση.
Βαθμολογία	Η βαθμολογία που αποδίδει ο/η αποφασίζων κατά την αξιολόγηση μίας εναλλακτικής για ένα συγκεκριμένο κριτήριο.
Πίνακας απόφασης	Πίνακας που αποτελείται από τις βαθμολογίες κάθε εναλλακτικής έναντι κάθε κριτηρίου.
Κανονικοποιημένος πίνακας απόφασης	Ο πίνακας απόφασης, αφού κανονικοποιηθεί, ώστε όλες οι βαθμολογίες να αφορούν σε κοινή, αδιάστατη κλίμακα.
Σταθμισμένος πίνακας απόφασης	Ο κανονικοποιημένος πίνακας, αφού πολλαπλασιαστεί με τα κανονικοποιημένα (μοναδιαίο άθροισμα) βάρη των κριτηρίων.
Θετική (αρνητική) ιδεατή λύση	Σημείο υποθετικής εναλλακτικής που αναπαριστά την ιδεατή (αντι-ιδεατή) δράση, σύμφωνα με το προτιμησιακό μοντέλο των αποφασιζόντων.
Απόσταση	Η γεωμετρική απόσταση μίας εναλλακτικής από την (αντι-) ιδεατή λύση.
Σχετική εγγύτητα	Δείκτης που εκφράζει πόσο κοντά είναι η εναλλακτική στην ιδεατή λύση.
Αποφυγή απώλειας	Λόγος που εκφράζει συμπεριφορά αποφασιζόντων απέναντι στον κίνδυνο.

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

1) Σχεδίαση του πίνακα απόφασης

Ο πίνακας αποτελείται από τις βαθμολογίες των εναλλακτικών στα κριτήρια αξιολόγησης.

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{1n} \\ x_{m1} & x_{mn} \end{bmatrix}$$

όπου A_1, A_2, \dots, A_m , $i = 1, 2, \dots, m$ είναι οι εναλλακτικές, C_1, C_2, \dots, C_n , $j = 1, 2, \dots, n$, είναι τα κριτήρια και x_{ij} είναι η επίδοση της εναλλακτικής A_i έναντι του κριτηρίου C_j .

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

2) Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης

Για τον υπολογισμό του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης R , κάθε στοιχείο του μπορεί υπολογίζεται ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

όπου το r_{ij} αναπαριστά την κανονικοποιημένη επίδοση της εναλλακτικής A_i έναντι του κριτηρίου C_j .

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

3) Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης

Για τον υπολογισμό του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης P , ο κανονικοποιημένος πίνακας απόφασης R πολλαπλασιάζεται με τα βάρη των κριτηρίων.

Το διάνυσμα βαρών $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ αποτελείται από τα επιμέρους βάρη w_j για κάθε κριτήριο C_j που ικανοποιούν τον περιορισμό:

$$\sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1$$

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη αξία p_{ij} μπορεί έτσι να υπολογισθεί:

$$p_{ij} = w_j \times r_{ij}$$

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

4) Προσδιορισμός διανυσμάτων θετικής & αρνητικής ιδεατής λύσης

Για να υπολογιστούν τα διανύσματα που αναπαριστούν την υποθετική θετική ιδεατή λύση P^+ (κριτήρια θετικής επίδρασης) και την υποθετική αρνητική ιδεατή λύση P^- (κριτήρια αρνητικής επίδρασης):

$$P^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+)$$

$$P^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-)$$

Υπολογίζουμε τις θετικές και αρνητικές ιδεατές λύσεις για κάθε κριτήριο:

$$p_i^+ = \{(\max p_{ij}, j \in J) \text{ or } (\min p_{ij}, j \in J')\}$$

$$p_i^- = \{(\min p_{ij}, j \in J) \text{ or } (\max p_{ij}, j \in J')\}$$

όπου το J αναπαριστά κριτήρια θετικής επίδρασης (οφέλους) και το J' κριτήρια αρνητικής επίδρασης (κόστους).

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

5) Υπολογισμός αποστάσεων

Υπολογίζουμε την απόστασης κάθε εναλλακτικής από την θετική ιδεατή λύση:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2}$$

και από την αρνητική ιδεατή λύση:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2}$$

ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

6) Υπολογισμός σχετικής εγγύτητας

Τέλος, υπολογίζουμε την σχετική εγγύτητα RC_i στην θετική ιδεατή λύση για κάθε εναλλακτική A_i :

$$RC_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

ΣΚΟΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Αξιολόγηση κινδύνων υλοποίησης ενεργειακών πολιτικών

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας προγραμματίζει την αναδιαμόρφωση του θεσμικού πλαισίου πολιτικής για την ενεργειακή αποδοτικότητα. Για τον σκοπό αυτό, θέλει να αξιολογήσει διάφορους κινδύνους που δύνανται να επηρεάσουν τα επικρατέστερα μέτρα πολιτικής για το νέο πλαίσιο.

Παρότι τα κριτήρια αξιολόγησης των κινδύνων δεν είναι ισοβαρή, κατόπιν διαβούλευσης, έχει καταλήξει σε παράγοντες που αφορούν στην αντιληφθείσα πιθανότητα εμφάνισης, στο επίπεδο ανησυχίας, την αντιληφθείσα επίδραση επί της εκάστοτε πολιτικής, και την δυνατότητα διαχείρισης/μετριασμού του κινδύνου από πλευράς Πολιτείας.

Χαρακτηριστικά προβλήματος

10 εναλλακτικές

3 κριτήρια κόστους

1 κριτήριο οφέλους

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Εναλλακτικές	Κριτήρια			
	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επίπεδο ανησυχίας	C3. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	C4. Δυνατότητα μετριασμού
R1. Απραξία πολιτικής	1	3	5	5
R2. Πολιτική αστάθεια	5	4	1	4
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	3	1	4	1
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	4	2	5	2
R5. Γραφειοκρατία	3	3	3	2
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	4	5	2	3
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	2	2	2	2
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	2	1	4	1
R9. Αστάθεια αγοράς	4	3	2	3
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	2	2	3	1
Βάρη κριτηρίων	0.35	0.15	0.3	0.2

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (1/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια			
	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επίπεδο ανησυχίας	C3. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	C4. Δυνατότητα μετριασμού
R1. Απραξία πολιτικής	1	9	25	25
R2. Πολιτική αστάθεια	5 x 5 = 25	16	1	16
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	9	1	16	1
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	16	4	25	4
R5. Γραφειοκρατία	9	9	9	4
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	16	25	4	9
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	4	4	4	4
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	4	1	16	1
R9. Αστάθεια αγοράς	16	9	4	9
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	4	4	9	1
SUM	104	82	113	74

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (2/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια			
	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επίπεδο ανησυχίας	C3. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	C4. Δυνατότητα μετριάσμού
R1. Απραξία πολιτικής	0.098	0.331	0.470	0.581
R2. Πολιτική αστάθεια	$5 / \text{SQRT}(104) = 0.490$	0.442	0.094	0.465
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	0.294	0.110	0.376	0.116
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	0.392	0.221	0.470	0.232
R5. Γραφειοκρατία	0.294	0.331	0.282	0.232
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	0.392	0.552	0.188	0.349
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	0.196	0.221	0.188	0.232
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	0.196	0.110	0.376	0.116
R9. Αστάθεια αγοράς	0.392	0.331	0.188	0.349
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	0.196	0.221	0.282	0.116

ΣΤΑΘΜΙΣΗ

Εναλλακτικές	Κριτήρια			
	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επίπεδο ανησυχίας	C3. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	C4. Δυνατότητα μετριασμού
R1. Απραξία πολιτικής	0.034	0.050	0.141	0.116
R2. Πολιτική αστάθεια	0.490 * 0.35 = 0.172	0.066	0.028	0.093
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	0.103	0.017	0.113	0.023
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	0.137	0.033	0.141	0.046
R5. Γραφειοκρατία	0.103	0.050	0.085	0.046
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	0.137	0.083	0.056	0.070
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	0.069	0.033	0.056	0.046
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	0.069	0.017	0.113	0.023
R9. Αστάθεια αγοράς	0.137	0.050	0.056	0.070
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	0.069	0.033	0.085	0.023
Θετικά ιδεατή λύση	0.034	0.017	0.028	0.116
Αρνητικά ιδεατή λύση	0.172	0.083	0.141	0.023

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (1/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια				Απόσταση από θετική ιδεατή
	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επίπεδο ανησυχίας	C3. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	C4. Δυνατότητα μετριασμού	
R1. Απραξία πολιτικής	0.000	0.001	0.013	0.000	0.118
R2. Πολιτική αστάθεια	$(0.172 - 0.034)^2 = 0.019$	0.002	0.000	0.001	$\text{SQRT}(0.019 + 0.002 + 0.000 + 0.001) = 0.148$
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	0.005	0.000	0.007	0.009	0.143
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	0.011	0.000	0.013	0.005	0.169
R5. Γραφειοκρατία	0.005	0.001	0.003	0.005	0.118
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	0.011	0.004	0.001	0.002	0.134
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	0.001	0.000	0.001	0.005	0.084
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	0.001	0.000	0.007	0.009	0.130
R9. Αστάθεια αγοράς	0.011	0.001	0.001	0.002	0.121
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	0.001	0.000	0.003	0.009	0.115

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (2/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια				Απόσταση από αρνητική ιδεατή
	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	C2. Επίπεδο ανησυχίας	C3. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	C4. Δυνατότητα μετριασμού	
R1. Απραξία πολιτικής	0.019	0.001	0.000	0.009	0.169
R2. Πολιτική αστάθεια	$(0.172 - 0.172)^2 = 0.000$	0.000	0.013	0.005	$\text{SQRT}(0.000 + 0.000 + 0.013 + 0.005) = 0.134$
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	0.005	0.004	0.001	0.000	0.099
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	0.001	0.002	0.000	0.001	0.065
R5. Γραφειοκρατία	0.005	0.001	0.003	0.001	0.098
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	0.001	0.000	0.007	0.002	0.103
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	0.011	0.002	0.007	0.001	0.144
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	0.011	0.004	0.001	0.000	0.126
R9. Αστάθεια αγοράς	0.001	0.001	0.007	0.002	0.108
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	0.011	0.002	0.003	0.000	0.128

ΕΓΓΥΤΗΤΑ & ΚΑΤΑΤΑΞΗ

Εναλλακτικές	Σχετική εγγύτητα	Κατάταξη	Σπουδαιότητα κινδύνου
R1. Απραξία πολιτικής	0.590	2	9
R2. Πολιτική αστάθεια	$0.134 / (0.148 + 0.134) = 0.475$	5	6
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	0.410	9	2
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	0.277	10	1
R5. Γραφειοκρατία	0.453	7	4
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	0.433	8	3
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	0.631	1	10
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	0.491	4	7
R9. Αστάθεια αγοράς	0.471	6	5
R10. Ανεπαρκείς υποδομές	0.525	3	8

BEHAVIOURAL TOPSIS

Μεθοδολογική παραλλαγή

Ξεφεύγοντας από το αρχικό μοντέλο TOPSIS, η Behavioural TOPSIS αναγνωρίζει την σχέση μεταξύ της απόστασης από την ιδεατή (ή θετικά ιδεατή) λύση D_i^+ και της απόστασης της αντί-ιδεατής (ή αρνητικά ιδεατής) λύσης D_i^- , θεωρώντας την πρώτη ως απώλεια ευκαιρίας και την δεύτερη ως το όφελος από την λήψη της λύσης A_i αντί της αντί-ιδεατής λύσης. Έτσι ορίζεται ένας λόγος αποφυγής της απώλειας.

$$\lambda = \frac{\text{Change in Gain}}{\text{Change in Loss}} = \frac{\Delta D^-}{\Delta D^+}$$

όπου η συμπεριφορά είναι ριψοκίνδυνη για $\lambda < 1$, ουδέτερη για $\lambda = 1$, και συντηρητική ως προς τον κίνδυνο για $\lambda > 1$. Τέλος, η συνάρτηση αξίας για κάθε εναλλακτική είναι:

$$V = D^- - \lambda D^+$$

ΣΚΟΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Αξιολόγηση μέτρων ενεργειακών πολιτικών

Σε συνέχεια της προηγούμενης εφαρμογής, το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας επιθυμεί να αξιοποιήσει τα αποτελέσματα της προτεραιοποίησης των κινδύνων ώστε να αξιολογήσει τα επικρατέστερα μέτρα πολιτικής για την ενεργειακή αποδοτικότητα έναντι των κινδύνων αυτών.

Έτσι, σκοπεύει να χρησιμοποιήσει τις εναλλακτικές της προηγούμενης εφαρμογής (κίνδυνοι υλοποίησης) ως κριτήρια αξιολόγησης αυτής της εφαρμογής, με τα αποτελέσματα της TOPSIS ως βάρη των κριτηρίων.

Χαρακτηριστικά προβλήματος

12 εναλλακτικές

10 κριτήρια κόστους

$\lambda = 2$

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Εναλλακτικές	Κριτήρια									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	3	1	1	2	5	4	2	1	2	4
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους I & II	2	5	2	3	4	2	1	5	3	1
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	1	2	2	2	2	1	3	5	4	3
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	5	3	3	1	1	2	2	5	4	3
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	2	4	3	2	3	5	5	1	5	2
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	2	4	4	1	4	3	1	3	1	5
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	3	5	2	3	2	2	2	2	2	4
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	1	1	5	3	4	5	5	4	3	1
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	4	2	5	2	1	1	2	2	5	1
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	4	3	2	3	1	2	3	1	2	2
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	2	3	3	2	5	3	1	3	2	5
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	5	2	1	1	2	3	5	2	4	3
Αποτελέσματα TOPSIS	0.590	0.475	0.410	0.277	0.453	0.433	0.631	0.491	0.471	0.525
Βάρη κριτηρίων	0.410	0.525	0.590	0.723	0.547	0.567	0.369	0.509	0.529	0.475
Κανονικοποιημένα βάρη κριτηρίων	0.078	0.100	0.113	0.138	0.104	0.108	0.070	0.097	0.101	0.091

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (1/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	9	1	1	4	25	16	4	1	4	16
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους I & II	4	25	4	9	16	4	1	25	9	1
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	1	4	4	4	4	1	9	25	16	9
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	25	9	9	1	1	4	4	25	16	9
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	4	16	9	4	9	25	25	1	25	4
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	4	16	16	1	16	9	1	9	1	25
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	9	25	4	9	4	4	4	4	4	16
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	1	1	25	9	16	25	25	16	9	1
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	16	4	25	4	1	1	4	4	25	1
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	16	9	4	9	1	4	9	1	4	4
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	4	9	9	4	25	9	1	9	4	25
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	25	4	1	1	4	9	25	4	16	9
SUM	118	123	111	59	122	111	112	124	133	120

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (2/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	0.276	0.090	0.095	0.260	0.453	0.380	0.189	0.090	0.173	0.365
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους I & II	0.184	0.451	0.190	0.391	0.362	0.190	0.094	0.449	0.260	0.091
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	0.092	0.180	0.190	0.260	0.181	0.095	0.283	0.449	0.347	0.274
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	0.460	0.271	0.285	0.130	0.091	0.190	0.189	0.449	0.347	0.274
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	0.184	0.361	0.285	0.260	0.272	0.475	0.472	0.090	0.434	0.183
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	0.184	0.361	0.380	0.130	0.362	0.285	0.094	0.269	0.087	0.456
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	0.276	0.451	0.190	0.391	0.181	0.190	0.189	0.180	0.173	0.365
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	0.092	0.090	0.475	0.391	0.362	0.475	0.472	0.359	0.260	0.091
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	0.368	0.180	0.475	0.260	0.091	0.095	0.189	0.180	0.434	0.091
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	0.368	0.271	0.190	0.391	0.091	0.190	0.283	0.090	0.173	0.183
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	0.184	0.271	0.285	0.260	0.453	0.285	0.094	0.269	0.173	0.456
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	0.460	0.180	0.095	0.130	0.181	0.285	0.472	0.180	0.347	0.274

Εναλλακτικές	Κριτήρια									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	0.022	0.009	0.011	0.036	0.047	0.041	0.013	0.009	0.017	0.033
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους Ι & ΙΙ	0.014	0.045	0.021	0.054	0.038	0.021	0.007	0.044	0.026	0.008
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	0.007	0.018	0.021	0.036	0.019	0.010	0.020	0.044	0.035	0.025
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	0.036	0.027	0.032	0.018	0.009	0.021	0.013	0.044	0.035	0.025
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	0.014	0.036	0.032	0.036	0.028	0.051	0.033	0.009	0.044	0.017
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	0.014	0.036	0.043	0.018	0.038	0.031	0.007	0.026	0.009	0.041
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	0.022	0.045	0.021	0.054	0.019	0.021	0.013	0.017	0.017	0.033
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	0.007	0.009	0.053	0.054	0.038	0.051	0.033	0.035	0.026	0.008
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	0.029	0.018	0.053	0.036	0.009	0.010	0.013	0.017	0.044	0.008
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	0.029	0.027	0.021	0.054	0.009	0.021	0.020	0.009	0.017	0.017
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	0.014	0.027	0.032	0.036	0.047	0.031	0.007	0.026	0.017	0.041
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	0.036	0.018	0.011	0.018	0.019	0.031	0.033	0.017	0.035	0.025
Θετικά ιδεατή λύση	0.007	0.009	0.011	0.018	0.009	0.010	0.007	0.009	0.009	0.008
Αρνητικά ιδεατή λύση	0.036	0.045	0.053	0.054	0.047	0.051	0.033	0.044	0.044	0.041

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (1/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια										Απόσταση από θετική ιδεατή
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	0.0002	0.0000	0.0000	0.0003	0.0014	0.0009	0.0000	0.0000	0.0001	0.0006	0.060
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους I & II	0.0001	0.0013	0.0001	0.0013	0.0008	0.0001	0.0000	0.0012	0.0003	0.0000	0.072
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	0.0000	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001	0.0000	0.0002	0.0012	0.0007	0.0003	0.054
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	0.0008	0.0003	0.0005	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0012	0.0007	0.0003	0.063
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	0.0001	0.0007	0.0005	0.0003	0.0004	0.0017	0.0007	0.0000	0.0012	0.0001	0.075
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	0.0001	0.0007	0.0010	0.0000	0.0008	0.0004	0.0000	0.0003	0.0000	0.0011	0.067
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	0.0002	0.0013	0.0001	0.0013	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0006	0.063
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	0.0000	0.0000	0.0018	0.0013	0.0008	0.0017	0.0007	0.0007	0.0003	0.0000	0.085
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	0.0005	0.0001	0.0018	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0012	0.0000	0.064
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	0.0005	0.0003	0.0001	0.0013	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0001	0.0001	0.051
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	0.0001	0.0003	0.0005	0.0003	0.0014	0.0004	0.0000	0.0003	0.0001	0.0011	0.067
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	0.0008	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0007	0.0001	0.0007	0.0003	0.056

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (2/2)

Εναλλακτικές	Κριτήρια										Απόσταση από αρνητική ιδεατή
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	0.0002	0.0013	0.0018	0.0003	0.0000	0.0001	0.0004	0.0012	0.0007	0.0001	0.078
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους I & II	0.0005	0.0000	0.0010	0.0000	0.0001	0.0009	0.0007	0.0000	0.0003	0.0011	0.068
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	0.0008	0.0007	0.0010	0.0003	0.0008	0.0017	0.0002	0.0000	0.0001	0.0003	0.077
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	0.0000	0.0003	0.0005	0.0013	0.0014	0.0009	0.0004	0.0000	0.0001	0.0003	0.072
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	0.0005	0.0001	0.0005	0.0003	0.0004	0.0000	0.0000	0.0012	0.0000	0.0006	0.059
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	0.0005	0.0001	0.0001	0.0013	0.0001	0.0004	0.0007	0.0003	0.0012	0.0000	0.069
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	0.0002	0.0000	0.0010	0.0000	0.0008	0.0009	0.0004	0.0007	0.0007	0.0001	0.069
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	0.0008	0.0013	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0011	0.061
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	0.0001	0.0007	0.0000	0.0003	0.0014	0.0017	0.0004	0.0007	0.0000	0.0011	0.080
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	0.0001	0.0003	0.0010	0.0000	0.0014	0.0009	0.0002	0.0012	0.0007	0.0006	0.080
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	0.0005	0.0003	0.0005	0.0003	0.0000	0.0004	0.0007	0.0003	0.0007	0.0000	0.061
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	0.0000	0.0007	0.0018	0.0013	0.0008	0.0004	0.0000	0.0007	0.0001	0.0003	0.078

ΑΞΙΑ & ΚΑΤΑΤΑΞΗ

Εναλλακτικές	Τελική αξία	Κατάταξη
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	-0.042	4
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους I & II	$0.068 - \lambda * 0.072 = -0.076$	10
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	-0.032	2
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	-0.053	6
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	-0.090	11
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	-0.065	8
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	-0.056	7
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	-0.110	12
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	-0.047	5
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	-0.022	1
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης	-0.073	9
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας	-0.034	3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Hwang, C. L., & Yoon (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer, Berlin.
- Yoon, K. P., & Kim, W. K. (2017). The behavioral TOPSIS. Expert Systems with Applications, 89, 266-272.
- Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. Heliyon, 4(3), e00588.
- Doukas, H., & Nikas, A. (2020). Decision Support Models in Climate Policy. European Journal of Operational Research, 280(1), 1-24.
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy sets and systems, 114(1), 1-9.
- Chen, T. Y., & Tsao, C. Y. (2008). The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. Fuzzy sets and systems, 159(11), 1410-1428.
- Chen, S. M., & Lee, L. W. (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. Expert systems with applications, 37(4), 2790-2798.
- Labella, Á., Koasidis, K., Nikas, A., Arsenopoulos, A., & Doukas, H. (2020). APOLLO: A Fuzzy Multi-criteria Group Decision-Making Tool in Support of Climate Policy. International Journal of Computational Intelligence Systems, 13(1), 1539-1553.

Thank
You!



Alexandros Nikas

Email: anikas@epu.ntua.gr

Tel: (+30) 210 7723609