



ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

21 Αυγούστου 2021

ΚΑΡΑΛΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ - ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΣΥΓΙΖΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Κος ΠΟΛΥΖΟΣ



Ευχαριστίες

Στην προσπάθεια διεκπεραίωσης αυτής της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν και αντιμετωπίστηκαν μία σειρά προβλημάτων - ζητημάτων τα οποία όμως στο τέλος της εργασίας αποδείχτηκε ότι ήταν και τα σημεία που κάνουν την εργασία να ξεχωρίζει. Τα εμπόδια αυτά δεν θα μπορούσαν σε καμία περίπτωση να ξεπεραστούνε χωρίς την βοήθεια που λήφθηκε από τον επιβλέπον καθηγητή Κ. Σεραφείμ Πολύζο, Διευθυντή ΔΠΜΣ-Διαχείριση Έργων, Συγκοινωνιακού και Χωρικού Σχεδιασμού.

Έτσι στο σημείο αυτό νιώθουμε την ανάγκη να τον ευχαριστήσουμε προσωπικά για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, για την κατανόηση και την υπομονή του στα θέματα που μας απασχόλησαν καθώς και την έμπρακτη υποστήριξή του με προτάσεις και λύσεις που μας έδωσε ώστε να συνεχίσουμε όσο το δυνατόν πιο απρόσκοπτα.

Μέσα από την καρδιά μας, θα θέλαμε επίσης να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας για τις οικογένειες μας, οι οποίες υπήρξαν υποστηρικτικές καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας, με όποιον τρόπο μπορούσαν, έχοντας ως απώτερο σκοπό να μας εφοδιάσουν με εμπειρίες, γνώση και σοβαρότητα, ώστε να κάνουμε ένα πετυχημένο ξεκίνημα στην εργασιακή μας ζωή.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που μας φιλοξένησε όλα αυτά τα χρόνια, τόσο στη διοίκηση όσο και στους επιμέρους καθηγητές μέλη ΔΕΠ για την υποστήριξή τους και όλη τη γνώση που μας μετέδωσαν.

Περίληψη

Καραλής Β., Συγίζης Α., «Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας αξιολόγησης φωτοβολταϊκών έργων»

Λόγω της αυξανόμενης ανάγκης για ενεργειακή αναβάθμιση και την μείωση της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα, η δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου αποτελεί φλέγον ζήτημα στις μέρες μας. Έτσι η δημιουργία ενός προγνωστικού πλαισίου που θα επικεντρώνεται στα πιθανά ενδεχόμενα στα οποία ο εκάστοτε επενδυτής θα μπορεί να ιεραρχήσει τις προτιμήσεις του, τις ανάγκες του αλλά και τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξήγηση και πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της επένδυσης του. Με χρήση λοιπόν διαφόρων θεωριών δημιουργείται και εφαρμόζεται ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων με χρήση της μεθόδου και του αντίστοιχου προγράμματος PROMETHEE II. Στην πορεία της εργασίας τα εισαγμένα δεδομένα “διαστρεβλώνονται” και η μελέτη επικεντρώνεται στην συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους.

Abstract

Karalis V., Sigizis. A., «development of an integrated methodology for the evaluation of photovoltaic projects »

Due to the increasing need for energy upgrading and the reduction of pollution in the atmosphere, the creation of a photovoltaic park is a burning issue nowadays. Thus, the creation of a predictive framework that will focus on the possible eventualities in which each investor will be able to prioritize his preferences, his needs and the already existing data is really important for the explanation and the forecast of the results of his investment. Using various theories, a decision-making model is created and applied using the method and the corresponding PROMETHEE II program. Entering deeper on that topic, the entered data are "distorted" and the study focuses on the comparative evaluation of their results.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Λέξεις κλειδιά.....	4
Ευρετήριο εικόνων.....	5
Ευρετήριο πινάκων.....	6
1. Εισαγωγή.....	7
1.1. Κλιματική αλλαγή.....	7
1.2. Παγκόσμια προσπάθεια ανατροπής κλιματικής αλλαγής.....	8
1.3. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	9
1.4. Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	10
2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	11
2.1 Ηλιακή ενέργεια.....	11
2.2 Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα.....	12
2.2.1 Φωτοβολταϊκή κυψέλη- Αρχή λειτουργίας.....	12
2.2.2 Ενεργητικά-Θερμικά συστήματα.....	13
2.2.3 Παθητικά συστήματα.....	13
2.3 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων αναλόγως του τρόπου Λειτουργίας τους	15
2.4 Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.....	18
2.5 Υλικά κατασκευής κυψελών – Απόδοση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων.....	18
2.6 Συστήματα ανάρτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	20
2.7 Μετατροπείς/Αντιστροφείς τάσης.....	25
2.8 Λοιπά στοιχεία – συνοδευτικά έργα Φ/Β εγκαταστάσεων.....	25
2.9 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	26
2.10 Δείκτες Μέτρησης της αποδοτικότητας ενός φωτοβολταϊκού έργου.....	30
2.11 Επισκόπηση Νομοθετικού Πλαισίου Φωτοβολταϊκών Έργων στην Ελλάδα.....	34
2.12 Καταγραφή κριτηρίων για αξιολόγηση και σύντομη περιγραφή της διαδικασίας	35
2.12.1 Καταγραφή κριτηρίων για αξιολόγηση Φωτοβολταϊκών έργων.....	35
3 Μεθοδολογική Προσέγγιση.....	43
3.1 Επιλογή της πολυκριτήριας Ανάλυσης ως μεθόδου αξιολόγησης.....	43
3.2 Σύγκριση πολυκριτήριας ανάλυσης και ανεπίσημης κρίσης.....	43
3.3 Περιβάλλουσα Ανάλυση δεδομένων.....	44
3.4 Μεθοδολογική Προσέγγιση.....	45
3.4.1 Επιλογή της Πολυκριτήριας Ανάλυσης ως Μεθόδου Αξιολόγησης.....	46

3.4.2	Σύγκριση Πολυκριτήριας Ανάλυσης με Ανεπίσημη Κρίση	47
3.5	Πλεονεκτήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης	47
3.6	. Επιλογή Μεθόδου από τις Πολυκριτήριες Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων που υπάρχουν	51
3.6.1	.Καταγραφή Κύριων Θεωρητικών Ρευμάτων Πολυκριτήριας Ανάλυσης	51
3.6.2	Σύγκριση Κύριων Θεωρητικών Ρευμάτων και Επιλογή.....	54
3.7	Καταγραφή Βασικών Πολυκριτήριων Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων	57
3.7.1	Θεωρία Χρησιμότητας.....	57
3.7.2	Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής	62
3.8	Προσδιορισμός βαρών	73
3.8.1	Καταγραφή μεθόδων Προσδιορισμού βαρών	74
3.8.2	Επιλογή μεθόδου Simos και εξαγωγή βαρών	77
3.9	Ανάλυση ευαισθησίας.....	77
4	Εφαρμογή μεθόδου και αποτελέσματα.....	78
4.1	Αντικείμενο της απόφασης	78
4.2	Σύνολο Εναλλακτικών λύσεων	78
4.3	Καθορισμός προβληματικής	79
4.4	Συλλογή δεδομένων	79
4.5	Προσδιορισμός Βαρών κριτηρίων.....	79
4.6	Εφαρμογή της μεθόδου Promethee και ανάλυσης ευαισθησίας	80
4.7	αποτελέσματα	88
4.7.1	Μεταβολή στο περιθώριο του κέρδους.....	88
4.7.2	Μεταβολή στο περιθώριο του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης.....	91
4.7.3	Μεταβολή στο περιθώριο του κόστους κατασκευής	94
	94
4.7.4	Μεταβολή στο περιθώριο του δανείου	96
4.7.5	Μεταβολή στο περιθώριο του υλικοτεχνικού εξοπλισμού	98
5.	Συμπεράσματα και Εισηγήσεις για περαιτέρω Έρευνα.....	100
	Βιβλιογραφία	102
	Bibliography.....	102

Λέξεις κλειδιά

Φωτοβολταϊκό έργο, φωτοβολταϊκό στοιχείο, πολυκριτήρια μεθοδολογία, κριτήρια, υποκριτήρια, αξιολόγηση, επιλογή, μεθοδολογία, επενδυτής, λήπτης της απόφασης

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Τύποι ηλιακών συστημάτων (Crook, 2011)	11
Εικόνα 2: Διάταξη φωτοβολταϊκής κυψέλης	12
Εικόνα 3: Διάταξη ολοκληρωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος (Jia Yuting, Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review, 2019)	13
Εικόνα 4: Εφαρμοσμένα παθητικά συστήματα φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (Löf)	14
Εικόνα 5: Διασυνδεδεμένη στο δίκτυο φωτοβολταϊκή συστοιχία	16
Εικόνα 6: Κρυσταλλικό πυρίτιο στην καθαρή του μορφή (wikipedia)	19
Εικόνα 7: φωτοβολταϊκά πάνελ στην τελική τους μορφή	20
Εικόνα 8: Διαφόρων τύπων βάσεις ανάρτησης Φ/Β πλαισίων (Jordehi, 2016)	24
Εικόνα 9: Διαδικασία λήψης αποφάσεων: Τα κύρια στάδια στο πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης (Roy, 1985)	48
Εικόνα 10: Κατηγορίες προβλημάτων (M. Socorro García-Cascales, 2006)	50
Εικόνα 11: Η μορφή της συνάρτησης H(d)	70
Εικόνα 12: Παράδειγμα επιλογής αυτοκινήτου μέσω του προγράμματος Promethee	81
Εικόνα 13: Ορισμός παραμέτρων προβληματικής	81
Εικόνα 14: Μόρφωση παραμέτρων πρώτου σεναρίου	82
Εικόνα 15: Καρτέλα clusters – ορισμός άξονα προτίμησης	83
Εικόνα 16: Καταγραφή κριτηρίων προς αξιολόγηση	83
Εικόνα 17: Διαδικασία κατηγοριοποίησης κριτηρίων και εισαγωγή τους στο εκάστωτε κριτήριο-cluster	84
Εικόνα 18: Ιεράρχηση – ταξινόμηση υποκριτηρίων	85
Εικόνα 19: Επιλογή ποσοτικού ή ποιοτικού μεγέθους βαθμονόμησης και συμβολισμού	86
Εικόνα 20: Βαθμονόμηση κριτηρίων και υποκριτηρίων	87
Εικόνα 21: Βαθμονόμηση κριτηρίων και υποκριτηρίων	87
Εικόνα 22: Μείωση της βαρύτητας των εσόδων κατά 5%	89
Εικόνα 23: Ποιοτική σύγκριση σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα εσόδων κατά 5%	89
Εικόνα 24: Αύξηση της βαρύτητας των εσόδων κατά 5%	90
Εικόνα 25: Ποιοτική σύγκριση σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα εσόδων κατά 5%	90
Εικόνα 26: Δεδομένα πρώτου σεναρίου	91
Εικόνα 27: Παράθυρο τροποποίησης βαρύτητας κριτηρίων	92
Εικόνα 28: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας αρχικού κεφαλαίου	92
Εικόνα 29: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένο αρχικό κεφάλαιο 4%	93
Εικόνα 30: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα αρχικού κεφαλαίου 4%	93
Εικόνα 31: Εναλλακτικό ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένο αρχικό κεφάλαιο 4%	94
Εικόνα 32: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας του κόστους κατασκευής	94

Εικόνα 33: Σύγκριση εναλλακτικού σεναρίου με τον εαυτό του.	95
Εικόνα 34: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα εξόδων 4%.	95
Εικόνα 35: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας του δανείου.	96
Εικόνα 36: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα δανείου στο διπλάσιο.	96
Εικόνα 37: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας του δανείου κατά 4,34%.	97
Εικόνα 38: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα δανείου κατά 4,34%.	97
Εικόνα 39: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα δανείου.	98
Εικόνα 40: : Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας των υλικών κατά 5,19%.	98
Εικόνα 41: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα υλικών.	99
Εικόνα 42: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα υλικών.	99

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Προσανατολισμός πλαισίου ανάλογα τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται (Σιδέρης, 2018)	21
Πίνακας 2: Πίνακας βαθμονόμησης βαρών κριτηρίων (Maystre, Pictet, & Simos, 1994)	37
Πίνακας 3: Καταγραφή κριτηρίων και υποκριτηρίων (Michael Doumpos, 1998)....	40
Πίνακας 4: Πίνακας καταγραφής κριτηρίων, υποκριτηρίων και αντίστοιχων βαρών (Bernard ROY, 1993)	41
Πίνακας 5: Σύγκριση βασικών θεωρητικών ρευμάτων πολυκριτήριας μεθοδολογίας	56

1. Εισαγωγή

1.1. Κλιματική αλλαγή

Ήδη από το 2011, (Crook, J. A., etal. (2011)) ανέφεραν ότι λόγω των ανθρώπινων παραγόντων που επηρεάζουν την ατμόσφαιρα, το κλίμα της γης θα υποστεί σημαντικές αλλαγές. Παράλληλα, τόνισαν ότι αυτή η πρόβλεψη είναι η άποψη της ευρύτερης διεθνούς επιστημονικής κοινότητας για την τρέχουσα κατάσταση αυτή την περίοδο. Μάλιστα, δέκα χρόνια αργότερα, οι προηγούμενες προβλέψεις επιβεβαιώθηκαν από πολλούς επιστήμονες, συμπεριλαμβανομένης της μελέτης της ψυχολογικής επίδρασης των καταστροφικών φαινομένων σε ολόκληρη την κοινωνία (Jolandajetten (2021)). Όπως αναφέρει οι καταστροφές (όπως πυρκαγιές, ξηρασίες και πλημμύρες) που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή συμβαίνουν πιο συχνά και με μεγαλύτερη ένταση από ότι τις τελευταίες δεκαετίες.

Ως εκ τούτου, η κλιματική αλλαγή είναι ένα μείζον ζήτημα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα στον 21ο αιώνα, η οποία έχει άμεσο αντίκτυπο στην ανθρωπότητα και το περιβάλλον, και η κρισιμότητα της βελτίωσης αυτής της κατάστασης θεωρείται δεδομένη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει να αναλυθούν τα αίτια αυτής της κλιματικής αλλαγής και να δοθεί μία επιστημονική προσέγγιση.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης αποτελεί ευρέως διαδεδομένο δείκτη κλιματικής αλλαγής, ενώ θεωρείται από το παγκόσμιο σύστημα παρατήρησης του κλίματος ως η βασικότερη μεταβλητή κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της ΕΕ, κύριος παράγοντας που συντελεί στην κλιματική αλλαγή είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Bose, 2010). Κάποια αέρια στην ατμόσφαιρα είναι σαν το γυαλί που περιβάλλει ένα θερμοκήπιο. Παγιδεύουν δηλαδή τη θερμότητα του ήλιου εμποδίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη διάχυσή αυτής στο εξώτερο διάστημα επιταχύνοντας την άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Μερικά αέρια –παρότι η ύπαρξή τους στη φύση είναι δεδομένη– εξαιτίας διαφόρων τύπων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων παρατηρείται ότι αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό στην ατμόσφαιρα. Ακολουθούν τα πιο συνηθισμένα:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Μεθάνιο
- Υποξείδιο του αζώτου

- Φθοριούχα αέρια

Ταυτόχρονα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η επακόλουθη κλιματική αλλαγή προκαλούνται σε ένα μικρό ποσοστό και από φυσικά αίτια (όπως αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία, ηφαιστειακή δραστηριότητα κ.λπ.).

1.2. Παγκόσμια προσπάθεια ανατροπής κλιματικής αλλαγής

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειες αυτού του συγκεκριμένου ζητήματος της κλιματικής αλλαγής, τα θεσμικά πλαίσια και οι παγκόσμιες αγορές εξελίσσονται συνεχώς για την εξεύρεση καινοτόμων λύσεων και εναλλακτικών πηγών με στόχο να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ και η χρήση ορυκτών προϊόντων, έχοντας όμως σαν αρχή να μην επέλθει μείωση της ενεργειακής απόδοσης (Francis, Sustainable Urban Development Volume 2, 2007). Εδώ έρχεται να προστεθεί για να επισημοποιήσει τα παραπάνω και να δράσει ως οργανωτικός παράγοντας το πρωτόκολλο του Κιότο (1997). Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ορόσημο για την κλιματική αλλαγή. Διατυπώθηκε στην τρίτη σύνοδο της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή. Οι γενικές διατάξεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο αναφέρουν ότι οι χώρες ανεπτυγμένης βιομηχανίας δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν θέσει στόχους εκπομπών. Κινούμενη προς τον ίδιο στόχο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει οδηγίες που συνάδουν πλήρως με το πλαίσιο του «Πρωτοκόλλου του Κιότο» προς τα κράτη μέλη της. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές δόθηκαν αποσκοπώντας στη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, περιορίζοντας έτσι τις ανθρώπινες δραστηριότητες που οδηγούν σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενώ παρέχουν επενδυτικά κίνητρα για τη μετάβαση σε ήπιες μορφές ενέργειας (π.χ. αξιοποίηση αιολικής και ηλιακής ενέργειας).

1.3. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος αξιολόγησης για επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά έργα με γνώμονα την αποδοτικότητά τους, την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την αντιστροφή αυτού του φαινομένου. Παρουσιάζονται μέθοδοι αξιολόγησης διαφορετικών τύπων επενδύσεων, ενώ επιλέγεται ένας από αυτούς και εφαρμόζεται σε επενδύσεις φωτοβολταϊκών έργων. Λαμβάνοντας υπόψη ένα συγκεκριμένο εύρος φωτοβολταϊκών έργων, κατά την αναζήτηση, εύρεση, αξιολόγηση και ταξινόμηση σύμφωνα με την επιλεγμένη μέθοδο και τον βαθμό επιρροής-σημασίας των κριτηρίων και των κανόνων που καθιστούν την επένδυση στα φωτοβολταϊκά έργα εφικτή και κερδοφόρα. Ταυτόχρονα, τα φωτοβολταϊκά έργα συγκρίνονται μεταξύ τους και βαθμολογούνται για κάθε κριτήριο αλλά και συνολικά για ολόκληρο το έργο. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα για τους παράγοντες που δημιουργούν το κατάλληλο πλαίσιο για την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών έργων και επενδύσεων.

1.4. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Κεφάλαιο 1: Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην επικρατούσα κατάσταση, δηλαδή στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής και την εισαγωγή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στην παγκόσμια αγορά ως θεσμοθετημένη πλέον λύση. Παράλληλα αναφέρεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Στο κεφάλαιο δύο γίνεται αναφορά στην ηλιακή ενέργεια, εξηγείται η σημασία της για τον άνθρωπο και ύστερα αναλύεται το τεχνικό μέρος που αφορά την αξιοποίησή της. Παραθέτονται πληροφορίες σχετικά με τα φωτοβολταϊκά έργα από το υλικό κατασκευής τους μέχρι και το κάθε μεμονωμένο στοιχείο που πλαισιώνει ένα φωτοβολταϊκό έργο.

Κεφάλαιο 3: Στο κεφάλαιο τρία αναλύονται διάφορες στρατηγικές αξιολόγησης επενδύσεων ως προς τα ταξινομημένα κριτήρια που την επηρεάζουν. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία βάσει της οποίας πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Καταγράφονται κριτήρια αξιολόγησης για φωτοβολταϊκά έργα.

Κεφάλαιο 4: Στο κεφάλαιο τέσσερα από το γενικό πλαίσιο παράθεσης μεθοδολογιών αξιολόγησης μίας επένδυσης ακολουθεί η προσομοίωση του στο ειδικό πλέον περιβάλλον αξιολόγησης μίας φωτοβολταϊκής επένδυσης. Πραγματοποιείται παραδειγματικά η επιλογή και η εφαρμογή συγκεκριμένης μεθοδολογίας για την αξιολόγηση του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Κεφάλαιο 5: Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα πορίσματα της έρευνας καθώς και κάποιες εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα από τους επόμενους μελετητές.

2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Ηλιακή ενέργεια

Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1970, αμέσως μετά την πρώτη μεγάλη πετρελαϊκή κρίση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. η ηλιακή) σημείωσαν σημαντική αύξηση. Η πιο ανεξάντλητη και βιώσιμη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος, ο οποίος παρέχει στη Γη περισσότερα από 150.000 τεραβάτ ενέργειας. Περίπου το 50% της ενέργειας έρχεται στην επιφάνεια του πλανήτη μας, ενώ το άλλο μισό αντανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της ίδιας της ατμόσφαιρας. Για την κάλυψη της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης αρκεί ένα μικρό μέρος από τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη είναι αρκετό για να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Αν και οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντλούν την ενέργειά τους απευθείας από τον ήλιο, ο όρος ηλιακή ενέργεια αναφέρεται στην άμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας (Crook, 2011). Μία από τις μεγαλύτερες επιστημονικές και τεχνολογικές ευκαιρίες που προσφέρονται είναι η ανάπτυξη αξιόπιστων μεθόδων για τη συγκομιδή, τη μετατροπή, την αποθήκευση και τη χρήση της ηλιακής ενέργειας σε προσιτό κόστος.¹



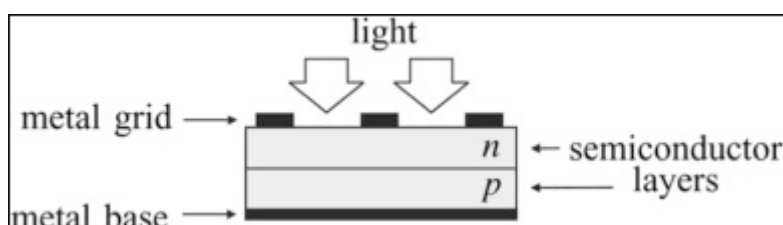
Εικόνα 1: Τύποι ηλιακών συστημάτων (Crook, 2011)

2.2 Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα

Για να κατανοηθεί πλήρως η έννοια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι χρήσιμο να επεξηγηθεί η έννοια της φωτοβολταϊκής κυψέλης.

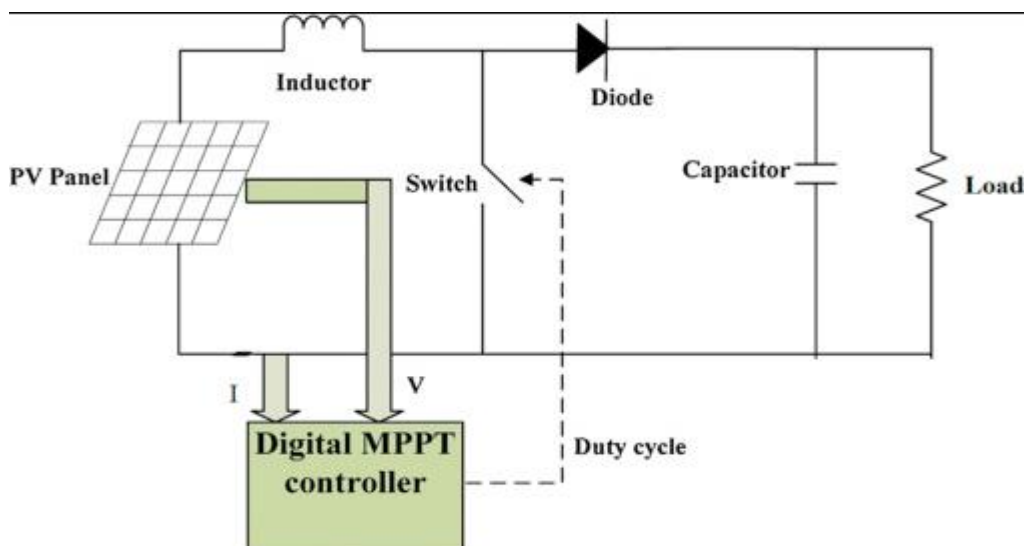
2.2.1 Φωτοβολταϊκή κυψέλη- Αρχή λειτουργίας

Σύμφωνα με τον (Jordehi,2016) η φωτοβολταϊκή κυψέλη είναι το θεμελιώδες συστατικό των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πρόκειται για μια δίοδο ημιαγωγών η σύνδεση N-P (nonpolarcovalent) της οποίας εκτίθεται στο φως. Η φυσική δομή της φωτοβολταϊκής κυψέλης παρουσιάζεται στο σχήμα.



Εικόνα 2:Διάταξη φωτοβολταϊκής κυψέλης

Ένα λεπτό μεταλλικό πλέγμα τοποθετείται στην επιφάνεια του ημιαγωγού που είναι στραμμένη προς τον ήλιο. Το μέγεθος και το σχήμα των φωτοβολταϊκών κυψελών σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε η απορροφητική επιφάνεια να μεγιστοποιείται και οι αντιστάσεις επαφής να ελαχιστοποιούνται. Πολλές φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδεδεμένες στη σειρά σχηματίζουν μια φωτοβολταϊκή μονάδα, ενώ πολλές φωτοβολταϊκές μονάδες στοιχισμένες σε σειρά και παράλληλα μεταξύ τους σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό πάνελ (Figen Balıoğlu, 2016). Αντίστοιχα μία φωτοβολταϊκή συστοιχία μπορεί να περιέχει ένα ή δύο πάνελ. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα περιλαμβάνουν ηλιακούς πίνακες, μετατροπείς και μετατροπείς ενίσχυσης DC σε DC (μόνο για φωτοβολταϊκά συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο), καθώς και συστήματα παρακολούθησης μέγιστων σημείων ισχύος. Ο μετατροπέας ενίσχυσης παρέχει μια ελεγχόμενη τάση εξόδου. Η τάση εξόδου και επομένως η ισχύς εξόδου της μπορεί να ελέγχονται από τον κύκλο λειτουργίας του μετατροπέα ώθησης. Το διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3: Διάταξη ολοκληρωμένου φωτοβολταϊκού συστήματος (Jia Yuting, *Development and applications of photovoltaic-thermal systems: A review*, 2019)

2.2.2 Ενεργητικά-Θερμικά συστήματα

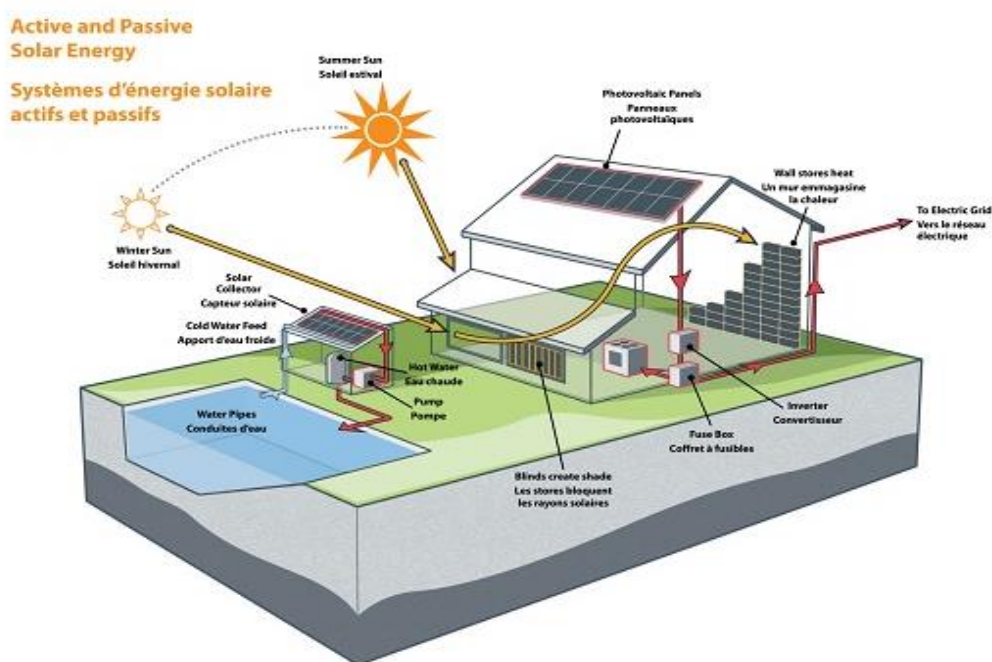
Τα ενεργητικά συστήματα είναι μονάδες συλλεκτών ηλιακής ενέργειας, μονάδες αποθήκευσής της, αγωγοί μεταφοράς ρευστών (σωλήνες, αντλίες κλπ), εναλλάκτες θερμότητας, παροχές, air-condition, μηχανήματα θέρμανσης (καλοριφέρ, σόμπες) και άλλα (Löf). Μέσω ηλιακών συλλεκτών η ηλιακή ενέργεια απορροφάται και μεταβιβάζεται με τη μορφή θερμότητας τηρώντας τους νόμους της θερμοδυναμικής σε υγρά και αέρια προκειμένου να ζεστάνουν ή να ψύξουν το νερό ή τον αέρα. Υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις σχετικά με τον χειρισμό ενεργητικών συστημάτων, καλύπτοντας όλο το εύρος από το on/off μέχρι τον βέλτιστο χειρισμό για την επίτευξη κάποιου σκοπού. Ο σκοπός αυτός είναι είτε η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μίας βιομηχανίας ή ενός σπιτιού (Aixue Hu, 2015). Όλοι οι τρόποι χειρισμού των συστημάτων αυτών αποσκοπούν στην εύρεση των βέλτιστων συνδυασμών χρήσης των επιμέρους κομματιών ώστε να επιτευχθεί αύξηση της απόδοσης και παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

2.2.3 Παθητικά συστήματα

Προκειμένου να μειωθεί η επιβάρυνση των ενεργών συστημάτων που μετατρέπουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια, ένα απαραίτητο

πρώτο βήμα είναι η εφαρμογή του βέλτιστου συνδυασμού στρατηγικών παθητικού σχεδιασμού, με κυριότερη από αυτές τις στρατηγικές παθητικής ηλιακής σχεδίασης.

Οι στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού ηλιακής ενέργειας στοχεύουν στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη δημιουργία θερμικής άνεσης στα κτίρια χωρίς τη χρήση ηλεκτρικού ή μηχανικού εξοπλισμού (MohamedNfaoui, 2018). Η μεγαλύτερη ευκαιρία για την ενσωμάτωση στρατηγικών παθητικού ηλιακού σχεδιασμού εμφανίζεται σε επίπεδο εννοιολογικού σχεδιασμού, προσδιορίζοντας τις τιμές των παραμέτρων που έχουν κρίσιμο αντίκτυπο στην απόδοση του κτιρίου, όπως το σχήμα του κτιρίου, το αδιαφανές περίβλημα, τα τζάμια και η σκίαση. Η ενεργειακή προσομοίωση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην παραπάνω διαδικασία, δεδομένου ότι η μελλοντική απόκριση ενός κτιρίου στην εφαρμογή στρατηγικών παθητικού σχεδιασμού είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στους τοπικούς κλιματικούς παράγοντες (Löf). Έτσι, τα παθητικά συστήματα είναι το αποτέλεσμα όλων αυτών των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στην κτιριακή υποδομή για για εξοικονόμηση ενέργειας και επομένως τη βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης των ενεργών συστημάτων. Παραδείγματα παθητικών συστημάτων και εφαρμογών μπορεί να αποτελέσουν η θερμομόνωση ενός κτιρίου, η διάνοιξη παραθύρων σε κατάλληλα σημεία, αεραγωγοί, φωταγωγοί, ο προσανατολισμός του κτιρίου κ.τ.λ.π.



Εικόνα 4: Εφαρμοσμένα παθητικά συστήματα φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων (Löf)

2.3 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων αναλόγως του τρόπου Λειτουργίας τους

Βάσει του τρόπου λειτουργίας τους, τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

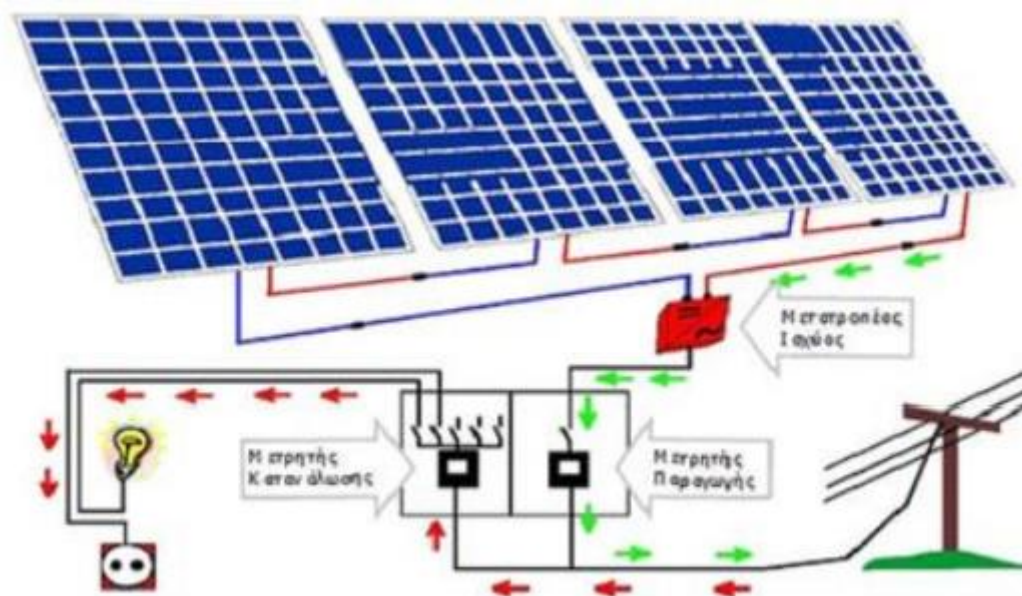
1. Φωτοβολταϊκά συστήματα που λειτουργούν αυτόνομα.
2. Φωτοβολταϊκά συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο.(on-grid)
3. Υβριδικά συστήματα.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που συγκαταλέγονται στην πρώτη κατηγορία, τα αυτόνομα ή αυτοδύναμα συστήματα, συνιστούν τη βέλτιστη επιλογή για περιοχές απομονωμένες και δύσβατες, όπου δεν παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο και το καύσιμο μεταφέρεται με δυσκολία (N.Bouaouadja, 2000). Τα εν λόγω συστήματα, για την ομαλή λειτουργία προϋποθέτουν την ύπαρξη μπαταρίας ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάκοπη λειτουργία τους τόσο τη νύχτα όσο και τη μέρα, π.χ. όταν έχει συννεφιά. Εξίσου απαραίτητος είναι ο ειδικός ρυθμιστής φόρτισης, μέσω του οποίου ρυθμίζεται η ενέργεια των φωτοβολταϊκών και επιτυγχάνεται η σωστή φόρτιση της μπαταρίας (Figen Baló, 2016). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι σε απλές εγκαταστάσεις η απορρόφηση της ενέργειας γίνεται απευθείας από τις μπαταρίες μέσω DC καταναλωτών, ενώ όσον αφορά τις εγκαταστάσεις με συνήθεις AC καταναλωτές, το ρεύμα της μπαταρίας γίνεται από συνεχές εναλλασσόμενο μέσω του αντιστροφέα (inverter). Εφαρμογές αυτών των συστημάτων συναντά κανείς πλέον σε αναμεταδότες, συστήματα επιτήρησης, τηλεφωνικούς θαλάμους, κεραίες κινητής τηλεφωνίας, φάρους, διαφημιστικές πινακίδες, στάσεις λεωφορείων, στα φωτιστικά σώματα των δρόμων, σε πλεούμενα μέσα μεταφοράς, σε τροχόπιστα, σε αρδεύσεις και γεωτρήσεις, σε σιντριβάνια κ.λπ. Στα παραδείγματα που αναφέρθηκαν γίνεται χρήση μπαταριών για αποθήκευση. Σε περίπτωση, όμως, που παρίσταται ανάγκη για μεγαλύτερα ποσά ενέργειας είναι δυνατός ο συνδυασμός τους με γεννήτριες βιομάζας, ανεμογεννήτριες ή γεννήτριες diesel. Στα πλεονεκτήματά τους προστίθεται ότι ο ιδιοκτήτης δεν επιβαρύνεται με πάγια έξοδα ή πτώσεις τάσεων του παροχέα, καθώς δεν υπάρχει σύνδεση στο δίκτυο της ΔΕΗ. Κατ' επέκταση τα συστήματα δεν επιδοτούνται ούτε νοούνται ως επαγγελματικά ή επενδυτικά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθιστούν τα συστήματα αυτά πλήρως αποδοτικά, επιβεβαιώνοντας ότι πρόκειται για εφαρμογές προηγμένης φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. 4

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, των οποίων η κύρια λειτουργία είναι ίδια, είτε το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι εγκατεστημένο στην ύπαιθρο είτε στην ταράτσα:

- Τα πλαίσια είναι τοποθετημένα στη σειρά.

- Προβλέπεται η ύπαρξη μετατροπέα ισχύος που αλλάζει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο, το οποίο μπορεί να τροφοδοτείται στο δίκτυο της ΔΕΗ.
- Ο μετρητής ΔΕΗ συνδέεται ανάμεσα στο φωτοβολταϊκό σύστημα και στο δίκτυο, καταγράφοντας τις κιλοβατώρες που παράγονται. Αυτές οι kWh διατίθενται επί πληρωμή στη ΔΕΗ. Οι ιδιοκτήτες διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων χρεώνονται από τη ΔΕΗ για την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν στα σπίτια τους ή στα φωτοβολταϊκά πάρκα τους (όπως τα ηλιακά πάρκα). Κατανάλωση μετατροπέα, φωτισμός πάρκου, απαίτηση αποθηκευτικού χώρου μετατροπέα, κατανάλωση ηλιακής ενέργειας κ.λπ. Τα συγκεκριμένα συστήματα συνδέονται με το τοπικό δίκτυο, επομένως η παραγόμενη (καθόλη τη διάρκεια τη ημέρας) από τα φωτοβολταϊκά συστήματα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας, κάτι κοινό για συστήματα εγκατεστημένα σε χώρους που χρησιμοποιούνται ως γραφεία ή για άλλες εμπορικές χρήσεις ή κάτι κοινό για τα σπίτια μπορεί να πωληθεί στη ΔΕΗ. Οι ιδιοκτήτες ενδέχεται να εξαφανιστούν μέσα στη μέρα. Τη νύχτα κατά τις οποίες δεν γίνεται πλέον να παραχθεί ενέργεια από τα Φ/Β, είναι δυνατή η αγορά ενέργειας από τη ΔΕΗ. Πρακτικά η ΔΕΗ αποτελεί μία "αποθήκη ενέργειας", καθιστώντας τις μπαταρίες περιττές για τα συγκεκριμένα συστήματα. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης μπαταριών και τότε το φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιείται και σαν σύστημα Αδιάλειπτης Παροχής Ενέργειας (UPS), αν διακοπεί το ρεύμα. Ακολουθεί μία εικόνα με διασυνδεδεμένα συστήματα και τα εξαρτήματα αυτών (με 1 ή 2 μετρητές).



Εικόνα 5: Διασυνδεδεμένη στο δίκτυο φωτοβολταϊκή συστοιχία

Υβριδικά συστήματα: Τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακά ή επαγγελματικά περιβάλλοντα βαρέως τύπου. Είναι επίσης σημαντικό να χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες σε φωτοβολταϊκά συστήματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ειδικά το χειμώνα, όπου οι ανεμογεννήτριες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση ολόκληρου του ΦΒ συστήματος. Εν τω μεταξύ, οι γεννήτριες ντίζελ συνήθως ξεκινούν αυτόματα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης προκειμένου να βοηθήσουν το Φ/Β σύστημα. Δεδομένου ότι το υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει μία μόνο γεννήτρια εγκατεστημένη μαζί με την ηλεκτρική ισχύ, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το κεντρικό δίκτυο λειτουργεί ως εφεδρική πηγή ενέργειας για έκτακτη ανάγκη. Στη συνέχεια, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποθηκεύουν συχνά ενέργεια για την κάλυψη συγκεκριμένων περιόδων ηλιοφάνειας, μπορεί να προκύψουν παρατεταμένες περίοδοι έντονων καιρικών φαινομένων, που απαιτούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας για τη διασφάλιση της παραγωγής ενέργειας σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυάζουν φωτοβολταϊκές γεννήτριες με άλλη πηγή ενέργειας (συνήθως γεννήτρια ντίζελ) ή άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας όπως οι ανεμογεννήτριες. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια έχει συνήθως μέγεθος ώστε να ανταποκρίνεται στο βασικό φορτίο βάσης και η εναλλακτική πηγή ενεργοποιείται μόνο εάν κριθεί απαραίτητο. Η εν λόγω εγκατάσταση έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης του φωτοβολταϊκού, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την παροχή ρεύματος. Το υβριδικό είναι επίσης μια έξυπνη προσέγγιση σε καταστάσεις όπου η περιστασιακή ζήτηση αιχμής είναι σημαντικά υψηλότερη από τη ζήτηση βασικού φορτίου. Για παράδειγμα, εάν το κανονικό φορτίο συνιστά μόλις το 10% του μέγιστου, δεν υπάρχει λόγος να επεκταθεί το σύστημα για να μπορεί να καλύψει συγκεκριμένα τη ζήτηση ΦΒ (Jia Yuting, Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review, 2019). Ομοίως, οι γεννήτριες ντίζελ που έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τη ζήτηση αιχμής θα λειτουργούν με μερικό φορτίο ή θα είναι αναποτελεσματικές τις περισσότερες φορές.²

2.4 Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται οι δύο μεγάλες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Ειδικότερα, υπάρχουν εγκαταστάσεις:

- Που συνδέονται με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (on grid) και αποδίδουν το σύνολο ή μέρος (παραγωγοί και αυτοπαραγωγοί αντίστοιχα) της ενέργειας που παράγεται στο δίκτυο.
- Που δεν εγκαθίστανται στο δίκτυο (offgrid) και η ενέργεια που παράγεται αποθηκεύεται για αρχή σε συστοιχίες ηλεκτρικών συσσωρευτών, προκειμένου να γίνει χρήση της ικανοποιώντας τις ανάγκες ολόκληρου του εικοσιτετράωρου.

Ακολουθούν τα κύρια σημεία μίας εγκατάστασης παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας:

- Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Τα συστήματα ανάρτησης (βάσεις) των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Οι μετατροπείς (inverters) ρεύματος
- Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (για μη διασυνδεδεμένο σύστημα)

Στο επίκεντρο της συγκεκριμένης μελέτης τίθενται οι εγκαταστάσεις οι οποίες είναι συνδεδεμένες στο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και αποδίδουν όλη την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο. Πρόκειται για παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας – όχι αυτοπαραγωγούς– που καλύπτουν πρώτα τις δικές τους ανάγκες με την ενέργεια που παράγεται και την υπόλοιπη (αν υπάρχει) τη διοχετεύουν στο δίκτυο. Στη συνέχεια, αναλύονται τα τμήματα που απαρτίζουν μία εγκατάσταση παραγωγής φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας ή αλλιώς το φωτοβολταϊκό πάρκο. (Σιδέρης, 2018)

2.5 Υλικά κατασκευής κυψελών – Απόδοση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Το κύριο υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών κυψελών είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το κρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες μορφές για την δημιουργία ηλιακών κελιών (Κανάκης, 2021). Οι μορφές αυτές δίνονται επιγραμματικά παρακάτω.

- Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο – Monocrystalline silicon cells

(Μέγιστη απόδοση και μεγάλο κόστος)

- Χυτή μονοκρυσταλλική μορφή πυριτίου-Cast monosilicon cells (Μέγιστη απόδοση και μικρό κόστος)
- Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο-Polycrystallinesiliconcells (Χαμηλότερη απόδοση και τη μικρότερη τιμή)
- Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)
- Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)
- Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)
- Κελιά χαλκού-ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου

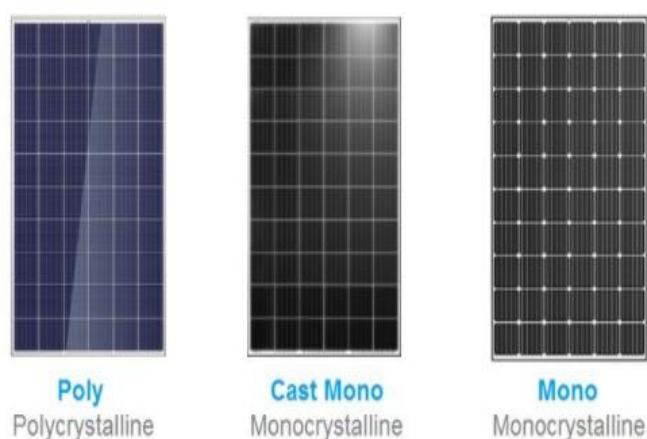
Διαφορετικό τύπο ηλιακού κελιού αποτελούν τα:

- Υβριδικής τεχνολογίας ηλιακό
- Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs)

Στην εικόνα (6) παρουσιάζεται το κρυσταλλικό πυρίτιο στην καθαρή του μορφή ενώ στο επόμενο σχήμα (7) δίνεται η εικόνα όταν αυτά πλέον είναι στην τελική τους μορφή και απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό πάνελ.



Εικόνα 6: Κρυσταλλικό πυρίτιο στην καθαρή του μορφή (wikipedia)



Εικόνα 7: φωτοβολταϊκά πάνελ στην τελική τους μορφή

Αυτό καθαυτό, το κρυσταλλικό πυρίτιο δεν αποτελεί ιδιαίτερα καλό αγωγό θερμότητας αλλά με τη βοήθεια διαφόρων προσμίξεων επιφέρει θεαματικά αποτελέσματα (Κανάκης, 2021). Το βόριο προστίθεται συνήθως στο κάτω στρώμα των ηλιακών κυψελών, όπου σχηματίζει δεσμούς με το πυρίτιο, δημιουργώντας ένα θετικό φορτίο (p). Ο φώσφορος προστίθεται συνήθως στην κορυφή ενός ηλιακού στοιχείου, όπου σχηματίζει δεσμούς με το πυρίτιο, δημιουργώντας ένα αρνητικό φορτίο (n). Μεταξύ των ημιαγωγών τύπου p και n σχηματίζεται μία επιφάνεια η οποία λέγεται "ένωση p-n" (P-N junction). Με την είσοδο του φωτός του ήλιου στο κύτταρο, τα ηλεκτρόνια και στα δύο στρώματα απελευθερώνουν ενέργεια. Τα "ελεύθερα ηλεκτρόνια", όπως επίσης ονομάζονται, τείνουν να πάνε από τη στιβάδα n στη στιβάδα p εξαιτίας των διαφορετικών φορτίων που έχουν τα δύο στρώματα, αλλά το ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή p-n τα εμποδίζει. Ωστόσο, τα ηλεκτρόνια φτάνουν από το στρώμα τύπου n στο p μέσω του εξωτερικού κυκλώματος που τους παρέχει την κατάλληλη διαδρομή ώστε να μετακινηθούν. Κατά μήκος του στρώματος τύπου n υπάρχουν πολύ λεπτά καλώδια που δίνουν τη δυνατότητα στα ηλεκτρόνια να κινηθούν με αποτέλεσμα να παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. (Σιδέρης, 2018)

2.6 Συστήματα ανάρτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Προϋπόθεση για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η βέλτιστη αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Καθώς η διαρκής παρατήρηση του ήλιου κάθε άλλο παρά συμφέρουσα λύση αποτελεί, προτείνεται μία βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού (10-30 μοιρών) και προσανατολισμός (κατεύθυνση προς τον νότο). Στη χώρα μας για να μεγιστοποιηθεί η συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης δύο στοιχεία πρέπει να υπάρχουν: νότιος προσανατολισμός και

κλίση είκοσι οκτώ μοιρών –κατά προσέγγιση. Ωστόσο, επειδή είναι πιθανό στις κτιριακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις οι ιδανικές τιμές ως προς την κλίση και τον προσανατολισμό να μην μπορούν να επιτευχθούν, συστήνονται επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με αζιμουθιακή απόκλιση μέχρι 70 μοίρες από τον νότο και κλίση 10-30 μοίρες. Οι γωνίες άνω των 10-15 μοιρών βοηθούν τα πλαίσια να αυτοκαθαρίζονται -με τα σταγονίδια της βροχής- από σωματίδια σκόνης και λοιπούς ρύπους (Crook, 2011). Λαμβάνοντας υπόψη και την παρακάτω εικόνα συμπεραίνει κανείς εύλογα ότι όσο απομακρυνόμαστε από τον νότο η κλίση είναι προτιμότερο να μειώνεται από το βέλτιστο των 30ο.

		προσανατολισμός																		
		δύση							νότος						ανατολή					
τοποθέτηση πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο		90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	0°	87	88	90	91	92	92	93	93	93	93	93	93	92	92	91	90	89	87	86
	10°	84	87	90	92	94	95	95	96	96	97	97	96	95	94	93	91	89	87	84
	20°	82	85	90	93	94	96	97	98	99	99	98	97	96	95	93	91	88	84	81
	30°	78	83	87	91	93	96	97	98	99	100	98	97	96	95	93	89	85	81	78
	40°	75	79	84	87	92	94	95	96	96	96	96	95	94	92	90	86	82	77	72
	50°	70	74	79	83	87	90	91	93	94	94	94	93	91	88	83	80	76	73	70
	60°	65	69	73	77	80	83	86	87	87	87	88	87	85	82	78	74	71	67	63
	70°	59	69	66	70	72	75	78	79	79	79	79	79	78	75	72	62	64	61	56
	80°	50	56	60	64	66	68	69	70	71	72	72	71	70	67	66	60	57	54	50
	90°	41	49	54	58	59	60	61	61	63	65	65	63	62	59	59	52	50	47	44

Πίνακας 1: Προσανατολισμός πλαισίου ανάλογα τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται (Σιδέρης, 2018)

Ως προς τα αυτόνομα Φ/Β, η επιλογή κλίσης και προσανατολισμού δεν αφορά την καλύτερη επιλογή ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση ανά έτος, αφορά την επιθυμητή χρήση. Όταν πρόκειται, λοιπόν, για τους καλοκαιρινές μήνες, επιλέγονται κλίσεις μικρότερες των 15ο. Από την άλλη, τους χειμερινούς μήνες επιλέγονται κλίσεις άνω των 35ο. Κατ' αντιστοιχία, για την πρωινή χρήση, εάν αυτή είναι η πιο έντονη, σημαντικότερο ρόλο παίζει ο ανατολικός προσανατολισμός (Jordehi, 2016). Αντίθετα, για την απογευματινή ο δυτικός. Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά, είναι πολύ σύνηθες να επιλέγουμε να τα τοποθετούμε στα ανατολικά και στα δυτικά για καλύτερη δυνατή διανομή ενέργειας, το μεγαλύτερο διάστημα της μέρας, προκειμένου να καταναλώνουμε την περισσότερη δυνατή ενέργεια κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς επαναφόρτιση. Η φόρτιση-εκφόρτιση κάνει την μπαταρία πιο ευάλωτη στην γρηγορότερη γήρανσή της (Siecker J., A review of solar photovoltaic systems cooling technologies, 2017). Επιπλέον, ο δυτικός προσανατολισμός προτιμάται για να είναι οι μπαταρίες όσο το δυνατό περισσότερο φορτισμένες πριν τις πρώτες νυχτερινές ώρες, όταν δηλαδή θα πρέπει να γίνει έντονη χρήση τους.

Στήριγμα με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη: η απλούστερη και πιο οικονομική μέθοδος υποστήριξης για την εγκατάσταση των συλλεκτών. Το σύστημα χαρακτηρίζεται από απλό σχεδιασμό, αλλά χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη γωνία κλίσης και στον προσανατολισμό του συλλέκτη (Jordehi, 2016). Πρόκειται για έναν αρκετά αξιόπιστο τρόπο, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, και συνιστάται για τοποθεσίες με ισχυρό άνεμο (π.χ. σε βουνό). Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση συλλεκτών σε κτίρια (πρόσοψη, στέγη κ.λπ.). Η εγκατάσταση του συλλέκτη πρέπει να επιλέξει την καταλληλότερη γωνία και κατεύθυνση κλίσης. Αυτή είναι η απλούστερη περίπτωση όταν ο χώρος εγκατάστασης εκτίθεται στο ηλιακό φως όλο το χρόνο. Τότε η κλίση του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος και συνήθως ακολουθεί τη διεύθυνση νότιου αζιμούθιου του βόρειου ημισφαιρίου (στο νότιο ημισφαίριο επιλέγεται το βόρειο). Αν η κλίση ισούται με λ εκεί, οι ακτίνες προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες δύο φορές μέσα σε ένα έτος, στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου όπου έχουμε το μεσημέρι των ισημεριών. Το μέγιστο ύψος του ήλιου ($ELM - maximum\ elevation$) σημειώνεται κατά το ηλιακό μεσημέρι και αλλάζει κάθε μέρα, με ελάχιστη τιμή $ELM_{\epsilon\lambda} = (90 - \lambda) - 23,5$ στις 22 Δεκεμβρίου και μέγιστη $ELM_{\mu\epsilon\gamma} = (90 - \lambda) + 23,5$ στις 21 Ιουνίου, ενώ έπειτα πέφτει παίρνοντας την ελάχιστη τιμή (22 Δεκεμβρίου). Η γωνία της ακτίνας στον μεσημβρινό της, σε σχέση με την κατακόρυφο της επιφάνειας του συλλέκτη, κυμαίνεται από $-23,5$ μοίρες έως $+23,5$ μοίρες. Ο ημερήσιος μέσος όρος του ετήσιου ενεργειακού κέρδους γίνεται ο μέγιστος όταν η κλίση του συλλέκτη είναι ίση με τη γωνία λ εκεί. Για να ληφθεί η καλύτερη γωνία κλίσης του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης, χρειάζεται να συνυπολογιστούν οι τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, από τις οποίες επηρεάζεται η συνολική διάχυτη και άμεση ακτινοβολία και το albedo (αντανakλαστικότητα) του εδάφους. Για την καλύτερη δυνατή κλίση θα πρέπει να καταγράφονται όλα αυτά τα μετεωρολογικά δεδομένα για πολλά χρόνια σε διαφορετικές γωνίες. Ωστόσο, συχνά δεν είναι διαθέσιμα γιατί η διαδικασία της μέτρησης είναι δαπανηρή, επομένως για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται αισθητήρας ηλιακής ακτινοβολίας, όπως το πυρανόμετρο, σε οριζόντια θέση κατά τη μέγιστη χρονική περίοδο (Σιδέρης, 2018). Μετά τη λήψη μετρήσεων και τον σωστό χειρισμό, καθορίζεται η καλύτερη γωνία για τον συλλέκτη. Διατίθενται επίσης μετρήσεις για την κοντινότερη περιοχή, υπολογίζοντας και την αντανakλαστικότητα του εδάφους.

Ακολουθούν σημειώσεις σχετικά με την τοποθέτηση συλλεκτών με σταθερή κλίση: - Για θέσεις που βρίσκονται στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (> 200) της ζώνης $\lambda - (10 \div 15)$. - Για μέρη όπου το λ είναι μικρό, κοντά στον ισημερινό, η καλύτερη γωνία είναι 0 μοίρες. Κατά την εφαρμογή όμως οι συλλέκτες εδραιώνονται σε μικρή γωνία $5 \div 10$ για την απομάκρυνση διαφόρων ιζημάτων (σκόνη, φύλλα κ.λπ.) όταν η επιφάνεια επηρεάζεται από βροχή ή πλύσιμο. - Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τον χειμώνα, η τοποθέτηση των συλλεκτών γίνεται με κλίση $\beta = \lambda + 15$, ενώ για τον χειμώνα η ιδανική γωνία είναι $\beta = \lambda - 15$. - Σε τοποθεσίες όπου

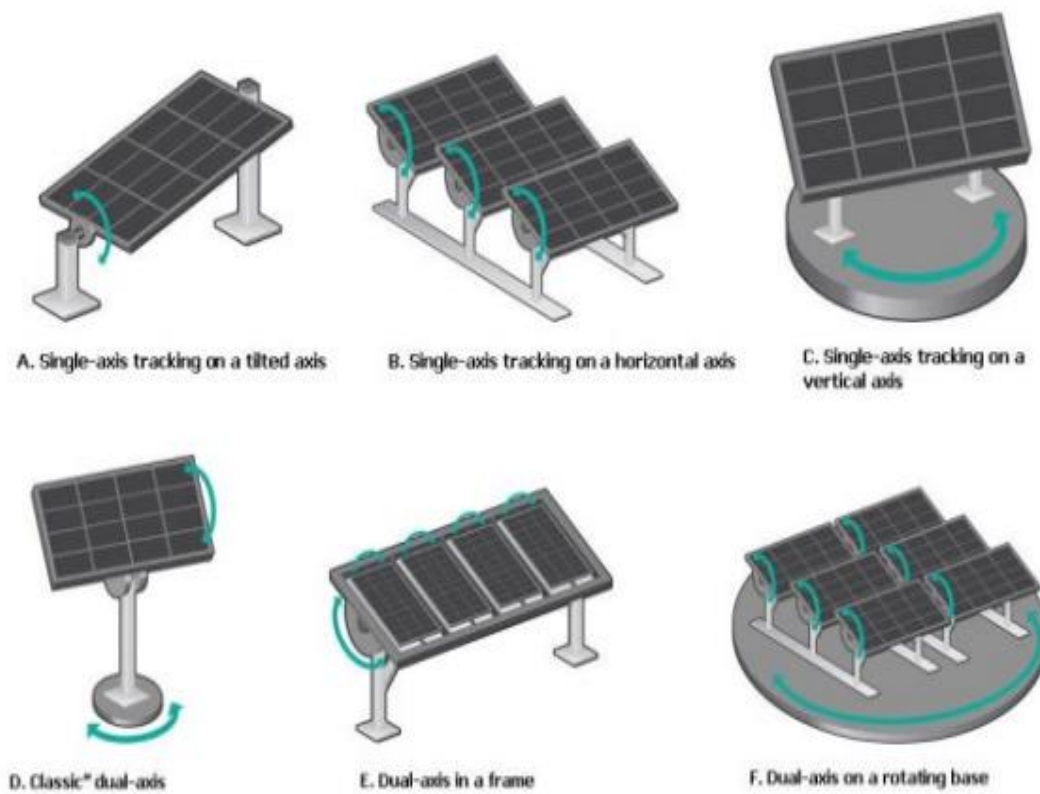
υπάρχουν φυσικά εμπόδια οι συλλέκτες τοποθετούνται για μέγιστο ενεργειακό κέρδος (M. Socorro García-Cascales, 2006).

Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη: Η γωνία κλίσης του συλλέκτη δεν μπορεί να αλλάξει, όπως προαναφέρθηκε, με αποτέλεσμα η απόδοση εγκατάστασης να είναι αισθητά πιο χαμηλή συγκριτικά με τις προοπτικές που θα μπορούσε να έχει. Για την αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος, κατασκευάστηκαν βάσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών, όπου η κλίση τους μπορεί να ρυθμιστεί. Οι μηχανισμοί είναι σχετικά φθηνοί και απλοί, επομένως όλοι οι χρήστες μπορούν να κάνουν εποχιακές ρυθμίσεις. Οι συλλέκτες αναπροσαρμόζονται δύο φορές το χρόνο, μία φορά τον χειμώνα και μία το καλοκαίρι (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου και 21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου αντίστοιχα) έτσι ώστε η κλίση μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της επιφάνειας του συλλέκτη να είναι το πλησιέστερο δυνατόν στις 90 μοίρες. Απαραίτητα στοιχεία για να προσδιοριστεί η σωστή γωνία για τον συλλέκτη είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα για την τοποθεσία, δηλαδή ο ήλιος, ο άνεμος, η θερμοκρασία Κ.Ο.Κ., αλλά και το albedo του εδάφους (M. Socorro García-Cascales, 2006).

Επομένως: - Τον χειμώνα η κατάλληλη γωνία κλίσης είναι $\beta = \lambda + (10 \div 15)$, ενώ το καλοκαίρι αντιστοιχεί σε $\beta = \lambda - (10 \div 15)$. Παρατηρήσεις [...]

-Σε μέρη με φυσικά εμπόδια γίνεται τοποθέτηση του συλλέκτη για να επιτευχθεί το μέγιστο ενεργειακό κέρδος για όλο τον χρόνο.

-Για τη βέλτιστη γωνία, που φέρει τη μέγιστη απόδοση, είναι αναγκαία η ενδελεχής έρευνα, η μελέτη και ο σχεδιασμός της κατασκευής (Κανάκης, 2021).



Εικόνα 8: Διαφόρων τύπων βάσεις ανάρτησης Φ/Β πλαίσιων (Jordehi, 2016)

2.7 Μετατροπείς/Αντιστροφείς τάσης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η φωτοβολταϊκή κυψέλη και κατ' επέκταση η φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει συνεχές ρεύμα (DC). Όμως η διοχέτευση του παραγόμενου ρεύματος στο δίκτυο διανομής προϋποθέτει τη μετατροπή του σε εναλλασσόμενο (AC), συχνότητας 50Hz, τάσης 220 ή 380V (εξαρτάται από την ισχύ που διοχετεύεται). Τη διαδικασία αυτή αναλαμβάνουν οι αντιστροφείς τάσης (inverters), δηλαδή ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος που λόγω του σχεδιασμού τους έχουν μεγάλη αποδοτικότητα σε μερικό και σε πλήρες φορτίο. Οι τύποι των αντιστροφέων είναι τρεις (βλ. Σχήμα 11):

Κεντρικοί (Central inverters): παραλαμβάνουν και μετατρέπουν το σύνολο της ενέργειας που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Χρήση τους γίνεται και σε σχετικά μικρές εγκαταστάσεις. Το κόστος αγοράς είναι χαμηλότερο, όμως αυτό της εγκατάστασης υψηλότερο. Επίσης, σε περίπτωση αστοχίας του αντιστροφέα διακόπτεται η παραγωγή στο σύνολό της (Σιδέρης, 2018).

- Κλάδων (string inverters): φροντίζουν για την παραλαβή και μετατροπή της ισχύος συγκεκριμένης συστοιχίας της Φ/Β εγκατάστασης. Θετικό αποτελεί ότι γίνεται αναστολή της παραγωγής μόνο του κλάδου εκείνου που εξυπηρετούν, επομένως επηρεάζεται μέρος της παραγωγής και όχι το σύνολο. Αποτελεί την κύρια πηγή για εγκαταστάσεις άνω των 100Kw.

-Πλαισίου (micro inverters): χρησιμοποιούνται μόνο σε πολύ μικρές εγκαταστάσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από κάποια ιδιομορφία στην εγκατάσταση. Τέλος, συγκριτικά με τις προαναφερθείσες επιλογές, το κόστος είναι υψηλότερο. (Κανάκης, 2021)

2.8 Λοιπά στοιχεία – συνοδευτικά έργα Φ/Β εγκαταστάσεων

Πέρα από τα βασικά συστατικά στοιχεία μίας Φ/Β εγκατάστασης που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, αξίζει να σημειωθούν επιπλέον στοιχεία που είναι αναγκαία για τη διασύνδεση και λειτουργία της:

- Καλωδιώσεις: για τη σύνδεση των διάφορων στοιχείων. Υπάρχει καλωδίωση συνεχούς και καλωδίωση εναλλασσόμενου ρεύματος.

-Ηλεκτρικοί πίνακες χαμηλής/μέσης τάσης: για τις συνδέσεις και τους χειρισμούς.

-Διατάξεις μέτρησης: για την καταμέτρηση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ισχύος από το δίκτυο. Η εγκατάσταση απαιτεί ρεύμα όλες τις ώρες της ημέρας (για φωτισμό και ασφάλεια εγκατάστασης, κίνηση των tracker K.O.K.) (Κανάκης, 2021)

-Διατάξεις ασφαλείας, όπως κάμερες και συναγερμό.

-Διατάξεις τηλεμετρίας: για την παρακολούθηση και τον χειρισμό της εγκατάστασης.

-Ηλεκτρικοί μετασχηματιστές: για σύνδεση στη μέση τάση.

Ακόμα, για να τοποθετηθούν και να εγκατασταθούν όλα τα μέρη της Φ/Β εγκατάστασης παραγωγής απαιτούνται και οι ακόλουθες διαδικασίες:

- Κατασκευή οδών προσπέλασης, σε περίπτωση που δεν υπάρχουν ή υπάρχουν αλλά είναι σε κακή κατάσταση.

- Κατασκευή θεμελίων των βάσεων ανάρτησης των Φ/Β πλαισίων.

- Κατασκευή οικίσκου που θα φιλοξενεί το υλικό που δεν βρίσκεται ή δεν πρέπει να βρίσκεται εκτεθειμένο. Εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η λύση του προκατασκευασμένου οικίσκου.

- Κατασκευή περίφραξης.

- Εργασίες τοποθέτησης/εγκατάστασης/ σύνδεσης και δοκιμών.

2.9 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η ηλιακή ενέργεια, καθώς και η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων με σκοπό την απορρόφηση αυτής αλλά και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική-μηχανική ενέργεια παρουσιάζουν αναρίθμητα οφέλη/πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά, που εξετάστηκαν και αναδείχτηκαν από τους εκπονούντες της παρούσας εργασίας, παρουσιάζονται στη συνέχεια. Γίνεται κατανοητό πως το εύρος των συγκεκριμένων πλεονεκτημάτων είναι αναρίθμητο όποτε η ανάγκη επιλογής μερικών εξ' αυτών κρίνεται αναγκαία. Τα βασικά οφέλη είναι:

- Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την πλουσιότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη. Προσεγγιστικά 1.8×10^{14} kW απορροφάται από τη γη σε διάφορες μορφές όπως η θερμότητα και το φως, χωρίς κανένα απολύτως κόστος για τον άνθρωπο. Πρόκειται για άφθονο και ανεξάντλητο αγαθό (Crook, 2011).

- Η χρήση της ηλιακής ενέργειας ελαχιστοποιεί τη βλάβη στο περιβάλλον της γης καθώς είναι καθαρή μορφή ενέργειας. Παράλληλα είναι ανανεώσιμη, φθηνή και φιλική προς το περιβάλλον. Βάσει του σημερινού ενεργειακού μείγματος στη χώρα και των μέσων απωλειών του δικτύου, κάθε 1 KWh παραγόμενο από φωτοβολταϊκά έχει ως επακόλουθο να αποφεύγεται έκλυση περίπου 1kg CO₂ στην ατμόσφαιρα. • 1kW φωτοβολταϊκών οδηγεί στην αποφυγή έκλυσης 1,3 tn CO₂. • Για την απορρόφηση 1,3tn CO₂ απαιτείται δάσος δύο στρεμμάτων.
- -Από περιβαλλοντική σκοπιά, η αποφυγή 1,3 τόνων CO₂ ανά έτος είναι ισοδύναμη με τη μείωση των χιλιομέτρων ενός αυτοκινήτου (ετησίως) κατά 7.000 χλμ.
- -Εξασφαλίζεται σχεδόν αθόρυβη λειτουργία, καθώς και αμελητέα οπτική ρύπανση και αντανάκλαση. Υποκαθιστώντας τα ρυπογόνα καύσιμα μέσω των φωτοβολταϊκών μειώνεται πολύ το ποσοστό των εκπομπών επιβλαβών αερίων και λοιπών ρύπων (π.χ. αιωρούμενα μικροσωματίδια, οξείδια αζώτου, ενώσεις θείου Κ.Ο.Κ.).
- Η χρήση της είναι ιδιαίτερα βολική και αποτελεσματική για συστήματα ηλεκτροδότησης χωριών, για βιομηχανικές επιχειρήσεις και για σπίτια που χρησιμοποιούν ηλιακά συστήματα, καθώς είναι εύκολα προσιτή και εφάπτεται γενικότερα των ανθρωπίνων ενεργειακών αναγκών . (Jia Yuting, Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review, 2019)
- Με την αξιοποίηση των Φ/Β συστημάτων εξοικονομούνται χρήματα και αποφεύγονται άσκοπες επενδύσεις. Η διαρκής αύξηση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι εφικτό να καλυφθεί από τους μικρούς ηλεκτροπαραγωγούς, που σημειώνουν σταδιακή αύξηση. Διαφορετικά, η ζήτηση θα καλυπτόταν μόνο με επενδύσεις σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, των οποίων το κόστος είναι αρκετά υψηλό, δεδομένου του τεχνολογικού εξοπλισμού και λαμβάνοντας υπόψη θέματα αναφορικά με την εξάντληση φυσικών πόρων, τις αλλαγές στη χρήση γης κ.λπ.
- Περιορίζονται οι απώλειες μεταφοράς: Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι η παραγωγή όπως και η κατανάλωση ηλεκτρισμού ο οποίος προέρχεται από ηλιακή ενέργεια, γίνονται τοπικά, αποφεύγονται σημαντικές απώλειες που τυχόν θα υπήρχαν κατά τη μεταφορά και τη διανομή του ηλεκτρισμού. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια της τάξης του 10% συγκριτικά με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου (Jia Yuting,

Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review, 2019).

- Εξομάλυνση φορτίων αιχμής: Η μέγιστη παραγωγή ηλιακής ενέργειας συμπίπτει με τις ημερήσιες αιχμές ζήτησης (ιδιαίτερα το καλοκαίρι), συμβάλλοντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στο να αποφεύγονται οι διακοπές ρεύματος και στον περιορισμό όλου του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε διακοπή της μίας ώρας, προκαλεί ζημία στην οικονομία της χώρας που ανέρχεται στα είκοσι πέντε με σαράντα εκατομμύρια ευρώ.
- Αξιοπιστία - Αριθμός Εφαρμογών: Τα Φ/Β συστήματα είναι αθόρυβα, αξιόπιστα, με μακροβιότητα, επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες, αποθηκεύουν την παραγόμενη ενέργεια (στο δίκτυο ή σε μπαταρίες) και θέλουν ελάχιστη συντήρηση.
- Μειώνεται έτσι το κόστος, το μέγεθος, το σχήμα του κτιρίου και παρέχεται κάποια ευελιξία στον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζεται. Είναι δυνατό να αντικαταστήσουν δομικά υλικά (κεραμοσκεπές, υαλοστάσια κ.λπ.). Όσον αφορά τα υαλοστάσια, τα συναντά κανείς σε προσόψεις κτιρίων, με θερμομονωτικές ιδιότητες όπως αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεμψιμότητας (low-e). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται, πέρα από την ηλεκτροπαραγωγή, και η εξοικονόμηση 15-30% ενέργειας συγκριτικά με ένα κτίριο που έχει συμβατικά υαλοστάσια.
- Αειφόρος ανάπτυξη: Στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης είναι φανερό πως τα Φ/Β συστήματα αντιμετωπίζονται τα καλύτερα συστήματα ενεργειακής μετατροπής αφού κάνουν χρήση της πλέον διαθέσιμης πηγής ενέργειας στη γη, δεν αποτελούνται από κινούμενα στοιχεία και παράγουν τη χρησιμότερη ενεργειακή μορφή, τον ηλεκτρισμό (Crook, 2011). Κατά αυτόν τον τρόπο καθίσταται εφικτή η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας ενώ συμβάλουν στην τεχνολογική ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά επίσης προσφέρουν ποιοτικότερο έλεγχο τόσο στον καταναλωτή όσο και στον παραγωγό, παρέχοντας άμεση πρόσβαση σε διάφορα στοιχεία που αφορούν την ενέργεια που παράγεται ή που αντίστοιχα καταναλώνεται. Επομένως ο καταναλωτής-παραγωγός καθίσταται ικανός να γίνει εφόσον ο ίδιος το επιθυμεί πιο συνετός ως προς την ενέργεια που ξοδεύει και άρα να αποκτήσει καλύτερο έλεγχο σκοπεύοντας πάντα στην ορθολογική διαχείριση και στον περιορισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας (Γεώργιος, 2013).
- Πέρα από το γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την ύψιστη πηγή ενέργειας διότι είναι ανεξάντλητη όσο υφίσταται η ύπαρξη του ηλίου, είναι επίσης και ευρέως διαδεδομένη σε κάθε μέρος του πλανήτη. Είτε ο άνθρωπος

βρίσκεται στο χωριό ή στην πόλη, στην έρημο ή μέσα στη βλάστηση, στο βουνό ή στη θάλασσα η ηλιακή ενέργεια είναι εύκολα αξιοποιήσιμη.

- Σε αντίθεση με άλλες πηγές ενέργειας, όπου για την εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους χρησιμοποιούνται τεράστια αντλιοστάσια και δίκτυα, στην ηλιακή ενέργεια ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την απορρόφηση και επεξεργασία της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απλούστατος, μιας και εφόσον το μόνο που απαιτείται για τη συλλογή της είναι ένας ηλιακός συλλέκτης. Επομένως στην ηλιακή ενέργεια δεν είναι απρόσιτο το κόστος εγκατάστασης και μια τέτοια επένδυση διέπεται συνήθως από χαμηλό κόστος λειτουργίας.
- Οι τιμές των ορυκτών καυσίμων συνεχώς παρουσιάζουν διακυμάνσεις μιας και στην παγκόσμια αγορά η προσφορά και η ζήτηση διαφέρει από μέρα σε μέρα και τόπο σε τόπο. Αντί αυτού στην ηλιακή ενέργεια έχουμε άφθονες ποσότητες ενέργειας, ικανές να καλύψουν ολοκληρωτικά τις ανάγκες των ανθρώπων, αφήνοντας έτσι τον παράγοντα της τιμής ανεξάρτητο από την εκάστοτε προσφορά και τη ζήτηση
- Η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα να απελευθερώνονται επιβλαβή αέρια και λοιπά υποπροϊόντα, γεγονός που οδηγεί στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος, ενώ η ηλιακή ενέργεια δεν δημιουργεί ρύπανση και αποτελεί μία 100% φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή πηγή.

Πέρα από τα διάφορα πλεονεκτήματα που διέπουν την φωτοβολταϊκή τεχνολογία, αυτό το σύστημα μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική παρουσιάζει ορισμένα γενικά προβλήματα, όπως χαλάζι, σκόνη και θερμοκρασία λειτουργίας επιφάνειας, τα οποία επιδρούν αρνητικά στην απόδοση του συστήματος μετατροπής. Οι εξωγενείς κλιματολογικές παράμετροι (π.χ. ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, σκόνη, ηλιακή ακτινοβολία) είναι οι πιο συνηθισμένοι φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας μιας φωτοβολταϊκής μονάδας. Κάθε αύξηση της θερμοκρασίας επιφάνειας 1°C της φωτοβολταϊκής μονάδας προκαλεί μείωση της απόδοσης κατά 0,5%. Επομένως, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, δεν μετατρέπεται όλη η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα σε ηλεκτρική ενέργεια. Για να ικανοποιήσει το νόμο της αρχής διατήρησης της ενέργειας, η υπόλοιπη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Οι συνέπειες αυτής της σπατάλης θερμότητας επιφέρουν μείωση της συνολικής απόδοσης μετατροπής (Siecker J., A review of solar photovoltaic systems cooling technologies, 2017). Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα μερικά από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα ταμίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης:

- Το σημαντικότερο αρνητικό των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι το υψηλό επενδυτικό κεφάλαιο, που οφείλεται στα υλικά που είναι απαραίτητα για την παραγωγή τους. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό μετριάζεται, καθώς στο μέλλον προβλέπεται σταδιακά να περιοριστεί το κόστος παραγωγής και να αυξηθεί το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η εγκατάστασή τους απαιτεί πολύ χώρο, ώστε η παραγωγή ενέργειας να πραγματοποιείται σε ικανοποιητικά επίπεδα.
- Επίσης, οι νεφώσεις και η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας.
- Τη νύχτα δεν πραγματοποιείται παραγωγή ενέργειας, άρα στα αυτόνομα συστήματα υπάρχει ανάγκη για συσσωρευτές.
- Κυμαινόμενη απόδοση κατά την διάρκεια του έτους

2.10 Δείκτες Μέτρησης της αποδοτικότητας ενός φωτοβολταϊκού έργου

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού έργου επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, ο συνδυασμός των οποίων οφείλει να είναι ο καταλληλότερος για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης. Η απόδοση ενός συστήματος είναι πλήρως μετρήσιμη μέσω της μαθηματικής προσέγγισης και είναι απόρροια διάφορων παραγόντων: του ήλιου, της θερμοκρασίας, της γωνίας κλίσης, του τύπου του φωτοβολταϊκού στοιχείου κ.λπ. Τα πλαίσια μετρούνται σε Standard Test Condition (STC) με ηλιοφάνεια 1.000W/m^2 , σε μηδενική κλίση, 1.5 αέρια μάζα και 25°C θερμοκρασία κελιού. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στα τεχνικά εγχειρίδια παρατίθενται τα ηλεκτρικά μεγέθη των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

ΒΑΣΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

- Ονομαστική ισχύς/Ισχύς αιχμής – P_{mpp} [W]
- Απόδοση πλαισίου/efficiency - η (%)
- Τύπος κονέκτορα
- Τύπος κελιού
- FillFactor (%)

- Ονομαστική τάση/Τάση σημείου μέγιστης ισχύος – V_{mpp} [V]
- Ονομαστικό ρεύμα/Ρεύμα σημείου μέγιστης ισχύος – I_{mpp} [A]
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος – V_{oc} [V]
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης – I_{sc} [A]
- Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος - P_{mpp} [(-)% / °C]
- Θερμοκρασιακός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης – I_{sc} [(+)% / °C]
- Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσεως ανοιχτού κυκλώματος – V_{oc} [(-) % / °C]
- Ανοχή ακρίβειας μέτρησης P_{mpp} σε STC [(+/-) %]
- Μέγιστη τάση συστήματος [V]
- Μέγιστο ρεύμα επιστροφής [A]

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη ενός Φ/Β στοιχείου.

[2] Μέγιστη ονομαστική ισχύς P_m (Watt): Η μέγιστη ισχύς εξόδου από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ σε STC, η οποία συνήθως αναγράφεται στην πινακίδα τύπου του πάνελ. Η πραγματική ισχύς εξόδου μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$P_{real} = P_m * S / 1000 * [1 - \lambda(T_{cell} - 25)] \quad T_{cell} = T_{ambient} + S / 800 * (T_{NOCT} - 20)$$

όπου S - η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του πάνελ,

$T_{ambient}$ - η θερμοκρασία περιβάλλοντος,

T_{NOCT} - η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου και

λ - ο συντελεστής θερμοκρασίας μέγιστης ισχύος.

Αποδοτικότητα πάνελ (%): Δηλαδή, ποιο ποσοστό της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει στο πάνελ μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της απόδοσης, τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε ένα δεδομένο χώρο. Πρέπει να γνωρίζετε, ωστόσο, ότι η απόδοση των ηλιακών κυψελών δεν ισούται με την απόδοση του πάνελ. Η απόδοση του πάνελ είναι συνήθως 1 έως 3% χαμηλότερη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου λόγω της αντανάκλασης του γυαλιού, της σκίασης του πλαισίου, των υψηλότερων θερμοκρασιών κ.λπ.

Συντελεστής πλήρωσης (%): Ο λόγος της πραγματικής ονομαστικής μέγιστης ισχύος P_m προς τη θεωρητική (όχι πραγματικά εφικτή) μέγιστη ισχύ ($I_{sc}V_{oc}$). Πρόκειται για βασική παράμετρο για την αξιολόγηση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών. Οι τυπικοί εμπορικοί ηλιακοί συλλέκτες έχουν συντελεστή πλήρωσης $> 0,70$, ενώ οι

ηλιακοί συλλέκτες κατηγορίας B έχουν συντελεστή πλήρωσης από 0,4 έως 0,7. Ένας ηλιακός συλλέκτης με υψηλότερο συντελεστή πλήρωσης έχει λιγότερες απώλειες λόγω των σειριακών και παράλληλων αντιστάσεων εντός των ίδιων των κυψελών.

Τύπος συνδέσμου: Διαμόρφωση καλωδίου/συνδέσμου. Οι περισσότεροι πίνακες διατίθενται με βύσματα "plug and play", ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες, για να μειωθεί ο χρόνος εγκατάστασης στο πεδίο. Τύπος κυψέλης: Ο τύπος πυριτίου που περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη κυψέλη, με βάση τη διαδικασία κατασκευής της κυψέλης. Κάθε τύπος κυψέλης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι τα πιο ακριβά και ενεργοβόρα στην παραγωγή, αλλά συνήθως αποδίδουν τις υψηλότερες αποδόσεις. Αν και τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα και τα κύτταρα πυριτίου κορδέλας είναι ελαφρώς λιγότερο ενεργοβόρα και λιγότερο ακριβά στην παραγωγή, τα κύτταρα αυτά είναι ελαφρώς λιγότερο αποδοτικά από τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα. Ωστόσο, επειδή τόσο τα πάνελ πολυκρυσταλλικού όσο και τα πάνελ πυριτίου κορδέλας αφήνουν λιγότερα κενά στην επιφάνεια του πάνελ (λόγω των τετραγωνικών ή ορθογώνιων σχημάτων των κυττάρων), τα πάνελ αυτά μπορούν συχνά να προσφέρουν περίπου την ίδια πυκνότητα ισχύος με τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία. Τα πάνελ λεπτής μεμβράνης, όπως αυτά που κατασκευάζονται από κύτταρα άμορφου πυριτίου, είναι τα λιγότερο ακριβά στην παραγωγή και απαιτούν τη μικρότερη ποσότητα ενέργειας και πρώτων υλών υλικά, αλλά είναι οι λιγότερο αποδοτικοί από τους τύπους κυψελών. Χρειάζονται δύο φορές περισσότερο χώρο για την παραγωγή ίδιας ισχύος με τα πάνελ μονο-, πολυ- ή ταινιοπυριτίου. Τα πάνελ λεπτής μεμβράνης έχουν καλύτερη ανοχή στις σκιές και απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά είναι συχνά ακριβότερα στην εγκατάσταση λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας ισχύος τους. Τα "διφασικά" πάνελ HIT της Sanpo αποτελούνται από ένα μονοκρυσταλλικό στοιχείο και ένα λεπτό στρώμα άμορφου υλικού πυριτίου. Εκτός από την παραγωγή ενέργειας από τις άμεσες ακτίνες του ήλιου στην πρόσοψη του πάνελ, αυτό το υβριδικό πάνελ μπορεί να παράγει ενέργεια από το ανακλώμενο φως στην κάτω πλευρά του, αυξάνοντας τη συνολική απόδοση του πάνελ.

Μέγιστη τάση ισχύος V_{mp} : Η τάση στην οποία ένας πίνακας αποδίδει τη μέγιστη ισχύ. Οι μετατροπείς που συνδέονται με το δίκτυο και οι ελεγκτές φόρτισης MPPT είναι κατασκευασμένοι για να παρακολουθούν το σημείο μέγιστης όλων τις ώρες της μέρας και η V_{mp} κάθε συστοιχίας πάνελ, καθώς και οι θερμοκρασίες λειτουργίας της συστοιχίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση μιας συστοιχίας σε έναν συγκεκριμένο μετατροπέα ή ελεγκτή. Τα προγράμματα λογισμικού διαστασιολόγησης σειρών σειράς για μετατροπείς συνδεδεμένους στο δίκτυο σας επιτρέπουν να εισάγετε και τις ψηλές και τις χαμηλές θερμοκρασίες στο χώρο εγκατάστασης και να υπολογίζετε τον σωστό αριθμό πλαισίων σε σειρά για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος. Ρεύμα μέγιστης ισχύος I_{mp} : Η μέγιστη

ένταση ρεύματος όπου ένα πάνελ αποδίδει τη μέγιστη ισχύ. Αυτή η προδιαγραφή χρησιμοποιείται συνηθέστερα στους υπολογισμούς για τη σήμανση αποσύνδεσης φωτοβολταϊκών συστοιχιών που απαιτείται από το άρθρο 690.53 παράγραφος 1 του NEC, καθώς πρέπει να αναγράφεται το ονομαστικό μέγιστο ρεύμα ισχύος-σημείου για τη συστοιχία. Το ρεύμα μέγιστης ισχύος χρησιμοποιείται επίσης σε υπολογισμούς διαστασιολόγησης συστοιχιών και ελεγκτών φόρτισης για φωτοβολταϊκά συστήματα που βασίζονται σε μπαταρίες. Τάση ανοικτού κυκλώματος Voc: Η μέγιστη τάση που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ εκτεθειμένο στο ηλιακό φως χωρίς συνδεδεμένο φορτίο. Όλα τα κύρια εξαρτήματα του ΦΒ συστήματος (πλαίσια, καλωδίωση, μετατροπείς, ελεγκτές φόρτισης κ.λπ.) είναι ονομαστικά για να διαχειρίζονται μια μέγιστη τάση. Η μέγιστη τάση του συστήματος πρέπει να υπολογίζεται κατά τη διαδικασία σχεδιασμού, ώστε να διασφαλίζεται ότι όλα τα εξαρτήματα έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν την υψηλότερη τάση που μπορεί να υπάρχει. Υπό ορισμένες συνθήκες χαμηλού φωτισμού (αυγή/σκότος), είναι δυνατόν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα να λειτουργεί κοντά στην τάση ανοικτού κυκλώματος. Η φωτοβολταϊκή τάση αυξάνεται όταν πέφτει η θερμοκρασία του αέρα, οπότε η Voc χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ιστορικά δεδομένα χαμηλής θερμοκρασίας για τον υπολογισμό της απόλυτης μέγιστης τάσης του συστήματος. Η μέγιστη τάση του συστήματος πρέπει να αναγράφεται στην ετικέτα αποσύνδεσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας που απαιτείται από τον κώδικα NEC. Ρεύμα βραχυκύκλωσης Isc: Η μέγιστη ένταση ρεύματος που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο εκτεθειμένο στο ηλιακό φως με βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες εξόδου. Το μέγεθος του καλωδίου του ΦΒ κυκλώματος και οι υπολογισμοί της προστασίας από υπερένταση (ασφάλειες και διακόπτες) σύμφωνα με το άρθρο 690.8 του NEC βασίζονται στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του πίνακα. Ο (οι) αποζεύκτης(-ες) του φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να αναφέρει(-ουν) το ρεύμα βραχυκυκλώματος (σύμφωνα με το NEC 690.53). Συντελεστής θερμοκρασίας ρεύματος βραχυκύκλωσης α (%/°C): Η μεταβολή του ρεύματος βραχυκύκλωσης του πίνακα ανά βαθμό Κελσίου σε θερμοκρασίες εκτός των 25°C. Χρησιμοποιείται συνηθέστερα για τον υπολογισμό του μέγιστου ρεύματος του συστήματος (σύμφωνα με το άρθρο 690.7 του NEC) για σκοπούς σχεδιασμού και επισημάνσης του συστήματος. Για παράδειγμα, θεωρήστε μια σειριακή σειρά από δέκα πίνακες 8A (Isc) που έχουν εγκατασταθεί σε μια τοποθεσία με θερμοκρασίες ρεκόρ 15°C. Με δεδομένο συντελεστή θερμοκρασίας Isc 0,04%/°C), η μείωση του ρεύματος θα είναι 0,32A, με αποτέλεσμα το συνολικό μέγιστο ρεύμα του συστήματος να είναι 7,68A. Συντελεστής θερμοκρασίας τάσης ανοικτού κυκλώματος β (%/°C): Η μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος του πίνακα σε θερμοκρασίες εκτός των 25°C. Συντελεστής θερμοκρασίας μέγιστης ισχύος δ (%/°C): Η μεταβολή της ισχύος εξόδου του πίνακα για θερμοκρασίες διαφορετικές από 25°C.18

2.11 Επισκόπηση Νομοθετικού Πλαισίου Φωτοβολταϊκών Έργων στην Ελλάδα

Πέραν των τεχνικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται για τη δημιουργία μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ως προς την παραγωγικότητα και τη μέγιστη αποτελεσματικότητα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα διαδικαστικά θέματα ως προς την αδειοδότηση μίας τέτοιας επένδυσης στη χώρα μας. Σύμφωνα με το ΤΕΕ δεν δίνονται πλέον επιδοτήσεις ως προς το αρχικό κεφάλαιο για την εγκατάσταση και τη διασύνδεση μίας επένδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, συνεπώς ο υποψήφιος επενδυτής χρειάζεται πριν ξεκινήσει τη διαδικασία αδειοδότησης να αναζητήσει πληροφορίες για το επενδυτικό κόστος και να εξετάσει την πιθανότητα χρηματοδότησης από το τραπεζικό σύστημα ή από τον ίδιο. Υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες αδειοδότησης φωτοβολταϊκών έργων ανάλογα με τον χώρο εγκατάστασης (στέγες κτιρίων, βιομηχανικές στέγες, αγροτεμάχια) αλλά και την παραγόμενη ισχύ σε κιλοβατώρες. Ενδεικτικά, αναφέρεται η διαδικασία έκδοσης άδειας για συστήματα που εδράζονται στο έδαφος καθώς τέτοιου είδους φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ληφθεί από τους εκπονούντες φοιτητές προς διερεύνηση και αξιολόγηση.

Η διαδικασία που ακολουθείται για συστήματα με ισχύ έως 500 kWp:

Η Περιφέρεια χορηγεί βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) (εξαίρεση αποτελούν τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων). Ακόμα, απαιτείται η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ, καθώς και η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για συστήματα που η ισχύς τους κυμαίνεται από 500 kWp έως 1.000 kWp (1 MWp) η διαδικασία είναι η εξής:

Η Περιφέρεια χορηγεί Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) (εξαίρεση αποτελούν τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων). Επόμενα βήματα είναι η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την πολεοδομία, η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και, τέλος, η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp η διαδικασία είναι η εξής:

Πρώτα απαιτείται να εκδοθεί άδεια παραγωγής από τη ΡΑΕ, έπειτα η άδεια για την εγκατάσταση η οποία εγκρίνεται από την Περιφέρεια (βασική προϋπόθεση και η έγκριση ΕΠΟ εφόσον αυτή κριθεί απαραίτητη), η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής

κλίμακας από την πολεοδομία, η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ, η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ και, τέλος, η έκδοση άδειας λειτουργίας από την Περιφέρεια.

2.12 Καταγραφή κριτηρίων για αξιολόγηση και σύντομη περιγραφή της διαδικασίας

Για την αξιολόγηση κάθε επιχείρησης είναι απαραίτητο να διερευνηθούν τα κριτήρια που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα ώστε τελικά η ίδια η επένδυση να κριθεί ως συμφέρουσα ή μη συμφέρουσα για τον πιθανό επενδυτή. Στην παρούσα όμως εργασία, μιας και η εν λόγω επιχείρηση είναι φωτοβολταϊκό έργο έχει ιδιαίτερη σημασία να διερευνηθούν τα συγκεκριμένα κριτήρια που την αφορούν. Για τον λόγο αυτό και καθώς τα κριτήρια είναι ευμετάβλητα ανάλογα με την προσωπικότητα του επενδυτή και την προσωπική ιεράρχηση των αναγκών του, παρατίθενται μερικοί επιστήμονες οι οποίοι έχουν ασχοληθεί με τα εν λόγω κριτήρια και λόγω εμπειρίας και εκτεταμένης έρευνας μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστοι.

2.12.1 Καταγραφή κριτηρίων για αξιολόγηση Φωτοβολταϊκών έργων

Τα κριτήρια που αναγνωρίζονται ως πιο σημαντικά σε ένα φωτοβολταϊκό έργο σύμφωνα με τους Baló, F., & Szabán, L. (2016) ορίζονται ως ηλεκτρικά (50.5%) , μηχανικά (23.5%), οικονομικά (13.8%), κριτήρια που αφορούν τον ίδιο τον πελάτη (7.7%) και περιβαλλοντολογικά (4.5%).³ Στο επόμενο βήμα, κάθε γκρουπ υποκριτηρίου του κάθε κριτηρίου πρέπει να συγκριθεί δύο με δύο. Π.χ. στο υποκριτήριο που σχετίζεται με τα ηλεκτρικά μεγέθη, κάθε ζεύγος υποκριτηρίου συγκρίνεται έχοντας ως βασικό γνώμονα τη σημασία του με σεβασμό πάντα στα ηλεκτρικά κριτήρια. Προκύπτουν ως αποτελέσματα τα βάρη για τα κριτήρια βασισμένα σε συγκρίσεις κατά ζεύγη. Σε αυτό το σημείο η σύγκριση για το “ηλεκτρικό κριτήριο” έγινε, και από την μέθοδο προέκυψαν οι τοπικές “προτεραιότητες” για το συγκεκριμένο γκρουπ. Αυτές οι “προτεραιότητες” αντανakλούν στο κατά πόσο ένα υποκριτήριο συμβάλλει στην προτεραιότητα του κυρίαρχου κριτηρίου από το οποίο προέρχεται και έτσι χρειάζεται να υπολογιστεί η συνολική προτεραιότητα του κάθε υποκριτηρίου. Αυτό θα μας δείξει την “προτεραιότητα” του κάθε υποκριτηρίου με σεβασμό στο γενικό στόχο. Οι γενικές προτεραιότητες μέσω της ιεράρχισής τους καταλήγουν σε μία. Οι γενικές προτεραιότητες του κάθε ηλεκτρικού υπο-κριτηρίου υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τις τοπικές προτεραιότητες δίνοντας

προτεραιότητα στο ηλεκτρικό κριτήριο criterion. Στην υποκατηγορία των οικονομικών, υπάρχουν τρία υπο-κριτήρια, τα οποία είναι το κόστος ανά watt, το συνολικό κόστος της επένδυσης και η διαθέσιμη κρατική υποστήριξη. Αυτά τα στοιχεία συγκρίνονται στο κατά πόσο είναι σημαντικά με σεβασμό στο οικονομικό κριτήριο. Οι περιβαλλοντολογικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη αφορούν την περιοχή που απαιτείται για την εγκατάσταση των πάνελ αλλά και περιβαλλοντικές επιδράσεις του υλικού από το οποίο αυτά κατασκευάζονται. Η σύγκριση αυτών των στοιχείων με σεβασμό στον παράγοντα του περιβάλλοντος οδηγεί στα αποτελέσματα βάρη. Τέλος, υπάρχουν τρία υπο-κριτήρια στην υποομάδα ικανοποίησης πελατών τα οποία είναι το σέρβις, τα ανταλλακτικά και η αξιοπιστία. Αυτά τα στοιχεία συγκρίνονται ως προς το κατά πόσο προσθέτουν αξία στην ικανοποίηση του πελάτη.

Μετά τον καθορισμό των προτεραιοτήτων κάθε κριτηρίου σε σχέση με τον γενικό στόχο της επιλογής του καλύτερου ηλιακού πάνελ και τις προτεραιότητες των υπο-κριτηρίων σε σχέση με τα σχετικά βασικά κριτήρια, οι εναλλακτικές του πάνελ πρέπει να συγκριθούν δύο προς δύο σε σχέση με κάθε υπο-κριτήριο. Προκειμένου να μετρηθεί η ικανοποίηση των πελατών από τα ηλιακά πάνελ, ορίζονται τρία υπο-κριτήρια: εξυπηρέτηση πελατών, διαθέσιμα ανταλλακτικά και αξιοπιστία της εταιρείας. Η εξυπηρέτηση εκτιμάται ότι σχετίζεται θετικά με τον αριθμό των διαθέσιμων καταστημάτων για κάθε εταιρεία. Τα ανταλλακτικά μετρώνται από τα επίπεδα αποθεμάτων των εταιρειών ενώ η αξιοπιστία μετράται από τα μερίδια αγοράς και τις πωλήσεις τους. Οι εταιρείες κατατάσσονται από το 1 μέχρι το 4 για να μπορούν να δημιουργήσουν ένα μέσο σύγκρισης.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Electrical Characteristics						
PTC power rating (W)	175	180	179	184.8	177.5	185.9
STC Power per unit of area (W/m ²)	142.1	156.7	136.5	156.7	135.1	172.3
Peak Efficiency (%)	14.21	15.67	14.2	15.67	13.5	17.2
Power Tolerances (%)	-9/+9	0/+3	-3/+32	0/+5	-3/+3	0/+10
Number of Cells	50	72	54	72	54	96
Imp (A)	8.16	5.42	7.89	5.17	7.60	5.59
Vmp (V)	24.50	36.90	25.38	38.70	26.30	55.80
Isc (A)	8.70	5.80	8.24	5.50	8.22	3.83
Voc (V)	30.80	45.60	33.53	45.90	33.30	68.70
NOCT (°C)	-	45	-	45	-	-
Temp. Coefficient of Power (%/K)	-0.50	-0.40	-0.50	-0.38	-0.45	-0.29
Temp. Coefficient of Voltage (V/K)	-0.5	-0.4	-0.5	-0.38	-0.45	-0.17
Series Fuse Rating (A)	15	10	15	15	15	15
Maximum System Voltage (V)	600	1000	600	1000	600	600
Lower energy density (W/m ²)	11.52	11.95	11.82	13.28	11.26	14.89
Mechanical Characteristics						
Length* Width* Depth (mm)	1679.4*838.2*50	1580*808*35	1481*989*47	1580*808*35	1495*990*50	1319*880*46
Frame Color	bronze	clear	black	clear	clear	black
Weight (kg)	15.4	14.5	35	15.5	18	15
Financial Properties						
Support of gov	0.30	0.33	0.32	0.35	0.32	0.36
Price (\$)	300	300	499	300	319	600
Cost per Watt (\$)	1.05	1.05	1.75	1.05	1.05	2.10
Environment						
Area (sqm)	1.40	1.27	1.46	1.27	1.48	1.16
Material	Polycryst.	Monocryst.	Monocryst.	Monocryst.	Polycryst.	Monocryst.
Customer Satisfaction						
Service support	3	1	6	5	2	4
Spare part	5	2	6	4	1	3
Reliability	5	2	6	4	3	1

Πίνακας 2: Πίνακας βαθμονόμησης βαρών κριτηρίων (Maystre, Pictet, & Simos, 1994)

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς παρουσιάζονται οι σχετικές προτεραιότητες που αντιστοιχούν στην ελκυστικότητα κάθε ηλιακού πάνελ σχετικά με όλους τους παράγοντες ηλεκτρικής, μηχανικής, οικονομικής, περιβαλλοντικής και ικανοποίησης πελατών. Οι συνολικές ηλεκτρικές προτεραιότητες των πινάκων υποδεικνύουν ότι το P6 είναι ο πίνακας που συμβάλλει περισσότερο στον συνολικό στόχο όσον αφορά τις ηλεκτρικές ιδιότητες με συνολική προτεραιότητα 0.173. Σύμφωνα με τις παγκόσμιες μηχανικές προτεραιότητες των πάνελ, το P6 είναι και πάλι το καλύτερο πάνελ που συμβάλλει τα μέγιστα στον συνολικό στόχο της επιλογής του καλύτερου ηλιακού πάνελ. Οι παγκόσμιες οικονομικές προτεραιότητες των πάνελ υποδεικνύουν ότι το P4 έχει την υψηλότερη παγκόσμια προτεραιότητα όσον αφορά τα οικονομικά ζητήματα, αν και το χάσμα με τα υπόλοιπα πάνελ είναι πολύ μικρό. Το P6, ωστόσο, έχει τη χαμηλότερη βαθμολογία σε αυτή την κατηγορία. Οι περιβαλλοντικές προτεραιότητες δείχνουν ότι το P6 είναι για άλλη μια φορά η πρώτη ομάδα προς τον γενικό στόχο. Οι προτεραιότητες που σχετίζονται με την εξυπηρέτηση πελατών υποδεικνύουν ότι το P2 συμβάλλει περισσότερο στον συνολικό στόχο, ενώ το P6 κατατάσσει το δεύτερο. Συνολικά, προσθέτοντας τις παγκόσμιες προτεραιότητες σε όλες τις κατηγορίες, τα αποτελέσματα που προέκυψαν υποδεικνύουν ότι το μοντέλο P6 είναι η εναλλακτική λύση που συμβάλλει τα μέγιστα στον στόχο της επιλογής του καλύτερου ηλιακού πάνελ που ικανοποιεί όλα τα επιλεγμένα κριτήρια (Figen Balo, 2016).

Από την άλλη τα εν λόγω κριτήρια κατατάσσονται και ταξινομούνται διαφορετικά σύμφωνα με τον García-Cascales,et.al (2012).⁴Τα ενεργειακά ζητήματα που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν ενεργειακό σχεδιασμό και , κατανομή ενεργειακών πόρων , ενεργειακή εκμετάλλευση , ενεργειακή πολιτική , διαχείριση ενέργειας , ενεργειακά συστήματα μεταφορών και άλλα . Οι αναθεωρημένες βιβλιογραφίες που καλύπτονται είναι τόσο θεωρητικές/εννοιολογικές όσο και εμπειρικές. Ο συγκεκριμένος μελετητής επικεντρώνεται ιδιαίτερα στην επιλογή συστημάτων παροχής ενέργειας. Τα αναθεωρημένα άρθρα έχουν διαφορετικά συστήματα παροχής ενέργειας, όπως συστήματα συνδυασμένης θέρμανσης και ισχύος ή συνδυασμένης ψύξης θέρμανσης και ισχύος , συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και διαφορετική εστίαση όπως αξιολόγηση τεχνολογικής, οικονομικής και βιωσιμότητας, αντικειμενική και υποκειμενική σύγκριση, ο αντίκτυπος στο βιοτικό επίπεδο και η ανάλυση ευαισθησίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής κ.λπ.

Η μέτρηση της βιωσιμότητας των συστημάτων ενεργειακού εφοδιασμού είναι μείζον ζήτημα καθώς και κινητήρια δύναμη της συζήτησης για την ανάπτυξη της βιωσιμότητας. Η ανάπτυξη κριτηρίων αξιολόγησης και μεθόδων που μετρούν αξιόπιστα τη βιωσιμότητα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής λύσης, τον εντοπισμό μη βιώσιμου συστήματος παροχής ενέργειας, την ενημέρωση των σχεδιαστών για τις ολοκληρωμένες επιδόσεις των εναλλακτικών λύσεων και την παρακολούθηση των επιπτώσεων στο κοινωνικό περιβάλλον. Η πολλαπλότητα των κριτηρίων και των εργαλείων μέτρησης που αναπτύσσονται σε αυτό το ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο δείχνει τη σημασία της εννοιολογικής και μεθοδολογικής εργασίας σε αυτόν τον τομέα. Η ανάπτυξη και η επιλογή των κριτηρίων απαιτεί παραμέτρους που σχετίζονται με την αξιοπιστία, την καταλληλότητα, την πρακτικότητα και τους περιορισμούς της μέτρησης.

Πτυχές Κριτήρια

Συνολικός αριθμός

Τεχνικός

Αποδοτικότητα	15
Αποτελεσματικότητα εξεργασίας	3
Αναλογία πρωτογενούς ενέργειας	4
Ασφάλεια	9
Αξιοπιστία	9
Λήξη	3

Οικονομικός

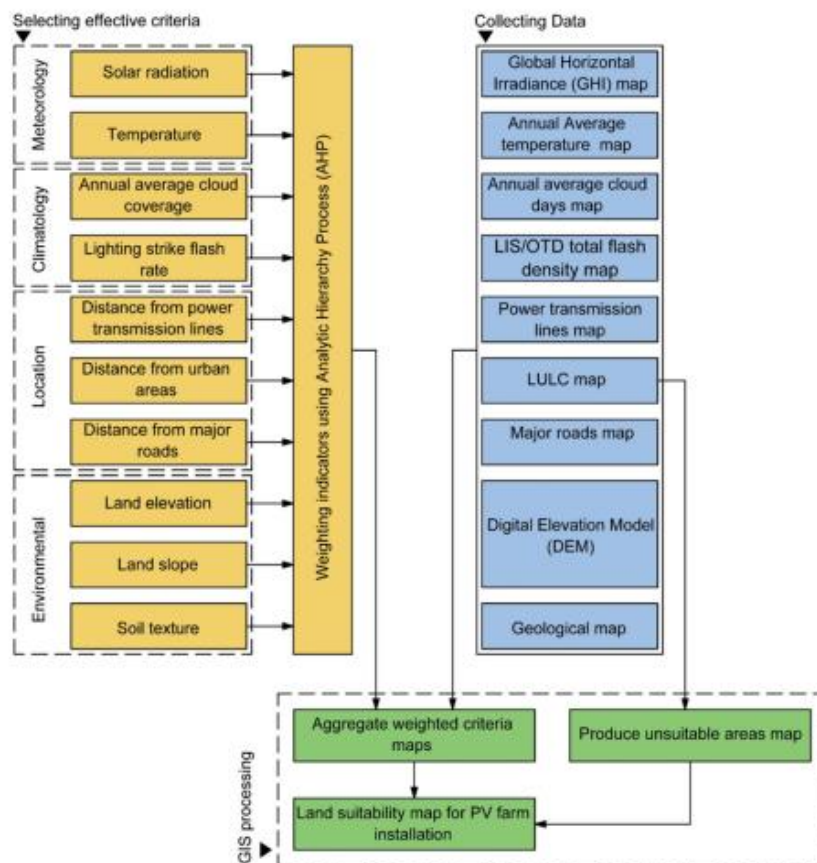
Κόστος επένδυσης	24
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	13
Κόστος καυσίμων	9
Ηλεκτρικό κόστος	7
Καθαρή παρούσα αξία (NPV)	5
Περίοδος απόσβεσης	4
Διάρκεια ζωής	4
Ισοδύναμο ετήσιο κόστος	4

Περιβαλλοντική εκπομπή	12
εκπομπή CO ₂	21
Εκπομπές CO	3
εκπομπή SO ₂	8
Εκπομπή σωματιδίων	5
Πτητικές οργανικές ενώσεις μη μεθανίου	3
Χρήση της γης	10
Θόρυβος	6

Κοινωνικός

Κοινωνική αποδοχή	4
Τη δημιουργία θέσεων εργασίας	9
Κοινωνικές παροχές	5

Σε μία τρίτη προσπάθεια βαθμονόμησης και καταγραφής κριτηρίων οι Bahaa Elboshy & Mamdooh Alwetaishi δημιουργούν τον παρακάτω πίνακα ο οποίος εμφανίζει 4 βασικά κριτήρια με διαφορετικά υποκριτήρια από τους άλλους δύο ερευνητές. Τα κριτήρια αυτά χωρίζονται σε μετεωρολογικά, κλιματολογικά, τοποθεσίας και περιβαλλοντικά.



Πίνακας 3: Καταγραφή κριτηρίων και υποκριτηρίων (Michael Doumpos, 1998)

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα κάθε γκρουπ κριτηρίων απαρτίζεται από τα υποκριτήρια του και για την βαθμονόμηση όλων αυτών των βαρών πρέπει να υπάρξουν τα αντίστοιχα δεδομένα. Στην εν λόγω μελέτη, που είναι και η πιο πρόσφατη, η καταγραφή των ακριβή δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι και αυτή που τη διαφοροποιεί από τις άλλες δύο, όχι ως προς τη διαδικασία που ακολουθήθηκε αλλά ως προς την αξιοπιστία που παρέχεται.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψιν όλα τα δεδομένα και τα κριτήρια τα οποία επιλέχθηκαν μορφώθηκε ο παρακάτω πίνακας με την εξαγωγή των βαρών.

Criteria	Rank	Range	Reference	Weight
Solar radiation (kWh.m ⁻² . year ⁻¹)	Very low	less than 1330	[13,16,19]	27.0%
	Low	1700–1900		
	Moderate	1900–2000		
	High	2000–2100		
	Very high	>2100		
Annual Average Temperatures (C)	Very low	24–25	[13,16]	14.9%
	Low	25–26		
	Moderate	26–27		
	High	27–28		
	Very high	>28		
Distance from power transmission lines (km)	Very low	20–50	[13,16]	10.8%
	Low	15–20		
	Moderate	10–15		
	High	5–10		
	Very high	0–5		
Distance from Urban (residential area) (km)	Very low	30–45	[13,16]	10.1%
	Low	20–30		
	Moderate	15–20		
	High	10–15		
	Very high	3–10		
Average annual cloudy days	Very low	170–120	[16]	10.4%
	Low	120–80		
	Moderate	80–50		
	High	50–30		
	Very high	30–12		
Elevation (m)	Very low	200–0	[16]	5.1%
	Low	450–200		
	Moderate	750–450		
	High	1200–750		
	Very high	1200–2200		
Slope (%)	Very low	4–11	[13,17,19,33]	6.5%
	Low	3–4		
	Moderate	2–3		
	High	1–2		
	Very high	less than 1		
Soil texture	Very low	Fine	[17,19]	3.5%
	Moderate	Medium		
	Very high	Coarse		
	Very low	30–50		
	Low	20–30		
Distance from major roads (km)	Moderate	10–20	[13,14]	4.4%
	High	5–10		
	Very high	0–5		
	Very low	> 80		
	Low	40–80		
Lightning Strike flash rate (fl.km ⁻² .y ⁻¹)	Moderate	10–40	[28,37]	7.3%
	High	2.5–10		
	Very high	0.625–2.5		
	Very low	> 80		
	Low	40–80		

Πίνακας 4: Πίνακας καταγραφής κριτηρίων, υποκριτηρίων και αντίστοιχων βαρών (Bernard ROY, 1993)

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω μελέτες των García-Cascales και Balo, F., & Şağbanşua, τα κριτήρια που προέκυψαν και η αντίστοιχη βαθμονόμηση τους τέθηκαν σε αμφισβήτηση ως προς τα βάρη τους. Στην πραγματικότητα για τις ανάγκες της πτυχιακής λήφθηκε ένας συνδυασμός των πιο πάνω, δηλαδή πραγματοποιήθηκε μία γενίκευση και απαλοιφή μερικών από τις πιο ειδικές περιπτώσεις κριτηρίων. Έτσι μορφώθηκε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο γκρουπ κριτηρίων που συμπεριλαμβάνει τα διάφορα υποκριτήρια με σεβασμό στις μελέτες των ειδικών αλλά και την σύμφωνη γνώμη των ενδιαφερόμενων εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Άλλωστε τα κριτήρια, μπορούν από τη μία να χαρακτηριστούν ως έγκυρα λόγω τις αδιαμφισβήτητης εμπειρίας των ειδικών και της εκτεταμένης μελέτης τους επί του θέματος, σε καμία περίπτωση όμως δεν μπορούν να θεωρηθούν καθολικά μίας και υπάρχουν έντονες μεταβολές στο περιβάλλον μια επένδυσης φωτοβολταϊκών έργων που διαφοροποιούν τόσο τις επενδύσεις αυτές μεταξύ τους όσο και με τις ίδιες τις επενδύσεις συγκριμένες σε διαφορετική χρονική

περίοδο. Επομένως οι επενδύσεις αυτές δρουν σε ένα πλαίσιο αστάθμητο και καμία θεωρία δεν μπορεί να τις συμπεριλάβει πλήρως πέραν αυτής που δημιουργήθηκε πιο πρόσφατα και είναι προσαρμοσμένη στα δεδομένα αυτών.

3 Μεθοδολογική Προσέγγιση

3.1 Επιλογή της πολυκριτήριας Ανάλυσης ως μεθόδου αξιολόγησης

⇒ Με την πολυκριτήρια μέθοδο ανάλυσης ή όπως αλλιώς ονομάζεται την πολυκριτήρια ιεράρχηση επιλογών εννοείται η μέθοδος-εργαλείο λήψης αποφάσεων συναρτήσει πολλών κριτηρίων, με διαφορετική βαρύτητα το καθένα. ⇒ Συνήθως βασίζεται σε τρία ή και τέσσερα στάδια, με εμπειρογνώμονες, ώστε να εκμεταλλευτεί την άρρητη (tacit) γνώση.

Ανεπίσημη κρίση: Ως ανεπίσημη κρίση ορίζεται η δυνατότητα που δίνεται σε ιδιώτες επενδυτές, venturecapitalists (επενδυτές επιχειρηματικών κεφαλαίων), επιχειρηματικούς αγγέλους (angelinvestors) να στηρίζονται στη δική τους προσωπική κρίση κατά την αξιολόγηση επενδύσεων.

3.2 Σύγκριση πολυκριτήριας ανάλυσης και ανεπίσημης κρίσης

Η πολυκριτήρια ανάλυση συγκριτικά με την ανεπίσημη κρίση παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, μιας και η τελευταία είναι αρκετά αφηρημένη και δε στηρίζεται από κάποια ανάλυση. Τα πλεονεκτήματα της πολυκριτήριας ανάλυσης έναντι της ανεπίσημης κρίσης είναι τα εξής:

1. Είναι ανοιχτή και εκτεταμένη.
2. Όταν επιλέγονται οι στόχοι και τα κριτήρια, η οποιαδήποτε ομάδα ληπτών αποφάσεων είναι "δεκτική" ως προς την ανάλυση και την προσαρμογή σε περίπτωση που θεωρηθούν ακατάλληλοι.
3. Οι διάφορες βαθμολογίες και τα βάρη ποσοτικοποιούνται από τους λήπτες αποφάσεων και καταγράφονται αναλυτικά χρησιμοποιώντας υπάρχουσες καταγεγραμμένες και μελετημένες τεχνικές. Παράλληλα καθίσταται εφικτή η επαλήθευση των ποσοτικοποιημένων αυτών μεγεθών με άλλες πηγές δεδομένων για τις τιμές που δίνονται, ενώ εφόσον κριθεί σκόπιμο τα μεγέθη αυτά αντικαθίστανται.
4. Οι λήπτες αποφάσεων μπορούν να συμβουλευτούν ή και να αναθέσουν σε ειδικούς την καταγραφή των βαθμολογιών και των βαρών.
5. Είναι δυνατό να αποτελέσει και ένα μέσο επικοινωνίας μεταξύ των ληπτών των αποφάσεων.

3.3 Περιβάλλουσα Ανάλυση δεδομένων

Η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων (Data Envelopment Analysis, Cooper et al. 2000) αποτελεί μεθοδολογία μέσω της οποίας υπολογίζεται η αποτελεσματικότητα (efficiency) λειτουργικών μονάδων (Decision Making Units, DMUs). Κάθε μονάδα για να εξάγει στοχευμένα αποτελέσματα (έξοδοι) λαμβάνει κάποια δεδομένα ως εισόδους. Μονάδα αποτελεί μια επιχείρηση, ένας οργανισμός ή ένα τμήμα αυτών. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται για να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα διαφόρων καταστάσεων, όπως ΜΚΟ, στρατιωτικών μονάδων, ασφαλιστικοί και χρηματοπιστωτικοί οργανισμοί, μονάδες τοπικής αυτοδιοίκησης, δηλαδή σχολεία, νοσοκομεία, εμπορικά καταστήματα κ.ο.κ. (Arnold et al., 1996, Banker και Morey, 1986, Chaffai, 1997). Παρόλα αυτά δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση επενδύσεων που αφορούν φωτοβολταϊκά έργα.

Τα στάδια της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι:

- ⇒ (1) καθορισμός/οριοθέτηση προβλήματος,
- ⇒ (2) καθορισμός κριτηρίων επιλογής,
- ⇒ (3) καθορισμός εναλλακτικών λύσεων/σεναρίων,
- ⇒ (4) καθορισμός βαρύτητας κριτηρίων,
- ⇒ (5) βαθμολόγηση εναλλακτικών λύσεων/σεναρίων,
- ⇒ (6) κατασκευή πολυκριτήριας μήτρας,
- ⇒ (7) ανάλυση ευαισθησίας της λύσης,
- ⇒ (8) προσδιορισμός αρμονίας των κριτηρίων,
- ⇒ (9) επιλογή σεναρίου

(1) καθορισμός/οριοθέτηση προβλήματος: Για να έχει η προκύπτουσα λύση/σενάριο την απόδοση που απαιτείται, το πρόβλημα διαχείρισης πρέπει να (α) είναι διατυπωμένο με σαφήνεια προκειμένου να περιλαμβάνει όρια επίλυσης, (β) εμπεριέχει επιθυμητά χαρακτηριστικά της λύσης, νομοθεσία και άλλους κανονισμούς, προκειμένου να γίνει σωστή προκαταρκτική επιλογή των εναλλακτικών σεναρίων (B, 1986).

(2) καθορισμός κριτηρίων επιλογής: διαδικασία που αναλαμβάνουν οι εμπλεκόμενοι στη λήψη απόφασης ή και εμπειρογνώμονες, δεδομένου του τεχνολογικού ή επιστημονικού υπόβαθρου που απαιτείται για τις εναλλακτικές λύσεις. Τα διάφορα

κριτήρια f_i ($i=1,2,3,...,n$) συνήθως συνεπάγονται σταθερό κόστος, μεταβλητό κόστος, φιλικότητα προς το περιβάλλον, αξιοπιστία, ωριμότητα, κοινωνική αποδοχή, διαθεσιμότητα κ.λπ. Απαραίτητο στοιχείο κατά τη διαδικασία επιλογής των κριτηρίων συνιστά η αμεροληψία και η αντικειμενική κρίση. Ο αριθμός κριτηρίων που απαιτείται για τη σωστή επεξεργασία των αποτελεσμάτων είναι $n=8$.

(3) καθορισμός εναλλακτικών λύσεων/σεναρίων: Οι εναλλακτικές λύσεις, A_j ($j=1,2,3,...,j$), παρέχονται όπως και στον καθορισμό κριτηρίων επιλογής από τους ενδιαφερόμενους στη λήψη της απόφασης ή και από έμπειρους ως προς το γνωστικό αντικείμενο, εφόσον οι εναλλακτικές λύσεις έχουν τεχνικό και επιστημονικό υπόβαθρο. Είναι πιθανό να υπάρξουν διάφορα σενάρια ως εναλλακτικές λύσεις που διαφέρουν πολύ (από καταγωγή ή/και απόδοσης/αποτελέσματος) ή είναι συναφή. Για τη διασφάλιση της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, ο μέγιστος αριθμός λύσεων είναι $j=6$.

(4) καθορισμός βαρύτητας κριτηρίων: τον αναλαμβάνουν οι εμπειρογνώμονες οι οποίοι (α) ιεραρχούν τα κριτήρια (από το πιο σημαντικό στο λιγότερο σημαντικό) και (β) βαθμονομούν το κάθε κριτήριο με συγκεκριμένη βαρύτητα επί τοις εκατό, δηλ. το άθροισμα των δοσμένων συντελεστών βαρύτητας (w_i) είναι 100 ή 1.

(5) Βαθμονόμηση των διάφορων λύσεων και σεναρίων

⇒ Ο εκάστοτε εμπειρογνώμονας βαθμονομεί τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις ως προς κάθε κριτήριο ξεχωριστά. ⇒ Για το βέλτιστο αποτέλεσμα, κάθε εναλλακτική αξιολογείται ως προς το πρώτο κριτήριο (συγκριτικά) και κατόπιν ως προς τα υπόλοιπα.

⇒ Το εύρος αξιολόγησης καθώς και ποια ορίζεται ως βέλτιστη ή χειρίστη βαθμολογία διασαφηνίζονται στο αρχικό στάδιο.

⇒ Είναι αρκετά σύνηθες η βαθμολογία να κυμαίνεται από 2-5, αν και χρησιμοποιούνται διαφορετικές βαθμολογικές κλίμακες (Bernard ROY, 1993).

⇒ Συνήθως σε λιγότερο ευρείες κλίμακες μπορεί να ενισχυθεί η βαθμολογική αξιοπιστία ενώ παράλληλα αυξάνεται και η διακριτική ικανότητα.

3.4 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Καταγράφοντας τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί έως τώρα για την αξιολόγηση επιχειρήσεων, συντάχθηκε η παρακάτω μεθοδολογική προσέγγιση για την παρούσα εργασία και για ανάλογες περιπτώσεις.

Συνοπτικά η μεθοδολογική προσέγγιση αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1. Καταγραφή μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί ως τώρα για την αξιολόγηση επιχειρήσεων και στη συνέχεια σύγκριση αυτών και επιλογή της Πολυκριτήριας Ανάλυσης (Spyridakos, Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives, 1999).
2. Καταγραφή των κύριων θεωρητικών ρευμάτων της Πολυκριτήριας Ανάλυσης, στη συνέχεια σύγκριση και προτίμηση στη Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής και Θεωρία Χρησιμότητας καθώς και οι δύο αυτές χρησιμοποιούν δυαδικές συγκρίσεις ανάμεσα στις εναλλακτικές και είναι ευκολότερο να γίνει κατάταξη των εναλλακτικών.
3. Καταγραφή μεθόδων Πολυκριτήριας Ανάλυσης και επιλογή της PrometheeII.
4. Καταγραφή κριτηρίων αξιολόγησης από τη βιβλιογραφία και πρόταση για επιπρόσθετα κριτήρια τα οποία αφορούν συγκεκριμένα διάφορες επιχειρήσεις-επενδύσεις.
5. Καταγραφή μεθόδων προσδιορισμού βαρών των κριτηρίων και επιλογή της μεθόδου Simosκαι στη συνέχεια εξαγωγή των βαρών.
6. Επιλογή δέκα φωτοβολταϊκών πάρκων προς μελέτη.
7. Συλλογή δεδομένων για αυτά τα φωτοβολταϊκά πάρκα μέσω ερωτηματολογίου που απευθύνθηκε σε εκπροσώπους τους τηλεφωνικά.
8. Εισαγωγή κριτηρίων, βαρών και δεδομένων στο πρόγραμμα VisualPromethee και εξαγωγή αποτελεσμάτων για την κατάταξη των επενδύσεων.

3.4.1 Επιλογή της Πολυκριτήριας Ανάλυσης ως Μεθόδου Αξιολόγησης

Οι περισσότεροι φορείς και διαγωνισμοί για την αξιολόγηση επιχειρήσεων στηρίζονται στην ανεπίσημη κρίση. Άλλος τρόπος για την αξιολόγηση επιχειρήσεων αποτελεί η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων. Τα οικονομετρικά υποδείγματα και η στατιστική ανάλυση είναι μέθοδοι οι οποίες δε μπορούν να δημιουργήσουν μοντέλο λήψης αποφάσεων (Brans, 1985). Έτσι, αν και χρησιμοποιούνται για την εύρεση στατιστικής σημαντικότητας κριτηρίων με τα οποία αξιολογούνται επιχειρήσεις δε μπορούν να καταλήξουν σε αποτελέσματα για την αξιολόγηση. Η πολυκριτήρια ανάλυση συνιστά μία εφαρμογή της Επιχειρησιακής Έρευνας, η οποία αποσκοπεί στο να βοηθήσει να ληφθούν αποφάσεις.

Ανεπίσημη Κρίση : Ως Ανεπίσημη Κρίση ορίζεται η δυνατότητα που δίνεται σε ιδιώτες επενδυτές, venturecapitalists (επενδυτές επιχειρηματικών κεφαλαίων), επιχειρηματικούς αγγέλους (angelinvestors) να στηρίζονται στη δική τους προσωπική κρίση κατά την αξιολόγηση επιχειρήσεων (Zorounidis, 1999).

3.4.2 Σύγκριση Πολυκριτήριας Ανάλυσης με Ανεπίσημη Κρίση

Η πολυκριτήρια ανάλυση πλεονεκτεί έναντι της ανεπίσημης κρίσης, που δεν βασίζεται σε κάποια ανάλυσης:

- Είναι ανοιχτή κι εκτεταμένη.
- Εάν η ομάδα που λαμβάνει τις αποφάσεις κριθεί ακατάλληλη είναι εφικτό να αλλάχθει.
- Τα σκορ και τα βάρη, όταν γίνεται χρήση τους, δίνονται εμπεριστατωμένα και προκύπτουν βάσει καθορισμένων τεχνικών. Είναι δυνατό να επαληθευτούν και μέσω διασταυρωμένων πηγών πληροφοριών για τις σχετικές τιμές και να μεταβληθούν αν είναι αναγκαίο.
- Η αποδοτικότητα είναι εφικτό να μετρηθεί και από ειδήμονες, όχι απαραίτητα από λήπτες αποφάσεων
- Παρέχει ένα σημαντικό επικοινωνιακό εργαλείο τόσο ανάμεσα στους λήπτες αποφάσεων μεταξύ τους όσο και ανάμεσα στους λήπτες και την υφιστάμενη κοινότητα.

3.5 Πλεονεκτήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης

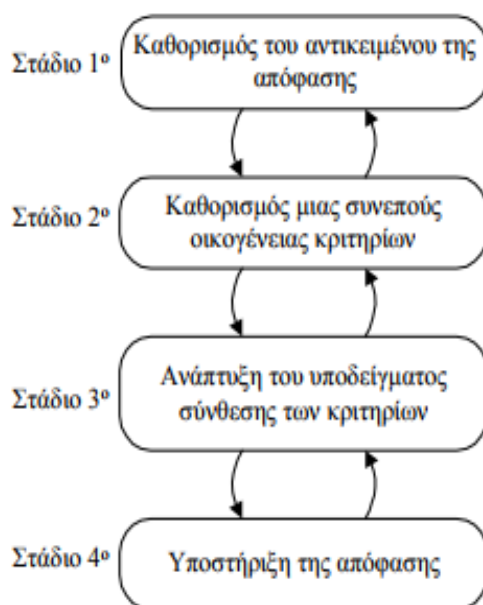
Η πολυκριτήρια ανάλυση γενικά παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Καθιστά ευκολότερη την επεξεργασία και την κατανόηση σύνθετων προβλημάτων.
- Χαρακτηρίζεται από ευελιξία και επιτρέπει τη διαφορετική επιρροή των παραγόντων στο τελικό αποτέλεσμα.
- Με απλοποιητικές παραδοχές συντελεί ώστε η διαδικασία να γίνεται πιο εύκολη όταν θεωρείται αναγκαία η συμπερίληψη μη μετρήσιμων μεγεθών στην επιρροή του τελικού αποτελέσματος (π.χ. περιβαλλοντικών ή κοινωνικών επιπτώσεων) (Saaty T. , 1980).

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέχθηκε ως μέθοδος αξιολόγησης η πολυκριτήρια ανάλυση.

Η διαδικασία της πολυκριτήριας ανάλυσης, όπως και όλες οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις στο πεδίο, αποσκοπούν στην ανάπτυξη και στην αξιοποίηση ενός ολοκληρωμένου μοντέλου που περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους του προβλήματος για την πλαισίωση των αρμοδίων λήψης αποφάσεων σύμφωνα με τα συστήματα αξιών

και τις προτιμήσεις που το διέπουν. Πρόκειται για μια ιδιαίτερος δύσκολη διαδικασία που δεν καταλήγει σε ιδανικές λύσεις και αποφάσεις, αλλά μάλλον σε αποδοτικές λύσεις που ικανοποιούν και αντιστοιχούν στις συνολικές πολιτικές που ακολουθούν οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής. Ο Roy (1985), από τους γνωστότερους ιδρυτές της σύγχρονης θεωρίας πολυκριτήριας ανάλυσης, δημιούργησε ένα γενικότερο πλαίσιο για τη διαχείριση σύνθετων προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Το συγκεκριμένο πλαίσιο είναι στην πραγματικότητα ο «πυλώνας» κάθε πολυκριτηριακής προσέγγισης και διέπεται από τη φιλοσοφία των προσεγγίσεων του χώρου. Η πολυκριτηριακή προσέγγιση συνιστάται από τέσσερα στάδια, μέσα από τα οποία είναι εφικτή και η απαραίτητη ανάδραση, εφόσον χρειαστεί, κάτι το οποίο φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα.

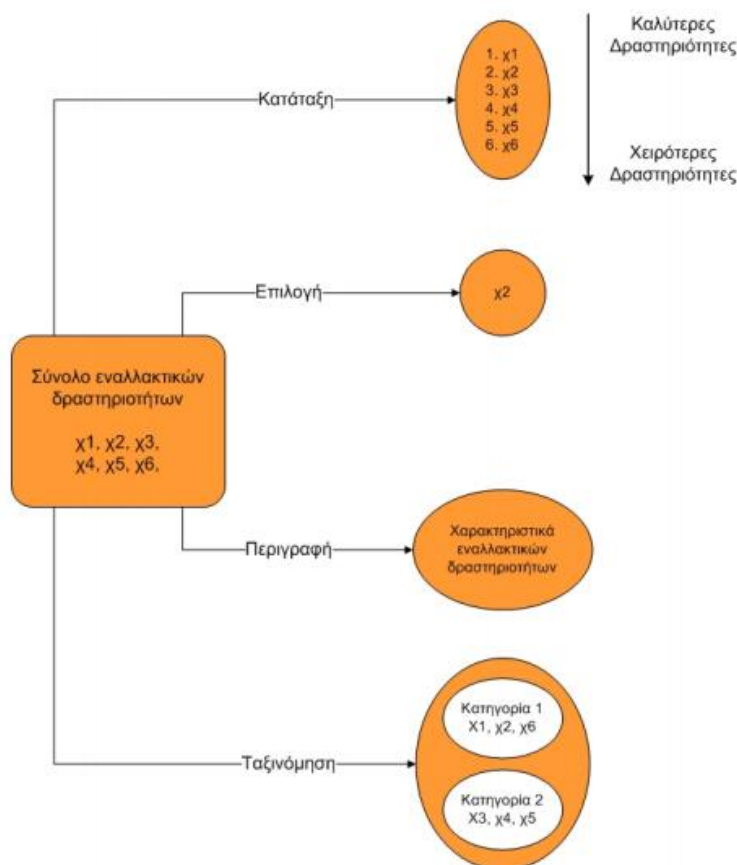


Εικόνα 9: Διαδικασία λήψης αποφάσεων: Τα κύρια στάδια στο πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης (Roy, 1985)

Σε πρώτο στάδιο προσδιορίζεται το σύνολο A των πιθανών λύσεων και πιθανών δραστηριοτήτων (αποφάσεων), ενώ προσδιορίζεται το περιεχόμενο του προβλήματος. Το σύνολο A μπορεί να είναι συνεχές ή διακριτό. Όταν είναι συνεχές, περιορίζεται από περιορισμούς που θέτει ο ίδιος ο λήπτης της απόφασης ή τίθενται από το ίδιο το περιβάλλον όπου παίρνεται η απόφαση (όλες οι πιθανές λύσεις). Από την άλλη, όταν το σύνολο A είναι διακριτό, θεωρείται ότι υπάρχουν συγκεκριμένες και ξεκάθαρες εναλλακτικές δραστηριότητες που, μετά την καταγραφή, μπορούν να αναλυθούν προκειμένου να ληφθούν οι σωστότερες αποφάσεις. Η θέση του συνόλου A καθορίζει επίσης το αντικείμενο της απόφασης, τον τρόπο ανάλυσης δηλαδή των

εναλλακτικών δραστηριοτήτων ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να απαντούν ξεκάθαρα στο ερώτημα που εξετάζεται. Οι εναλλακτικές δραστηριότητες μπορούν να ελεγχθούν με μία από τις ακόλουθες τέσσερις ερωτήσεις:

- Προβληματική α (επιλογή/choice): Το ερώτημα εδώ έγκειται στην επιλογή μίας ή περισσότερων από τις διαθέσιμες εναλλακτικές που λογίζονται ως οι πιο κατάλληλες. Παραδείγματος χάρη, στην επιλογή λειτουργίας ενός εργοστασίου η προβληματική θα ήταν η επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για την εύρυθμη λειτουργία του.
- Προβληματική β (ταξινόμηση, classification/sorting): Η προβληματική αυτή σχετίζεται με την ταξινόμηση διαφορετικών δραστηριοτήτων σε υπάρχουσες κλάσεις με ομοιογένεια μεταξύ τους. Παραδείγματος χάρη, κατά την αξιολόγηση των αιτήσεων δανείου, το αντικείμενο της ανάλυσης περιλαμβάνει την αξιολόγηση των αιτούντων (επιχειρήσεις ή άτομα) και την κατάταξή τους στην κατηγορία αιτήσεων που εγκρίνονται ή σε αυτήν των αιτήσεων που απορρίπτονται.
- Προβληματική γ (κατάταξη, ranking): έγκειται στην τοποθέτηση των διάφορων δραστηριοτήτων σε μια σειρά, από το καλύτερο στο χειρότερο. Για παράδειγμα, οι εισακτέοι φοιτητές ενός πανεπιστημιακού ιδρύματος, κατατάσσονται με βάση τις βαθμολογίες τους από τις εισαγωγικές εξετάσεις.
- Προβληματική δ (περιγραφή, description): έγκειται στην περιγραφή των εναλλακτικών δραστηριοτήτων βάσει της αξιολόγησης της απόδοσης τους στο καθένα από τα κριτήρια αξιολόγησης.



Εικόνα 10: Κατηγορίες προβλημάτων (M. Socorro García-Cascales, 2006)

Η επιλογή των κατάλληλων ερωτήσεων σχετίζεται μόνο με την υπό εξέταση ερώτηση. Επιπροσθέτως, κάποιες φορές, είναι πιθανόν να χρειαστεί να συνδυαστούν δύο ή και περισσότερες προβληματικές για τη βέλτιστη επίλυση του προβλήματος.

Επόμενο βήμα στη διαδικασία είναι ο προσδιορισμός όλων των παραμέτρων που συνδιαμορφώνουν τα πορίσματα της ανάλυσης εναλλακτικών δραστηριοτήτων για το σύνολο A. Στην πολυκριτηριακή ανάλυση, κάθε παράμετρος που επηρεάζει μια απόφαση εξετάζεται σε τυπική μορφή κριτηρίου. Κριτήριο νοείται οποιαδήποτε πραγματική συνάρτηση g που εκφράζει τη συμπεριφορά των υποκατάστατων δραστηριοτήτων σε πραγματικούς αριθμούς, και κατά αυτόν τον τρόπο ισχύει για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές δραστηριότητες x και y :

$$g(x) > g(y) \Leftrightarrow x > y \text{ (η } x \text{ προτιμάται της } y)$$

$$g(x) = g(y) \Leftrightarrow x \sim y \text{ (η } x \text{ είναι αδιάφορη της } y)$$

Οι παραπάνω δύο ιδιότητες αποτελούν τη σημαντικότερη διαφορά, από την έννοια των ιδιοτήτων οι οποίες χρησιμοποιούνται από άλλες μεθόδους (στατιστική, οικονομετρία, τεχνητή νοημοσύνη). Αυτή η ιδιότητα δεν ορίζει καμία συμπεριφορά προτεραιότητας καθώς αντιπροσωπεύεται από τις παραπάνω δύο βασικές σχέσεις. Το

γεγονός ότι περιγράφοντας αριθμητικά μια εναλλακτική δραστηριότητα x παρατηρείται σε κάποιο χαρακτηριστικό να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αριθμητική περιγραφή μιας άλλης εναλλακτικής δραστηριότητας y σε καμία περίπτωση δεν συνεπάγεται ότι το x είναι καλύτερο από το y .

Το σύνολο των κριτηρίων $G=\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ που απαντούν στη συγκεκριμένη φάση της ανάλυσης προβλήματος θα πρέπει να συνιστά μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων (consistent family of criteria), να χαρακτηρίζεται δηλαδή από τις εξής ιδιότητες (Michael Doumpos, 1998):

1. Μονοτονία (monotonicity): Η ιδιότητα της μονοτονίας αποδίδεται σε ένα σύνολο κριτηρίων εάν και μόνο εάν για κάθε ζεύγος εναλλακτικών x και y για τις οποίες υπάρχει κάποιο κριτήριο $g_i \in G$ τέτοιο ώστε $g_i(x) > g_i(y)$ για κάθε $j \neq i$ συμπεραίνεται ότι $x > y$
2. Επάρκεια (exhaustivity): Η ιδιότητα της επάρκειας αποδίδεται σε ένα σύνολο κριτηρίων εάν και μόνο εάν για κάθε ζεύγος εναλλακτικών x και y τέτοιες ώστε $g_i(x) = g_i(y)$ για κάθε κριτήριο $g_i \in G$, συμπεραίνεται ότι $x \sim y$.
3. Μη πλεονασμός (non-redundancy): Ένα σύνολο κριτηρίων θεωρείται ότι έχει μη περιττές ιδιότητες εάν και μόνο εάν η αφαίρεση οποιωνδήποτε κριτηρίων έχει ως αποτέλεσμα να παραβιαστούν οι ιδιότητες «μονοτονία» ή «επάρκεια».

Στην τρίτη φάση της διαδικασίας, προσδιορίζεται η μορφή συνδυασμού μοντέλων των κριτηρίων με τα οποία επεξεργάζονται τα προβληματικά αντικείμενα, όπως και στην αρχική φάση (επιλογή, ταξινόμηση, ταξινόμηση, περιγραφή).

Στην τελευταία φάση πραγματοποιείται το σύνολο των δραστηριοτήτων αυτών, μέσω των οποίων οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων θα κατανοήσουν τα αποτελέσματα του συνδυασμού μοντέλων για τα κριτήρια που ορίζονται στην τρίτη φάση και τη διαδικασία μέσα από την οποία εξάγονται τα αποτελέσματα. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων θα μπορούν τότε να εφαρμόσουν αποτελεσματικά αναλυτικά αποτελέσματα και να τα υποστηρίξουν, αν το κρίνουν σκόπιμο.

3.6 . Επιλογή Μεθόδου από τις Πολυκριτήριες Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων που υπάρχουν

3.6.1 Καταγραφή Κύριων Θεωρητικών Ρευμάτων Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Τα κύρια θεωρητικά ρεύματα που χρησιμοποιούνται για την πολυκριτήρια ανάλυση είναι τέσσερα.

1. Ο πολυκριτηριακός ή πολυστοχικός μαθηματικός προγραμματισμός (Multiobjective mathematical programming).

Ο πολυκριτηριακός ή πολυστοχικός μαθηματικός προγραμματισμός είναι μια γενίκευση του γνωστού γραμμικού προγραμματισμού, που χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων υπό μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση (Bernard ROY, 1993). Σε αυτό το σύνθετο πολυκριτηριακό πρόβλημα το σύνολο των εναλλακτικών ενεργειών A ορίζεται από ένα σύνολο γραμμικών περιορισμών στον R^p χώρο, ενώ τα κριτήρια είναι γραμμικές συναρτήσεις οριζόμενες στο ίδιο διάστημα R^p . Το γενικότερο πρόβλημα μορφώνεται ως εξής (Roy and Vinke 1981):

$$[\max] g_j = c_{j1}x_1 + c_{j2}x_2 + \dots + c_{jp}x_p \text{ με } j = 1, 2, \dots, n$$

Εξίσωση 1

Υπό τους περιορισμούς:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ip}x_p = b_i \text{ με } i = 1, 2, \dots, m$$

Εξίσωση 2

ή με τη μορφή:

$$(A) \bullet (X) = B$$

Εξίσωση 3

και

$$\max (C) \bullet (X)$$

Εξίσωση 4

όπου: (A) , (X) , (B) και (C) είναι πίνακες διαστάσεων $m \times p$, $p \times 1$, $m \times 1$ και $n \times p$.

Στο πλαίσιο της προσέγγισης του πολυκριτηρίου μαθηματικού προγραμματισμού διακρίνονται τρεις διαφορετικές μέθοδοι:

- Προσέγγιση αποδοτικών λύσεων (efficient solution procedure)
- Προγραμματισμός στόχων (goal programming)
- Συναινετικός προγραμματισμός (compromise programming)

2. Θεωρία πολυκριτήριας χρησιμότητας (Multiattribute Utility Theory, MAUT)

Η εν λόγω θεωρία αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 και υπήρξε αντικείμενο μελέτης των Adams and Fagot (1959), Yntena and Torgerson (1961), Miller and Starr (1969) κ.ά. Στηρίζεται στην υπόθεση ότι σε κάθε πρόβλημα απόφασης υπάρχει μια πραγματική συνάρτηση εκτίμησης U ορισμένη στο A την οποία ο αποφασίζων επιδιώκει να μεγιστοποιήσει. Σκοπεύει στην αναπαράσταση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα με τη μορφή της συνάρτησης χρησιμότητας, κάνοντας σύνθεση ορισμένων κριτηρίων εκτίμησης:

$$u(g) = u(g_1, g_2, \dots, g_n)$$

Εξίσωση 5

όπου g είναι το διάνυσμα των κριτηρίων εκτίμησης g_1, g_2, \dots, g_n . Το πρόβλημα δηλαδή είναι η επιλογή της δράσης a^* που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση χρησιμότητας του αποφασίζοντα:

$$u[g(a^*)] = \max\{u[g(a)]\}$$

Εξίσωση 6

όπου $g(a)$ είναι το διάνυσμα απόδοσης για την εκτίμηση της εναλλακτικής a στο πρότυπο σύνολο g . Αυτό το κριτήριο μπορεί να θεωρηθεί ως μια βεβαιότητα ή μια ορισμένη πιθανότητα. Γενικά, λαμβάνοντας υπόψη την ανεξαρτησία των προτιμήσεων, η συνάρτηση χρησιμότητας πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να αποσυντεθεί σε πραγματικές συναρτήσεις u_1, u_2, \dots, u_n . Έτσι μπορούν να προκύψουν συναρτήσεις χρησιμότητας για διαφορετικά μοντέλα.

3. Θεωρία σχέσεων υπεροχής (outranking relations)

Αντίθετα με την προαναφερθείσα θεωρία, η θεωρία των σχέσεων υπεροχής δεν αποσκοπεί στη δημιουργία μιας συνάρτησης βαθμολόγησης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, αλλά στη δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου όπου είναι δυνατή η διμερής σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων (Vincke, 1992). Η σχέση υπεροχής S είναι μια διμερής σχέση οριζόμενη στο σύνολο των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, έτσι ώστε: $x' S x''$ η εναλλακτική x' είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο η x'' .

Η γενική ιδέα μιας σχέσης ανωτερότητας είναι ότι η σύγκριση οποιωνδήποτε δύο εναλλακτικών x' και x'' βασίζεται στην ισχύ των αποδεικτικών στοιχείων (θετική ένδειξη) που υποστηρίζει τον ισχυρισμό ότι η "εναλλακτική x' " είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο το x'' , και Η εγκυρότητα των αποδεικτικών στοιχείων κατά της αξίωσης (αρνητικά στοιχεία). Εάν η ισχύς των θετικών ενδείξεων είναι μεγάλη και αυτή των αρνητικών είναι περιορισμένη, η αναλογία πιθανοτήτων $x' S x''$ μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη, δηλ. το υποκατάστατο x' είναι τουλάχιστον τόσο καλό όσο το x'' .

4. Αναλυτική – συνθετική προσέγγιση (Ordinal Regression)

Στην προσέγγιση αυτή χρησιμοποιούνται συναρτήσεις χρησιμότητας ώστε να μοντελοποιηθούν και να αναπαρασταθούν οι προτιμήσεις του αποφασίζοντα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επιλογή, η κατάταξη ή η ταξινόμηση των διακριτών εναλλακτικών λύσεων. Η διαφοροποίησή της από την Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας έγκειται στη διαδικασία της ανάπτυξης της συνάρτησης

χρησιμότητας. Οι προτιμήσεις του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων αναλύονται μέσα σε ένα περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών ενεργειών (το σύνολο αναφοράς) (Figen Baló, 2016). Ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων δηλώνει τη συνολική προτίμησή του/της για εναλλακτικές ενέργειες στο σύνολο αναφοράς σύμφωνα με τη μορφή που πρέπει να λάβουν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης ή καθορίζοντας μια ταξινόμηση προκαθορισμένων ομάδων. Έπειτα, χρησιμοποιείται μια τεχνική παλινδρόμησης που βασίζεται στον μαθηματικό προγραμματισμό, από την οποία προκύπτει μια συνάρτηση χρησιμότητας όπου φαίνονται οι αποφάσεις του λήπτη αποφάσεων όπως αυτές εκφράζονται στο σύνολο αναφοράς.

3.6.2 Σύγκριση Κύριων Θεωρητικών Ρευμάτων και Επιλογή

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων λήψης αποφάσεων η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση ακολουθεί την ακριβώς αντίθετη διαδικασία από εκείνη που πραγματοποιείται στο πλαίσιο της πολυκριτήριας θεωρίας χρησιμότητας και της θεωρίας των σχέσεων υπεροχής. Ειδικότερα, οι δύο τελευταίες στοχεύουν στην υποστήριξη του αποφασίζοντα ως προς τη μόρφωση των κριτηρίων αξιολόγησης, μέσα από ένα προκαθορισμένο υπόδειγμα που έχει τη μορφή μιας συνάρτησης χρησιμότητας ή μιας σχέσης υπεροχής (Maystre, Pictet, & Simos, 1994). Πρόκειται για μια εμπρόσθια διαδικασία (forward) που έχει ως βάση την αλληλεπίδραση με τον αποφασίζοντα. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων καθορίζουν όλες τις παραμέτρους μιας τυπικής σύνθεσης μοντέλου, που υποστηρίζεται από έναν επαγγελματία αναλυτή με την απαραίτητη εμπειρία στη μεθοδολογική προσέγγιση που χρησιμοποιείται. Από την άλλη, στην αναλυτική-συνθετική προσέγγιση ακολουθείται μια ανάστροφη διαδικασία (backward). Ο λήπτης των αποφάσεων θεωρείται ότι υπηρετεί (σκόπιμα ή όχι) ένα σύστημα αξιών και προτιμήσεων το οποίο τον καθοδηγεί να λάβει τις δικές του αποφάσεις. Η αναλυτική-συνθετική προσέγγιση δεν επιδιώκει να βρει τις αποφάσεις αυτές με το να ζητά από τον αποφασίζοντα να δώσει πληροφορίες σχετικά με το πώς έγινε η συλλογή (αυτό συμβαίνει στην ανάπτυξη των υποδειγμάτων σύνθεσης των κριτηρίων στην πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας και στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής), αλλά επιχειρεί να προσδιορίσει το πώς γίνεται η λήψη των αποφάσεων προχωρώντας σε μία ανάλυση της σχέσης ανάμεσα στις αποφάσεις και στην απόδοση εναλλακτικών δραστηριοτήτων στα κριτήρια αξιολόγησης. Η συγκεκριμένη ανάλυση καταλήγει στον προσδιορισμό του συνόλου των παραμέτρων του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων, ώστε το αναπτυσσόμενο υπόδειγμα να αναπαριστά τις επιλογές του αποφασίζοντα με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και πιστότητα.

Η θεωρία πολλαπλών κριτηρίων χρησιμότητας και η θεωρία σχέσεων κυριαρχίας συνδυάζουν ουσιαστικά δεδομένα από ένα πρόβλημα για να καταλήξουν σε ένα τελικό αποτέλεσμα, ενώ οι προσεγγίσεις αναλυτικής σύνθεσης, από την άλλη πλευρά,

αναλύουν υπάρχοντα δεδομένα (σύνολα αναφοράς) για να εντοπίσουν προβλήματα. Το μοντέλο που εκπροσωπείται πιο πιστά γίνεται το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Η προσέγγιση της αναλυτικής σύνθεσης βασίζεται στον εντοπισμό ζητημάτων που προκύπτουν συχνά κατά τη διαδικασία απόσπασης των υπευθύνων λήψης αποφάσεων, στις πληροφορίες σχετικά με τα συστήματα αξιών και τις προτιμήσεις που τα διέπουν. Πολύ συχνά, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής δεν μπορούν να δώσουν αυτές τις πληροφορίες είτε γιατί δεν έχουν χρόνο είτε λόγω αδυναμίας τους να διατυπώσουν με ακρίβεια τις παραμέτρους που συνυπολογίζουν ασυνείδητα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Από την άλλη, με μεγάλη ευκολία διατυπώνονται οι ίδιες οι αποφάσεις που λαμβάνονται, χωρίς ωστόσο να διευκρινίζεται καμία άλλη παράμετρος αναφορικά με το πώς λαμβάνεται κάθε απόφαση. Στην αναλυτική-συνθετική προσέγγιση μπορεί να αξιοποιηθεί οποιαδήποτε απόφαση ή διαδικασία λήψης απόφασης. Πιο συχνά μεταφράζονται ως μια μονότονη κλίμακα μέσω της κατάταξης ή ταξινόμησης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, αλλά μπορούν επίσης να μεταφραστούν σε μορφή ενός δείκτη (δηλαδή ποσοστιαία ένδειξη προτίμησης μιας εναλλακτικής δραστηριότητας έναντι μίας άλλης) ή να δίνουν επιπλέον πληροφορίες, π.χ. κατάταξη εναλλακτικών δραστηριοτήτων στο κάθε κριτήριο αξιολόγησης, ιεράρχηση κριτηρίων αξιολόγησης ανάλογα με τη σημαντικότητά τους κ.ο.κ.

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πολυκριτήρια Θεωρία Χρησιμότητας	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Αναπαράσταση ποιοτικών παραγόντων ▪ Αποτύπωση της λογικής του αποφασίζοντα ▪ Επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου απόφασης 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Κατανόηση του μοντέλου απόφασης ▪ Παραχωρήσεις μεταξύ κριτηρίων ▪ Αβεβαιότητα των εκτιμήσεων
Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Αποτύπωση της λογικής του αποφασίζοντα ▪ Επαναχρησιμοποίηση των αποφάσεων ▪ Ταξινόμηση σε σαφώς ορισμένες κατηγορίες 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Κατανόηση του μοντέλου απόφασης ▪ Εισαγωγή των δεδομένων ▪ Υποκειμενικές κρίσεις
Σχέσεις Υπεροχής	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Εναλλακτικές ▪ Προφίλ ▪ Κατώφλια κριτηρίων ▪ Κλίμακα κριτηρίων ▪ Συνασπισμοί "συμφωνίας" και "διαφωνίας" 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντελοποίηση του προβλήματος ▪ Ονομαστική ταξινόμηση ▪ Αισιόδοξη κι απαισιόδοξη πρόβλεψη
Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μοντελοποίηση του προβλήματος ▪ Αναπαράσταση ποιοτικών παραγόντων ▪ Κατανόηση μοντέλου απόφασης 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μεγάλος αριθμός σχετικών συγκρίσεων ▪ Δύσκολη η επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου ▪ Φαινόμενο της αναστροφής των αξιολογήσεων

Πίνακας 5: Σύγκριση βασικών θεωρητικών ρευμάτων πολυκριτήριας μεθοδολογίας

Στις περισσότερες έρευνες που αξιολογούν εγχειρήματα φαίνεται να επιλέγονται οι Θεωρίες Σχέσεων Υπεροχής και η Θεωρία Χρησιμότητας ως κύρια ρεύματα.

3.7 Καταγραφή Βασικών Πολυκριτήριων Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων

3.7.1 Θεωρία Χρησιμότητας

Μέθοδος MAUT

Το σύστημα χρησιμότητας/αξιών στοχεύει στη δημιουργία ενός συστήματος αξιών που ενοποιεί την προτίμηση του αποφασίζοντα με τα υπόλοιπα κριτήρια επιλογής. Παρέχεται έτσι ένα ποσοτικό μέτρο το οποίο καθοδηγεί τους αποφασίζοντες στην επιλογή τους.

Η μέθοδος MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) έχει σκοπό να ευνοήσει τους λήπτες αποφάσεων στο να καλλιεργήσουν την κρίση τους όσον αφορά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ο στόχος της μεθόδου δεν είναι η εύρεση ή απόδειξη της «αλήθειας».

Ακολουθούν τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου MAUT:

- Μία τιμή για τη συνολική χρησιμότητα μίας επιλογής
- Καθορισμένα βάρη για μεμονωμένα χαρακτηριστικά
- Μέτρα απόδοσης των επιλογών έναντι των χαρακτηριστικών
- Επιπρόσθετοι κανόνες που να περιλαμβάνουν όλα τα μέτρα απόδοσης

Το μαθηματικό μοντέλο της πολυκριτήριας μεθόδου έχει ως εξής:

$$U_Y = \sum_i w_i u_i, Y$$

Εξίσωση 7

όπου U_Y είναι η συνολική χρησιμότητα ή τιμή του προϊόντος Y , Σ ο προσθετικός κανόνας που δεν είναι πάντοτε ένα άθροισμα, w το βάρος του χαρακτηριστικού i , και u η χρησιμότητα του προϊόντος Y σε σχέση με το i . Η U_Y είναι η συνάρτηση που ορίζει την περιοχή που αντιστοιχεί στα κριτήρια αξιολόγησης. Η χρησιμότητα προσδιορίζεται ποσοτικά για να αθροιστεί, ως μία συνάρτηση από μέτρα χρησιμότητας που βασίζεται στην κρίση του καθενός και στην πειθαρχία για την απόκτηση των μέτρων των προϊόντων και τη χρήση των συναρτήσεων μετατροπής ώστε να αποτρέψει την ομοιότητα της λογικής. Χρησιμοποιούνται διάφορες παραλλαγές του μοντέλου. (Wallnau, 1998).

Μέθοδος MAVT

Η πρόθεση του MAVT είναι να κατασκευάσει ένα μέσο συσχέτισης ενός πραγματικού αριθμού με κάθε εναλλακτική λύση, για να παραχθεί μια σειρά προτιμήσεων για τις εναλλακτικές λύσεις που είναι σύμφωνες με τις εκτιμήσεις αξιολόγησης του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Για να γίνει αυτό, το MAVT κάνει την υπόθεση πως για κάθε πρόβλημα απόφασης υφίσταται μια πραγματική συνάρτηση τιμών U που αντιπροσωπεύει τις προτιμήσεις του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Η συνάρτηση U χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των χαρακτηριστικών κάθε εναλλακτικής πολιτικής σε μία μόνο τιμή. Η εναλλακτική λύση με την καλύτερη τιμή υποδεικνύεται ως βέλτιστη.

Για να διεξαχθεί το MAVT ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Ορισμός εναλλακτικών λύσεων: Στο στάδιο αυτό προσδιορίζονται οι εναλλακτικές πολιτικές και γίνεται μία σύγκριση μεταξύ τους.
2. Επιλογή και ορισμός κριτηρίων: Προσδιορίζονται τα αποτελέσματα ή οι δείκτες που αφορούν την απόφαση.
3. Αξιολόγηση των βαθμολογιών για κάθε εναλλακτική σε όρους κάθε κριτηρίου: Αποδίδονται τιμές σε κάθε αποτέλεσμα ή δείκτη για κάθε εναλλακτική λύση.
4. Διακύρωση της εναλλακτικής λύσης: υπολογίζεται συνολική βαθμολογία για κάθε εναλλακτική λύση εφαρμόζοντας μια συνάρτηση τιμής U σε όλες τις βαθμολογίες.

Τα πρώτα τρία βήματα είναι τα ίδια όπως και στις περισσότερες μεθόδους MCA. Το βήμα 4 αφορά συγκεκριμένα το MAVT, το οποίο στηρίζεται στην υπόθεση πως για κάθε πρόβλημα απόφασης υφίσταται μια συνάρτηση πραγματικής τιμής U αντιπροσωπευτικής των προτιμήσεών του.

Αυτή η συνάρτηση συγκεντρώνει για κάθε εναλλακτική a_j ($j = 1..M$) τα κριτήρια c_i ($i = 1..N$) που εξετάζονται από τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων. Το πρόβλημα που χρησιμοποιεί τη γενική μορφή της συνάρτησης U διαμορφώνεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$U(c_1(a), c_2(a), \dots, c_n(a)) = \max_{j=1..M} U(c_1(a_j), c_2(a_j), \dots, c_n(a_j))$$

Εξίσωση 8

Πρέπει να γίνει προσδιορισμός της συνάρτησης U προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη εναλλακτική λύση, διαδικασία αρκετά δύσκολη που απαιτεί χρόνο. Ο

κανόνας απόφασης εντός του MAVT είναι ένας πλήρης αντισταθμιστικός κανόνας: τα θετικά κριτήρια είναι ικανά να εξισορροπήσουν τα αρνητικά. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι εάν ληφθούν υπόψη τα περιβαλλοντικά και τα οικονομικά κριτήρια, η πλήρης αποζημίωση θα μπορούσε να σημαίνει σιωπηρά την πλήρη υποκατάσταση του ανθρώπινου κεφαλαίου και του φυσικού κεφαλαίου (Munda, 1995).

Οι θεωρητικές έννοιες του MAVT περιγράφηκαν από τους Fishburn (1967) και Keeney and Raiffa (1976), ενώ στις μελέτες των Winterfeldt and Edwards (1986) και French (1988) απαντούν διαφορετικές τεχνικές για την αξιολόγηση μιας γενικής αξίας συνάρτησης U . Ειδικότερα, η πιο απλή μορφή της συνάρτησης τιμών U είναι η μορφή πρόσθετου. Σε αυτήν η συνάρτηση U μπορεί να χωριστεί σε διάφορες λειτουργίες U_i , οι οποίες αυξάνουν αυστηρά τις πραγματικές λειτουργίες.

Στη συνέχεια, η συνάρτηση U μπορεί να ανακτηθεί προσθέτοντας τις υπο-λειτουργίες U_i . Με αυτό τον τρόπο, κάθε κριτήριο έχει τη δική του λειτουργία τιμής, η οποία απλοποιεί τη διαδικασία αξιολόγησης της συνάρτησης U .

Μέθοδος UTA

Η μέθοδος UTA (Utility Additive), κατά τους Jacquet-Lagrèze and Siskos (1982), είναι μια πολυκριτήρια μέθοδος κατάταξης η οποία στηρίζεται στην προσέγγιση της ανάλυσης των προτιμήσεων και αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μονότονης παλινδρόμησης: Έχοντας μια δομή προδιάταξης των προτιμήσεων, που δηλώνεται με τις σχέσεις απόλυτης (αυστηρής) προτίμησης P και απόλυτης αδιαφορίας I , πάνω σε ένα σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, πρέπει να προσδιορισθεί ένα σύνολο αθροιστικών συναρτήσεων χρησιμότητας, με τρόπο ώστε οι τελευταίες να συμπίπτουν, όσο το δυνατό περισσότερο, με τη δεδομένη αρχική προδιάταξη του αποφασίζοντα. Η οικογένεια μεθόδων UTA περιλαμβάνει και τις μεθόδους: UTASTAR Siskos and Yannacopoulos (1985), UTA-II [Siskos (1980)], και Quasi-UTA [Beutheetal. (2000)].

Μέθοδος UTADIS

Η μέθοδος UTADIS (UTilités Additives DIScriminantes) [Devaud et al. (1980); Jacquet-Lagrèze (1995); Zorounidis and Doumpos (1997a)] συνιστά επίσης μέθοδο μονότονης παλινδρόμησης, που στηρίζεται στη συνθετική προσέγγιση της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, αποσκοπώντας στο να αντιμετωπιστούν προβλήματα

ταξινόμησης. Βάσει μιας προκαθορισμένης ταξινόμησης των εναλλακτικών ενεργειών σε ομάδες, η μέθοδος αυτή στοχεύει στο να αναπτυχθεί ένα μοντέλο προσθετικής χρησιμότητας και να υπολογιστούν τα κατάλληλα όρια χρησιμότητας, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση των εναλλακτικών ενεργειών στις ομάδες που εντάσσονται, με την ελάχιστη δυνατή πιθανότητα σφάλματος.

Επιπλέον, παραλλαγές της μεθόδου UTADIS αποτελούν οι: UTADISI, UTADISII, UTADISIII [Zorounidis and Doumpos (1997a,1997b); Doumpos and Zorounidis (1998); Zorounidis and Doumpos (1998a, 1998b, 1999). Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί και η μέθοδος M.H.DIS [Zorounidis and Doumpos (2000b)]. Αυτά υπήρξαν η βάση για την ανάπτυξη πολλών αλληλεπιδραστικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Στα άρθρα των Jacquet-Lagrèze and Siskos (2001) και Siskosetal (2004) εξετάζονται οι μέθοδοι της οικογένειας UTA και τα συστήματα που προκύπτουν από εκείνες.

Μέθοδος AHP

Η τοποθέτηση προγραμμάτων σε μια ιεραρχία ήταν από καιρό μια από τις πιο χρήσιμες μεθόδους ταξινόμησης. Το AHP δεν μετρά μεμονωμένα κάθε παράγοντα που αλληλεπιδρά με εναλλακτικές αποφάσεις ή κριτήρια, αλλά μάλλον κάνει μια σχετική σύγκριση με τον αντίστοιχο παράγοντα (Figen Balo, 2016). Εν ολίγοις, συγκρίνει τη σημασία ενός παράγοντα με τη σημασία ενός άλλου, δηλαδή βασίζεται μόνο σε δυαδικές συγκρίσεις, παρέχοντας μετρήσιμα αποτελέσματα μέσω της κλίμακας Saaty. Ωστόσο, είναι σαφές ότι είναι δύσκολο να εργαστεί κανείς με βάση την κρίση των υπευθύνων χάραξης πολιτικής ή ακόμα και της κοινωνίας συνολικά λόγω υποκειμενικότητας. Ως εκ τούτου, μελετώνται ιδιαίτερα οι συνέπειες της κρίσης και η αποτελεσματικότητά της. Όπως θα δείτε κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, ο έλεγχος συμμόρφωσης AHP παίζει πολύ κρίσιμο ρόλο πριν από την αποδοχή οποιωνδήποτε αποτελεσμάτων.

Η δομή της μεθόδου σπάει πρώτα το πρόβλημα σε μικρότερα μέρη κι έπειτα προχωρά σε δυαδικές συγκρίσεις για να καθορίσει την προτεραιότητα σε κάθε ιεραρχία. Ακολουθούν οι τρεις αρχές πάνω στις οποίες βασίζεται το AHP (Saaty, 1986):

- *Αποσύνθεση*: Για να χτιστεί μια ιεραρχία (κύριο συστατικό στοιχείο της μεθόδου), προϋποτίθεται να εντοπιστούν τα ουσιαστικά στοιχεία του προβλήματος. Για την επίτευξη αυτού είναι απαραίτητο να αποσυντεθεί το πρόβλημα σε επίπεδα, τα οποία αναπαρίστανται με τη μορφή δέντρου.

Στο πρώτο επίπεδο υπάρχει ο απώτερος στόχος, δηλαδή μια απόφαση. Στο δεύτερο επίπεδο του δέντρου βρίσκονται τα σημαντικότερα κριτήρια που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των αποφάσεων, στο τρίτο ακολουθούν τα υποκριτήρια και συνεχίζονται με παρόμοιο τρόπο. Καθένα από τα επίπεδα αποτελεί την αποδόμηση αυτού που προηγείται. Επομένως, το πρόβλημα αναλύεται σε μέρη: αβέβαιες γενικές έννοιες γίνονται πιο συγκεκριμένες και ξεκάθαρες. Στο τελευταίο επίπεδο παρατίθενται εναλλακτικές αποφάσεις.

- *Σχετικές συγκρίσεις:* Οι συγκρίσεις κατά ζεύγη που έπονται της αποσύνθεσης του προβλήματος, ποσοτικοποιούν τη σημαντικότητα του κάθε (υπο)κριτηρίου στο εκάστοτε επίπεδο σε συνάρτηση με το κάθε στοιχείο που συνδέεται στο αμέσως ανώτερο επίπεδο. Μέσα από τη συγκριτική αυτή αξιολόγηση δημιουργούνται πίνακες προτιμήσεων, όπου καταγράφεται η εκτίμηση των σχετικών βαρών για κάθε (υπο)κριτήριο και κάθε εναλλακτική.
- *Σύνθεση των προτεραιοτήτων:* Τα σχετικά βάρη όπως προκύπτουν από τους πίνακες προτιμήσεων υποδεικνύουν τη σύνθεση των προτεραιοτήτων. Έπεται η κατασκευή της ιεραρχίας.

Τα θετικά των ιεραρχιών (Saaty, 1980):

1. Μια ιεραρχική αναπαράσταση ενός συστήματος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην περιγραφή του τρόπου με τον οποίο μια αλλαγή προτεραιότητας σε υψηλότερο επίπεδο επηρεάζει την προτεραιότητα των στοιχείων σε χαμηλότερο επίπεδο.
2. Παρέχουν λεπτομέρειες αναφορικά με το δομικό και λειτουργικό τμήμα του συστήματος στο χαμηλότερο επίπεδο και μια επισκόπηση των παραγόντων και του σκοπού του στο υψηλότερο επίπεδο. Επίσης, οι περιορισμοί σε στοιχεία σε ένα επίπεδο εκφράζονται πιο αποτελεσματικά στο επόμενο υψηλότερο επίπεδο, διασφαλίζοντας την ικανοποίησή τους. Παραδείγματος χάρη, η φύση μπορεί να θεωρηθεί ως ένας παράγοντας που στοχεύει στη χρήση ενός συγκεκριμένου υλικού και δεσμεύεται από συγκεκριμένους περιορισμούς.
3. Τα φυσικά συστήματα συντίθενται ιεραρχικά: χωρίζονται σε ενότητες-επίπεδα με δομική κατασκευή και τέλος οι μονάδες συντίθενται μεταξύ τους. Αυτά τα συστήματα εξελίσσονται πιο αποτελεσματικά από τα συστήματα που συναρμολογούνται στο σύνολό τους.

Οι ιεραρχίες ως συστήματα είναι σταθερά, καθώς οι μικρές μεταβολές έχουν ελάχιστη επίδραση. Ταυτόχρονα είναι ευέλικτα, καθώς οι προσθήκες σε μια καλά δομημένη ιεραρχία δεν διαταράσσουν την απόδοσή της ως συστήματος.

3.7.2 Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής

Μέθοδος Naiade

Είναι μέθοδος MCDA που παρουσιάστηκε από τον Giuseppe Munda (1995), του οποίου ο πίνακας επιπτώσεων ή αξιολόγησης μπορεί να περιλαμβάνει ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα και συγκεκριμένα οι τιμές που αποδίδονται στα κριτήρια για κάθε εναλλακτική μπορεί να εκφράζονται με τη μορφή τραγανών, στοχαστικών, ασαφών αριθμών ή γλωσσικών εκφράσεων (MUNDA, 1995). Ως εκ τούτου, επιτρέπει τη χρήση πληροφοριών που επηρεάζονται από διαφορετικούς τύπους αβεβαιότητας. Είναι μια διακριτή μέθοδος και δεν χρησιμοποιείται ρητά η στάθμιση των κριτηρίων. Η μέθοδος υλοποιείται από μια εφαρμογή λογισμικού που ονομάζεται NAIADÉ.

Από διαδικαστική άποψη, η μέθοδος αποτελείται από τρία στάδια:

1. τη σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών ανά ζεύγη
2. ο συνυπολογισμός όλων των κριτηρίων
3. την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων (Munda et al., 1994, Munda 1995, Menegolo και Guimarães Pereira 1996).

Το βήμα 1 απαιτεί σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών ανά ζεύγη. Το πρώτο βήμα είναι η κατασκευή μιας μήτρας αξιολόγησης E , η οποία είναι ένας πίνακας $m \times n$ που χαρακτηρίζεται από τα κριτήρια αξιολόγησης m και από n εναλλακτικές λύσεις. Οι συνιστώσες του είναι ποιοτικές ή ποσοτικές εγγραφές, οι οποίες εκφράζουν με σειρές την απόδοση κάθε εναλλακτικής σε σχέση με ένα συγκεκριμένο κριτήριο. Ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης j ($j = 1, 2, \dots, m$) και ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών λύσεων i ($i = 1, 2, \dots, n$) e_j

$$E \equiv \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mn} \end{pmatrix}$$

Εξίσωση 9 (MUNDA, 1995)

και η κατά ζεύγη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων (με αναφορά σε κάθε κριτήριο) γίνεται με την έννοια της «σημασιολογικής απόστασης» μεταξύ δύο ασαφών συνόλων.

Πιο συγκεκριμένα, αν S_1 και S_2 είναι δύο ασαφείς ομάδες και 1 και 2 είναι αντίστοιχα είναι δυνατόν να ορίσετε δύο νέες λειτουργίες:

Εάν $\mu_{A1}(x)$ και $\mu_{A2}(x)$ είναι δύο εξαρτημένες συναρτήσεις:

$$f(x) = k_1 \mu_{A1}(x)$$

Εξίσωση 10

και

$$g(y) = k_2 \mu_{A2}(y)$$

Εξίσωση 11

όπου $f(x)$ και $g(y)$ είναι δύο συναρτήσεις που αποκτήθηκαν με τη δημιουργία νέας κλίμακας για τις τεταγμένες των $\mu_{A1}(x)$ και $\mu_{A2}(y)$ μέσω των k_1 και k_2 , έτσι ώστε οι περιοχές των $f(x)$ και $g(y)$ να είναι ίση με 1.

Η απόσταση μεταξύ όλων των σημείων των εξαρτημένων συναρτήσεων υπολογίζεται ως εξής:

$$S_d(f(x), g(y)) = \int_x \int_y |x - y| f(x) g(y) dy dx$$

Εξίσωση 12

Συνεπώς, όταν η τομή είναι άδεια, η απόστασή τους ισούται με την απόσταση μεταξύ των προσδοκώμενων τιμών τους. Όταν η τομή μεταξύ δύο ασαφών συνόλων δεν είναι άδεια, η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη από τη διαφορά μεταξύ των προσδοκώμενων. Τότε ισχύει:

$$S_d(f(x), g(y)) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_x^{\infty} (y - x) f(x) g(y) dy dx + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^x (x - y) f(x) g(y) dy dx$$

Εξίσωση 13

Από θεωρητική πλευρά, συμπεραίνουμε τα εξής:

- 1) Η απόλυτη μετρική τιμή είναι μία ιδιαίτερη περίπτωση αυτού του τύπου απόστασης.
- 2) Η σύγκριση ενός ασαφή αριθμού με έναν σαφή αριθμό ισούται με τη διαφορά μεταξύ της προσδοκώμενης τιμής του ασαφή αριθμού και της τιμής του σαφή αριθμού που μελετώνται.
- 3) Μέσω αυτής της σημασιολογικής απόστασης, το πρόβλημα της χρήσης μόνο μίας πλευράς των εξαρτημένων συναρτήσεων, που υπάρχει στην πλειονότητα των κλασικών πολυκριτήριων μεθόδων, ξεπερνιέται.
- 4) Ακόμα, είναι δυνατό να ληφθούν υπόψη στοχαστικές πληροφορίες.

Μέθοδοι ELECTRE

Βασική μέθοδος στον χώρο των σχέσεων υπεροχής αποτελεί η ELECTRE (σε όλες τις μορφές της), που αναπτύχθηκε από τον Bernard Roy (1968, 1978, 1991, 1996) με στόχο να αντιμετωπιστεί η γενικότερη έλλειψη μεθόδων λήψης αποφάσεων που υπήρχε εκείνη την περίοδο (Buchanan et al., 1999).

Οι μέθοδοι της οικογένειας ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) είναι η πρώτη και πιο σημαντική κατηγορία μεθόδων, που στηρίχθηκε στο μοντέλο των σχέσεων υπεροχής. Όλες οι μέθοδοι αυτής της οικογένειας φέρουν το όνομα του Bernard Roy, (1968, 1978, 1991, 1996). Η μέθοδος MARSAN της ευρωπαϊκής εταιρείας SEMA το 1965 είναι μια αθροιστική μέθοδος με βάση το βάρος (Buchanan et al., 1999). Επιπλέον, ο Bernard Roy εμπνεύστηκε τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής (1965). Η πολυκριτηριακή προσέγγιση της οικογένειας ELECTRE, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορα προβλήματα, ανήκει στη σχολή γαλλικής μεθοδολογίας της υπεροχής, όπου χρησιμοποιείται ο κανόνας της πλειοψηφίας σε μια σχέση υπεροχής, αντίθετα με την αμερικανική σχολή, όπου χρησιμοποιείται ο κανόνας της συμφωνίας στην ιδέα της κυριαρχίας. Σκοπός είναι ο ορισμός της κατάλληλης εναλλακτικής που να χαρακτηρίζεται ως καλή όσον αφορά τα περισσότερα κριτήρια αλλά να μην είναι και πολύ κακή στα άλλα. Και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν ένας μεγάλος αριθμός εναλλακτικών λύσεων πρέπει να περιοριστεί προς διευκόλυνση της περαιτέρω εξέτασής τους. Υπάρχουν πέντε βασικές μορφές της ELECTRE - I, II, III, IV και TRI –με διαφορές στους όρους απαιτούμενων στοιχείων και των αποτελεσμάτων. Το 1968 αναπτύχθηκε η ELECTRE I από τον Roy για να την ακολουθήσουν αργότερα το 1971, 1973 η ELECTRE II από τους Roy και Bertier, το 1978 η ELECTRE III από τον Roy, το 1982 η ELECTRE IV από τους Hugonnard και Roy, το 1984 και 1991 η παραλλαγή ELECTRE Is από τους Roy και Skalka, η ELECTRE – TRI το 1992 από τον Yu και το 1993 από τους Roy και Bouyssou και το 1996 η παραλλαγή της ELECTRE III από τον Roy. Το σύνολο των μεθόδων έχει ως κορμό τις ίδιες βασικές ιδέες. Οι διαφορές έγκεινται στη λειτουργία και στον τύπο του προβλήματος. Ως προς την ονομασία τους, οι μέθοδοι περιγράφονται αρχικά ως σειριακές μέθοδοι ελάττωσης. Σύμφωνα με τον Bertier (1975), κατατάσσονται στις αλγεβρικές μεθόδους (προκειμένου να τις διακρίνει από τις «γεωμετρικές» μεθόδους της ανάλυσης δεδομένων), αλλά στην ουσία πρόκειται για μεθόδους που επιτυγχάνουν την σύνθεση των μερικών διατάξεων –όπως αυτές εισάγονται από τα διατεταγμένα κριτήρια. Η δημιουργία της κάθε μεθόδου αναλύεται

σε δύο στάδια: σε αυτό της κατασκευής της σχέσεως υπεροχής και σε αυτό της εξερεύνησης. Καθεμία έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και ακολουθείται ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος που εξετάζεται. Η ELECTREI και Is προορίζονται για προβλήματα επιλογής και οι ELECTREII, III και IV για προβλήματα κατάταξης.

ELECTREI

Η μέθοδος είναι απλή και η εφαρμογή της ενδείκνυται μόνο στην περίπτωση που όλα τα κριτήρια έχουν κωδικοποιηθεί σε αριθμητικές κλίμακες με όμοιες κλίμακες (Saaty T. L., 1986). Σε μια τέτοια συνθήκη μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι μια δράση “a ξεπερνάει τη b” (δηλαδή η “a είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο η b” που υποδηλώνεται από το aSb μόνο όταν κρατούνται δύο συνθήκες.

Από τη μία πλευρά, η δύναμη του συναφούς συνασπισμού πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή για να υποστηρίξει αυτόν τον ισχυρισμό. Με τη δύναμη του συμμαχικού συνασπισμού νοείται το άθροισμα των βαρών που συνδέονται με τα κριτήρια που σχηματίζουν αυτόν τον συνασπισμό. Μπορεί να οριστεί από τον ακόλουθο δείκτη αντιστοιχίας (υποθέτοντας, για λόγους απλότητας των τύπων, ότι $\sum_{j \in J} w_j = 1$ όπου J είναι το σύνολο των δεικτών των κριτηρίων):

$$C(aSb) = \sum_{\{j: g_j(a) \geq g_j(b)\}} w_j$$

Εξίσωση 14

(όπου $\{j: g_j(a) \geq g_j(b)\}$ είναι το σύνολο των δεικτών για όλα τα κριτήρια που ανήκουν στον συμπαγή συνασπισμό με τη σχέση εξόδου. Δηλαδή η τιμή του δείκτη σύγκρισης πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με ένα δεδομένο επίπεδο συναίνεσης s, η αξία του οποίου εν γένει εμπίπτει στο εύρος $[0, 5, 1 - \min_{j \in J} w_j]$

Από την άλλη πλευρά, καμία αντίφαση με τον ισχυρισμό “a είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο μπορεί να αποδειχθεί ο b”. Η ανακολουθία μετριέται από ένα επίπεδο δυσανάλογων τιμών που ορίζεται ως εξής:

$$d(aSb) = \max_{\{j: g_j(a) < g_j(b)\}} \{g_j(b) - g_j(a)\}$$

Εξίσωση 15

Αυτό το επίπεδο μετράει με κάποιο τρόπο τη δύναμη του ασύμφωνου συνασπισμού, που σημαίνει ότι εάν η αξία του ξεπεράσει ένα δεδομένο επίπεδο u, ο ισχυρισμός δεν ισχύει πλέον. Ο ασύδοτος συνασπισμός δεν ασκεί καμία εξουσία κάθε φορά που $d(aSb) \leq u$

Και οι δύο δείκτες συμμόρφωσης και ανακολουθίας πρέπει να υπολογιστούν για κάθε ζεύγος ενεργειών (a,b) στο σύνολο A, όπου $a \neq b$.

Εύκολα διαπιστώνει κανείς πως μια τέτοια διαδικασία υπολογισμών έχει ως αποτέλεσμα μια δυαδική σχέση με συνολικό τρόπο (υπολογίζοντας το σύνολο των κριτηρίων) στο σύνολο A . Επομένως, για κάθε ζεύγος δράσεων (a,b) , μπορεί να ισχύει ένα από τα παρακάτω:

- aSb και όχι bSa , δηλαδή aPb , το a αυστηρά προτιμάται του b
- bSa και όχι aSb , δηλαδή bPa , b αυστηρά προτιμάται από a
- aSb και bSa και δηλαδή, aIb , a είναι αδιάφορη προς b
- Όχι aSb και όχι bSa , δηλαδή aRb , a είναι ασύγκριτο του b

ELECTREII

Από ιστορική και παιδαγωγική άποψη είναι ενδιαφέρον να παρουσιάσουμε το ELECTRE II. Αυτή ήταν η πρώτη μέθοδος ELECTRE που σχεδιάστηκε ειδικά για την διαχείριση των προβλημάτων κατάταξης. Χωρίς να βρεθούν περισσότερες λεπτομέρειες, αξίζει επιπλέον να επισημανθεί πως το ELECTRE II ήταν η πρώτη μέθοδος για να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική που βασίζεται στην κατασκευή μιας ενσωματωμένης αλληλουχίας σχέσεων εξωστρέφειας. Η διαδικασία κατασκευής είναι πολύ κλειστή για την ELECTRE IV, υπό την έννοια ότι είναι επίσης μια διαδικασία βασισμένη σε αληθή κριτήρια. Επομένως, όπως ήταν αναμενόμενο, η κατάσταση άνευ βέτο παραμένει η ίδια. Ωστόσο, η συνθήκη συμφωνίας τροποποιείται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η έννοια των ενσωματωμένων σχέσεων εξωστρέφειας. Υπάρχουν δύο ενσωματωμένες σχέσεις: μια ισχυρή σχέση εξωστρέφειας ακολουθούμενη από μια αδύναμη σχέση εξωστρέφειας. Τόσο οι ισχυρές όσο και οι αδύναμες σχέσεις δημιουργούνται χάρη στον ορισμό δύο επιπέδων αντιστοιχίας, $s^1 > s^2$, όπου $s^1, s^2 \in [0, 5, 1 - \min_{j \in J} w_j]$. Η συνθήκη μπορεί να οριστεί ως εξής :

$$c(aSb) \geq s^r \text{ and } c(aSb) \geq c(bSa), \text{ for } r = 1, 2$$

Εξίσωση 16

Η διαδικασία εκμετάλλευσης είναι ένας αλγόριθμος τεσσάρων βημάτων:

1. Αντιστοίχιση του συνόλου A. Κατ 'αρχάς, ας εξετάσουμε τη σχέση S^1 πάνω στο A. Με παρόμοιο τρόπο όπως στο ELECTRE I, αυτή η σχέση μπορεί να καθορίσει στον A έναν ή περισσότερους κύκλους. Εάν όλες οι ενέργειες που ανήκουν σε κάθε μέγιστο κύκλο ομαδοποιηθούν σε μία μόνο κλάση, θα ληφθεί ένα διαμέρισμα στο A. Ας δηλώσουμε το A ως διαμέρισμα. Για το σκοπό σύγκρισης μεταξύ στοιχείων του A μιας σχέσης προτίμησης $>^1$ θα χρησιμοποιηθεί. Αυτή η σχέση έχει το ίδιο νόημα με τη σχέση για το ELECTRE I.
2. Δημιουργία μιας πλήρους προπαραγγελίας Z_1 στο A. Μετά τη λήψη του A, η διαδικασία προσδιορίζει ένα υποσύνολο B^1 των τάξεων που ακολουθεί τον κανόνα "κανένας άλλος δεν προτιμάται απέναντί τους" σύμφωνα με τη σχέση $>^1$. Μετά την αφαίρεση του B^1 από το A και την εφαρμογή του ίδιου κανόνα $A \setminus B^1$, ένα υποσύνολο B^2 θα βρεθεί. Η διαδικασία πραγματοποιείται ξανά με τον ίδιο τρόπο στο A μέχρι να οριστεί το τελικό διαμέρισμα $\{B^1, B^2, \dots\}$
3. Καθορισμός πλήρους προ-παραγγελίας Z_2 στο A. Η διαδικασία για την απόκτηση αυτής της προ-παραγγελίας είναι αρκετά παρόμοια με την παραπάνω. Απαιτούνται μόνο δύο τροποποιήσεις:
 - ο Εφαρμογή του κανόνα "δεν προτιμώντε από οποιονδήποτε άλλο" αντί

"δεν προτιμάται κανένας άλλος από αυτούς". ας δηλώσουμε $\{B1', B2', \dots\}$ το διαμέρισμα που αποκτάται με τον τρόπο αυτό

- ο Ορισμός της εκδοχής της πλήρους προ-παραγγελίας τοποθετώντας την Z_2 στην ουρά αυτής της προ-παραγγελίας, και σε μια θέση όλες τις κλάσεις $B1'$ και μετά εκείνες του $B2'$ και ούτω καθεξής.
4. Ορισμός της μερικής προ-παραγγελίας Z . Η μερική προπαραγγελία Z είναι μια τομή του και καθορίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$aZb \Leftrightarrow aZ_1b \text{ and } aZ_2b.$$

Εξίσωση 17

Μέθοδοι Promethee

Η μέθοδος PROMETHEE, που εντάσσεται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής, προτείνεται για πρώτη φορά από τον Brans (1982). Ακολουθούν οι βασικές αρχές της μεθόδου:

- ο επέκταση στην έννοια των κριτηρίων,
- ο εκτιμώμενη σχέση υπεροχής
- ο εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής.

Οι μέθοδοι PROMETHEE απαιτούν για κάθε κριτήριο να καθοριστεί μία ορισμένη συνάρτηση προτίμησης, που χρησιμοποιείται για να υπολογίζεται ο βαθμός προτίμησης αναφορικά με τη βέλτιστη εναλλακτική σε κάθε περίπτωση των συγκρίσεων ανά ζεύγος (Majid Behzadian, 2010). Οι μέθοδοι αυτές υπολογίζουν θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης για κάθε εναλλακτική. Η θετική και η αρνητική ροή δηλώνουν το κατά πόσο μία εναλλακτική είναι η ή κυριαρχείται από τις υπόλοιπες (αντίστοιχα). Στηριζόμενη σε αυτές τις ροές η PROMETHEE I καταλήγει σε μία μερική κατάταξη, ενώ η PROMETHEE II δίνει μία πλήρη κατάταξη που στηρίζεται στην εξισορρόπηση των δύο ροών προτίμησης. Το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής έχει ως εκκίνηση τον προσδιορισμό του δείκτη προτίμησης (preference index) $\pi(x_i, x_j)$ για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων x_i και x_j , που ορίζεται ως:

$$\pi(x_i, x_j) = \prod_{k=1}^n w_k p_k(x_i, x_j)$$

Εξίσωση 18

Ο μερικός δείκτης προτίμησης $p_k(x_i, x_j)$ για το κριτήριο x_k ορίζεται σε συνάρτηση της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$ μεταξύ των επιδόσεων των δύο εναλλακτικών στο κριτήριο x_k .

PrometheeI

Υποθέτουμε ότι έχουμε να επιλύσουμε το ακόλουθο πρόβλημα πολυκριτήριας φύσης:

$\text{Max}\{f_1(a), \dots, f_k(a) \mid a \in K\}$ όπου:

K : είναι ένα πεπερασμένο σύνολο ενεργειών f_i όπου $i = 1, \dots, k$: είναι τα k κριτήρια εκτίμησης τα οποία πρέπει να βελτιστοποιηθούν.

Μέσω των μεθόδων PROMETHEE το πολυκριτήριο αυτό πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τα ακόλουθα βήματα:

- (1) Αναπτύσσεται μία σχέση υπεροχής στο σύνολο K των εναλλακτικών ενεργειών.
- (2) Εκμετάλλευση της σχέσης αυτής, ώστε να επιλυθεί το πολυκριτήριο πρόβλημα που εξετάζεται.

Στο στάδιο 1 πρέπει να διευκρινιστούν από τον αποφασίζοντα οι προτιμήσεις του αναφορικά με τις εναλλακτικές ενέργειες που εξετάζονται. Γι' αυτό ορίζεται μια συνάρτηση προτίμησης P , όπου φαίνονται οι προτιμήσεις του αποφασίζοντα.

Έστω f ένα κριτήριο απόφασης, οι τιμές του οποίου ανήκουν στο σύνολο των πραγματικών αριθμών: $f : K \rightarrow \mathbb{R}$ και έστω ότι το κριτήριο αυτό θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί, χωρίς αυτό να αποτελεί περιορισμό. Για κάθε εναλλακτική ενέργεια $a \in K$, ορίζεται ως $f(a)$ η εκτίμηση της ενέργειας αυτής πάνω στο συγκεκριμένο κριτήριο (η τιμή του κριτηρίου για την ενέργεια a). Συγκρίνοντας τις δύο εναλλακτικές ενέργειες $\alpha, \beta \in K$, ορίζεται η συνάρτηση προτίμησης P ως εξής: $P : K \times K \rightarrow (0,1)$.

Εκφράζει το αποτέλεσμα της σύγκρισης των δύο εναλλακτικών ενεργειών, την ένταση της προτίμησης του αποφασίζοντα για την εναλλακτική ενέργεια α ως προς την εναλλακτική ενέργεια β , ως εξής:

$P(\alpha, \beta) = 0 \Rightarrow$ Υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των ενεργειών α και β

$P(\alpha, \beta) \sim 0 \Rightarrow$ Υπάρχει ελαφρά προτίμηση της α από τη β

$P(\alpha, \beta) \sim 1 \Rightarrow$ Υπάρχει ισχυρή προτίμηση της α από τη β

$P(\alpha, \beta) = 1 \Rightarrow$ Υπάρχει σαφής προτίμηση της α από τη β

Στην πραγματικότητα η συνάρτηση προτίμησης είναι συχνά μια συνάρτηση της διαφοράς των εκτιμήσεων των δύο εναλλακτικών ενεργειών, δηλαδή:

$$P(\alpha, \beta) = P[f(\alpha) - f(\beta)]$$

Εξίσωση 19

Η συνάρτηση προτίμησης ορίζεται ως αύξουσα συνάρτηση της διαφοράς $d = f(\alpha) - f(\beta)$ που παίρνει την τιμή 0 για όλες τις αρνητικές τιμές του d . Αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι, όπως έχει οριστεί η συνάρτηση προτίμησης, φαίνεται μόνο η ένταση της προτίμησης της ενέργειας α από την ενέργεια β , ενώ όταν η β υπερέχει της α τότε η συνάρτηση προτίμησης παίρνει την τιμή 0.

Για να υπολογίζει η συνάρτηση προτίμησης και την υπεροχή της εναλλακτικής ενέργειας β ως προς την εναλλακτική ενέργεια α , ορίζεται η συνάρτηση H ως:

$$H(d) = P(\alpha, \beta), d \geq 0$$

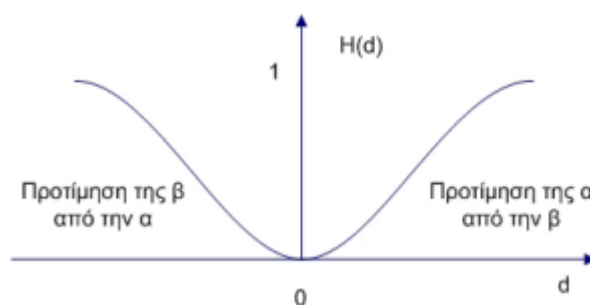
Εξίσωση 20

ή

$$H(d) = P(\beta, \alpha), d \leq 0$$

Εξίσωση 21

Όταν η διαφορά d παίρνει θετικές τιμές, τότε η συνάρτηση $H(d)$ δείχνει την ένταση της προτίμησης της εναλλακτικής α ως προς την εναλλακτική β . Όταν η διαφορά d παίρνει αρνητικές τιμές, η συνάρτηση $H(d)$ δείχνει την ένταση της προτίμησης της β ως προς την α , η οποία αυξάνει καθώς η τιμή του d μικραίνει, δηλαδή όταν η εκτίμηση της ενέργειας β πάνω στο συγκεκριμένο κριτήριο $f(\beta)$ γίνεται όλο και μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη εκτίμηση της ενέργειας α , $f(\alpha)$.



Εικόνα 11: Η μορφή της συνάρτησης $H(d)$

Θα πρέπει ο αποφασίζων να καθορίσει για κάθε κριτήριο f ένα βάρος m , το οποίο δίνει την σχετική σημασία αυτού του κριτηρίου. Κατόπιν, αναπτύσσεται ο δείκτης προτίμησης Π , ως ο σταθμισμένος μέσος των συναρτήσεων προτίμησης P_i :

$$\Pi(\alpha, \beta) = \frac{\sum_{i=1}^k \Pi_i P_i(\alpha, \beta)}{\sum_{i=1}^k \Pi_i}$$

Εξίσωση 22

PrometheeII

Το PROMETHEEII είναι μια μέθοδος πολυκριτήριας ανάλυσης, το οποίο έχει ως στόχο την πλήρη ταξινόμηση ενός πεπερασμένου συνόλου εφικτών εναλλακτικών λύσεων. Η μέθοδος αυτή θέτει τα θεμέλια για την εφαρμογή των άλλων μεθόδων PROMETHEE, γι' αυτό και οι περισσότεροι ερευνητές αναφέρονται στη συγκεκριμένη έκδοση. Η βασική αρχή του PROMETHEE II στηρίζεται σε μια κατά ζεύγη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων κατά μήκος κάθε αναγνωρισμένου κριτηρίου (Majid Behzadian, 2010). Η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων πραγματοποιείται σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια, που πρέπει να μεγιστοποιηθούν ή να ελαχιστοποιηθούν. Η εφαρμογή του PROMETHEE II προϋποθέτει δύο περαιτέρω τύπους πληροφοριών:

ο Προσδιορισμός των βαρών

Κομβικής σημασίας βήμα στις περισσότερες μεθόδους πολλαπλών κριτηρίων είναι ο προσδιορισμός των βαρών. Το PROMETHEE II υποθέτει ότι ο αποφασίζων μπορεί να σταθμίσει σωστά τα κριτήρια, τουλάχιστον στην περίπτωση που ο αριθμός των κριτηρίων δεν είναι πάρα πολύ μεγάλος (Macharisetal., 2004).

ο Η λειτουργία προτιμήσεων

Για όλα τα κριτήρια η συνάρτηση προτίμησης μετατρέπει τη διαφορά ανάμεσα στις αξιολογήσεις που λαμβάνονται από δύο εναλλακτικές λύσεις σε βαθμό προτίμησης με εύρος από μηδέν έως ένα. Οι Vincke και Brans (1985) πρότειναν τους έξι βασικούς τύπους που ακολουθούν, ώστε να καταστεί η επιλογή μιας συγκεκριμένης συνάρτησης προτιμήσεων πιο εύκολη:

- 1) σύνηθες κριτήριο
- 2) κριτήριο σχήματος U
- 3) κριτήριο σχήματος V
- 4) κριτήριο επιπέδου

5) σχήμα V με κριτήριο αδιαφορίας

6) κριτήριο Gauss

Ο ορισμός των παραπάνω τύπων είναι εύκολος. Για κάθε κριτήριο, η τιμή ενός ορίου αδιαφορίας q , η τιμή ενός αυστηρού ορίου προτίμησης p και η τιμή μιας ενδιάμεσης τιμής μεταξύ p και q , s πρέπει να διορθωθεί (Brans and Mareschal, 1992). Εν πάση περιπτώσει, η σημασία αυτών των παραμέτρων για τον αποφασίζοντα είναι σαφής. Η διαδικασία ξεκινάει για τον προσδιορισμό των αποκλίσεων που βασίζονται σε συγκρίσεις ζευγαριών.

Για τον υπολογισμό της καθαρής ροής για ένα κόμβο αφαιρείται από τη ροή εξόδου ϕ^+ (α) η ροή εισόδου ϕ^- (α) :

$$\phi(\alpha) = \phi^+(\alpha) - \phi^-(\alpha)$$

Εξίσωση 23

Με την χρήση της καθαρής ροής μπορεί να γίνει μία πλήρης κατάταξη των εναλλακτικών ενεργειών. Η καθαρή ροή χρησιμοποιείται από τη μέθοδο PROMETHEE II προκειμένου να προκύψει μια ολοκληρωμένη κατάταξη των εναλλακτικών (Teno and Mareschal, 1998).

Σημαντική είναι επιπλέον η ύπαρξη ενός δείκτη προτίμησης μιας ενέργειας α ως προς όλες τις υπόλοιπες εναλλακτικές ενέργειες, εξετάζοντας ένα συγκεκριμένο κριτήριο j . Η συγκεκριμένη πληροφορία παρέχεται από τη μονοκριτήρια ροή (unicriterionflow) $\phi_j(\alpha)$, που υπολογίζεται ως εξής:

$$\phi_j(\alpha) = \sum_{\beta \in K} \{P_j(\alpha, \beta) - P_j(\beta, \alpha)\}$$

Εξίσωση 24

Όταν η ροή αυτή είναι ένας μεγάλος θετικός αριθμός τότε η ενέργεια α υπερέχει όλων των υπολοίπων εναλλακτικών ενεργειών όταν εξετάζεται μόνο το κριτήριο j . Αντίθετα, όταν η τιμή της ροής αυτής είναι ένας μεγάλος αρνητικός αριθμός, όλες οι υπόλοιπες εναλλακτικές ενέργειες υπερέχουν της ενέργειας α , όταν εξετάζεται το κριτήριο j .

Χρησιμοποιώντας τις καθαρές ροές για κάθε κόμβο του γραφήματος υπεροχής (εναλλακτικές ενέργειες), η μέθοδος PROMETHEE II δίνει μια πλήρη κατάταξη των εναλλακτικών ενεργειών του συνόλου K , από την καλύτερη προς τη χειρότερη. Με βάση τις καθαρές ροές όλων των εναλλακτικών ενεργειών που έχουν υπολογιστεί, για δύο εναλλακτικές ενέργειες α και β υπάρχουν οι ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

$$\alpha P_{||} \beta \text{ (η } \alpha \text{ υπερέχει της } \beta) \Leftrightarrow \phi(\alpha) > \phi(\beta)$$

Εξίσωση 25

$$\alpha I_{||} \beta \text{ (υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των } \alpha \text{ και } \beta) \Leftrightarrow \phi(\alpha) = \phi(\beta)$$

Εξίσωση 26

Έπειτα από κάποια χρόνια οι J.P. Brans και ο B. Mareschal παρουσίασαν τη μέθοδο PROMETHEE III (κατάταξη η οποία βασίζεται στα διαστήματα) και PROMETHEE IV (συνεχόμενη περίπτωση), ενώ το 1988 πρότειναν και το σύστημα γραφικής αλληλεπίδρασης GAIA, το οποίο δίνει γραφήματα υποστηρίζοντας τη μέθοδο PROMETHEE. Το 1992 και 1994 οι J.P. Brans και B. Mareschal παρουσίασαν δύο νέες επεκτάσεις της μεθόδου PROMETHEE, τις PROMETHEEV (MCDA υπό περιορισμούς) και PROMETHEEVI (αναπαράσταση ανθρώπινου νου).

3.8 Προσδιορισμός βαρών

Στις θεωρίες που παρατέθηκαν, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο κατά την εφαρμογή τους έχουν τα βάρη, ο βαθμός επιρροής δηλαδή του κάθε κριτηρίου και κάθε υποκριτηρίου. Έτσι καθίσταται αναγκαία η αποσαφήνιση των μεθοδολογιών που εφαρμόζονται κατά την ανεύρεση αυτών καθώς και η επιλογή μίας από αυτές τις μεθόδους ως καταλληλότερης για την εξαγωγή τους.

3.8.1 Καταγραφή μεθόδων Προσδιορισμού βαρών

- **Βάρη των κριτηρίων με βάση πολλαπλές μορφές προτιμήσεων**

Σύμφωνα με τους Zhang και Ma, στις πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων, οι λήπτες αποφάσεων πάντα δίνουν πληροφορίες προτίμησης εναλλακτικών, κριτηρίων ή πινάκων αποφάσεων. Καθώς οι διάφοροι λήπτες αποφάσεων μπορεί να έχουν άλλη κουλτούρα, άλλη εκπαίδευση ή ένα διαφορετικό σύστημα αξιών, μπορεί να εκφράζουν τις προτιμήσεις τους με διαφορετικές μορφές. Για να υπάρχει περισσότερη ελαστικότητα στο σύστημα, διάφορες μορφές προτιμήσεων έχουν ληφθεί υπόψη από τους Zhang και Ma στην προσπάθειά τους να αναπτύξουν μία νέα προσέγγιση προσδιορισμού των βαρών των κριτηρίων: τάξεις προτίμησης, τιμές χρησιμότητας και πολλαπλή σχέση προτίμησης, επιλεγμένα υποσύνολα, κανονική σχέση προτίμησης ασαφώς επιλεγμένου υποσυνόλου, σχέση ασαφούς προτίμησης, όροι γλωσσολογίας και σύγκριση ανά ζεύγη. Οι διάφορες μορφές προτίμησης ενοποιούνται σε μία πολλαπλή σχέση προτίμησης. Στη συνέχεια, γίνεται συγκέντρωση των προτιμήσεων και ακολουθεί διαδικασία εκμετάλλευσης των πληροφοριών αυτών ώστε να προσδιοριστούν τα βάρη των κριτηρίων.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου από τους Zhang και Ma οι ακόλουθες υποθέσεις και μετασχηματισμοί έχουν γίνει:

- Οι εναλλακτικές θεωρείται ότι είναι γνωστές: έστω $S=\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ με $m \geq 2$ δηλώνει το σύνολο των πιθανών εναλλακτικών.
- Τα κριτήρια θεωρούνται ότι είναι γνωστά: έστω $C=\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ με $n \geq 2$ δηλώνει το σύνολο των κριτηρίων, τα οποία θεωρούνται ότι είναι προσθετικά ανεξάρτητα.
- Ο συντελεστής βαρύτητας των κριτηρίων είναι άγνωστος: έστω $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ είναι ο συντελεστής βαρύτητας των κριτηρίων, όπου
$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$
 , $w_j \geq 0$, $j=1, \dots, n$ και w_j δηλώνει το βάρος του κριτηρίου C_j .
- Οι λήπτες αποφάσεων είναι γνωστοί: έστω $E=\{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ δηλώνει το σύνολο των K ($K \geq 2$) ληπτών αποφάσεων.

- **Συγκέντρωση των σχέσεων πολλαπλασιαστικής προτίμησης από πολλαπλούς λήπτες αποφάσεων**

Η μέθοδος της ασαφούς πλειοψηφίας (Herrera et al., 2001) Έστω $p^l=(p^l_{ij})_{n \times n}$ μία ανεξάρτητη σχέση πολλαπλασιαστικής προτίμησης στα κριτήρια ορισμένη από τον λήπτη αποφάσεων e_l , $l=1, \dots, K$. Μία συγκεντρωτική θεωρία πολλαπλασιαστικής προτίμησης $p^c=(p^c_{ij})_{n \times n}$ μπορεί να προκύψει από τις απόψεις της πλειοψηφίας των

ληπτών αποφάσεων. Η ασαφής πλειοψηφία είναι μία λεπτή έννοια εκφρασμένη από έναν ασαφή γλωσσολογικό ποσοτικό συντελεστή (Zadeh, 1975,1983). Ο p_{ij}^c μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον συγκεντρωτικό διαταγμένο σταθμισμένο γεωμετρικό τελεστή, (OWG) ορισμένο ως εξής:

Έστω $p_{ij}^1, p_{ij}^2, \dots, p_{ij}^K$ είναι μία λίστα τιμών προς συγκέντρωση, ο τελεστής OWG διάστασης K είναι μία συνάρτηση ϕ^G ,

$$\phi^G: R^K \rightarrow R$$

η οποία συσχετίζεται με ένα σύνολο βαρών λ και ορίζεται ως:

$$\phi^G(p_{ij}^1, p_{ij}^2, \dots, p_{ij}^K) = \prod_{l=1}^K (Z_l)^{\lambda_l}$$

Εξίσωση 27

$$\text{όπου } \lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K]$$

Εξίσωση 28

είναι ένας εξωτερικά δοσμένος συντελεστής βαρύτητας έτσι ώστε $\lambda_l \in [0,1]$, $l=1, \dots, K$

$$\text{και } \sum_{l=1}^K \lambda_l$$

Εξίσωση 29

Το Z είναι ο συντελεστής διαταγμένης τιμής. Κάθε στοιχείο $z_l \in Z$ είναι η τιμή l -στής τάξης στη συγκέντρωση $\{p_{ij}^1, p_{ij}^2, \dots, p_{ij}^K\}$. Η έννοια της ασαφούς πλειοψηφίας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του συντελεστή βαρύτητας λ με έναν ασαφή γλωσσολογικό ποσοτικό συντελεστή (Yager, 1993, 1996). Στην περίπτωση ενός μη-φθίνοντα επιμεριστικού ποσοτικού συντελεστή Q , ο συντελεστής βαρύτητας λ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη έκφραση:

$$\lambda_l = Q(l/K) - Q((l-1)/K), l=1, \dots, K$$

Εξίσωση 30

Όταν ένας ασαφής γλωσσολογικός ποσοτικός συντελεστής Q χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο συντελεστής βαρύτητας λ στον τελεστή OWG, η ϕ^G δίνεται από τη ϕ^G_Q . Επομένως, η συγκεντρωτική σχέση πολλαπλασιαστικής προτίμησης προκύπτει ως εξής:

$$p_{ij}^c = \phi^G_Q(p_{ij}^1, p_{ij}^2, \dots, p_{ij}^K), i, j=1, \dots, n; i \neq j$$

Εξίσωση 31

- **Η μέθοδος του γεωμετρικού μέσου για τη συγκέντρωση μεταξύ πολλαπλών ληπτών αποφάσεων**

Οι Zhang και Ma παίρνουν ως $p^l = (p^l_{ij})_{n \times n}$ την ανεξάρτητη σχέση πολλαπλασιαστικής προτίμησης στα κριτήρια όπως ορίζεται από το λήπτη αποφάσεων e_i , $i=1, \dots, K$. Μία συγκεντρωτική σχέση προτίμησης $P^C = (p^C_{ij})_{n \times n}$ προκύπτει με χρήση της μεθόδου συγκέντρωσης του γεωμετρικού μέσου (Barzilai και Lootsma, 1997):

$$p^C_{ij} = \prod_{l=1}^K (p^l_{ij}), \quad i, j=1, \dots, n; i \neq j$$

Εξίσωση 32

- **Μέθοδος Simos**

Για τον υπολογισμό των βαρών έχουν θεμελιωθεί αρκετές θεωρίες μία εκ των οποίων είναι και η μέθοδος Simos. Πρόκειται για μια θεωρία η οποία αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1990 και έχει ως στόχο την ιεράρχηση των κριτηρίων ενός προβλήματος, μέσω του προσδιορισμού των αριθμητικών τιμών τους. Βασικό μειονέκτημα της προκειμένης μεθόδου είναι ότι δεν βασίζεται σε πραγματικές υποθέσεις, εφόσον υπάρχει έλλειψη ιδιαίτερα χρήσιμων πληροφοριών, ενώ παράλληλα η ανάλυση των κριτηρίων που έχουν τον ίδιο βαθμό σημαντικότητας, δηλαδή που έχουν το ίδιο βάρος, κρίνεται ανέφικτη. (Beuthe and Scannella, 2001).

Στην εν λόγω θεωρία σε πρώτη φάση συγκεντρώνονται οι απαραίτητες πληροφορίες και στη συνέχεια προσδιορίζονται τα βάρη. Υπάρχουν τρία στάδια στη συγκέντρωση πληροφοριών. Πρώτα, δίνεται στο χρήστη ένα πακέτο με n αριθμό καρτών, όσα δηλαδή είναι και τα κριτήρια. Στη συνέχεια, ο χρήστης κατατάσσει τα κριτήρια με αύξουσα σειρά, δηλαδή από το λιγότερο σημαντικό μέχρι το πιο σημαντικό. Μετά ο χρήστης, πρέπει να αντιμετωπίσει τον ίδιο βαθμό σημαντικότητας μεταξύ δύο διαδοχικών κριτηρίων που μπορεί να προκύψει. Στο σημείο αυτό, καλείται να λάβει υπόψη του έστω και την ελάχιστη διαφορά μεταξύ τους, ώστε να μπορέσουν να διαμορφωθούν τα βάρη. Αυτό μπορεί να το πετύχει με την τοποθέτηση λευκών καρτών μεταξύ των κριτηρίων. Η χρήση λευκών καρτών δείχνει πόσο σημαντικό είναι ένα κριτήριο σε σχέση με το προηγούμενο. Όσο μεγαλύτερη είναι η αρίθμηση της κάρτας, τόσο πιο σημαντικό θεωρείται (Beuthe and Scannella, 2001).

Για τον προσδιορισμό των βαρών αρχικά γίνεται η κατάταξη του υποσυνόλου των κριτηρίων από το λιγότερο σημαντικό στο πιο σημαντικό και στη συνέχεια, καθορίζονται οι θέσεις των καρτών. Η κάρτα με τη μικρότερη κατάταξη ορίζεται με τη θέση 1, η αμέσως επόμενη με τη θέση 2 κ.τ.λ. Μετά, προσδιορίζεται το μέσο ή μη κανονικοποιημένο βάρος διαιρώντας το άθροισμα των θέσεων αυτών με το συνολικό αριθμό των κριτηρίων. Τέλος, υπολογίζεται το σχετικό ή κανονικοποιημένο βάρος διαιρώντας το μέσο βάρος με το συνολικό άθροισμα των θέσεων των κριτηρίων (Holsapple and Sena, 2005).

Η RevisedSimos που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εργασία για την εύρεση των βαρών, αποτελεί μια αναθεώρηση της μεθόδου Simos. Η αναθεωρημένη αυτή μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Jose Figuiera και Barnard Roy, λαμβάνει υπόψη ένα είδος επιπρόσθετων πληροφοριών από τον αποφασίζοντα και αλλάζει τους κανόνες υπολογισμού των βαρών. Έτσι ο αποφασίζων μπορεί να σκεφτεί καλύτερα πώς να διαμορφώσει την ιεραρχία των κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, η RevisedSimos εξαλείφει τα λάθη επεξεργασίας στα υποσύνολα των ίσων κριτηρίων και επεξεργάζεται καλύτερα τη στρογγυλοποίηση των αριθμητικών τιμών που οδηγεί στα κανονικοποιημένα βάρη που έχουν άθροισμα 100 (Holsapple and Sena, 2005).

3.8.2 Επιλογή μεθόδου Simos και εξαγωγή βαρών

Προκειμένου να επιτευχθεί η εξαγωγή των βαρών για την εν λόγω εργασία, πραγματοποιήθηκε εκτενής αναζήτηση σε ιστότοπους ώστε να παρθούν διάφορες απόψεις, με τους λαμβάνοντες της επιλογής να επιλέγουν τις εγγύτερες σε αυτούς. Καθώς αυτό αποτελεί υπό μια έννοια υποκειμενική απόφαση των εκπονούντων της εργασίας αποφασίστηκε από κοινού η εξαγωγή και δοκιμή διαφόρων τιμών βαρών και η σύγκριση αυτών. Άλλωστε η πολυκριτήρια μεθοδολογία δεν στοχεύει στην ανάδειξη μίας επιλογής ως βέλτιστης αλλά στην ανάδειξη ενός εύρους επιλογών ανάλογα με την υποκειμενικότητα των κριτηρίων. Επομένως, κατόπιν αναλυτικής έρευνας εξήχθησαν τιμές βαρών διαφορετικές μεταξύ τους ώστε να αναλυθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους, για την εύρεση της σωστότερης επιλογής ανάλογα τα κριτήρια που θεωρείται σε κάθε περίπτωση πιο σημαντικό.

3.9 Ανάλυση ευαισθησίας

Οι παράγοντες και τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε μία επένδυση κάθε άλλο παρά σταθερά δεν είναι. Το δυναμικό και συνεχώς εξελισσόμενο περιβάλλον, είτε αυτό είναι το εσωτερικό είτε το εξωτερικό, στο οποίο λειτουργούν οι επιχειρήσεις είναι ένας αστάθμητος παράγοντας με συνεχείς μεταβολές οι οποίες μπορούν να τις επηρεάσουν ποικιλοτρόπως. Δεδομένου αυτού, είναι χρήσιμη δημιουργία ενός εύρους τιμών εξαγμένων βαρών με σκοπό την παρακολούθηση της επίπτωσης των διακυμάνσεων των παραμέτρων του μαθηματικού μοντέλου ή συστήματος που εφαρμόζεται στο τελικό αποτέλεσμα. Αυτό επιτυγχάνεται με ποσοστιαία μεταβολή κάποιας παραμέτρου, διαφορετική κάθε φορά, διατηρώντας παράλληλα όλες τις υπόλοιπες σταθερές. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη και ονομάζεται ανάλυση ευαισθησίας.

4 Εφαρμογή μεθόδου και αποτελέσματα

4.1 Αντικείμενο της απόφασης

Στην προκειμένη πτυχιακή εργασία αντικείμενο μελέτης αποτέλεσαν τρία φωτοβολταϊκά έργα με εφαρμογή της πολυκριτήριας ανάλυσης. Βασικός στόχος είναι η δημιουργία ενός συστήματος αξιολόγησης με χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου και η εφαρμογή της, ώστε να προκύψουν αριθμητικά και ποιοτικά δεδομένα. Η λύση που προκύπτει ως η πιο βιώσιμη προκύπτει ως αποτέλεσμα των προσωπικών απαιτήσεων και του συμφέροντος του λήπτη ή των ληπτών της απόφασης ο οποίος είναι και αυτός που τελικά θα αποφασίσει ή θα αναδείξει την επένδυση ως την πιο κερδοφόρα.

4.2 Σύνολο Εναλλακτικών λύσεων

Αξιολογήθηκαν τρία φωτοβολταϊκά έργα, τα οποία αποτελούν το σύνολο A των εναλλακτικών λύσεων του ζητήματος. Τα έργα αυτά αποτελούν ένα μικρό μέρος της παγκόσμιας προσπάθειας για ενεργειακή αναβάθμιση και απολιγνιτοποίηση. Τα φωτοβολταϊκά πάρκα διαθέτουν κοινά στοιχεία και προδιαγραφές ώστε η σύγκριση τους να είναι εφικτή αλλά και βάσιμη.

Εν συνεχεία παρουσιάζεται το εύρος A των λύσεων εξ' ορισμού ως εξής:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_{14}, A_{15}\}$$

Εξίσωση 33

Όπου

- A_1 : Φωτοβολταϊκό πάρκο Κοζάνης
- A_2 : Φωτοβολταϊκό πάρκο Εύβοιας
- A_3 : Φωτοβολταϊκό πάρκο Άρτας

A_1 : **Κοζάνη** : Πρόκειται για φωτοβολταϊκό πάρκο με τοποθετημένα πάνελ 500KW και συνολικής έκτασης αγροτεμαχίου για την εγκατάσταση τους 8 στρέμματα. Κατασκευάστηκε σύμφωνα με τα πρότυπα της τότε περιόδου, (2008) σε αγροτεμάχιο που αποκτήθηκε μέσω κληρονομιάς, ενώ πέραν του υπάρχοντος κεφαλαίου πάρθηκε δάνειο με ευνοϊκό επιτόκιο που κάλυψε το 80% της συνολικής επένδυσης.

A₂: Εύβοιας : Πρόκειται για φωτοβολταϊκό πάρκο με τοποθετημένα πάνελ 500KW και συνολικής έκτασης αγροτεμαχίου για την εγκατάσταση τους 8 στρέμματα στην περιοχή Ζάρακες της Εύβοιας. Κατασκευάστηκε το 2021 σύμφωνα με τα πρότυπα εκείνης της περιόδου που παραμένουν ίδια μέχρι και σήμερα. Το αγροτεμάχιο αγοράστηκε 10.000euro από αγγελία στην περιοχή. Το συνολικό κεφάλαιο καλύφθηκε εξολοκλήρου από τον επενδυτή.

A₃: Άρτας : Πρόκειται για φωτοβολταϊκό πάρκο με τοποθετημένα πάνελ 500KW και συνολικής έκτασης αγροτεμαχίου για την εγκατάσταση τους 8 στρέμματα στην περιοχή της Άρτας. Κατασκευάστηκε το 2015 σε ενοικιασμένο αγροτεμάχιο με συνολικό συμφωνηθέν μίσθωμα ετησίως 1000euro. Πέραν του υπάρχοντος κεφαλαίου πάρθηκε δάνειο που καλύπτει το 40% της συνολικής επένδυσης.

4.3 Καθορισμός προβληματικής

Έχοντας πλέον ορίσει το σύνολο A των εναλλακτικών λύσεων καθίσταται απαραίτητος ο προσδιορισμός της προβληματικής. Η προβληματική δεν μπορεί να είναι άλλη πέραν από αυτή της καταλληλότερης επιλογής μεταξύ των εναλλακτικών που υπάρχουν στην προκειμένη περίπτωση. Η λύση στην προβληματική πρέπει να συμβαδίζει με τις προτιμήσεις του επενδυτή-λήπτη της απόφασης, να αποφέρει δηλαδή τον καλύτερο συνδυασμό κέρδους, απόδοσης και πιθανού ρίσκου.

4.4 Συλλογή δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή της διαδικασίας αξιολόγησης και αφορούν την δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού πάρκου αποκτήθηκαν κατόπιν προσωπικής τηλεφωνικής επικοινωνίας ιδιοκτητών φωτοβολταϊκών έργων και εκπονούντων της εργασίας. Εν συνεχεία, τα δεδομένα που προέκυψαν εισήχθησαν στο πρόγραμμα VisualPROMETHEE.

4.5 Προσδιορισμός Βαρών κριτηρίων

Έχοντας λάβει υπόψιν τη βιβλιογραφία και ύστερα από εκτενή αναφορά σε αυτήν στο κεφάλαιο 3 προσδιορίστηκαν διάφορες τιμές βαρών. Οι τιμές αυτές αφού προσδιορίστηκαν εισήχθησαν στο πρόγραμμα VisualPROMETHEE με σκοπό την εμφάνιση αποτελεσμάτων. Λόγω της υποκειμενικότητας όμως των βαρών, η

πειραματική προσέγγιση εστίασε στην σύγκριση των διαφορών που προέκυψαν όταν όλα τα βάρη παρέμειναν σταθερά και άλλαξε μόνο ένα. Έτσι κατ' ουσία, ενώ τα βάρη μπορούν να λάβουν διαφόρων τύπων και διαφορετικής τάξης μεγέθους τιμές καθίσταται εφικτό να εξεταστούν εις βάθος οι μεταβολές αυτές με αντικειμενικότητα και σαφήνεια. Άλλωστε σε ένα περιβάλλον μεταβλητών τιμών η λογικότερη επιλογή για την ανάλυση αυτού, είναι η μελέτη του βαθμού επιρροής μία προς μία μεταβλητής στην εμφάνιση των τελικών αποτελεσμάτων.

4.6 Εφαρμογή της μεθόδου Promethee και ανάλυσης ευαισθησίας

Για να αξιολογηθούν τα Φ/Β έργα με την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης PROMETHEEII χρησιμοποιήθηκε το visualPROMITHEE academic, έκδοση 1.4.0.0 © BertrandMareschal 2011-2013 έκδοση Academic, το οποίο εγκαταστάθηκε δωρεάν για τις ανάγκες της πτυχιακής εργασίας και πραγματοποιήθηκε λήψη του από την ιστοσελίδα <http://www.promethee-gaia.net/software.html>. Για την κατανόηση του προγράμματος και του τρόπου εφαρμογής του κατεβάστηκε και αντίστοιχο εγχειρίδιο οδηγιών. Αναλυτικότερα κατά την εκκίνηση του προγράμματος δίνεται ως παράδειγμα η εφαρμογή της μεθόδου σε ένα πρόβλημα ανεύρεσης του καλύτερου αυτοκινήτου. Σε μία προσπάθεια επισκόπησης του προγράμματος προς κατανόηση του αναγνώστη παρατίθενται εικόνες με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη μόρφωση του προβλήματος. Πιο επεξηγηματικά εφόσον ανοίχτηκε το πρόγραμμα και παρατέθηκε το παράδειγμα του αυτοκινήτου όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα δίνεται βήμα προς βήμα η εισαγωγή των δεδομένων, των κριτηρίων, των αντίστοιχων υποκριτηρίων, των βαρών και τέλος των σεναρίων.

Visual PROMETHEE Demo - unnamed (saved)

	Price	Power	Consumption	Habitability	Comfort
Unit	k€	kW	L/100km	5-point	5-point
Cluster/Group					
Preferences					
Min/Max	min	max	min	max	max
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	V-shape	Linear	V-shape	Level	Level
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	5	n/a	1,0	0,5
- P: Preference	€ 15,000	30	2,0	2,5	2,5
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	€ 15,000	50	7,0	1,0	1,0
Maximum	€ 38,000	110	9,0	5,0	5,0
Average	€ 28,083	83	8,2	3,2	3,0
Standard Dev.	€ 7,407	18	0,7	1,3	1,3
Evaluations					
<input checked="" type="checkbox"/> Tourism B	€ 25,500	85	7,0	good	average
<input checked="" type="checkbox"/> Luxury 1	€ 38,000	90	8,5	good	very good
<input checked="" type="checkbox"/> Tourism A	€ 26,000	75	8,0	average	average
<input checked="" type="checkbox"/> Luxury 2	€ 35,000	85	9,0	very good	good
<input checked="" type="checkbox"/> Economic	€ 15,000	50	7,5	bad	very bad
<input checked="" type="checkbox"/> Sport	€ 29,000	110	9,0	very bad	bad

Actions: 6 (6 active) Criteria: 5 (5 active) Scenarios: 1 (1 active) Locale: Belgium [€/€] Saved

Εικόνα 12: Παράδειγμα επιλογής αυτοκινήτου μέσω του προγράμματος Promethee

Κατά τη δημιουργία της δικής μας μελέτης περίπτωσης επιλέγουμε File>New. Εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο πρέπει να οριστεί ο αριθμός δραστηριοτήτων, ο αριθμός κριτηρίων και ο αριθμός των σεναρίων.

Create a new problem

Number of actions: 2

Number of criteria: 1

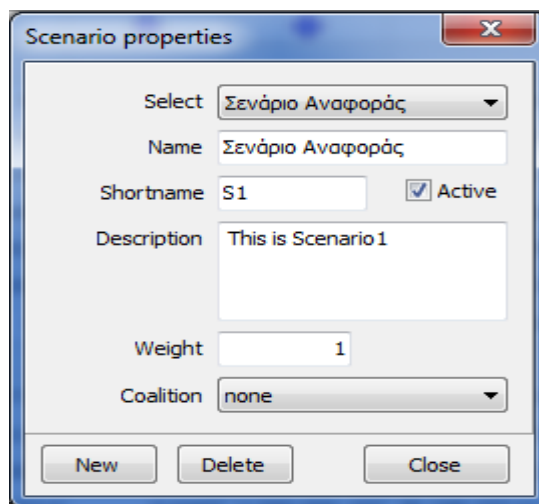
Number of scenarios: 1

OK Cancel

Εικόνα 13: Ορισμός παραμέτρων προβληματικής

Στην μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται οι λύσεις είναι τρεις, τα κριτήρια που αξιολογούνται είναι 14, και τα σενάρια δύο.

Αφού έχουν επιλεχθεί οι λύσεις, τα κριτήρια και τα σενάρια επιλέγεται το κουμπί Scenario 1, ενώ ανοίγει δεύτερο παράθυρο διαλόγου, το Scenario properties.

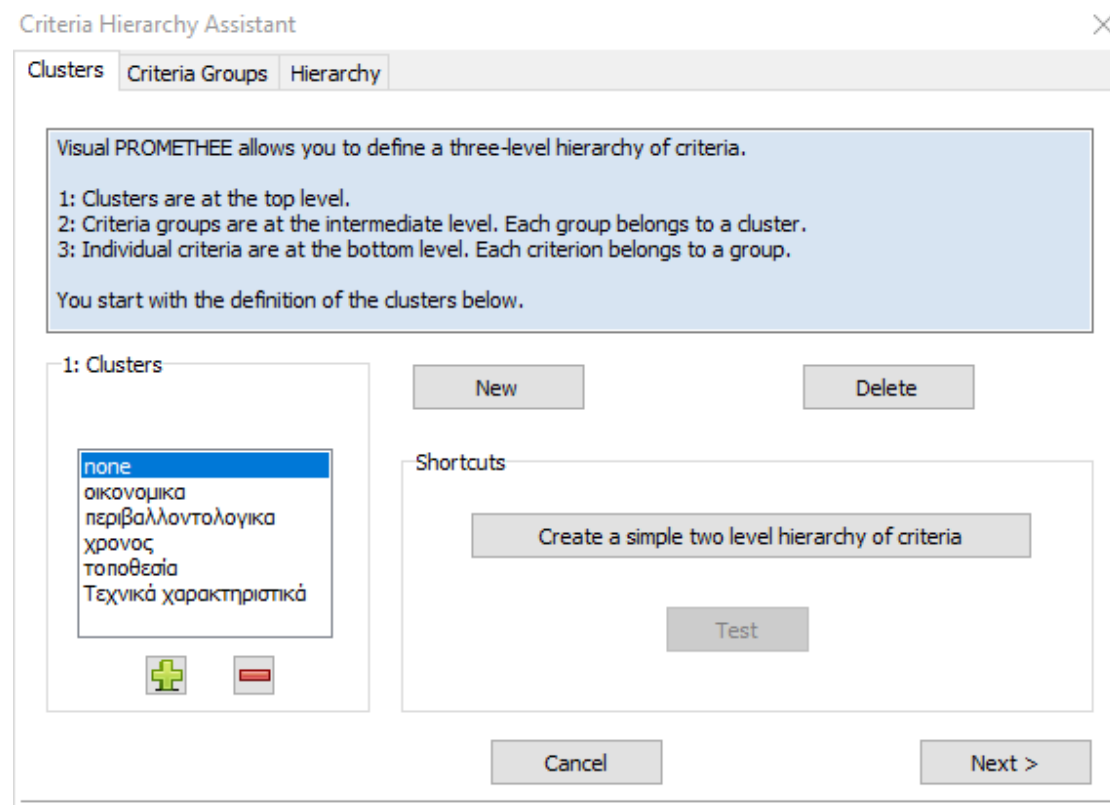


Εικόνα 14 Μόρφωση παραμέτρων πρώτου σεναρίου.

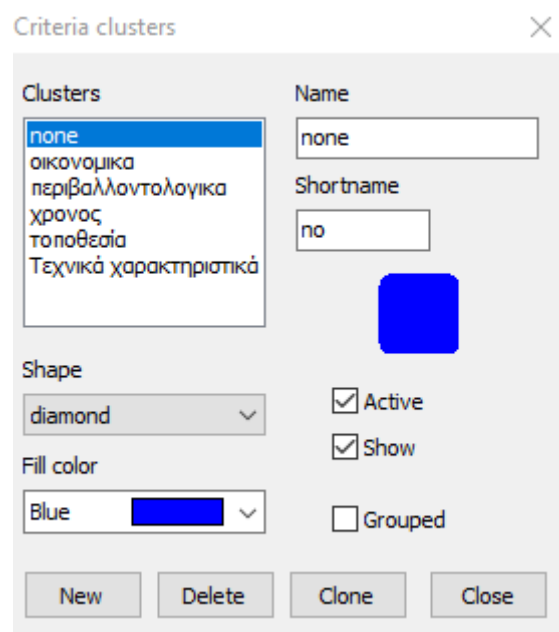
Στο εν λόγω σημείο δίνεται ονομασία στο σενάριο, ενώ παράλληλα μπορεί να δοθεί και περιγραφή διευκρίνισης για λόγους κατανόησης. Μέσω της εντολής New και της εντολής Delete μπορεί να προστεθεί νέο σενάριο ή να σβηστεί παλιότερο.

Προχωρώντας στη διαδικασία μορφώνονται τα κριτήρια που θα εφαρμοστούν. Γίνεται επιλογή της εντολής Model>Hierarchy Assistant, και εμφανίζεται ένα παράθυρο με καρτέλες στις οποίες ορίζονται οι άξονες προτίμησης τα κριτήρια και τα υποκριτήρια τα οποία αποτελούν το επίπεδο στο οποίο πραγματοποιείται η σύγκριση.

Στην καρτέλα Clusters, ορίζεται ο άξονας προτίμησης των κριτηρίων επιλέγοντας το κουμπί +.



Εικόνα 15: Καρτέλα clusters – ορισμός άξονα προτίμησης.



Εικόνα 16: Καταγραφή κριτηρίων προς αξιολόγηση.

Εν συνεχεία, επιλέγοντας στην ίδια καρτέλα την επιλογή Criteria Groups τα κριτήρια ομαδοποιούνται στο εκάστοτε cluster.

Criteria Hierarchy Assistant

Clusters Criteria Groups Hierarchy

Visual PROMETHEE allows you to define a three-level hierarchy of criteria.

1: Clusters are at the top level.
2: Criteria groups are at the intermediate level. Each group belongs to a cluster.
3: Individual criteria are at the bottom level. Each criterion belongs to a group.

You will now define criteria groups within each cluster.

1: Clusters

none
οικονομικά
περιβαλλοντολογικά
χρονος
τοποθεσία
Τεχνικά χαρακτηριστικά

2: Criteria Groups

IN

Αξιοπιστία κατασκευαστή
Αξιοπιστία υλικών

OUT

none
Κεφάλαιο
Κόστη
Δάνειο
Κέρδη
Αρνητική επίδραση
Θετική επίδραση

< Previous Cancel Next >

Εικόνα 17: Διαδικασία κατηγοριοποίησης κριτηρίων και εισαγωγή τους στο εκάτωτε κριτήριο-cluster.

Με την επιλογή Next η διαδικασία προχωράει στο τρίτο παράθυρο Hierarchy στο οποίο δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης του κάθε υποκριτηρίου στο κριτήριο το οποίο ανήκει.

Criteria Hierarchy Assistant

Clusters Criteria Groups Hierarchy

Visual PROMETHEE allows you to define a three-level hierarchy of criteria.

1: Clusters are at the top level.
2: Criteria groups are at the intermediate level. Each group belongs to a cluster.
3: Individual criteria are at the bottom level. Each criterion belongs to a group.

You will now assign the criteria to the criteria groups.

2: Criteria Groups

Τεχνικά χαρακτηριστικά ▾

Αξιοπιστία κατασκευαστή
Αξιοπιστία υλικών

3: Criteria

IN OUT

κατασκευαστής

ποσό
εξοδα
ποσό δανείου
έσοδα
αρνητική επίδραση
θετική επίδραση
χρ σδ

< Previous Cancel Close

Εικόνα 18: Ιεράρχηση – ταξινόμηση υποκριτηρίων.

Έχοντας ολοκληρώσει ουσιαστικά τη δομή του προβλήματος κρίνεται αναγκαίο να οριστεί ένας τρόπος βαθμονόμησης του κάθε υποκριτηρίου. Το visualPROMITHEE παρέχει στην επιλογή criterion properties τη δυνατότητα να οριστεί μια κλίμακα (scale) όπου ακόμα και αν δεν είναι αριθμητικά μετρήσιμο το μέγεθος του υποκριτηρίου μπορεί να ταξινομηθεί σε κάποια κατηγορία. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Αριθμητικά (numerical)
- Ποιοτικά (qualitative)
- Νόμισμα (currency)

Ακόμη μπορεί να δοθεί μονάδα μέτρησης η οποία ορίζεται στην περιοχή unit καθώς ορίζεται και ο συμβολισμός του cluster.

Criterion properties

Select: ποσό δανείου

Name: ποσό δανείου

Shortname: C3 ☒ Active

Description: This is criterion criterion3

Group: Δάναιο

Unit: unit

Scale: **currency**

Decimals: 2 5-point

Currency: € 1 € € -1

New Close

Εικόνα 19: Επιλογή ποσοτικού ή ποιοτικού μεγέθους βαθμονόμησης και συμβολισμού.

Προχωρώντας σε επόμενο βήμα μέσω της επιλογής Model>WeightingAssistant πρόκειται να οριστούν τα βάρη όλων των υποκριτηρίων όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Τα βάρη αυτά είναι ποσοστά επί τοις εκατό.

Weighing Assistant

Name	Mode: %	Lock	Hierarchical Weight
none	- 0,0%	+	0%
none	- 0,0%	+	0%
οικονομικά	- 55,0%	+	55%
Κεφάλαιο	- 10,0%	+	10%
ποσό	- 10,0%	+	10%
Κόστη	- 10,0%	+	10%
εξοδα	- 10,0%	+	10%
Δάνειο	- 10,0%	+	10%
ποσό δανείου	- 10,0%	+	10%
Κέρδη	- 25,0%	+	25%
έσοδα	- 25,0%	+	25%
περιβαλλοντολογικ	- 6,0%	+	6%
Αρνητική επίδραση	- 3,0%	+	3%
αρνητική επίδραση	- 3,0%	+	3%
θετική επίδραση	- 3,0%	+	3%
θετική επίδραση	- 3,0%	+	3%
χρονος	- 16,0%	+	16%
Χρόνος	- 5,0%	+	5%
χρ σδ	- 5,0%	+	5%

☒ Hierarchical ☐ Absolute Set Equal Apply Cancel

Εικόνα 20: Βαθμονόμηση κριτηρίων και υποκριτηρίων.

Weighing Assistant

θετική επίδραση	-	3,0%	+		3%
χρονος	-	16,0%	+		16%
Χρόνος	-	5,0%	+		5%
chr σδ	-	5,0%	+		5%
Χρόνος κατασκευής	-	5,0%	+		5%
chr κατ	-	5,0%	+		5%
Χρόνος απόσβεσης	-	4,0%	+		4%
chr αποσβ	-	4,0%	+		4%
Χρόνος εύρεσης	-	2,0%	+		2%
chr ευρεσης	-	2,0%	+		2%
τοποθεσία	-	8,0%	+		8%
Επιλογή	-	3,0%	+		3%
καταλληλότητα	-	3,0%	+		3%
Χωροθέτηση	-	5,0%	+		5%
τοποθέτηση πάνελ	-	5,0%	+		5%
Τεχνικά	-	15,0%	+		15%
Αξιοπιστία	-	5,0%	+		5%
κατασκευαστής	-	5,0%	+		5%
Αξιοπιστία υλικών	-	10,0%	+		10%
υλικά	-	10,0%	+		10%

☒ Hierarchical ☐ Absolute Set Equal Apply Cancel

Εικόνα 21: Βαθμονόμηση κριτηρίων και υποκριτηρίων.

Έχοντας πλέον οριστικά μορφωμένο το πρόγραμμα η διαδικασία εκτυλίσσεται με την μεταβολή των βαρών ώστε να πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας στο εύρος των αποτελεσμάτων. Σύμφωνα πάντα με την μέθοδο αυτή επιλέχθηκε η επιλογή duplicate scenario η οποία έδωσε ένα αντίγραφο του σεναρίου ένα. Στο εξαγόμενο σενάριο όλα τα εισαγμένα δεδομένα που αφορούν οικονομικά στοιχεία, περιβαλλοντικά, χρονικά και υλικοτεχνικά μεγέθη διατηρήθηκαν σταθερά. Παράλληλα στο σημείο αυτό εμφανίζεται και το σημείο διαφοροποίησης του σεναρίου ένα από το δύο, καθώς μεταβλήθηκαν με τη σειρά ένα προς ένα τα βάρη των κριτηρίων διατηρώντας κάθε φορά τα αρχικά βάρη αναλόγως μεταβαλλόμενα με το αρχικό σενάριο. Πιο απλά επηρεάζοντας κάθε φορά το βάρος ενός κριτηρίου παρατηρείται πως μεταβάλλονται τα υπόλοιπα καθώς και η συνολική κατάταξη των εναλλακτικών.

4.7 Αποτελέσματα

4.7.1 Μεταβολή στο περιθώριο του κέρδους

Ξεκινώντας τη διαδικασία της ανάλυσης ευαισθησίας μελετήθηκε η συμπεριφορά των επενδύσεων έχοντας ως αρχικό γνώμονα την μεταβολή των εσόδων. Στην προσπάθεια αυτή τέθηκαν τόσο μειωτικές όσο και αυξητικές ποσοστιαίες μεταβολές της βαρύτητας των εσόδων επαναληπτικά. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία τερμάτισε με την εύρεση του σημείου «καμψής», δηλαδή η τιμή του βάρους για την οποία διαφοροποιείται η καλύτερη εναλλακτική.

Visual PROMETHEE Academic - ΟΚΕΣΤΕΣΟΦΕΕ.mvpg (saved)

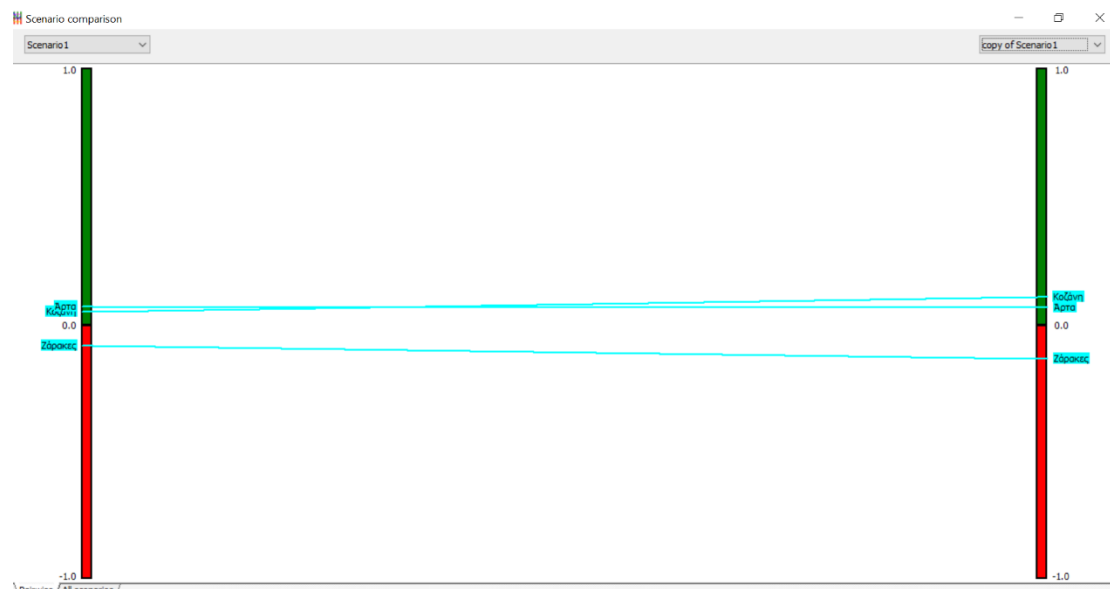
File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

Scenario1	ποσό	εξόδα	ποσό δανείου	εσόδα	αρινητική επί...	θετική επίδρ...	χρ οδ	χρ κατ	χρ αποσβ	χρ ευρείας	καταμνηλ...	τοποθέτηση...	κατασκευαστής	υλικό
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	max	max
Weight	10,63	10,63	10,63	20,36	3,18	3,18	5,30	5,30	4,24	2,12	3,18	5,30	5,30	10,63
Preference Fm.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
-Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
-P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
-S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Κοζάνη	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Ζάρακας	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Άρτα	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

Alt: Scenario1 / copy of Scenario1 /

Εικόνα 22: Μείωση της βαρύτητας των εσόδων κατά 5%.

Έχοντας μειώσει το ποσοστό βαρύτητας των εσόδων κατά 5% παρατηρούνται αλλαγές ως προς τον άξονα προτίμησης. Συγκεκριμένα, ενώ αρχικά η Κοζάνη είναι η πιο συμφέρουσα εναλλακτική ως προς τον άξονα προτίμησης που έχει οριστεί, μετά την μεταβολή του βάρους των εσόδων περνάει στη δεύτερη θέση, με την Άρτα να είναι η καλύτερη ενώ οι Ζάρακες παραμένουν σταθερά στην τρίτη θέση όπως φαίνεται και στην εικόνα 23.



Εικόνα 23: Ποιοτική σύγκριση σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα εσόδων κατά 5%.

Εν συνεχεία αυξάνεται το ποσοστό επί τοις % σταδιακά. Έχοντας βρει το σημείο καμπής στην μείωση της βαρύτητας του κέρδους στο 5% δίνεται μια αντίστοιχη ποσοστιαία αύξηση της βαρύτητας του κέρδους.

Visual PROMETHEE Academic - ΟΕΟΞΟΞΟΞΗΕΞμ.vpg (not saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

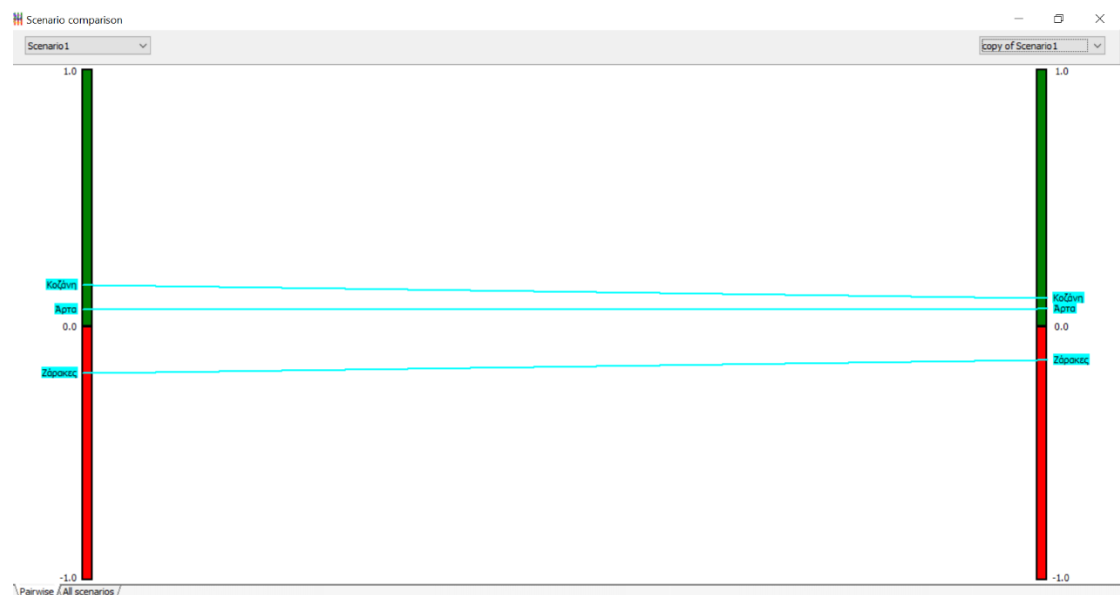
Scenario1	ποσό	εξόδο	ποσό δανείου	έσοδο	απονητική επί...	βασική επιδρ...	χρ σό	χρ κατ	χρ οποσθ	χρ ευρεσης	καταμ/ληγέρ...	τοποθέτηση...	κατασκευαστής	υλικά
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Weight	9,44	9,44	9,44	29,34	2,82	2,82	4,70	4,70	3,76	1,88	2,82	4,70	4,70	9,44
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Kοζάνη	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Ζάροςας	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Απτο	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

Scenario1 / copy of Scenario1

Actions: 3 (3 active) Criteria: 14 (14 active) Scenarios: 2 (2 active) Locale: Belgium [Ε/.] NOT saved

Εικόνα 24:Αύξηση της βαρύτητας των εσόδων κατά 5%.

Όπως είναι αναμενόμενο η Κοζάνη παραμένει η πιο σωστή επιλογή. Αυτό όμως που έχει ενδιαφέρον είναι ότι η εναλλακτική της Κοζάνης ανέβηκε και άλλο στον άξονα προτίμησης από ότι προηγουμένως, μεγαλώνοντας έτσι το χάσμα με τις άλλες δύο εναλλακτικές, κάνοντας έτσι την επιλογή της πιο σίγουρη.



Εικόνα 25: Ποιοτική σύγκριση σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα εσόδων κατά 5%.

4.7.2 Μεταβολή στο περιθώριο του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης

Εφόσον εξετάστηκαν οι μεταβολές στο περιθώριο του κέρδους, το οποίο έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα από τα υπόλοιπα κριτήρια, ελέγχονται και τα αποτελέσματα των μεταβολών στο αμέσως επόμενο κριτήριο με το μεγαλύτερο ποσοστό επιρροής δηλαδή αυτό της μεταβολής του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης. Αρχικά τα δεδομένα του πρώτου σεναρίου φαίνονται στην εικόνα 26.

Scenario1	ποσό	εξόδο	ποσό δανείου	έσοδο	αριστη επί...	θετική επίδρ...	χρ σφ	χρ κατ	χρ οπισθ	χρ ευρείας	καταλληλότη...	τοποθέτηση...	κατασκευαστής	υλικό
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point	5-point
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	max	max
Weight	10,00	10,00	10,00	25,00	3,00	3,00	5,00	5,00	4,00	2,00	3,00	5,00	5,00	10,00
Preference Fm.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Kοζύνη	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Ζάροκας	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Απτα	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

Εικόνα 26: Δεδομένα πρώτου σεναρίου.

Στην περίπτωση του αρχικού κεφαλαίου το σημείο διαφοροποίησης βρέθηκε μέσω της ίδιας επαναληπτικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε προηγουμένως στο 6,3% δηλαδή πτώση ποσοστού βαρύτητας αρχικού κεφαλαίου 4,7%. Τα ανανεωμένα βάρη φαίνονται στην εικόνα 27 και 28.

Neighing Assistant

Name	Mode: %	Lock	Absolute weight
none			0%
none			0%
οικονομικά			53%
Κεφάλαιο			6%
ποσό	- 6,3% +		6%
Κόστη			10%
εξοδα	- 10,4% +		10%
Δάνειο			10%
ποσό δανείου	- 10,4% +		10%
Κέρδη			26%
έσοδα	- 26,0% +		26%
περιβαλλοντολογικ			6%
Αρνητική επίδραση			3%
αρνητική επίδραση	- 3,1% +		3%
Θετική επίδραση			3%
θετική επίδραση	- 3,1% +		3%
χρονος			17%
Χρόνος			5%
χρ σδ	- 5,2% +		5%

☐ Hierarchical ☒ Absolute

Εικόνα 27: Παράθυρο τροποποίησης βαρύτητας κριτηρίων.

Visual PROMETHEE Academic - ΟΕΟΞΟΞΟΞΗΕΞμ.vpg (saved)

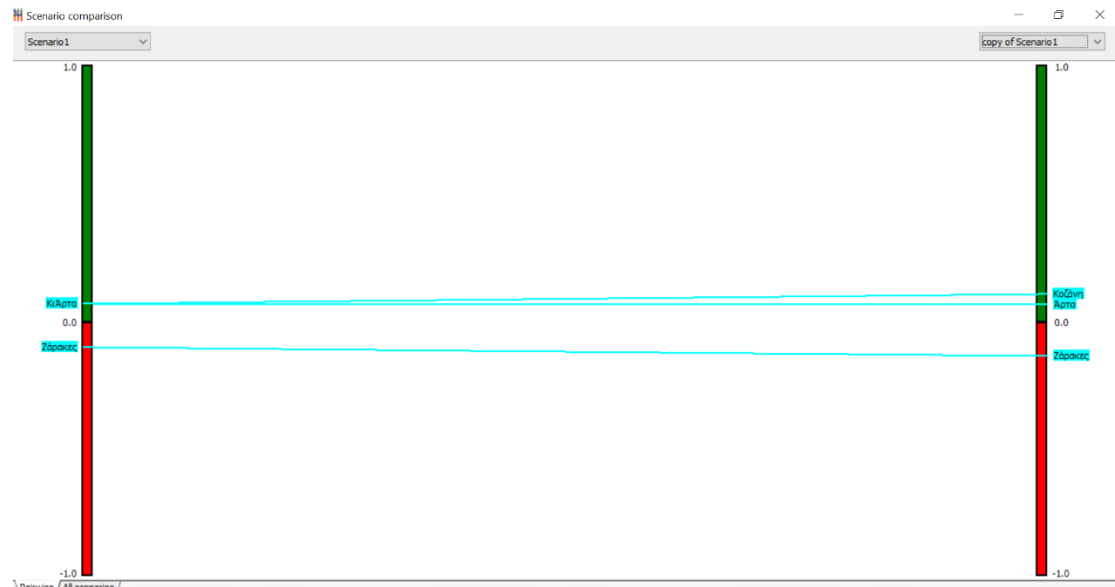
File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

Scenario1	ποσό	εξοδα	ποσό δανείου	έσοδα	αρνητική επίδραση	θετική επίδραση	χρ σδ	χρ κατ	χρ οπισθ	χρ ευρωπ	καταλληλότη...	ποιοποίηση...	κατασκευαστή	υλικά
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	max	max
Weight	6,30	10,42	10,42	26,03	3,12	3,12	5,20	5,20	4,16	2,08	3,12	5,20	5,20	10,42
Preference Ftn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Κομμή	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Ζάρακες	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Άρτα	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

Scenario1 / copy of Scenario1

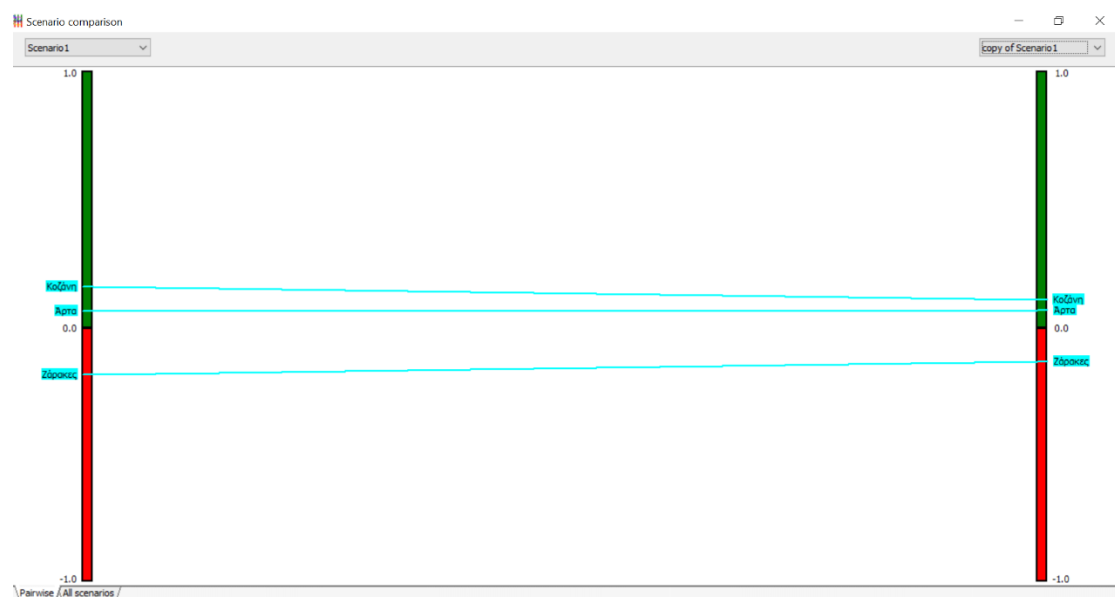
Εικόνα 28: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας αρχικού κεφαλαίου.

Τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης του σεναρίου με το μειωμένο βάρος και του αρχικού παρουσιάζονται στην εικόνα 29.

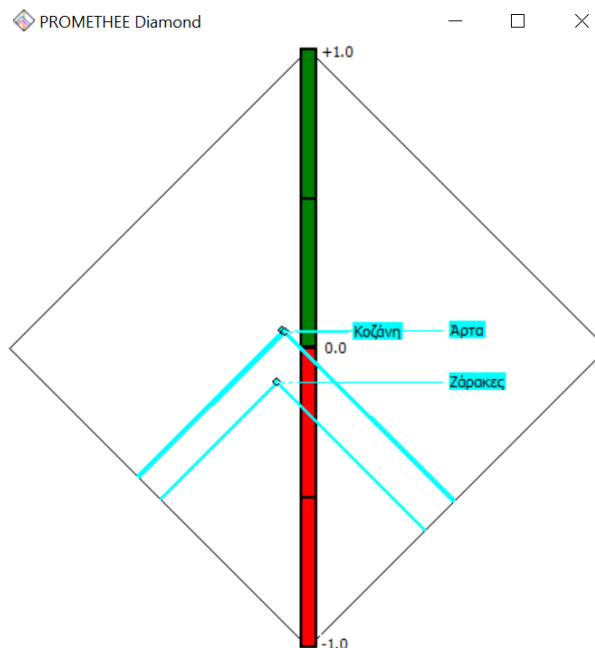


Εικόνα 29: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένο αρχικό κεφάλαιο 4%.

Εν συνεχεία το ποσοστό αυξάνεται και όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η διαφορά της Κοζάνης από τις άλλες υπόλοιπες εναλλακτικές μεγαλώνει όλο και περισσότερο.



Εικόνα 30: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα αρχικού κεφαλαίου 4%.



Εικόνα 31: Εναλλακτικό ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένο αρχικό κεφάλαιο 4%.

4.7.3 Μεταβολή στο περιθώριο του κόστους κατασκευής

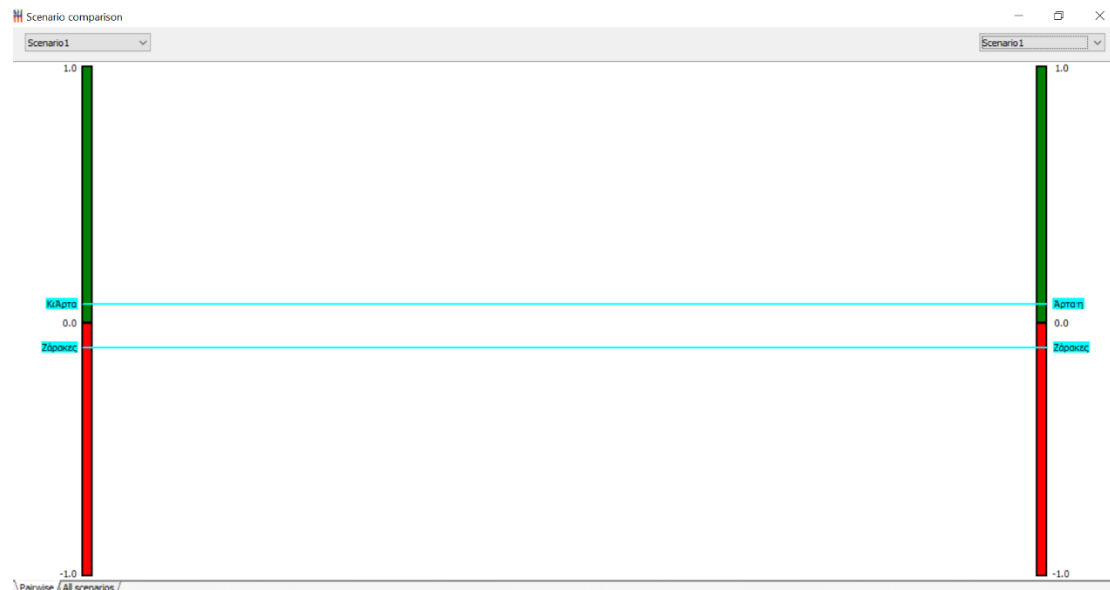
Στο πλαίσιο της ίδιας διαδικασίας πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας στο κόστος της κατασκευής και τα νέα ανανεωμένα δεδομένα προκύπτουν τα εξής:

Visual PROMETHEE Academic - ΟΕΟΞΟΣΟΞΗΕΞεμ.vpg (saved)														
File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help														
<div> </div>														
Scenario1	ποσό	εξόδα	ποσό δανείου	έσοδα	αρνητική επι...	θετική επιδρ...	χρ οδ	χρ κατ	χρ αποβ	χρ ευρωπ	καταλ/ηλ/ε...	τοποθέτησ...	κατασκευασ...	υλικά
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	max	max
Weight	10,37	6,33	10,43	26,03	3,12	3,12	5,20	5,20	4,16	2,08	3,12	5,20	5,20	10,43
Preference Fm.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Κοζάνη	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Ζόρκοις	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Αρτα	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

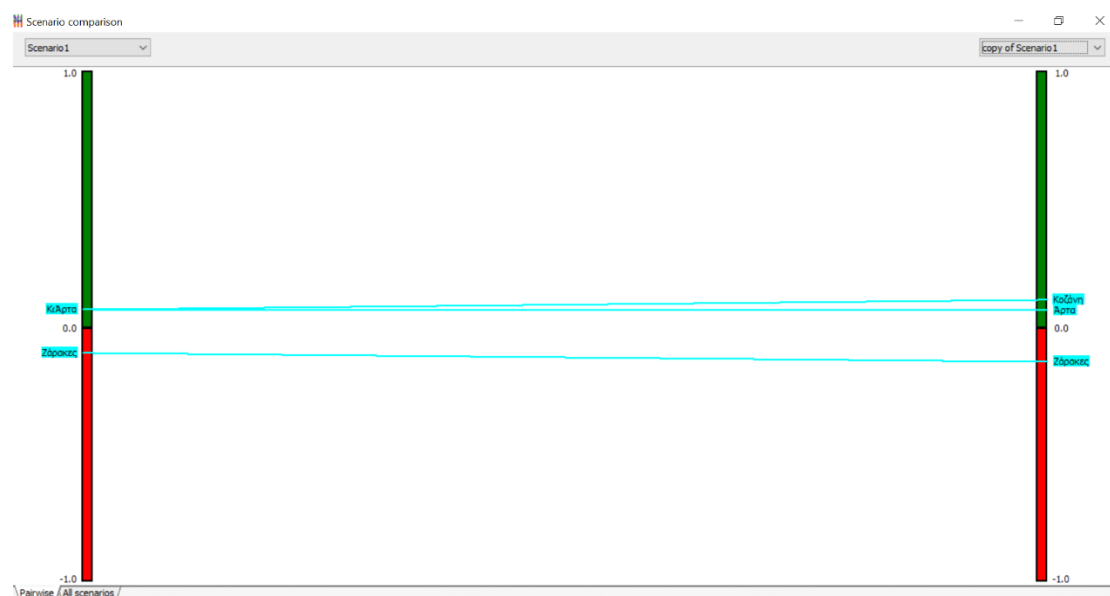
Εικόνα 32: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας του κόστους κατασκευής.

Το σημείο διαφοροποίησης όπως και στην μεταβολή του αρχικού κεφαλαίου εντοπίζεται σε μείωση του ποσοστού 4,7% των εξόδων όπως είναι αναμενόμενο λόγω της ίδιας βαρύτητας των εν λόγω κριτηρίων.

Για την αποφυγή περαιτέρω επανάληψης της ίδιας διαδικασίας και για έλεγχο εγκυρότητας των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε σύγκριση του εναλλακτικού σεναρίου με τον εαυτό του.



Εικόνα 33: Σύγκριση εναλλακτικού σεναρίου με τον εαυτό του.



Εικόνα 34: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα εξόδων 4%.

4.7.4 Μεταβολή στο περιθώριο του δανείου

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας στο ποσό δανείου. Στην περίπτωση αυτή σημείο διαφοροποίησης της κατάταξης για τους Ζάρακες επέφερε ο διπλασιασμός του ποσοστού βαρύτητας του δανείου.

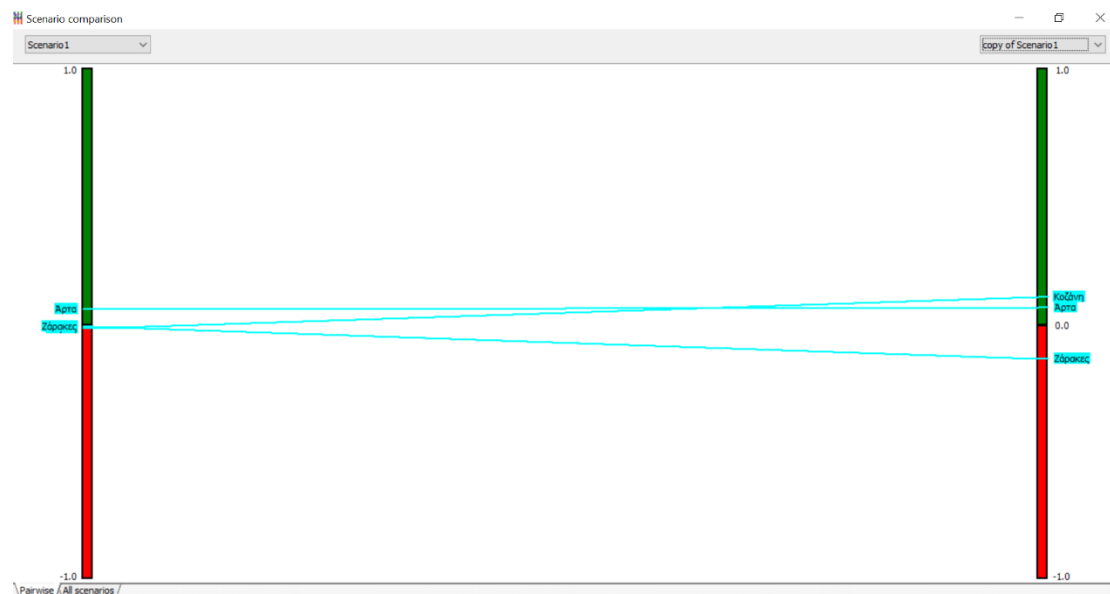
Visual PROMETHEE Academic - ΟΕΟΞΟΞΟΞΗΕΞμ.vpg (not saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

Scenario1	ποσό	εξόδα	ποσό δανείου	έσοδα	αριθμητική επί...	θετική επίδρ...	χρ σό	χρ κατ	χρ οποι	χρ ευρισ	καταλληλ...	τοποθέτησ...	κατασκευαστής	υλικό
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Weight	8,91	8,91	20,11	22,20	2,64	2,64	4,43	4,43	3,55	1,76	2,64	4,43	4,43	8,91
Preference Fm.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
-Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
-P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
-S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
<input checked="" type="checkbox"/> Κοζύνη	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
<input checked="" type="checkbox"/> Ζάρακες	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
<input checked="" type="checkbox"/> Άρτα	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

Alt Scenario1 / copy of Scenario1 /

Εικόνα 35: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας του δανείου.



Εικόνα 36: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα δανείου στο διπλάσιο.

Πριν από το διπλασιασμό της βαρύτητας του δανείου με σταδιακή αύξηση του ποσοστού , προέκυψε αλλαγή της κατάταξης με αύξηση κατά 4,34%.

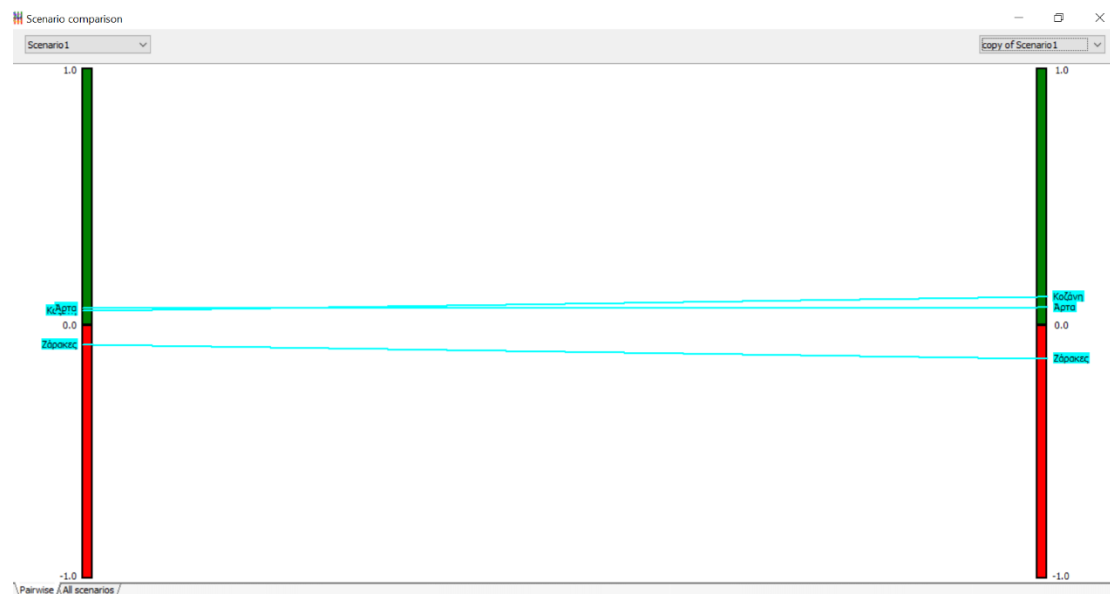
Visual PROMETHEE Academic - Ο6020202ΗΞΕμνρη (saved)

File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help

Scenario1	ποσό	εξόδα	ποσό δανείου	έσοδα	βαρυντική επίδρ...	θετική επίδρ...	χρ οδ	χρ κατ	χρ αποβ	χρ ευρείας	καταλληλότη...	τοποθέτηση...	κατασκευαστής	υλικά
Unit	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	unit	unit	unit	unit	5-point	5-point	5-point	5-point
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	max	max
Weight	9,54	9,54	14,34	23,78	2,85	2,85	4,75	4,75	3,80	1,90	2,85	4,75	4,75	9,54
Preference Fcn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Κοζάνη	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Ζάκρος	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Άρτα	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

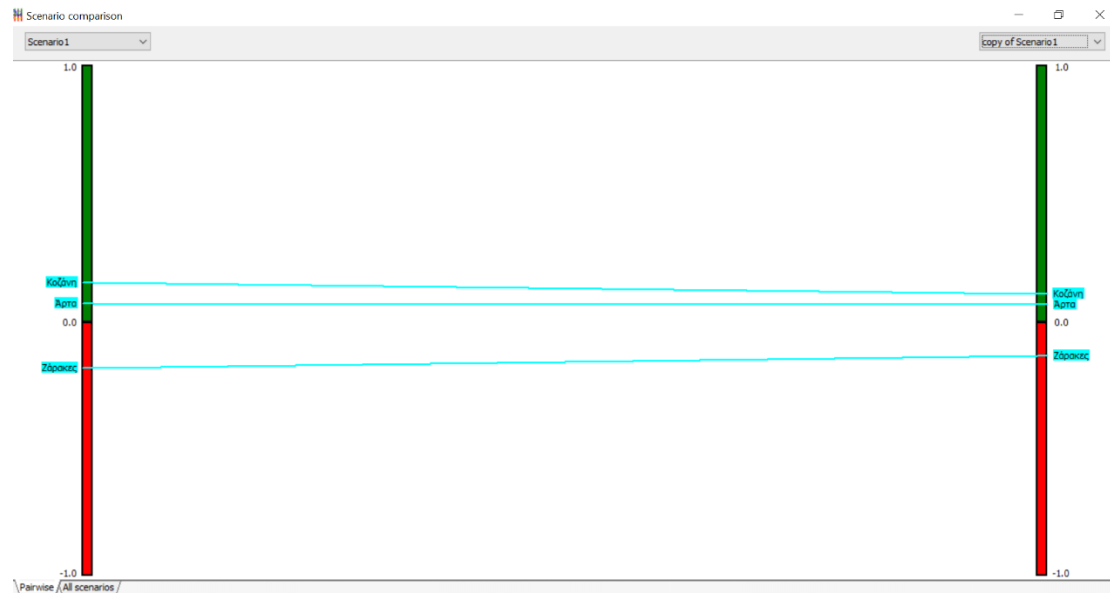
Scenario1 / copy of Scenario1

Εικόνα 37: Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας του δανείου κατά 4,34%.



Εικόνα 38: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα δανείου κατά 4,34%.

Κατά την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή μειώνοντας το ποσοστό βαρύτητας του δανείου, η εναλλακτική της Κοζάνης απομακρύνεται όλο και περισσότερο.



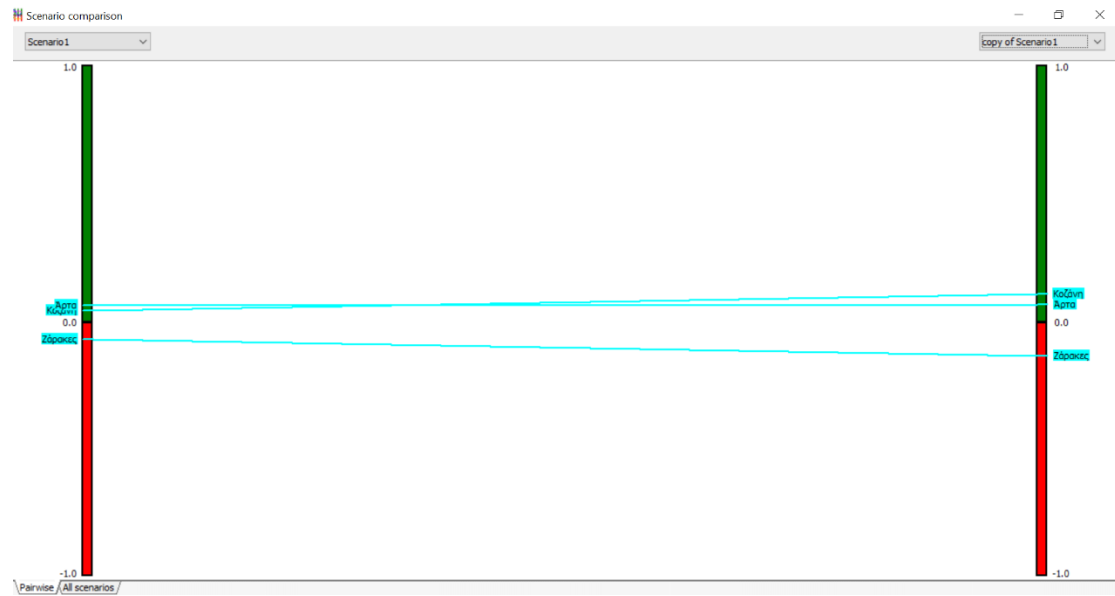
Εικόνα 39: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα δανείου.

4.7.5 Μεταβολή στο περιθώριο του υλικοτεχνικού εξοπλισμού

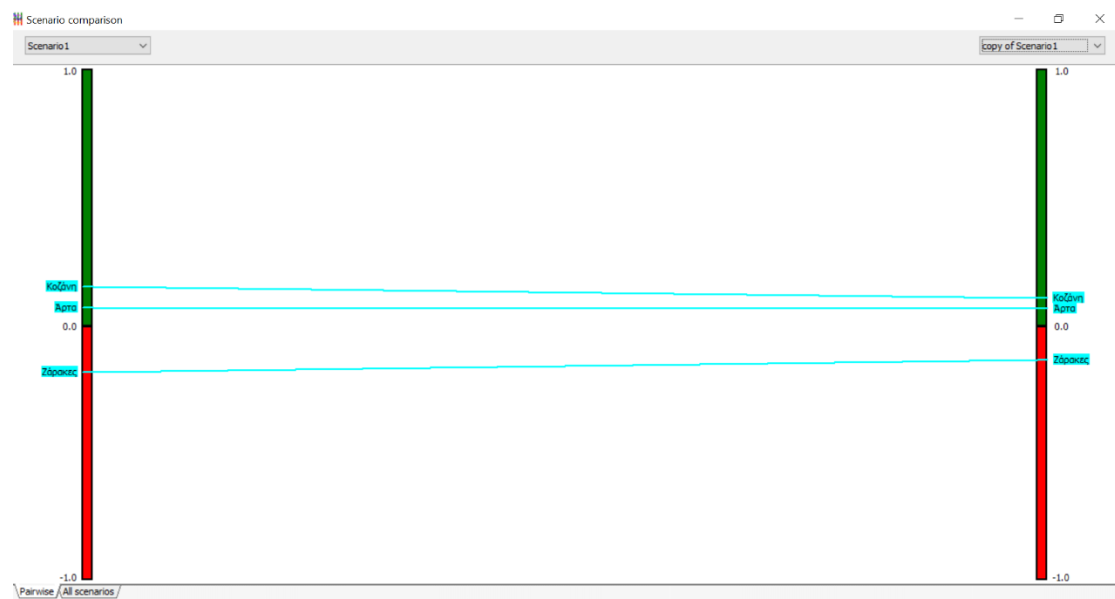
Τέλος πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας και στο ποσοστό των υλικών, λόγω του αυξημένου συντελεστή βαρύτητας.

Visual PROMETHEE Academic - ΟΕΟΣΟΞΕΗΕΕμ.vpg (saved)														
File Edit Model Control PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Custom Assistants Snapshots Options Help														
	Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1	copy of Scenario1
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group														
Preferences														
Min/Max	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	max	max	max	max
Weight	9,45	9,45	9,45	23,55	2,82	2,82	4,70	4,70	3,75	1,88	2,82	4,70	4,70	15,19
Preference Fm.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics														
Minimum	86.000,00 €	310000,00	0,00 €	164.000,00 €	1,00	5,00	108,00	48,00	7,00	0,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	436.000,00 €	436000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	1,00	5,00	123,00	60,00	12,00	90,00	5,00	5,00	4,00	5,00
Average	242.000,00 €	362000,00	120.000,00 €	238.333,33 €	1,00	5,00	114,67	54,00	10,00	40,00	3,67	4,00	3,67	3,67
Standard Dev.	145.391,43 €	53740,12	92.144,81 €	52.575,87 €	0,00	0,00	6,24	4,90	2,16	37,42	0,94	0,82	0,47	1,25
Evaluations														
Κόστος	86.000,00 €	310000,00	224.000,00 €	277.000,00 €	very bad	very good	123,00	60,00	7,00	0,00	average	average	average	bad
Χρόνος	436.000,00 €	436000,00	0,00 €	164.000,00 €	very bad	very good	108,00	48,00	12,00	90,00	average	very good	good	very good
Πόρος	204.000,00 €	340000,00	136.000,00 €	274.000,00 €	very bad	very good	113,00	54,00	11,00	30,00	very good	good	good	good

Εικόνα 40: : Δεδομένα σεναρίου ύστερα της αλλαγής του ποσοστού βαρύτητας των υλικών κατά 5,19%.



Εικόνα 41: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με αυξημένη βαρύτητα υλικών.



Εικόνα 42: Ποιοτικό διάγραμμα συγκριτικής αξιολόγησης των σεναρίων με μειωμένη βαρύτητα υλικών.

5. Συμπεράσματα και Εισηγήσεις για περαιτέρω Έρευνα

Από τη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, έχοντας ολοκληρωθεί το κομμάτι της πειραματικής διαδικασίας και της παράθεσης του θεωρητικού υποβάθρου στο οποίο αυτή στηρίζεται, απορρέει μια σειρά συμπερασμάτων. Τα εν λόγω συμπεράσματα αφορούν την αξιολόγηση βάσει της πολυκριτηριακής ανάλυσης διαφόρων Φ/Β επενδύσεων.

Από την προκειμένη μελέτη μέσω αναζήτησης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, έγινε αντιληπτό ότι η αξιολόγηση μιας φωτοβολταϊκής επένδυσης δεν είναι συχνά συνυφασμένη με την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Παρόλα αυτά η πολυκριτήρια ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε είδος επένδυσης ώστε να δώσει μία πρώτη και γρήγορη εκτίμηση της πιο συμφέρουσας επιλογής-λύσης. Αντίθετα με την « ανεπίσημη » κρίση του επενδυτή εξασφαλίζει την καταγραφή όλων των δεδομένων και την μη τυχόν παράληψη κάποιων εξ' αυτών παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο μοντέλο λήψης αποφάσεων. Συμπεριλαμβάνοντας όλα τα δεδομένα, όπως και στην ανεπίσημη κρίση, η προτίμηση και η λήψη της απόφασης δεν δεσμεύει τον επενδυτή αλλά αντιθέτως του δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές για την ευνοϊκότερη για τα "θέλω" του επιλογή. Το γεγονός αυτό προκύπτει λόγω της παράθεσης των κριτηρίων και της ιεράρχησης των προτεραιοτήτων από τον ίδιο.

Έχοντας πραγματοποιήσει εκτενή βιβλιογραφική έρευνα συμπεριελήφθησαν διάφορα κριτήρια και τα αντίστοιχα υποκριτήρια τους, τα οποία προέκυψαν ως απόρροια της συνδυαστικής αυτής μελέτης. Για την απόδοση των βαρών και εξαιτίας της υποκειμενικότητάς τους λήφθηκαν δεδομένα ύστερα από συζητήσεις με τρεις επενδυτές ώστε να εξασφαλιστεί μία σχετικά έγκυρη εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Συγκεκριμένα, η εργασία αυτή επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση των επενδύσεων μέσω του προγράμματος Promethee το οποίο κατέστησε εφικτή την βαθμονόμηση αυτών των επενδύσεων στον άξονα προτίμησης. Επειδή όμως η διαδικασία αυτή καθ' αυτή είναι υποκειμενική, εφαρμόστηκε ανάλυση ευαισθησίας στα βάρη των κριτηρίων και υποκριτηρίων μέσω της δυνατότητας σύγκρισης σεναρίων που προσφέρει το visualPromethee δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο ένα μοντέλο αξιολόγησης, εξετάζοντας το εύρος ή τα περιθώρια των διάφορων επιλογών. Η μεθοδολογία αυτή συμπεριλαμβάνεται στην πολυκριτήρια ανάλυση και έρχεται να καλύψει τα κενά της υποκειμενικότητας της.

Από τις τρεις εναλλακτικές, της Κοζάνης, της Άρτας και των Ζαράκων, η πρώτη φαίνεται αρχικά να κατέχει με διαφορά την πρώτη θέση στον άξονα προτίμησης. Έτσι, στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας εξετάσθηκε το εύρος των κατάλληλων μεταβολών των βαρών για την τυχόν ανεύρεση των σημείων «καμπής», δηλαδή την τιμή του βάρους για το οποίο προκύπτει ανατροπή στην κατάταξη των αποτελεσμάτων. Αξιοσημείωτο είναι ότι για την αξιολόγηση αυτή, εξετάσθηκαν τα κριτήρια με τη μεγαλύτερη βαρύτητα, καθώς απαιτείται ακραία και μη ρεαλιστική μεταβολή, ώστε ένα κριτήριο με χαμηλό ποσοστό βαρύτητας να επηρεάσει την κατάταξη.

Τέλος, οι υπόλοιπες μέθοδοι, ELECTRE και AHP, είναι το ίδιο ικανές να προσφέρουν ένα οργανωμένο μοντέλο λήψης απόφασης, καθώς με μικρές διαφοροποιήσεις πραγματοποιούν δυαδικές συγκρίσεις κριτηρίων και υποκριτηρίων όπως και το Promethee. Έτσι κάποιος

μελετητής στη συνέχεια θα μπορούσε να συγκρίνει τα αποτελέσματα της εργασίας με αυτά που θα προκύψουν από την χρήση των δύο μεθόδων.

Βιβλιογραφία

Bibliography

(n.d.).

Aixue Hu, S. L. (2015). Impact of solar panels on global climate.

Analysis, J. o.-C. (1998). Power Relations and Group Aggregation in the Multiplicative AHP and SMART. 155-165.

B, R. (1986). Méthodologie multicritère d'aide à la décision [compte-rendu]. In R. B, *Politiques et Management Public* (pp. 138-140).

Barnes, P. a. (2006). The Analysis and Use of Financial Ratios: A Review Article. *Journal of Business Finance & Accounting*.

Bernard ROY, D. B. (1993). Aide Multicritère à la Décision :Méthodes et Cas. In : *Production et Techniques quantitatives appliquées à la gestion* .

Bose, B. (2010). Global Warming: Energy, Environment Pollution, and the Impact of Power Electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 4, 6-17.

Brans, J. a. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria. Decision-Making).

C. Nikoloudis, E. S. (2017). Applying the multi-criteria method Promethee II for the startupranking during a business ideas competition.

Cathy Macharis, J. S. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 307-317.

Cathy Macharis, J. S. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP.

Christoph P. Wessendorf, D. W. (2019). Significance of Criteria for Early-Stage Venture Assessment.

Crook, L. A. (2011). Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output.

Figen Balo, L. Ş. (2016). THE SELECTION OF THE BEST SOLAR PANEL FOR THE PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN BY USING AHP. 50-55.

Francis, T. &. (2007). Sustainable Urban Development Volume 2. In *The Environmental Assessment Methods*.

Francis, T. &. (n.d.). Sustainable Urban Development Volume 2.

- French, S. (2013). Cynefin, statistics and decision analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 547–561.
- Herrera, F. (2001). “ Multi-person decision-making based on multiplicative preference relations. 372-385.
- J. BARZILAI, F. A. (1998). Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. In *JOURNAL OF MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS* (pp. 155-166).
- J. BARZILAI, F. A. (1998). Power Relations and Group Aggregation in the Multiplicative AHP and SMART.
- J. Rizk, a. Y. (2008). Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels.
- Jia Yuting, A. G. (2019). Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review. 249-265.
- Jia Yuting, A. G. (n.d.). Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review. *IDEAS*.
- JOHN BUCHANAN, P. S. (1999). PROJECT RANKING USING ELECTRE III.
- Jordehi, A. R. (2016). Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 354-371.
- José. Figueira, S. G. (2005). *Multiple criteria decision analysis : state of the art surveys*.
- Karanik, M. W.-R. (2016). 117. Karanik, M., Wanderer, L., Gomez-Ruiz, J. A., &Pelaiez, J. I. (2016). Reconstruction methods for AHP pairwise matrices: How reliable are they?. *Applied Mathematics and Computation* , 103-124.
- Keeney, R. &. (1976). *Cost-benefit Analysis: With Reference to Environment and Ecology*.
- Löf, G. (n.d.). Active Solar Systems. In G. Löf, *Solar Heat Technologies*.
- M. Socorro García-Cascales, M. T.-L. (2006). Evaluation of photovoltaic cells in a multi-criteria decision making process,. In *Annals of operations research* (pp. 373-391).
- Majid Behzadian, R. K. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 198-205.
- Mark Velasquez, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. 56-66.
- Maystre, L. Y., Pictet, J., & Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*.
- Michael Doumpos, C. Z. (1998). Developing a multicriteria decision support system for financial classification problems: the finclas system. In *Optimization Methods and Software* (pp. 277-304).
- MohamedNfaoui, K.-H. (2018). Extracting the maximum energy from solar panels. In *Energy Reports* (pp. 536-545).

- MUNDA, G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment. Theory and Applications in Ecological Economics*.
- N.Bouaouadja, S. B. (2000). Effects of sandblasting on the efficiencies of solar panels. 99-105.
- Panagiotis Xidonas, G. M. (2009). A multicriteria methodology for equity selection using financial analysis. *Computers&OperationsResearch*, 3187-3203.
- Panagiotis Xidonas, G. M. (2009). A multicriteria methodology for equity selection using financial analysis.
- Ralph L. Keeney, H. R. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs Revised Edition*.
- Roy, B. &. (n.d.).
- Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation. *International Journal of Geosciences*,.
- SAATY, T. L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process.
- Siecker J., K. K. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. 192-203.
- Siecker J., K. K. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *IDEAS*, pp. 192-203.
- Siskos, Y. G. (2004). "UTA methods," in Multiple Criteria Decision Analysis.
- Spyridakos, Y. S. (1999). Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives. *European Journal of Operational Research*, 236-246.
- Spyridakos, Y. S. (1999). Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives. *European Journal of Operational Research*, 233-246.
- Vincke, P. C. (1992). Multicriteria decision-aid.
- Von Winterfeldt, D. a. (1986). Decision analysis and behavioral research. *Cambridge University Press*.
- Von Winterfeldt, D. a. (1986). Decision analysis and behavioral research. *Cambridge University Press*.
- Yager, R. (1993). Non-numeric multi-criteria multi-person decision making.
- YanXu, J. L. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. 450-458.
- Zopounidis, C. (1999). Multicriteria decision aid in financial management. *European Journal of Operational Research*, 404-415.
- Γεώργιος, Κ. (2013). Διερεύνηση των Αιτιών Μειωμένης Απόδοσης Φωτοβολταϊκού Συστήματος. Προσέγγιση με βοήθεια Σύνθεσης-Ανάλυσης Δένδρου Σφαλμάτων.

Δημητριάδης, Ζ. (2020). Παρουσίαση και σύγκριση μεθόδων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Δημητριάδης, Ζ. (2020). Παρουσίαση και σύγκριση μεθόδων Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Κανάκης, Α. (2021). Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Πάνελ. *repository.library.teimes*.

Σιδέρης, Α. (2018). Ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων αποδοτικότητας επένδυσης και αξιολόγηση - επιλογή επένδυσης σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Φ/Β & Αιολικά) στην ευρύτερη περιοχή Κοζάνης-Πτολεμαΐδας.