

**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Οικονομικών και Διοικητικών Επιστημών**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
στις Ευέλικτες Μεθόδους Διοίκησης**

Μάθημα: Σύγχρονες και ποσοτικές μέθοδοι

ΘΕΜΑ:

**Πολυκριτήρια λήψη αποφάσεων στην Πολεμική Αεροπορία-Μελέτη
περίπτωσης επιλογής νέου μαχητικού αεροσκάφους**

Μάρτιος 2023

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΗΡ	5
ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	8
ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ – ΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	9
ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΕΚΦΡΑΣΗΣ ΠΡΟΤΙΜΗΣΕΩΝ	11
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΗΡ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	14
ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	20
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	22
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	24

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύγχρονο πρόσωπο της Πολεμικής Αεροπορίας (ΠΑ), σε μια διαρκή προσπάθεια που διενεργεί ο οργανισμός ώστε να συμπλέει με τις επιταγές της εποχής και τις ραγδαίες εξελίξεις στο γεωπολιτικό σκηνικό και στον χώρο της άμυνας και τεχνολογίας, έχει προσδώσει μεταξύ άλλων, ιδιαίτερη σημασία και αξία στη διαδικασία λήψης απόφασης.

Η διαδικασία αυτή αποτελούσε ανέκαθεν κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας στο επιχειρησιακό και τεχνοοικονομικό πεδίο δράσης της ΠΑ καθώς και σε τομείς που σχετίζονται με τις υποδομές και τη διαχείριση ανθρώπινων πόρων.

Στο πλαίσιο αυτό, ως οργανισμός που οραματίζεται τη συνεχή αναβάθμιση της επιχειρησιακής του ικανότητας και την εξασφάλιση υψηλού βαθμού ανταγωνιστικότητας, η Πολεμική Αεροπορία αντιμετωπίζει στην παρούσα φάση ένα ιδιαίτερος κρίσιμο ζήτημα λήψης απόφασης που αφορά στην προμήθεια νέου μαχητικού αεροσκάφους πέμπτης-έκτης γενιάς. Η ανάγκη προσαρμογής στους παγκόσμιους ρυθμούς εξέλιξης και μεταστροφής της αμυντικής τεχνολογίας και κυρίως η απαίτηση ανταπόκρισης στις συνθήκες του σύγχρονου πεδίου μάχης, καθιστούν την επιλογή νέου πτητικού μέσου ιδιαίτερος σημαντική.

Σκοπός επομένως της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της περίπτωσης επιλογής νέου μαχητικού αεροσκάφους (Α/Φ) εκ μέρους της ΠΑ, με χρήση της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (Analytic Hierarchy Process-AHP), η οποία αποτελεί την πιο δημοφιλή μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης.

Μέσω της συγκεκριμένης μελέτης θα καταδειχθεί η σημασία που λαμβάνει η υιοθέτηση της ποσοτικής προσέγγισης κατά την επίλυση ζητημάτων που απαιτούν αποφάσεις και δράσεις. Επιπλέον θα διαφανεί ο τρόπος με τον οποίο ένα απλουστευμένο μεθοδολογικό εργαλείο υποστήριξης λήψης απόφασης όπως είναι η ΑHP, εντάσσει και αξιοποιεί στη διαδικασία του «decision making», το σύστημα προτιμήσεων και αξιών του αποφασίζοντος, υποστηρίζει την τεκμηρίωση της κρίσης του, τον υποβοηθά να διακρίνει την βέλτιστη από τις πολλές εναλλακτικές που συνήθως υπεισέρχονται στο πρόβλημα, με βάση τα τεθέντα κριτήρια και βάρη κριτηρίων και τέλος αναδεικνύει νέες οπτικές του προβλήματος και νέους στόχους για τον λήπτη απόφασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Από τα πρώτα κιάλας βήματα της ανθρωπότητας η λήψη των αποφάσεων ήταν μια διαδικασία πολυδιάστατης φύσης, καθώς πάντα πραγματοποιείτο (συνειδητά ή ασυνειδητά) μια ανάλυση όλων των επιμέρους παραγόντων που σχετίζονταν με την απόφαση. Η διεργασία αυτή δεν είχε βέβαια μια μαθηματική μορφή, αλλά βασιζόνταν κυρίως στην εμπειρία του εκάστοτε αποφασίζοντα σε συνδυασμό με τις συνθήκες μέσα στις οποίες αντιμετώπιζονταν το εξεταζόμενο πρόβλημα.

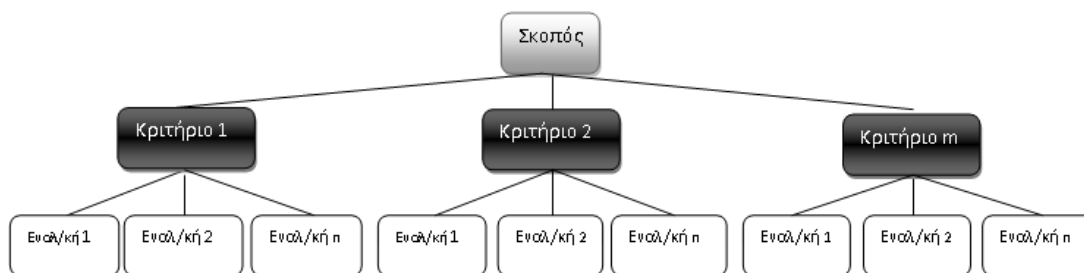
Η πολυκριτήρια ανάλυση ξεκινά ουσιαστικά να υφίσταται με τον Pareto (1848-1923), ο οποίος ανέλυσε το πρόβλημα σύνθεσης των κριτηρίων σε ένα συνολικό κριτήριο, ενώ εισήγαγε την έννοια των δύο εναλλακτικών δραστηριοτήτων και της αποδοτικότητας (Pareto, 1896). Οι Von Neymann και Morgenstern κατά το έτος 1944 ανέπτυξαν τη θεωρία της χρησιμότητας (Fishburn, 1970), η οποία αποτελεί τη βάση ενός από τα κυριότερα μεθοδολογικά ρεύματα. Μεταπολεμικά ο Koopmans (1951) επέκτεινε την έννοια της αποδοτικότητας του Pareto εισάγοντας την έννοια του αποδοτικού συνόλου, δηλαδή του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων οι οποίες δεν κυριαρχούνται από καμία άλλη εναλλακτική δραστηριότητα.

Την δεκαετία του '60 οι Charnes και Cooper (1961) συνέδεσαν το γραμμικό προγραμματισμό με την πολυκριτήρια ανάλυση, ενώ ο Roy (1968) ανέπτυξε τη θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations) και θεωρείται ο ιδρυτής της «Ευρωπαϊκής Σχολής» της πολυκριτήριας ανάλυσης. Τέλος, οι Keeney και Raiffa (1976) πραγματοποίησαν την πρώτη πλήρη ανάπτυξη της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων. Στην άλλη άκρη του Ατλαντικού, η Αμερικάνικη Σχολή (Gass, 2005), επικεντρώθηκε σε MAUT – based (Multi Attribute Utility Theory) μεθόδους με κύριο εκπρόσωπο τον Saaty (1977 & 2008) και την περίφημη μέθοδο AHP (Analytic Hierarchy Process).

Η AHP αξιοποίησε σωρεία προγενέστερων ανακαλύψεων και συμπερασμάτων. Για παράδειγμα, η διεξαγωγή συγκρίσεων ανά ζεύγη η οποία αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου, αλλά και η υιοθέτηση της κλίμακας προτιμήσεων 1 έως 9, στηρίχτηκαν σε παρατηρήσεις ψυχολόγων (Σίσκος, 2008). Είναι πολύ πιο εύκολο για τον λήπτη απόφασης να απαντήσει σχετικά με το ποιά εναλλακτική είναι καταλληλότερη κάνοντας συγκρίσεις μεταξύ τους, παρά αντιμετώπιζοντας την κάθε εναλλακτική ξεχωριστά.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΗΡ

Η ΑΗΡ παρέχει ένα περιεκτικό και λογικό πλαίσιο για τη δόμηση ενός προβλήματος λήψης απόφασης, για την αντιπροσώπευση και την ποσοτικοποίηση των στοιχείων του, για το συσχετισμό των στοιχείων αυτών με τους γενικούς και συνολικούς στόχους και για την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων (Saaty, 1977). Χαρακτηριστικό της ΑΗΡ διαδικασίας είναι η αποσύνθεση ενός σύνθετου προβλήματος και η ιεράρχησή του σε επίπεδα, με τον στόχο στην κορυφή, τα κριτήρια ή/και τα υποκριτήρια σε επίπεδα, και τις εναλλακτικές λύσεις απόφασης στο κατώτατο σημείο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Τα στοιχεία συγκρίνονται έπειτα ανά ζευγάρια ώστε να εκτιμηθεί και αξιολογηθεί η σχετική τους προτίμηση και οι αποφάσεις λαμβάνονται σύμφωνα με τη σύγκριση και τον υπολογισμό.



*Εικόνα 1:
Ιεραρχική Δομή ΑΗΡ*

Η βασική αρχή της ΑΗΡ περιλαμβάνει τις ακόλουθες διαδικασίες (Saaty, 1977; Saaty, 1994; Kang & Lee, 2007; Pohekar & Ramachadran, 2004):

1. Κατάστρωση του δικτύου του προβλήματος, αποτύπωση δηλαδή του σκοπού, των κριτηρίων και των εναλλακτικών που θα συγκριθούν.
2. Καθορισμό κλίμακας έκφρασης προτίμησης και κριτηρίων.
3. Απόδοση βαρών στα κριτήρια μέσα από συγκρίσεις ανά ζεύγη και συγκρίσεις ανά ζεύγη μεταξύ εναλλακτικών.
4. Τελική κατάταξη εναλλακτικών.

Ο Saaty (1994) επισημαίνει ότι είναι πολύ σημαντική η υιοθέτηση μίας ενιαίας κλίμακας έκφρασης προτιμήσεων και σύνθεσης αποτελεσμάτων. Η κανονικοποίηση των δεδομένων συμβάλλει στην ομοιομορφία των συγκρίσεων μεταξύ ανόμοιων κριτηρίων. Η υιοθέτηση σχετικών μετρήσεων μπορεί να αποδειχθεί πολύ πιο χρήσιμη από την υιοθέτηση

απόλυτων κλιμάκων. Με την υιοθέτηση κλιμάκων σχετικής προτίμησης, είναι πολύ πιο εύκολο να αποδοθούν προτεραιότητες και να εκφραστούν οι υποκειμενικές απόψεις των αποφασίζόντων σε μαθηματικά μοντέλα.

Ο Saaty (1977) προτείνει την υιοθέτηση 9-βάθμιας κλίμακας έκφρασης σχετικής προτίμησης, η οποία είναι ποιοτική και αντιστοιχίζει κάθε βαθμό προτίμησης με έναν αριθμό από το 1 έως το 9. Η κλίμακα του Saaty (1977) παρατίθεται στον Πίνακα 1.

Βαθμός σημαντικότητας/ προτίμησης	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίδιος βαθμός προτίμησης	Οι δύο εναλλακτικές/κριτήρια ικανοποιούν τον στόχο στον ίδιο βαθμό.
3	Μικρή σχετική προτίμηση	Η εμπειρία και η κρίση ελαφρώς διαφοροποιούν και καθιστούν πιο προτιμητέα την μία εναλλακτική/κριτήριο από την άλλη.
5	Σημαντική/Ισχυρή σχετική προτίμηση	Η μία εναλλακτική είναι ισχυρά πιο προτιμητέα από την άλλη.
7	Πολύ ισχυρή/Αποδεδειγμένη σχετική προτίμηση	Μια εναλλακτική είναι ισχυρά/πολύ περισσότερο προτιμητέα από την άλλη και αυτό είναι αποδεδειγμένο και στην πράξη.
9	Απόλυτη προτίμηση	Τα στοιχεία που ισχυροποιούν την προτίμηση της μίας εναλλακτικής έναντι της άλλης είναι πολύ σαφή και αδιαμφισβήτητα.

2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές	Αποδίδουν ενδιάμεσες κρίσεις.
Αντίστροφες τιμές των παραπάνω τιμών (μη μηδενικές)	Αντίστροφες προτιμήσεις	Εάν η εναλλακτική χ είναι σημαντικά πιο προτιμητέα από την εναλλακτική ψ , τότε στη διμερή σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών, αποδίδεται η τιμή 5. Όταν συγκριθεί η εναλλακτική ψ με την εναλλακτική χ , τότε ο βαθμός προτίμησης της ψ έναντι της χ είναι $1/5$, δηλαδή ίσος με τον αντίστροφο της προτίμησης της εναλλακτικής χ έναντι της ψ .
Λόγοι-Αναλογίες	Προκύπτουν από την κλίμακα	Η επίτευξη συνέπειας επιβάλλει την κανονικοποίηση των αποδιδόμενων βαθμών προτίμησης.

Πίνακας 1:
Ανάλυση της 9-βάθμιας κλίμακας (Saaty, 1977)

Η κλίμακα έκφρασης σχετικών προτιμήσεων που πρότεινε ο Saaty (1977) έχει αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα, όχι μόνο μέσα από πρακτικές εφαρμογές, αλλά και έπειτα από θεωρητικές συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων. Αυτό δεν σημαίνει ότι άλλες κλίμακες με την ίδια λογική δεν μπορούν να υιοθετηθούν. Ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα και το βάθος πληροφορίας για την παροχή κρίσεων, η κλίμακα μπορεί να προσαρμοστεί αναλόγως.

ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ως ήδη προαναφέρθηκε, στην παρούσα εργασία εξετάζεται το σενάριο προμήθειας νέου μαχητικού Α/Φ για λογαριασμό της ΠΑ. Το σενάριο αυτό το οποίο για χάρη της μαθηματικής ορολογίας αποκαλείται «πρόβλημα», λαμβάνει πραγματικές διαστάσεις καθώς η Πολεμική Αεροπορία καλείται να αναχαιτίσει την αλλαγή που συντελείται στο συσχετισμό δυνάμεων, λόγω της αλματώδους τα τελευταία χρόνια εξοπλιστικής δράσης γειτονικής χώρας, σε όλα τα επίπεδα.

Οι εναλλακτικοί τύποι Α/Φ θεωρείται ότι προκρίθηκαν σε ομάδα εργασίας (workshop) που συστήθηκε για τον σκοπό αυτό και έλαβε υπόψη πέραν των εξοπλιστικών παραμέτρων και στοιχεία που έχουν να κάνουν με τη διεθνή διπλωματική θέση της χώρας, την εν γένει πολιτική της, το αμυντικό της δόγμα και τέλος τις συμβατικές υποχρεώσεις που απορρέουν από τη συμμετοχή της σε διεθνείς οργανισμούς όπως το ΝΑΤΟ, ο ΟΗΕ και η ΕΕ.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ – ΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

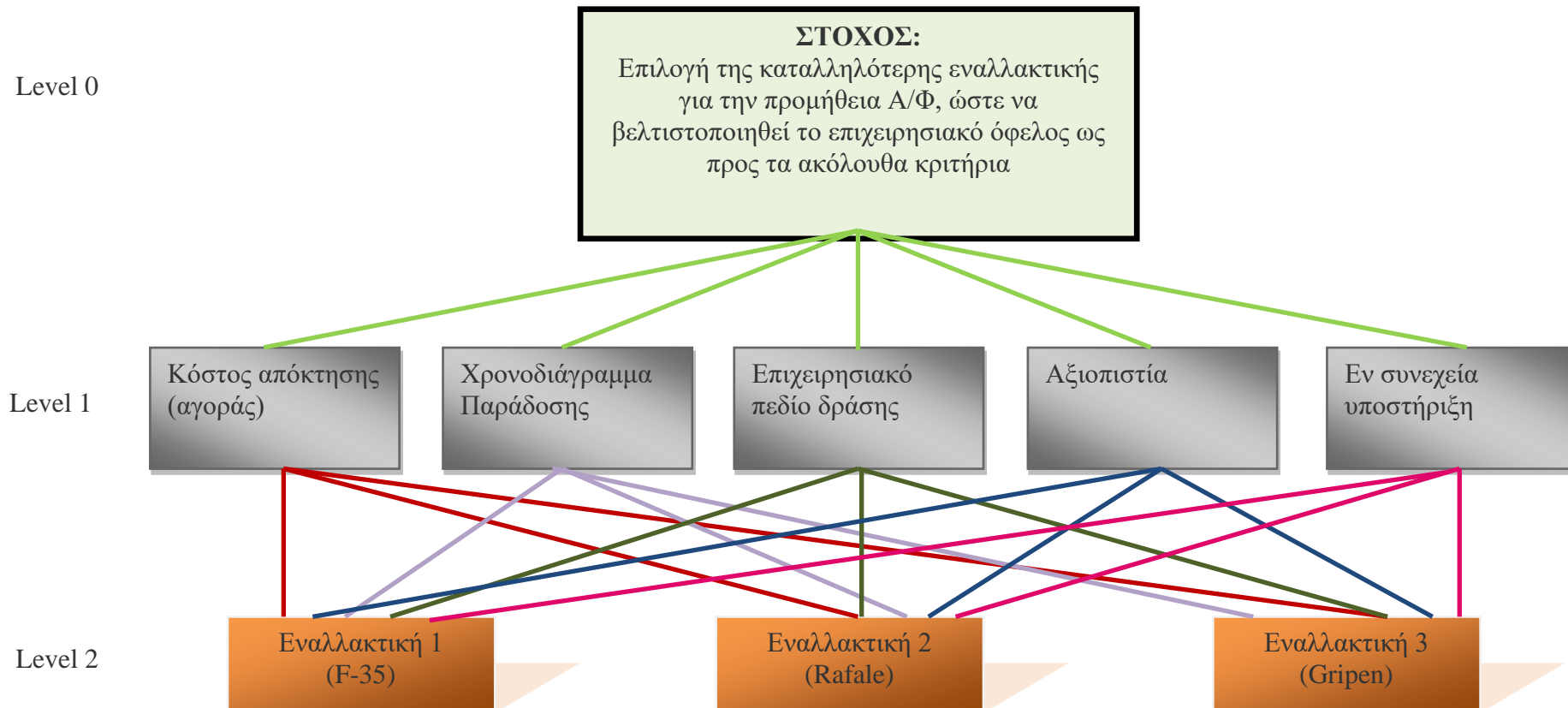
Η θεωρία περί της μεθόδου AHP που αναπτύχθηκε επιγραμματικά σε προηγούμενη ενότητα ορίζει το πλαίσιο του μοντέλου λήψης απόφασης και τον τρόπο διαμόρφωσης του δικτύου του εξεταζόμενου προβλήματος. Συγκεκριμένα, το δίκτυο του προβλήματος αποτελείται από τον Στόχο (Goal), τα Κριτήρια (Criteria) και τις Εναλλακτικές (Alternatives). Ως στόχος ορίζεται η ανάδειξη της εναλλακτικής που επιφέρει το μεγαλύτερο επιχειρησιακό όφελος για την ΠΑ. Οι εναλλακτικές καθορίστηκαν στο αρχικό «workshop» και θεωρούνται ίσες με τρεις. Για λόγους παραστατικής κατανόησης οι εναλλακτικές αυτές αφορούν στους εξής τύπους αεροσκαφών: F-35 (ΗΠΑ), Rafale F-4 (Γαλλία), JAS-39 Gripen (Σουηδία).

Τα κριτήρια τα οποία χαρακτηρίζουν την επίδοση των εναλλακτικών και μπορούν να κατευθύνουν προς την βέλτιστη λύση του προβλήματος, αναγνωρίζονται και καταγράφονται σε αυτό το στάδιο. Η διατήρηση υπερβολικού αριθμού κριτηρίων αποφεύχθηκε καθώς σύμφωνα με τον Saaty (2008) εάν η αρχική προσέγγιση αναδεικνύει περισσότερα από 9 κριτήρια ως παράγοντες που καθορίζουν το πρόβλημα, τότε (αν κανένα από αυτά δεν μπορεί να αποκλειστεί) αυτά πρέπει να ομαδοποιηθούν έτσι ώστε ο τελικός αριθμός κριτηρίων να περιοριστεί μεταξύ 5 και 9.

Ως εκ τούτου, για το συγκεκριμένο παράδειγμα, υιοθετήθηκαν τα ακόλουθα πέντε κριτήρια: κόστος απόκτησης ή κόστος αγοράς, χρονοδιάγραμμα παράδοσης, επιχειρησιακό πεδίο δράσης, αξιοπιστία και εν συνεχεία υποστήριξη.

Βάσει της μεθοδολογίας που καθορίζει η AHP, τα στοιχεία κάθε επιπέδου συγκρίνονται με τα υπόλοιπα στοιχεία του ίδιου επιπέδου χρησιμοποιώντας ως κριτήρια τα στοιχεία του αμέσως ανώτερου επιπέδου. Συγκεκριμένα, οι εναλλακτικές του επιπέδου L2 συγκρίνονται μεταξύ τους κατά ζεύγη σε κάθε κριτήριο του ανώτερου επιπέδου L1. Τα στοιχεία του επιπέδου L1 συγκρίνονται μεταξύ τους κατά ζεύγη ως προς τη βαρύτητα που έχουν στο στοιχείο του επιπέδου L0 που είναι η επιλογή του προς προμήθεια Α/Φ.

Με βάση τα παραπάνω το δίκτυο του προβλήματος με τα επιμέρους επίπεδα, διαμορφώθηκε ως εξής:



Εικόνα 2:
Σχηματική απεικόνιση Δικτύου Προβλήματος

ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΕΚΦΡΑΣΗΣ ΠΡΟΤΙΜΗΣΕΩΝ

Για την απόδοση βαρών στα εκάστοτε κριτήρια καθώς και τη διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών ακολουθήθηκε η 3-βάθμια κλίμακα.

Οι τιμές που αποδίδονται στα βάρη κριτηρίων όπως και στις εναλλακτικές είναι τυχαίες στο πλαίσιο ωστόσο μιας όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικής προσέγγισης του ζητήματος, με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και τη σχετική εμπειρία του γράφοντος. Εκτός από ακέραιους, χρησιμοποιούνται και δεκαδικοί αριθμοί εντός της 3βάθμιας κλίμακας, οι οποίοι απηχούν ενδιάμεσες αποδόσεις προσομοιάζοντας κατά μία έννοια αντίστοιχες ενδιάμεσες κρίσεις.

Ενδεικτικά, η υιοθετηθείσα κλίμακα έκφρασης προτίμησης για κριτήρια και εναλλακτικές, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Βαθμός Κλίμακας	Ποιοτική Περιγραφή (Κριτήρια)	Ποιοτική Περιγραφή (Εναλλακτικές)
1	Το κριτήριο <i>i</i> είναι το ίδιο σημαντικό με το κριτήριο <i>j</i> .	Ίδιος βαθμός προτίμησης μεταξύ των εναλλακτικών.
2	Το κριτήριο <i>i</i> είναι μετρίως πιο σημαντικό από το κριτήριο <i>j</i> .	Η μία εναλλακτική είναι μετρίως πιο προτιμητέα από την άλλη εναλλακτική.
3	Το κριτήριο <i>i</i> είναι πολύ πιο σημαντικό από το κριτήριο <i>j</i> .	Η μία εναλλακτική είναι σαφώς/ισχυρά πιο προτιμητέα από την άλλη εναλλακτική.

Πίνακας 2:

Κλίμακα έκφρασης σχετικής προτίμησης μεταξύ εναλλακτικών επιλογών

Έτσι για κάθε ένα από τα κριτήρια προκύπτουν τα εξής:

α. Κόστος κτήσης

Το κριτήριο κόστος λαμβάνει υπόψη το οικονομικό αντάλλαγμα για την απόκτηση των Α/Φ και του συναφούς εξοπλισμού (χωρίς τα πυρομαχικά). Έτσι, μία εναλλακτική θεωρείται:

- **Καλή**, όταν το κόστος της προμήθειας Α/Φ, υλικών, εξοπλισμού και μέσων είναι εντός προϋπολογισμού της χώρας, μπορεί να προσδιοριστεί και οι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε αύξησή του είναι ποσοτικοποιημένοι και περιορισμένοι.
- **Μέτρια**, όταν το κόστος της προμήθειας Α/Φ, υλικών, εξοπλισμού και μέσων αναγνωρίζεται μεν εύκολα, ωστόσο τείνει να ξεφεύγει από τον προϋπολογισμό της χώρας ενώ η πιθανότητα να επέλθουν αυξήσεις στο συνολικό κόστος είναι υπαρκτή και όχι αμελητέα.

- **Κακή**, όταν το κόστος της προμήθειας Α/Φ, υλικών, εξοπλισμού και μέσων προσδιορίζεται μεν εύκολα, βρίσκεται κοντά στο διατιθέμενο ποσό, ωστόσο υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για τη φύση και την προέλευση των παραγόντων που μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση κόστους.

β. Χρονοδιάγραμμα Παράδοσης

Αφορά στον χρονικό ορίζοντα παράδοσης του συνόλου των Α/Φ και μέσων καθώς και στην αξιοπιστία του προμηθευτή περί τήρησης του τιθέμενου χρονοδιαγράμματος. Συνεπώς μια εναλλακτική θεωρείται:

- **Καλή**, όταν θέτει χρονικό πλαίσιο παράδοσης του αμυντικού υλικού ταυτόσημο με τις απαιτήσεις της ΠΑ και διατηρεί σχετική αξιοπιστία τήρησης χρονοδιαγραμμάτων στην αγορά.

- **Μέτρια**, όταν το χρονικό πλαίσιο δεν ταυτίζεται με τις απαιτήσεις της ΠΑ αλλά η πιθανότητα για περαιτέρω καθυστερήσεις θεωρείται μικρή.

- **Κακή**, όταν το χρονικό πλαίσιο δεν ταυτίζεται με τις απαιτήσεις της ΠΑ και η πιθανότητα για περαιτέρω καθυστερήσεις θεωρείται σημαντική.

γ. Επιχειρησιακό πεδίο δράσης

Αφορά στους στόχους που θέλει να επιτύχει η ΠΑ σε στρατηγικό, επιχειρησιακό και τακτικό επίπεδο υπό το πρίσμα αναβάθμισης της ισχύος της και απόκτησης αεροπορικής υπεροχής ή κυριαρχίας. Έτσι μια εναλλακτική λογίζεται ως:

- **Καλή**, όταν τα χαρακτηριστικά του Α/Φ και ο συνακόλουθος εξοπλισμός του εξυπηρετούν πλήρως τις απαιτήσεις της ΠΑ.

- **Μέτρια**, όταν τα χαρακτηριστικά του Α/Φ και ο συνακόλουθος εξοπλισμός εξυπηρετούν στο μεγαλύτερο ποσοστό τον στόχο της ΠΑ.

- **Κακή**, όταν τα χαρακτηριστικά του Α/Φ και ο συνακόλουθος εξοπλισμός του δεν εξασφαλίζουν τα αναμενόμενα τακτικά και επιχειρησιακά οφέλη στα οποία η ΠΑ προσβλέπει.

δ. Αξιοπιστία

Σχετίζεται με τα στοιχεία αξιοπιστίας που συνοδεύουν τον προμηθευτή-κατασκευαστή και περιλαμβάνει και το ύψος και το χρόνο των εγγυήσεων. Έτσι μια εναλλακτική κρίνεται:

- **Καλή**, όταν αξιοπιστία και εγγυήσεις είναι άκρως ικανοποιητικές.
- **Μέτρια**, όταν είτε η αξιοπιστία είτε το είδος των παρεχόμενων εγγυήσεων δεν ικανοποιούν την ΠΑ.

- **Κακή**, όταν και η αξιοπιστία αλλά και οι προσφερόμενες εγγυήσεις απέχουν από αυτό που επιδιώκει η ΠΑ.

ε. Εν συνεχεία υποστήριξη

Αφορά στη δυνατότητα του κατασκευαστή να υποστηρίζει τα νέα Α/Φ καθόλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Στην περίπτωση αυτή μια εναλλακτική θεωρείται:

- **Καλή**, όταν εξασφαλίζει την υποστήριξη αυτή μέσω δικτύου βιώσιμων φορέων και εταιριών.
- **Μέτρια**, όταν εξασφαλίζει μεν την υποστήριξη αλλά δεν εγγυάται με πειστικό τρόπο για ζητήματα απαρχαίωσης (obsolescence) υλικού στο μέλλον.
- **Κακή**, όταν διαφαίνεται μια αδυναμία στην υποστήριξη του υλικού μετά την απόκτησή του.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΗΡ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της Συμβατικής/Distributive ΑΗΡ του Saaty, για το υπό εξέταση πρόβλημα. Συγκεκριμένα παρατίθενται οι αναλυτικοί πίνακες διεξαγωγής συγκρίσεων μεταξύ των κριτηρίων καθώς και μεταξύ των εναλλακτικών ανά κριτήριο, σε απλή και κανονικοποιημένη μορφή ως εξής:

- Σύγκριση μεταξύ Κριτηρίων

Όπως και πρωτότερα τονίστηκε, στα κριτήρια τίθενται τιμές στην κλίμακα 1-3 (και με δεκαδικές επιλογές) κατά τη συλλογιστική που αναπτύσσει ο αποφασίζων ή η ομάδα λήψης απόφασης και σημειώνονται στα λευκά κελιά. Οι τιμές των κίτρινων κελιών προκύπτουν με αντιστροφή των τιμών των λευκών κελιών (π.χ $0,6=1/1,7$). Τα στοιχεία της διαγωνίου είναι πάντοτε ίσα με τη μονάδα. Έτσι ο πίνακας έχει τη μορφή:

		Βάρη Κριτηρίων				
		Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5
Cr1	Κόστος Αγοράς	1,0	1,7	0,8	1,3	1,0
Cr2	Χρονοδιάγραμμα Παράδοσης	0,6	1,0	0,5	0,6	0,6
Cr3	Επιχειρησιακό πεδίο δράσης	1,2	2,0	1,0	1,5	1,2
Cr4	Αξιοπιστία	0,8	1,7	0,7	1,0	0,8
Cr5	Εν συνεχεία υποστήριξη	1,0	1,7	0,8	1,3	1,0
Άθροισμα		4,600	8,000	3,833	5,600	4,600

Πίνακας 3:

Σύγκριση μεταξύ των κριτηρίων

Ο κανονικοποιημένος πίνακας θα προκύψει αν οι τιμές κάθε στήλης διαιρεθούν με το αντίστοιχο άθροισμα των κελιών της ίδιας στήλης. Το τελικό εξαγόμενο θα είναι τα βάρη κριτηρίων (μέσος όρος των τιμών κάθε γραμμής).

Κανονικοποιημένος Πίνακας							Βάρος Κριτηρίου	λ
		Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5		
Cr1	Κόστος Αγοράς	0,217	0,208	0,217	0,223	0,217	0,217	5,007
Cr2	Χρονοδιάγραμμα Παράδοσης	0,130	0,125	0,130	0,107	0,130	0,125	5,003
Cr3	Επιχειρησιακό πεδίο δράσης	0,261	0,250	0,261	0,268	0,261	0,260	5,007
Cr4	Αξιοπιστία	0,174	0,208	0,174	0,179	0,174	0,182	5,006
Cr5	Εν συνεχεία υποστήριξη	0,217	0,208	0,217	0,223	0,217	0,217	5,007
				Βαθμός Συνέπειας (CR)				0,001

Πίνακας 4:
Κανονικοποιημένος Πίνακας Βαρών Κριτηρίων

- Σύγκριση έκαστης εναλλακτικής σε κάθε κριτήριο.

Στο βήμα αυτό κάθε εναλλακτική ελέγχεται ως προς έκαστο κριτήριο για να διαπιστωθεί η επίδοσή της. Οι πίνακες καταρτίζονται όπως και προηγουμένως, δλδ στα λευκά κελιά συμπληρώνονται οι τιμές που ο αποφασίζων έχει ορίσει, στα κίτρινα κελιά οι αντίστοιχες αντίστροφες τιμές και έπεται η κανονικοποίηση του προκύπτοντος σε κάθε περίπτωση πίνακα.

		Ελεγχόμενο Κριτήριο		
		Κόστος Αγοράς		
		A	B	C
Εναλλακτική 1	A	1,000	0,900	0,500
Εναλλακτική 2	B	1,111	1,000	0,700
Εναλλακτική 3	C	2,000	1,429	1,000
	Sum	4,111	3,329	2,200

Πίνακας 5:
Επιδόσεις εναλλακτικών ως προς το κόστος αγοράς

	Κανονικοποιημένος Πίνακας			Μερική προτεραιότητα εναλλακτικής	λ
	A	B	C		
A	0,243	0,270	0,227	0,247	3,004
B	0,270	0,300	0,318	0,296	3,005
C	0,486	0,429	0,455	0,457	3,008
			Consistency Ratio		0,005

Πίνακας 6:

Κανονικοποιημένος πίνακας προτεραιότητας εναλλακτικών ως προς το κόστος αγοράς

		Ελεγχόμενο Κριτήριο		
		Χρονοδιάγραμμα Παράδοσης		
		A	B	C
Εναλλακτική 1	A	1,000	0,500	2,500
Εναλλακτική 2	B	2,000	1,000	2,000
Εναλλακτική 3	C	0,400	0,500	1,000
	Sum	3,400	2,000	5,500

Πίνακας 7:

Επιδόσεις εναλλακτικών ως προς το χρονοδιάγραμμα παράδοσης

	Κανονικοποιημένος Πίνακας			Μερική προτεραιότητα εναλλακτικής	λ
	A	B	C		
A	0,294	0,250	0,455	0,333	3,102
B	0,588	0,500	0,364	0,484	3,133
C	0,118	0,250	0,182	0,183	3,048
			Consistency Ratio		0,081

Πίνακας 8:

Κανονικοποιημένος πίνακας προτεραιότητας εναλλακτικών ως προς το χρονοδιάγραμμα παράδοσης

		Ελεγχόμενο Κριτήριο		
		Επιχειρησιακό πεδίο δράσης		
		A	B	C
Εναλλακτική 1	A	1,000	1,500	2,500
Εναλλακτική 2	B	0,667	1,000	3,000
Εναλλακτική 3	C	0,400	0,333	1,000
Sum		2,067	2,833	6,500

Πίνακας 9:

Επιδόσεις εναλλακτικών ως προς το επιχειρησιακό πεδίο δράσης

	Κανονικοποιημένος Πίνακας			Μερική προτεραιότητα εναλλακτικής	λ
	A	B	C		
A	0,484	0,529	0,385	0,466	3,052
B	0,323	0,353	0,462	0,379	3,047
C	0,194	0,118	0,154	0,155	3,017
Consistency Ratio					0,033

Πίνακας 10:

Κανονικοποιημένος πίνακας προτεραιότητας εναλλακτικών ως προς το επιχειρησιακό πεδίο δράσης

		Ελεγχόμενο Κριτήριο		
		Αξιοπιστία		
		A	B	C
Εναλλακτική 1	A	1,000	1,500	2,000
Εναλλακτική 2	B	0,667	1,000	1,800
Εναλλακτική 3	C	0,500	0,556	1,000
Sum		2,167	3,056	4,800

Πίνακας 11:

Επιδόσεις εναλλακτικών ως προς την αξιοπιστία

	Κανονικοποιημένος Πίνακας			Μερική προτεραιότητα εναλλακτικής	λ
	A	B	C		
A	0,462	0,491	0,417	0,456	3,014
B	0,308	0,327	0,375	0,337	3,010
C	0,231	0,182	0,208	0,207	3,006
			Consistency Ratio		0,009

Πίνακας 12:

Κανονικοποιημένος πίνακας προτεραιότητας εναλλακτικών ως προς την αξιοπιστία

		Ελεγχόμενο Κριτήριο		
		Εν συνεχεία υποστήριξη		
		A	B	C
Εναλλακτική 1	A	1,000	2,500	2,750
Εναλλακτική 2	B	0,400	1,000	1,500
Εναλλακτική 3	C	0,364	0,667	1,000
	Sum	1,764	4,167	5,250

Πίνακας 13:

Επιδόσεις εναλλακτικών ως προς την εν συνεχεία υποστήριξη

	Κανονικοποιημένος Πίνακας			Μερική προτεραιότητα εναλλακτικής	λ
	A	B	C		
A	0,567	0,600	0,524	0,564	3,018
B	0,227	0,240	0,286	0,251	3,008
C	0,206	0,160	0,190	0,186	3,006
			Consistency Ratio		0,009

Πίνακας 14:

Κανονικοποιημένος πίνακας προτεραιότητας εναλλακτικών ως προς την εν συνεχεία υποστήριξη

- **Συνολική προτεραιοποίηση**

Ο τελικός πίνακας προτεραιοποίησης των εναλλακτικών 1, 2 και 3 προκύπτει από τα στοιχεία των πινάκων που παρατέθηκαν προηγουμένως.

Μοντέλο Προτεραιοποίησης				
Εναλλακτική Επιλογή / Κριτήριο	1. F-35	2. RAFALE	3. GRIPEN	Βάρη Κριτηρίων
Κόστος αγοράς	24,70%	29,63%	45,67%	21,67%
Χρονοδιάγραμμα παράδοσης	33,29%	48,40%	18,32%	12,47%
Επιχειρησιακό πεδίο δράσης	46,60%	37,90%	15,50%	26,01%
Αξιοπιστία	45,64%	33,67%	20,70%	18,17%
Εν συνεχεία υποστήριξη	56,36%	25,08%	18,56%	21,67%
Επίδοση (αξία) εναλλακτικής	42,13%	33,87%	24,00%	100,00%

Πίνακας 15:

Πίνακας προτεραιοποίησης των 3 εναλλακτικών: F-35, Rafale, Gripen

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αναλύοντας τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι η Εναλλακτική 1 αναδεικνύεται ως η πιο προτιμητέα εναλλακτική με ποσοστό 42,13%, ενώ η Εναλλακτική 3 πετυχαίνει τη μικρότερη επίδοση, 24,00%. Η Εναλλακτική 2, με ποσοστό 33,87% προκρίνεται ως η δεύτερη προτιμότερη επιλογή.

Η εναλλακτική 1 παρουσιάζει πολύ καλή επίδοση σε τρία εκ των πέντε κριτηρίων, ωστόσο αποδεικνύεται η ακριβότερη επιλογή και προσφέρει χρονοδιάγραμμα παράδοσης χειρότερο σε σχέση με την εναλλακτική 2.

Η εναλλακτική 2, παρά το γεγονός ότι εμφανίζει εξαιρετική επίδοση στο χρονοδιάγραμμα παράδοσης και σχετικά συγκρίσιμες επιδόσεις με την εναλλακτική 1 στα υπόλοιπα κριτήρια, υστερεί συνολικά λόγω διαφανόμενης αδυναμίας εξασφάλισης αδιάλειπτης εν συνεχεία υποστήριξης.

Η εναλλακτική 3 παρουσιάζει εξαιρετική επίδοση στο κόστος αγοράς και μέτριες έως κακές επιδόσεις σε όλα τα υπόλοιπα κριτήρια.

Σημειώνεται ότι για τον έλεγχο της συνέπειας των κρίσεων του αποφασίζοντα, υπολογίστηκε σε κάθε κανονικοποιημένο πίνακα συγκρίσεων, ο αντίστοιχος λόγος συνέπειας (**CR**: Consistency Ratio). Ο λόγος αυτός προκύπτει από τη διαίρεση του δείκτη συνέπειας (**CI**: Consistency Index) κάθε πίνακα, με τον δείκτη συνέπειας τυχαίου πίνακα **RI** (Random Index) η τιμή του οποίου λαμβάνεται από τον «Random Index Table» του Saaty (1977). Ισχύει επομένως η κάτωθι μαθηματική σχέση:

$$CR = CI/RI,$$

όπου:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1},$$

λ η κύρια ιδιοτιμή του πίνακα

n ο αριθμός των εναλλακτικών/κριτηρίων υπό σύγκριση (ή ο βαθμός/διάσταση του πίνακα).

Εφόσον το πηλίκο CI/RI προκύπτει μικρότερο του 0,1 ή αλλιώς 10%, οι κρίσεις του αποφασίζοντος θεωρούνται συνεπείς.

Για την πολυκριτηριακή ανάλυση της παρούσας εργασίας η τιμή του Random Index κατά περίπτωση συγκρίσεων έλαβε την τιμή 0,58 για $n=3$ και 1,12 για $n=5$, βάσει του παρακάτω πίνακα που δημιούργησε ο Saaty (1977):

n	RI	n	RI
1	0	6	1.24
2	0	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12	10	1.49

Πίνακας 16
Random Index κατά Saaty

Οι λόγοι συνέπειας των συγκρίσεων που διενεργήθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης υπολογίστηκαν μικρότεροι του 0.1, επομένως τα αποτελέσματα της ιεραρχικής ανάλυσης κατά AHP, κρίνονται ασφαλή για την ορθότητα της τελικής επιλογής και απόφασης.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Μέσα από τη μελέτη περίπτωσης στην παρούσα εργασία, περί προμήθειας νέου μαχητικού Α/Φ από την ΠΑ αναδείχθηκαν με απλό και κατανοητό τρόπο τα πολύ σημαντικά οφέλη που προκύπτουν, όταν ο αποφασίζων καταφεύγει σε χρήση μεθόδων λήψης απόφασης καταστρώνοντας το δίκτυο του προβλήματος και δίνοντας μαθηματική υφή στη συλλογιστική του.

Με τη χρήση του μεθοδολογικού εργαλείου που προσφέρει η ΑΗΡ κατά την επίλυση του προβλήματος που πραγματεύεται η εν λόγω μελέτη, διαφάνηκε η ευκολία και η ακρίβεια στην ποσοτικοποίηση της κρίσης του αποφασίζοντος. Το πρόβλημα λήψης απόφασης μετατράπηκε σε «πρώτη ύλη» για ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο παρείχε στοιχειοθετημένα και ποσοτικά αποτελέσματα, στην κατεύθυνση εντοπισμού της καταλληλότερης και τελικώς βέλτιστης επιλογής.

Για τα κριτήρια που ετέθησαν, τα βάρη κριτηρίων που αποδόθηκαν αλλά και τις εναλλακτικές που εξετάστηκαν, ο αποφασίζων ακολουθώντας την μεθοδολογική προσέγγιση της ΑΗΡ οδηγήθηκε στην ιδανικότερη λύση ελέγχοντας παράλληλα το βαθμό συνέπειας των αποτελεσμάτων.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε περιορίστηκε για λόγους ευκολίας στην 3-βάθμια κλίμακα έκφρασης προτιμήσεων. Επομένως η εξέλιξή του σε κλίμακα από 1 έως 9, δυνητικά θα αποτελούσε μια πολύ καλή πρόταση μελλοντικής μελέτης. Η 9-βάθμια κλίμακα παρέχει στον αποφασίζοντα μεγαλύτερη ευχέρεια στην μαθηματική αποτύπωση του προβλήματος απόφασης και εξασφαλίζει ακριβέστερη και πληρέστερη διαδικασία σύγκρισης μεταξύ των εκάστοτε εναλλακτικών επιλογών ως προς συγκεκριμένα προκαθορισθέντα κριτήρια.

Η επαναξιολόγηση των αποτελεσμάτων κατά την περάτωση μιας διαδικασίας λήψης απόφασης και ο έλεγχος ευαισθησίας της τελικής επιλογής στην οποιαδήποτε αλλαγή ή αφαίρεση ενός κριτηρίου, αποτελεί επίσης σημαντική παράμετρο για την αξιοπιστία του τελικού εξαγόμενου και την πληρότητα του ακολουθούμενου μαθηματικού προτύπου, κατά περίπτωση. Σε όλες τις προσθετικές μεθόδους υπάρχει μικρή πιθανότητα να συμβεί «Rank Reversal», (ανατροπή κατάταξης) όταν στο μοντέλο εισάγεται ή αφαιρείται μία εναλλακτική, η οποία είναι όμοια ή περίπου όμοια με μία ήδη υπάρχουσα. Επομένως μια ανάλογη

επανεκτίμηση των αποτελεσμάτων του προβλήματος που αναλύθηκε κρίνεται ως ενδιαφέρον αντικείμενο περαιτέρω αναζήτησης.

Τέλος, επισημαίνεται ότι στους δείκτες σύγκρισης κατά την ανάπτυξη του μοντέλου της παρούσας εργασίας, αποδόθηκαν αυστηρές μαθηματικές τιμές. Παρόλα αυτά ο αποφασίζων στις περισσότερες των περιπτώσεων εμφανίζεται αβέβαιος για το επίπεδο της προτίμησής του. Ένας φυσικός τρόπος να αντιμετωπιστούν οι αβέβαιες κρίσεις είναι να εκφραστούν οι δείκτες και οι αναλογίες σύγκρισης ως συγκεχυμένα-ασαφή σύνολα (fuzzy sets) ή συγκεχυμένοι-ασαφείς αριθμοί (fuzzy numbers), οι οποίοι ενσωματώνουν την ασάφεια της ανθρώπινης σκέψης.

Επομένως η προσέγγιση διαφορετικών μορφών της μεθόδου AHP (όπως οι Fuzzy SAATY AHP, Fuzzy Multiplicative AHP, Fuzzy Geometric Mean AHP κ.ά) οι οποίες συνυπολογίζουν την παράμετρο της ασάφειας, θεωρείται εξαιρετικά ενδιαφέρον πεδίο εκτενέστερης ανάλυσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Charnes, A. and Cooper, W. W. (1961) *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. New York: John Wiley & Sons.

Fishburn, P. C. (1970) *Utility Theory for Decision Making*. Huntington, New York: Robert E. Krieger Publishing.

Gass, S. I. (2005) “Model world: the great debate—MAUT versus AHP”. *Interfaces*, 35 (4), pp. 308-312.

Kang, H. and Lee, A. (2007) “Priority mix planning for semiconductor fabrication by fuzzy AHP ranking”. *Expert Systems with Applications*, 32 (2), pp. 560-570.

Keeney, L. R. and Raiffa, H. (1976) *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. New York: John Wiley & Sons.

Koopmans, C. T. (1951) *Activity Analysis of Production and Allocation*. New York: John Wiley & Sons.

Pareto, V. (1896) *Cours d' economie politique*. Lausanne: F. Rouge.

Pohekar, S. and Ramachandran, M. (2004) “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4), pp. 365-381.

Roy, B. (1968) “Classement et choix en presence de points de vue multiples: La methode ELECTRE”. *R.I.R.O.*, 8, pp. 57-75.

Saaty, T. L. (1977) “A scaling method for priorities in hierarchical structures”. *Journal of mathematical psychology*, 15 (3), pp. 234-281.

Saaty, T. L. (1994) *Fundamentals of decision making*. Pittsburgh: RWS Publications.

Saaty, T. L. (2008) “Decision making with the analytic hierarchy process”. *International journal of services sciences*, 1 (1), pp. 83-98.

Σίσκος, Ι. (2008) *Μοντέλα αποφάσεων*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.