

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΛΗΣ ΚΑΙ ΑΣΑΦΟΥΣ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΘΟΔΩΡΗΣ ΓΑΛΑΝΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ: ΜΙΑ ΠΕΡΙΠΛΟΚΗ ΕΝΝΟΙΑ | 3 |
| 1.1 | Η ΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ | 8 |
| 2 | ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ | 11 |
| 2.1 | ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ | 11 |
| 2.2 | ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 13 |
| 2.3 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΗΡ | 17 |
| 2.4 | ΑΣΑΦΗΣ ΑΗΡ | 20 |
| 3 | ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ | 22 |
| 3.1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 22 |
| 3.2 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ | 23 |
| 3.3 | ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟ ΕΙΔΙΚΟΥΣ (EXPERT OPINION) | 26 |
| 3.4 | ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΗΡ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ | 32 |
| 3.5 | ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ FUZZY DECISION MAKING (FDM) | 53 |
| 4 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ | 61 |
| A´ | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΣΑΦΩΝ ΒΑΡΩΝ | 64 |
| A´.1 | ΒΑΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ | 64 |
| A´.2 | ΒΑΡΗ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ECONOMIC COSTS (C1) | 67 |
| A´.2.1 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ CAPITAL COSTS (E1) | 68 |
| A´.2.2 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ MAINTENANCE (E2) | 71 |
| A´.3 | ΒΑΡΗ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ENVIRONMENTAL ASPECTS (C2) | 74 |
| A´.3.1 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ RESOURCE MANAGEMENT (EA1) | 77 |
| A´.3.2 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ENERGY USE (EA2) | 78 |
| A´.3.3 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ BIODIVERSITY (EA3) ΚΑΙ RESOURCE EXTRACTION (EA4) | 80 |
| A´.4 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ SOCIAL ASPECTS (C3) | 81 |
| A´.5 | ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ TECHNOLOGICAL ASPECTS (C4) | 84 |
| B´ | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ | 86 |

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Κλίμακα αξιολόγησης κατά τον Saaty | 26 |
| 2 | Διάνυσμα βαρών των υποκριτηρίων | 43 |
| 3 | Ασαφής κλίμακα αξιολόγησης | 54 |
| 4 | Αντίστροφη ασαφής κλίμακα | 55 |
| 5 | Ασαφή βάρη των υποκριτηρίων του προβλήματος | 56 |
| 6 | Διανύσματα αξιολόγησης των ζευγών κριτηρίου-εναλλακτικής | 57 |
| 7 | Ασαφής πίνακας απόδοσης | 58 |
| 8 | Τελικός πίνακας απόφασης | 59 |

1 ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ: ΜΙΑ ΠΕΡΙΠΛΟΚΗ ΕΝΝΟΙΑ

Ιστορικά, η σύγχρονη ιδέα της ανάπτυξης αρθρώθηκε για πρώτη φορά από τον Αμερικανό πρόεδρο Χάρρυ Τρούμαν, στην εναρκτήρια ομιλία του, το 1949:

”Πρέπει να ξεκινήσουμε ένα νέο, θαρραλέο πρόγραμμα το οποίο θα καταστήσει την επιστημονική και βιομηχανική πρόοδο προσιτή στις λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές. Ο παλιός ιμπεριαλισμός - εκμετάλλευση για ξένο κέρδος - δεν έχει πια θέση στα σχέδια μας. Αυτό που οραματιζόμαστε είναι ένα πρόγραμμα ανάπτυξης βασισμένο στην έννοια της δημοκρατικής και δίκαιας μεταχείρισης”

Αυτή η θεώρηση της ανάπτυξης, για πρώτη φορά στο πλαίσιο της 'υπο-ανάπτυξης', έδωσε στην ανάπτυξη ένα καινούριο νόημα. Διαφορετικά μέρη του κόσμου ταξινομήθηκαν ως λιγότερο αναπτυγμένες οικονομίες, οι οποίες χρειάζονταν βοήθεια ώστε να 'αναπτυχθούν' και να φτάσουν 'αποδεκτά' επίπεδα διαβίωσης. Όπως αναφέρει ο Εσκομπάρ (1995), "η ανάπτυξη πρώτα δημιούργησε την έννοια της φτώχειας [βασισμένη σε μοντέρνους δείκτες όπως κατα κεφαλήν ΑΕΠ, υλικά αγαθά, εξώρυξη πρώτων υλών, επιστήμη και τεχνολογία κλπ] και έπειτα 'εκμοντέρνισε' τους φτωχούς, μετατρέποντάς τους σε 'επικουρούμενους”.

Σε αυτό ακριβώς το πλαίσιο δημιουργήθηκε η ταυτολογία ανάμεσα στην ανάπτυξη (γενικά) και στην οικονομική ανάπτυξη. Η οικονομική ανάπτυξη ήταν η δύναμη ενάντια στην φτώχεια, δημιουργώντας πλούτο ο οποίος μπορούσε να λύσει κοινωνικά προβλήματα. Εδώ βλέπουμε τα δύο βασικά στοιχεία της οικονομικής εξέλιξης, τουλάχιστον σε αυτή τη θεώρηση: τον διαχωρισμό της οικονομίας από την κοινωνία και την [εγγενή] 'θετική δύναμη' του οικονομικού συστήματος. Παρόλα αυτά, έγινε γρήγορα αντιληπτό στους αναπτυξιακούς σχεδιαστές ότι η οικονομική εξέλιξη δεν σήμαινε αυτόματα και ισονομία. Στις νέες, βιομηχανικές χώρες, η οικονομική εξέλιξη συνοδεύτηκε αναπόφευκτα από μια αύξηση στην ανισότητα των εισοδημάτων. Οι κοινωνικές πτυχές που συνόδευσαν αυτού του είδους ανάπτυξης, όπως η ανεργία, η υπο-απασχόληση, η περιβαλλοντική καταστροφή, καθώς και οι αυξανόμενες ανισότητες, θεωρήθηκαν ως 'εμπόδια' τα οποία έπρεπε να ξεπεραστούν ώστε η ανάπτυξη να προχωρήσει ομαλά.

Είναι πολύ σημαντικό να καταλάβουμε ότι η έννοια της Αειφόρου Ανάπτυξης (ΑΑ) δημιουργήθηκε υπό την πίεση αυτών των εμποδίων, καθώς μη κερδοσκοπικές οργανώσεις, περιβαλλοντικοί οργανισμοί, διάφορες αγροτικές και τοπικές οργανώσεις ανά τον κόσμο, καθώς και διεθνείς οργανισμοί όπως τα Ηνωμένα Έθνη, απαίτησαν μια εννοιολογική και πολιτική αναθεώρηση της έννοιας της ανάπτυξης. Μετά το συνέδριο της Στοκχόλμης για το Ανθρώπινο Περιβάλλον (1972) και την Παγκόσμια Στρατηγική Προστασίας της Διεθνούς Ένωσης (1980), οι πολιτικοί ηγέτες κατάλαβαν ότι υπήρχε η ανάγκη για την δημιουργία ενός οργανισμού, του οποίου ο κύριος σκοπός ήταν να αυξήσει την επίγνωση για την ανάγκη προώθησης της Αειφόρου Ανάπτυξης.

Έτσι, τον Δεκέμβριο του 1983, η Γενική Γραμματεία των Ηνωμένων Εθνών ζήτησε από τον πρωθυπουργό της Νορβηγίας, Gro Harlem Brundtland, να δημιουργήσει έναν αυτόνομο οργανισμό για αυτόν ακριβώς τον σκοπό. Το 1987, η επιτροπή Brundtland, δημοσίευσε τον πρώτο τόμο του "Κοινού μας Μέλλοντος" (Our Common Future) όπου και μπορούμε να βρούμε τον πρώτο διατύπωση της Αειφόρου Ανάπτυξης: "ανάπτυξη η οποία αντιμετωπίζει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να αντιμετωπίσουν τις δικές τους ανάγκες" (WCED, 1987).

Αυτή η διάσημη έκθεση επηρέασε βαθύτατα τα μελλοντικά γεγονότα, ειδικότερα την σύνοδο του Ρίο το 1992 καθώς και την έκδοση της Διάταξης 21 (Agenda 21), "ένα περιεκτικό σχέδιο δράσης, το οποίο θα εφαρμοστεί σε παγκόσμιο, εθνικό, και τοπικό επίπεδο από τους οργανισμούς των Ηνωμένων Εθνών, κυβερνήσεις, και σημαντικές ομάδες σε κάθε περιοχή όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν το περιβάλλον" (Agenda 21, 1992). Σε αυτό το κείμενο, υπήρξε μια βασική υπόθεση, ότι "η ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών και αναπτυξιακών ανησυχιών θα οδηγήσει στην εκπλήρωση των βασικών αναγκών, βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης για όλους, σε καλύτερα προστασία και διαχείριση των οικοσυστημάτων, και σε ένα πιο ασφαλές και ευήμερο μέλλον" (Agenda 21, preamble, pg 1).

Ο Henderson (1994) προσδιόρισε τον στόχο της ΑΑ ως "την αποσαφήνιση της σύγχυσης των μέσων (δηλαδή του τρόπου οικονομικής ανάπτυξης) με την πραγματικά, εξελικτική ανθρώπινη ανάπτυξη, ως του στόχου που πρέπει να επιδιωχθεί μέσα στις οικολογικές αντοχές του πλανήτη", και τόνισε την σημασία να χρησιμοποιηθούν νέοι κοινωνικοί και ποιοτικοί δείκτες, οι οποίοι θα πρέπει να αντικαταστήσουν τους οικονομικούς δείκτες που χρησιμοποιούνταν μέχρι εκείνη τη στιγμή. Ο Olson (1994) περιέγραψε την αειφόρο κοινωνία ως "μία [κοινωνία] με δυνατότητες πρόβλεψης, ευελιξίας, και σο-

φία ώστε να αποφευχθεί η υπονόμηση των οικολογικών θεμελίων, στα οποία έχει χτιστεί, μια κοινωνία η οποία μπορεί αντέξει και να βελτιωθεί στο μέλλον". Τέλος, ο Lafferty (1996) επιστήσε την προσοχή στην έννοια της ΑΑ όχι επειδή οι "διεθνείς μηχανισμοί υποστήριξης είναι είτε ηθικά ή εμπειρικά απαραίτητοι" αλλά επειδή "τα συγκεκριμένα φαινόμενα που αντιμετωπίζουμε, έχουν γίνει κεντρικά χαρακτηριστικά της μετα-βιομηχανικής διακυβέρνησης".

Αυτά τα "συγκεκριμένα φαινόμενα" στα οποία αναφέρεται ο Lafferty είναι φυσικά το τμήμα που πληρώνουμε για την πρώτη "πρόοδο": κλιματική αλλαγή, καταστροφή του όζοντος, μείωση της βιοποικιλότητας, έλλειψη πρώτων υλών, διάβρωση των εδαφών, ατμοσφαιρική ρύπανση, όλα παγκόσμια φαινόμενα με ευρύτατες επιπτώσεις σε ανθρωπίνους πληθυσμούς, ειδικότερα για τις φτωχές, αγροτικές οικονομίες των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών. Η ΑΑ προέκυψε σαν κεντρικό στοιχείο της διαδικασίας δημιουργίας ενός νέου μοντέλου (paradigm) ανάπτυξης, μια ριζική αλλαγή στην σύγχρονη θεώρηση της ανάπτυξης, κύριος στόχος της οποίας είναι η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.

Χρήσιμος, σε μια προσπάθεια κατηγοριοποίησης της ΑΑ, είναι ο διαχωρισμός της (σύγχρονης) ανάπτυξης από τους Cowen και Shenton (1998):

- **Εγγενής ανάπτυξη** (Immanent development): μια ευρεία διαδικασία αλλαγής στις ανθρώπινες κοινωνίες, που οδηγείται από έναν μεγάλο αριθμό παραγόντων όπως πρόοδο στις επιστήμες, στην ιατρική, στις τέχνες, στην επικοινωνία, στην διακυβέρνηση κτλπ.
- **Εκ προθέσεως ή παρεμβατική ανάπτυξη** (Intentional (or interventionist) development): μια επικεντρωμένη και καθοδηγούμενη διαδικασία όπου κυβερνητικές και μη κυβερνητικές οργανώσεις εφαρμόζουν σχέδια και προγράμματα τα οποία βοηθούν στην ανάπτυξη των λιγότερο αναπτυγμένων.

Είναι εύκολο να τοποθετήσουμε την ΑΑ στην δεύτερη κατηγορία, της παρεμβατικής ανάπτυξης. Ο ευρύς στόχος της είναι να περιγράψει μια διαδικασία οικονομικής ανάπτυξης χωρίς περιβαλλοντική καταστροφή (Banerjee, 2003). Η πολυπλοκότητα όμως του φαινομένου της ΑΑ φαίνεται και από την αδυναμία ευρεσης ενός καθολικού ορισμού. Σε μια ανάλυση περιεχομένου των διαφόρων ορισμών της ΑΑ, οι Gladwin et al. (1995)

αναγνώρισαν τις παρακάτω θεματικές ενότητες:

- ανθρώπινη ανάπτυξη
- ενσωμάτωση, οικονομικών, κοινωνικών, πολιτικών, τεχνολογικών, και κοινωνικών συστημάτων
- σύνδεσιμότητα, κοινωνικοπολιτικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων
- ισονομία, δίκαιη διανομή των πρώτων υλών και δικαιωμάτων ιδιοκτησίας
- σύνεση, αποφυγή μη αναστρέψιμων συνθηκών και αναγνώριση της φέρουσας ικανότητας (carrying capacity) των οικοσυστημάτων
- ασφάλεια, επίτευξη ενός ασφαλούς, υγιούς και υψηλού επιπέδου ζωής

Οι Holmberg and Sandbrook (1992) αναγνώρισαν πάνω από 100 ορισμούς της ΑΑ, με τον πιο δημοφιλή αυτών της έκθεσης Brundtland: "μια διαδικασία αλλαγής κατά την οποία η εκμετάλλευση των πρώτων υλών, η κατεύθυνση των επενδύσεων, ο προσανατολισμός της τεχνολογικής προόδου, και η θεσμική αλλαγή, είναι συνεπείς τόσο με τις τωρινές όσο και με τις μελλοντικές ανάγκες" (WCED, 1987).

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας ορισμού της ΑΑ είναι η, έμπρακτη, μεταμόρφωση των ανθρωπίνων αξιών. Η φύση, η οποία κατά την Ευρωπαϊκή παράδοση απεικονίζεται ως 'άγρια' και 'ατίθαση', και συχνά μια εχθρική δύναμη, μεταμορφώνεται στο 'περιβάλλον', κάτι το οποίο είναι διαχειρίσιμο (Banjeree, 2003). Σε αυτό το νέο πλαίσιο αξιών, η κυριαρχία της φύσης γίνεται ένας βασικός δείκτης της ανθρωπίνης προόδου, αντί της μεταμόρφωσης της σχέσης ανάμεσα στους ανθρώπους και την φύση (Macnaghten and Urry 1998). Η φύση λοιπόν γίνεται πιο 'αληθινή' όταν μεταμορφώνεται στο περιβάλλον, κάτι το οποίο διαχωρίζεται από κοινωνικές και πολιτισμικές πρακτικές και που μπορεί να παράγει διακριτά και αισθητά (δηλ. μετρούμενα) αποτελέσματα (Banjeree, 2003).

Ένα περαιτέρω σημαντικό στοιχείο στην διαδικασία ορισμού και εκτέλεσης της ΑΑ είναι η επιστημονική και τεχνολογική καινοτομία. Όπως ισχυρίζεται ο Beder (1994) "η πρόκληση βρίσκεται στην δημιουργία μιας αειφόρου παγκόσμιας οικονομίας: μιας οικονομίας την οποία ο πλανήτης μπορεί να διατηρήσει επ'άπειρον...να βρεθούν νέες τεχνολογίες και να διευρυνθεί ο ρόλος της αγοράς στην κατανομή των πόρων, υπό την

υπόθεση ότι βάζοντας μια τιμή στο φυσικό περιβάλλον είναι ο μόνος τρόπος να προστατευθεί, εκτός εάν η υποβάθμισή του γίνει πιο επικερδής”. Ο Hawken, ο θεμελιωτής της θεωρίας του Φυσικού Καπιταλισμού (Natural Capitalism) πιστεύει ότι ”οι καταναλωτές λαμβάνουν ελλειπίες πληροφορίες, επειδή οι αγορές δεν αποδέχονται τα πραγματικά κόστη των αγαθών μας. Όταν οι καταναλωτές αρχίσουν να λαμβάνουν σωστές πληροφορίες, τα πράγματα θα αλλάξουν”. Η υπόθεση είναι τελικά ότι ο μόνος τροπος να αντιμετωπιστούν αυτές οι ανησυχίες είναι με την κοστολόγηση των περιβαλλοντικών αγαθών. Σε αντίθεση με αυτήν την λογική, ο McAfee (1999: 133) υποστηρίζει ότι ”δεν μπορεί να υπάρξει ένας οικουμενικός τρόπος για την σύγκριση και συναλλαγή των πραγματικών αξιών της φύσης ανάμεσα σε διαφορετικά γκρούπ ανθρώπων, από διαφορετικές κουλτούρες, και με πολύ διαφορετική πολιτική και οικονομική δύναμη”.

Ανακεφαλαιώνοντας, είναι αλήθεια ότι η Δυτική επιστήμη και τεχνολογία έχει επιφέρει πολλά θετικά αποτελέσματα. Η διεύρυνση των γραφειοκρατικών οικονομιών στην ανταγωνιστικότητα έχει βελτιώσει την αποδοτικότητα στην χρήση πρώτων υλών, μειώνοντας την χρήση των φυσικών πόρων, μέσω της επιβολής μιας οικονομικής λογικής (Sachs, 2000). Οι εμπορικοί οδοί και η διεθνής χρηματοδότηση επίσης αύξησε την πρόσβαση σε τεχνολογίες, οι οποίες συνήθως επιφέρουν πιο αποδοτικές επενδύσεις. Επίσης, αυτή η υπόθεση επεκτείνεται και στην χρήση ενέργειας και πρώτων υλών (OECD, 1998). Αυτή η μικρο-οικονομική διάσταση οδηγεί σε μια πιο βελτιωμένη παραγωγική διαδικασία (Sachs, 2000). Αλλά αυτό που υποβαθμίζεται είναι το γεγονός ότι αυτή η μικρο-οικονομική βελτίωση μπορεί να προχωρήσει βήμα βήμα με μια μακρο-οικονομική χειροτέρευση, όσον αφορά της κοινωνικοπολιτικές σχέσεις και το περιβάλλον. Αυτό πολύ απλά σημαίνει ότι, ενώ υπάρχει μείωση στην χρήση συγκεκριμένων πρώτων υλών (όσον αφορά τον λόγο των πρώτων υλών στην είσοδο και των προϊόντων στην έξοδο), η συνολική χρήση των πρώτων υλών αυξάνεται καθώς ο ογκος των οικονομικών συναλλαγών μεγαλώνει, κάτι που σήμερα ονομάζουμε ”rebound effect”. Η εφαρμογή λοιπόν αυτού που ονομάζουμε Αειφόρος Ανάπτυξη, καθώς και οι επιπτώσεις και τα αποτελέσματα των στρατηγικών της, είναι μια περίπλοκη διαδικασία η οποία μπορεί να έχει απροσδόκητα αποτελέσματα. Μια ολοκληρωμένη θεώρηση, λοιπόν, της περιπλοκότητας είναι περισσότερο από αναγκαία.

1.1 Η ΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ

Ο σκοπός της προηγούμενης ανάλυσης δεν ήταν απλά η ανάδειξη των προβλημάτων ορισμού, κατανόησης, και εφαρμογής της Αειφόρου Ανάπτυξης. Αλλά ούτε και η ανάδειξη της βασικής προσφοράς της ΑΑ, δηλαδή της ενσωμάτωσης των περιβαλλοντικών ανησυχιών και επιπτώσεων στην διαδικασία της οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης. Ο βασικός σκοπός ήταν η ανάδειξη της περιπλοκότητας που εισήγαγε η θεώρηση της ΑΑ σε κάθε έκφανση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ξαφνικά η διαδικασία απόφασης σε οποιαδήποτε δραστηριότητα, η οποία ερχόταν σε επαφή ή επηρρέαζε το φυσικό περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους, έγινε μια τρομερά περίπλοκη διαδικασία με αμέτρητες (σε κάποιες περιπτώσεις) μεταβλητές και διασυνδέσεις ανάμεσά τους.

Υπήρξαν δύο βασικές αντιδράσεις σε αυτήν την αλλαγή. Η πρώτη έχει να κάνει με την υποβάθμιση του φαινομένου της περιπλοκότητας. Την αποδοχή του γεγονότος ότι μια τέτοια περιπλοκότητα δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί, παρά μόνο με την υποβάθμισή της, την δημιουργία δηλαδή μοντέλων τα οποία αναπαριστούν την πραγματικότητα με ένα ανεκτό τρόπο. Η δεύτερη αντίδραση, αντιθέτως, αντιπροσωπεύει την πλήρη επίγνωση της περιπλοκότητας των σύγχρονων προβλημάτων, και θεώρησή της σαν κεντρικό χαρακτηριστικό για την αντιμετώπισή τους. Πώς όμως γίνεται κάτι τέτοιο, πώς μπορεί η πλήρης αποδοχή της περιπλοκότητας να οδηγήσει σε καλύτερη αντιμετώπιση προβλημάτων απόφασης; Η απάντηση σε ένα τέτοιο ερώτημα μπορεί να βρεθεί στον τομέα της Λογικής.

Ένα από τα πιο διάσημα βιβλία στην ιστορία της φιλοσοφίας είναι το 4ο βιβλίο της Μεταφυσικής, του Αριστοτέλη. Σε αυτό το βιβλίο ο Αριστοτέλης περιγράφει τις τρεις βασικές αρχές της λογικής:

- **Η αρχή της ταυτότητας:** μια πρόταση είναι αυστηρά ισότιμη με τον εαυτό της
- **Η αρχή της αντίφασης:** αν υποθέσουμε ότι έχουμε μια πρόταση π, η οποία δηλώνει ότι ένα αντικείμενο έχει μια συγκεκριμένη ιδιότητα. Εάν το αναφερόμενο πλαίσιο της πρότασης είναι καθορισμένο, τότε είναι αδύνατον να δηλώσουμε συγχρόνως ότι και οι δύο προτάσεις π και μη-π υπάρχουν
- **Η αρχή του αποκλειόμενου μέσου:** δωθείσας πρότασης π, είτε η π είναι αληθής είτε η π είναι ψευδής, δεν υπάρχει καμία άλλη τρίτη πιθανότητα

Αυτές οι τρεις αρχές καθορίζουν αυτό που σήμερα ονομάζουμε *κλασσική λογική*. Το κύριο χαρακτηριστικό της κλασσικής λογικής είναι η έννοια της άρνησης (negation). Από τη μία η δύναμη του αποκλεισμού, σε ένα καθορισμένο πλαίσιο η *π* αποκλείει την *μη-π*. Από την άλλη η επιβολή μιας επιλογής, είτε η *π* είτε η *μη-π* και καμία άλλη εναλλακτική. Κατά μια έννοια, η κλασσική άρνηση (και η λογική) δηλώνει ότι "πάντα ναι και όχι" και "πάντα ναι ή όχι". Όμως, αντίθετα στην δική της διαίσθηση, η κλασσική λογική ή κλασσική άρνηση, δεν είναι η μόνη πιθανότητα. Η πρόοδος της μαθηματικής λογικής κατά την διάρκεια του 20ου αιώνα δημιούργησε άλλες δύο πιθανές επιλογές. Οπότε συνολικά έχουμε τρία διαφορετικά είδη άρνησης, άρα και τρία διαφορετικά λογικά πλαίσια, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

- Η άρνηση υπακούει στην αρχή της αντίφασης και στην αρχή του αποκλειόμενου μέσου, η οποία ορίζει την κλασσική λογική.
- Η άρνηση υπακούει στην αρχή της αντίφασης αλλά όχι στην αρχή του αποκλειόμενου μέσου, η οποία ορίζει την πολυσήμαντη λογική (intuitionistic logic).
- Η άρνηση υπακούει στην αρχή του αποκλειόμενου μέσου αλλά όχι στην αρχή της αντίφασης, η οποία ορίζει την "παρασυνεπή" λογική (paraconsistent logic)

Η πολυσήμαντη λογική αναπτύχθηκε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα από τους L.E.J. Brouwer (1907) και Heyting (1930). Η παρασυνεπής λογική αναπτύχθηκε την δεκαετία του '60 από την Βραζιλιάνικη σχολή λογικής και κυρίως από τον μεγάλο επιστήμονα της λογικής Newton da Costa.

Πώς όμως όλα αυτά σχετίζονται με την περιπλοκότητα της διαδικασίας απόφασης, στα σύγχρονα περίπλοκα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε; Η πρώτη, εύκολη, διατύπωση είναι ότι κάθε διαδικασία απόφασης βρίσκεται μέσα στα πλαίσια της κλασσικής λογικής. Εξ'άλλου, στο τέλος της διαδικασίας πρέπει να επιλέξουμε μια από τις εναλλακτικές, και καμία άλλη. Παρόλα αυτά, στα σύγχρονα, περίπλοκα προβλήματα, οι πληροφορίες που διαθέτουμε δεν έχουν πάντα ποσοτική και απόλυτη φύση. Πολλές φορές, οι πληροφορίες που διαθέτουμε έχουν ποιοτική φύση, όπως για παράδειγμα απόψεις ειδικών σχετικά με χαρακτηριστικά απόφασης ενός προβλήματος. Αυτές οι ποιοτικές μεταβλητές βρίσκονται μέσα στο πλαίσιο της πολυσήμαντης λογικής, καθώς οι τιμές τους δεν είναι απόλυτες. Για παράδειγμα κάποια μεταβλητή δεν είναι απλά σημαντική ή ασήμαντη, αλλά μπορεί να πάρει και ενδιάμεσες τιμές όπως λιγότερο σημαντική. Εδώ προφανώς βρισκόμαστε πια μέσα στα πλαίσια της πολυσήμαντης λογικής. Τέλος, είναι πολύ

σημαντικό να κατανοήσουμε ότι κατά την διαδικασία ανάλυσης ενός περίπλοκου προβλήματος σε μεταβλητές απόφασης, είναι αρκετά σύνηθες να περιέχονται μεταβλητές οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν αντικρουόμενες. Η διαδικασία απόφασης εμπεριέχει αναγκαστικά την αντιμετώπιση, στην ίδια διαδικασία, τέτοιων αντικρουόμενων μεταβλητών. Είναι προφανές ότι βρισκόμαστε πλέον στα πλαίσια της παρασυνεπής λογικής.

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι κατά την διαδικασία απόφασης ενός περίπλοκου ζητήματος, είναι απαραίτητη η προσεκτική διαχείριση και των τριών λογικών πλαισίων. Μια απόφαση πρέπει να ληφθεί, μία εναλλακτική να επιλεγεί ανάμεσα σε ένα ευρος εναλλακτικών (κλασσική λογική), αναλύοντας όχι μόνο ποσοτικά αλλά και ποιοτικά δεδομένα των οποίων η κλίμακα είναι θέμα βαθμού (πολυσήμαντη λογική), και διαχειρίζοντας συγχρόνως αμοιβαίως αντικρουόμενα κριτήρια (παρασυνεπή λογική). Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν, στα πλαίσια της σύγχρονης διαδικασίας απόφασης, να εφαρμοστεί μια μέθοδος, η οποία θα διαθέτει την δυνατότητα διαχείρισης αυτού του περίπλοκου λογικού πλαισίου. Στα επόμενα κεφάλαιο θα περιγραφθούν τα χαρακτηριστικά μια τέτοιας μεθόδου.

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η λήψη αποφάσεων αποτελεί μια διαδικασία η οποία κάνει χρήση των μαθηματικών για την εξαγωγή αποτελεσμάτων (Figuera et al., 2005). Σε ένα πραγματικό πρόβλημα για επίλυση η παρεσυνεπής λογική, που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, παίζει σημαντικό ρόλο. Συχνά εμφανίζονται αντικρουόμενοι στόχοι όπου λόγω κάποιων περιορισμών η βελτίωση κάποιου στόχου έχει σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση κάποιου άλλου. Αυτό το χαρακτηριστικό της λήψης αποφάσεων οδήγησε στην ανάπτυξη μιας ολόκληρης οικογένειας μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης (Π.Α.). Η Π.Α. μπορεί να οριστεί ως μία συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων.

Είναι λοιπόν ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που έχει αναπτυχθεί για σύνθετα (περίπλοκα) προβλήματα πολλαπλών - και συχνά αντικρουόμενων- κριτηρίων, τα οποία περιλαμβάνουν ποσοτικές ή/και ποιοτικές πτυχές ενός προβλήματος κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Μαυρίδου, 2010). Δύο βασικές έννοιες που πρέπει πρώτα να αποσαφηνιστούν είναι ο στόχος και τα κριτήρια. Ο στόχος είναι κάτι που θέλει να πετύχει αυτός που τον θέτει, ενώ το κριτήριο καθορίζει τον βαθμό επίτευξης ενός στόχου ή δημιουργεί μια ταξινόμηση των συνεπειών των εναλλακτικών λύσεων, σύμφωνα με τις επιθυμίες του αποφασίζοντα. Το κριτήριο οπότε περιλαμβάνει ιδιότητες, δηλαδή ποσοτικά ή ποιοτικά χαρακτηριστικά, εκφράζοντας μια μέτρηση της ποσότητας ή της ποιότητας ή ακόμη και τις σχέσης, ανάμεσα σε διάφορους στοχους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι ότι ανταποκρίνεται σε πραγματικά προβλήματα, όπου το τελικό ζητούμενο (στόχος) είναι πολυδιάστατο μέγεθος και ο αντικειμενικός του προσδιορισμός εμπεριέχει την επιμέρους θεώρηση και εκτίμηση των μεγεθών που το προσδιορίζουν, προσφέρει συνήθως ένα ευρύ σύνολο εναλλακτικών ως λύση και, τέλος, αποσαφηνίζει το ρόλο των συμμετεχόντων στο σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων. Το τελευταίο σημείο είναι πολύ σημαντικό καθώς στην Π.Α. επιβάλλεται η ενσωμάτωση της εμπειρίας και των προτιμήσεων του στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς καμία λύση δεν είναι ανεξάρτητη από την κρίση του λήπτη αποφάσεων. Η έμφαση δίνεται στην διαδικασία λήψης της απόφασης και όχι στην ίδια την απόφαση. Η διαδικασία πληροφόρησης των αξιών και προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων είναι και αυτή που τελικά καθορίζει τις κατευθύνσεις επίλυσης του προβλή-

ματος. Μπορούμε να περιγράψουμε τα βασικά βήματα μιας γενικής μεθόδολογίας Π.Α.:

- καθορισμός των μεταβλητών αποφάσεων και περιορισμών
- συλλογή στοιχείων
- παραγωγή και υπολογισμός των εναλλακτικών λύσεων
- επιλογή της επιθυμητής εναλλακτικής λύσης
- εφαρμογή της επιλεγόμενης εναλλακτικής λύσης.

Κάποιες χρήσιμες παραδοχές της Π.Α. την καθιστούν σημαντική για την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η Π.Α. έχει την ικανότητα να προσαρμόσει πολλαπλά κριτήρια στην ανάλυση, μπορεί να λειτουργήσει με διαφόρων τύπων στοιχεία επιτρέποντας την ενσωμάτωση ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών, επιτρέπει την άμεση συμμετοχή πολλών εμπειρογνομόνων, ομάδων ενδιαφέροντος και των αρμόδιων φορέων, παράγει μια διαφανή ανάλυση στους συμμετέχοντες, περιλαμβάνει μηχανισμούς για ανατροφοδότηση σχετικά με τη συνέπεια των κρίσεων που γίνονται (Μητρόπουλος, 2007) και τέλος αποτελεί μια απλή μέθοδο, καθώς η βαθμονόμηση των κριτηρίων λαμβάνει χώρα πριν τη χρήση του μοντέλου.

Γενικά διακρίνονται τρεις μεγάλες ομάδες μεθόδων:

- **η πολυκριτηριακή ιεράρχηση επιλογών**, οι οποία προσβλέπει στην προσέγγιση της προτίμησης ενός σεναρίου σε σχέση με το άλλο και στηρίζεται στην δυαδική σύγκριση των επιλογών σε κάθε μεμονωμένο κριτήριο. Σε αυτή την περίπτωση η εύρεση βέλτιστου σεναρίου βασίζεται περισσότερο στη σύγκριση μεταξύ των επιμέρους σεναρίων και όχι της συνολικής βαθμολογίας τους. Οι μέθοδοι αυτής της ομάδας εφαρμόζονται σε προβλήματα που εξετάζουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών επιλογών
- **ο πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός**, ο οποίος εφαρμόζεται σε προβλήματα με συνεχές σύνολο άπειρου αριθμού επιλογών, με συνήθως μια διαδραστική προσέγγιση με μοντέλα που βασίζονται σε επαναληπτικές μεθόδους

- **η πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας**, η οποία εφαρμόζεται και σε συνεχές και σε διακριτό σύνολο επιλογών και στηρίζεται στη λογική της αναγωγής του πολυκριτηριακού σε μονοκριτηριακό πρόβλημα μέσω του προσδιορισμού μιας συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι Π.Α. που αναφέρονται στην βιβλιογραφία είναι (Ζορμπά Δ., 2010): i) ELECTRE I, ii) ELECTRE II, iii) PROMETHEE, iv) Compromise programming, v) Goal programming, vi) Weighting method, vii) Analytic Hierarchy Process.

2.2 ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Υπάρχει μια μακρά ιστορία σκέψης που έχει επενδυθεί στη σχέση μεταξύ ακρίβειας και αβεβαιότητας. Το βασικό σημείο της είναι ότι όσο μεγαλύτερη η αβεβαιότητα σε ένα πρόβλημα, τόσο λιγότερο ακριβείς μπορούμε να είμαστε όσον αφορά την κατανόηση του προβλήματος. Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα σύστημα, τόσο πιο ανακριβείς είναι οι πληροφορίες που έχουμε για να χαρακτηρίσουμε το εν λόγω σύστημα. Φαίνεται, επομένως, ότι η πολυπλοκότητα, η ασάφεια και η αβεβαιότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα στα προβλήματα που θέτουμε προς επίλυση. Η δυνατότητα να ενσωματώσουμε μια τέτοια συλλογιστική, στα μέχρι τώρα δυσεπίλυτα και περίπλοκα προβλήματα, είναι το κριτήριο με το οποίο κρίνεται η αποτελεσματικότητα της Ασαφούς Λογικής (ΑΛ).

Από ιστορικής άποψης, το ζήτημα της αβεβαιότητας δεν έχει γίνει πάντοτε αποδεκτό στους κόλπους της επιστημονικής κοινότητας (Klir και Yuan, 1995). Η αβεβαιότητα αποτελεί παραδοσιακά μια ανεπιθύμητη κατάσταση, μια κατάσταση που πρέπει να αποφευχθεί με κάθε κόστος. Η κύρια θεωρία που χρησιμοποιείται στην ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας στα επιστημονικά μοντέλα είναι η θεωρία των πιθανοτήτων. Ωστόσο, οι μελέτες από τον Max Black (1937) στην ασάφεια και η εισαγωγή των ασαφών συνόλων από τον Zadeh (1965), αμφισβήτησε όχι μόνο την θεωρία πιθανοτήτων, ως μοναδική αναπαράσταση της αβεβαιότητας, αλλά και τα ίδια τα θεμέλια πάνω στα οποία η θεωρία πιθανοτήτων βασίστηκε: η κλασσική, δυαδική λογική (Klir and Yuan, 1995).

Ενώ τα ασαφή συστήματα φαίνονται προσεγγίζουν καθολικά αλγεβρικές λειτουργίες, δεν είναι αυτό το χαρακτηριστικό το οποίο τα κάνει πραγματικά πολύτιμα για την κατανόηση νέων ή εξελισσόμενων προβλημάτων. Αντίθετα, το κύριο όφελος της ασαφούς θεωρίας είναι η προσέγγιση της συμπεριφοράς του συστήματος, στις περιπτώσεις όπου η αναλυτική συναρτήσεις ή αριθμητικές σχέσεις δεν υπάρχουν. Ως εκ τούτου, τα ασαφή

συστήματα έχουν τη δυνατότητα να κατανοήσουν τα ίδια συστήματα που στερούνται των αναλυτικών προτάσεων: τα περίπλοκα συστήματα. Ως εκ τούτου, τα ασαφή συστήματα είναι πολύ χρήσιμα σε δύο γενικά πλαίσια: πρώτον σε περιπτώσεις εξαιρετικά πολύπλοκων συστημάτων των οποίων οι συμπεριφορές δεν είναι καλά κατανοητές, και δεύτερον, σε περιπτώσεις όπου μια κατά προσέγγιση, αλλά γρήγορη και εφικτή, λύση είναι δικαιολογημένη (Fuzzy Logic with Engineering Applications, Timothy J. Ross, 2010).

ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

Η Ασαφής Λογική (ΑΛ) έχει δύο διαφορετικές σημασίες. Υπό μια στενή έννοια, η ΑΛ είναι ένα λογικό σύστημα, το οποίο είναι μια επέκταση της πολυσήμαντης λογικής. Αλλά κατά μια ευρύτερη έννοια, η οποία και χρησιμοποιείται περισσότερο σήμερα, η ΑΛ είναι σχεδόν ταυτόσημη με την θεωρία των ασαφών συνόλων, μια θεωρία η οποία αναφέρεται σε κλάσεις αντικειμένων τα οποία δεν έχουν αυστηρά ορισμένα όρια και στα οποία η συμμετοχή είναι θέμα βαθμού. Περισσότερο από οτιδήποτε άλλο, η επόμενη πρόταση θέτει τα θεμέλια της ΑΛ: "Στην ΑΛ, η αλήθεια κάθε πρότασης είναι θέμα βαθμού".

Ακολουθεί μια λίστα με γενικές παρατηρήσεις για την ΑΛ:

- Η ΑΛ είναι εννοιολογικά εύκολα κατανοητή.
- Η ΑΛ είναι ευέλικτη.
- Η ΑΛ είναι ανεκτική σε ανακριβή δεδομένα.
- Η ΑΛ μπορεί να μοντελοποιήσει μη γραμμικές συναρτήσεις τυχαίας περιπλοκότητας.
- Η ΑΛ μπορεί να δομηθεί πάνω στην εμπειρία ειδικών.
- Η ΑΛ μπορεί να ενσωματωθεί με "κανονικές" τεχνικές ελέγχου.
- Η ΑΛ βασίζεται στην χρήση φυσικής γλώσσας.

Η βασική έννοια πίσω από την ΑΛ είναι αυτή της "γλωσσικής μεταβλητής", δηλαδή μιας μεταβλητής οι τιμές της οποίας είναι λέξεις αντί για αριθμοί. Μια ακόμη σημαντική έννοια της ΑΛ, η οποία παίζει κεντρικό ρόλο στις περισσότερες εφαρμογές τις, είναι αυτό του κανόνα εαν - τότε (if - then), ή απλότερα του ασαφή κανόνα. Ο στόχος λοιπόν της

ΑΛ είναι η χαρτογράφηση του χώρου των μεταβλητών εισόδου σε έναν χώρο εξόδου, και ο βασικός μηχανισμός για να επιτευχθεί αυτό είναι αυτή η λίστα εαν-τοτε προτάσεων ή κανόνων. Όλοι οι κανόνες αξιολογούνται παράλληλα, και η σειρά αξιολόγησης δεν είναι σημαντική.

ΑΣΑΦΗΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΟΣ

Η όλη ιδέα πίσω από τον ασαφή συμπερασμό (fuzzy inference) είναι η ερμηνεία των τιμών του διάνυσματος εισόδου και, βασισμένη σε συγκεκριμένους κανόνες, ο καθορισμός τιμών στο διάνυσμα εξόδου. Οι τιμές αυτές περιέχονται σε αυτό που αποκαλούμε ασαφές σύνολο. Ένα ασαφές σύνολο είναι ένα σύνολο χωρίς σαφή, ξεκάθαρα καθορισμένα όρια. Μπορεί να περιέχει στοιχεία με μερικό βαθμό συμμετοχής. Οπότε αποτελεί μια επέκταση ενός κλασσικού συνόλου. Εάν X είναι ο χώρος εισόδου και τα στοιχεία του x , τότε ένα ασαφές σύνολο A στο X ορίζεται ως το σύνολο των διατεταγμένων στοιχείων:

$$A = \{x, m_A(x) \mid x \in X\}$$

Ο βαθμός συμμετοχής ορίζεται από την συνάρτηση συμμετοχής του x στο A , $m_A(x)$. Η συνάρτηση συμμετοχής είναι μια καμπύλη που ορίζει τον τρόπο με τον οποίο, κάθε σημείο του χώρου εισόδου, χαρτογραφείται σε μια τιμή συμμετοχής (ή βαθμό συμμετοχής) ανάμεσα στο 0 και στο 1. Υπάρχουν διάφορες μορφές συναρτήσεων συμμετοχής για ασαφή σύνολα όπως η τριγωνική, η τραπεζοειδής, η Gaussian, η συνάρτηση καμπάνας κτλπ.

Περίληπτικά, οι βασικές ιδιότητες των συναρτήσεων συμμετοχής είναι:

- Τα ασαφή σύνολα περιγράφουν ασαφείς έννοιες (γρήγορος δρομέας, ζεστός καιρός, καθημερινές).
- Τα ασαφή σύνολα παραδέχονται την πιθανότητα της μερικής συμμετοχής σε αυτά (π.χ. Ο καιρός είναι αρκετά ζεστός).
- Ο βαθμός στον οποίο ένα αντικείμενο ανήκει σε ένα ασαφές σύνολο, ορίζεται από την τιμή της συνάρτησης συμμετοχής ανάμεσα στο 0 και στο 1 (π.χ. Η Παρασκευή ανήκει στο Σαββατοκύριακο με τιμή 0,6).

- Η συνάρτηση συμμετοχής, που σχετίζεται με ένα ασαφές σύνολο, χαρτογραφεί την τιμή εισόδου σε μια κατάλληλη τιμή συμμετοχής.

ΚΑΝΟΝΕΣ, ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΞΕΙΣ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ

Οι τρεις πράξεις ασαφών συνόλων είναι η ασαφής τομή ή συνδυασμός (AND), η ασαφής ένωση (OR), και το ασαφές συμπλήρωμα (NOT). Οι τελεστές που αντιστοιχούν στις δύο πρώτες λογικές πράξεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται και συχνότερα, είναι: $AND = \min$, $OR = \max$.

Ένας απλός εαν-τοτε κανόνας παίρνει την μορφή: εαν x είναι A τότε y είναι B , όπου A και B γλωσσικές τιμές ορισμένες από τα ασαφή σύνολα X και Y αντίστοιχα. Το πρώτο (εαν) μέρος της πρότασης καλείται προηγούμενο, ενώ το δεύτερο (τότε) μέρος του κανόνα καλείται συνέπεια. Η ερμηνεία ενός εαν-τότε κανόνα περιέχει 3 ξεχωριστά βήματα: πρώτα η αξιόλογηση του προηγούμενου, το οποίο περιλαμβάνει ασαφοποίηση των εισόδων και εφαρμογή αναγκαίων τελεστών, και δεύτερον την εφαρμογή του αποτελέσματος στη συνέπεια, γνωστό και ως ερμηνεία.

Πως όμως αυτά τα ασαφή σύνολα μετατρέπονται σε ένα, ενιαίο, αριθμητικό αποτέλεσμα για τις μεταβλητές εξόδου; Πρώτα, τα ασαφή σύνολα στην έξοδο, για κάθε κανόνα, συγκεντροποιούνται σε ένα ασαφές σύνολο. Έπειτα, το αποτέλεσμα αποασαφοποιείται σε ένα αριθμό. Η διαδικασία αυτή αποκαλείται ασαφής συμπερασμός και περιέχει 5 βήματα:

- Την ασαφοποίηση των εισόδων, μέσω ασαφοποίησης των μεταβλητών εισόδου
- Την εφαρμογή του κατάλληλου τελεστή, μέσω της περιγραφής των κανόνων
- Την εφαρμογή της μεθόδου συνεπαγωγής, αφού πρώτα έχουμε υπολογίσει τα βάρη των κανόνων. Η έξοδος του βήματος αυτού είναι ένα ασαφές σύνολο, για κάθε κανόνα
- Την συγκέντρωση όλων των ασαφών συνόλων, που αφορούν τον ίδιο κανόνα, σε ένα σύνολο
- Την αποασαφοποίηση αυτών των συγκεντρωτικών ασαφών συνόλων σε ένα, πραγματικό, αριθμό.

2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΗΡ

Η μέθοδος της Ιεραρχικής Ανάλυσης αποφάσεων (ΑΗΡ) προτάθηκε από τον Saaty στα τέλη της δεκαετίας του 70 και έκτοτε έχει καθιερωθεί ως μία από τις περισσότερο εφαρμοσμένες τεχνικές ανάλυσης αποφάσεων. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος προβλημάτων όπως: i) επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς στόχους, ii) κατανομή πόρων σε ανεπάρκεια (scarce resources), iii) προβλέψεις. Η ΑΗΡ Βασίζεται στην πολύ καλά ορισμένη μαθηματική δομή των συνεπών πινάκων (consistent matrices) και την ικανότητα των χαρακτηριστικών ιδιοδιανυσμάτων τους (eigenvectors) να παράγουν αληθείς ή με πολύ καλή προσέγγιση σχετικές βαρύτητες.

Η μέθοδος μπορεί να αναλυθεί σε 4 στάδια:

1. Την ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος απόφασης σε στοιχεία απόφασης (decision elements),
2. Την συλλογή προτιμήσεων από τον αποφασίζοντα σχετικά με τα στοιχεία απόφασης,
3. Τον υπολογισμό των επιμέρους προτεραιοτήτων (βαρών) για τα στοιχεία απόφασης,
4. Την σύνθεση των επιμέρους προτεραιοτήτων σε γενικές προτεραιότητες των εναλλακτικών λύσεων.

Το πρώτο στάδιο είναι το σημαντικότερο και καθορίζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Ο απώτερος (γενικός) στόχος αναλύεται σε επιμέρους υποστόχους, οι οποίοι στη συνέχεια αναλύονται όλο και περισσότερο στα πρότυπα ιεραρχικής δομής. Σε αυτή την δομή τα ανώτερα επίπεδα αναφέρονται σε γενικούς στοχους-κριτήρια και όσο κατεβαίνει κανείς προς τα κάτω, τα κριτήρια εξειδικεύονται όλο και περισσότερο, μέχρι του σημείου που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων. Η ιεραρχική δομή κατασκευάζεται με μια διαδικασία καταιγισμού ιδεών (brainstorming).

Η μεθοδολογία εμπεριέχει συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων και των εναλλακτικών επιλογών, με την διαδικασία των ανά ζεύγη συγκρίσεων (pair wise comparisons). Έτσι

όχι μόνο χρειάζεται να δημιουργηθούν προτεραιότητες για τις εναλλακτικές σε σχέση με τα κριτήρια ή υποκριτήρια, αλλά και για τα ίδια τα κριτήρια σε σχέση με ένα υψηλότερο στοχο. Τα κριτήρια ενδέχεται να είναι ασαφή και ακαθόριστα, κάτι το οποίο συμβαίνει όταν δεν είναι εύκολη η ποσοτικοποίηση του κριτηρίου. Ο βαθμός σπουδαιότητας των κριτηρίων καθορίζεται από τον συντελεστή βαρύτητας που αποδίδεται στα κριτήρια αυτά. Αυτοί οι συντελεστές καθορίζουν το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Έτσι για τον προσδιορισμό της βαρύτητας των κριτηρίων απαιτείται η προσεκτική ιεραρχική ταξινόμηση των κριτηρίων από τους ενδιαφερόμενους φορείς. Με την μετατροπή των προσωπικών προτιμήσεων σε βαρύτητες βαθμονομημένης κλίμακας, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε αθροιστικές γραμμικές βαρύτητες για τις εναλλακτικές επιλογές, γίνεται η τελική κατάταξη των επιλογών.

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η μέθοδος AHP περιέχει συγκεκριμένες αρχές και αξιώματα:

- Αποδόμηση, δημιουργία ενός ιεραρχικού συνόλου κατηγοριών, υποκατηγοριών κτλ.
- συγκριτικές κρίσεις, πραγματοποίηση συγκρίσεων ανά ζεύγη όλων των δυνατών συνδυασμών των στοιχείων, εξάγοντας τις "τοπικές" βαρύτητες των στοιχείων της ομάδας σε σχέση με το ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας
- ιεραρχική δόμηση, σύνθεση αυτών των "τοπικών" προτεραιοτήτων σε μια ολική (global) βαρύτητα του ανωτέρου επιπέδου.

Πιο συγκεκριμένα τα αξιώματα αυτά οδηγούν στις τρεις βασικές λειτουργίες της AHP (Forman and Gass, 1999):

- Η δόμηση της περιπλοκότητας (Structuring complexity): ο Saaty βρήκε ένα κοινό μοτίβο σχετικά με τον τρόπο που οι άνθρωποι χειρίζονται την πολυπλοκότητα, την ιεραρχική δόμηση σε ομογενείς ομάδες παραγόντων.
- Η μέτρηση σε αναλογική κλίμακα: η αναλογική μέτρηση είναι απαραίτητη για να εκφραστεί η αναλογικότητα, και σε συνδυασμό με την ανάγκη ύπαρξης μιας μαθηματικής σωστής και βασιζόμενης σε αξιώματα μεθόδου, οδήγησε τον Saaty στην χρήση συγκρίσεων ανα ζεύγη των ιεραρχικών παραγόντων. Η σύγκριση αυτή έχει

στόχο την εξαγωγή αναλογικών μέτρων κλιμακας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προτεραιότητες κατάταξης, δηλαδή βαρύτητες. Κάθε μεθοδολογία που βασίζεται στην ιεράρχιση θα πρέπει να χρησιμοποιεί αναλογικές προτεραιότητες για τα στοιχεία του κατώτατου επιπέδου της ιεραρχίας, καθώς οι βαρύτητες των στοιχείων σε κάθε επίπεδο προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας τις προτεραιότητες του συγκεκριμένου επιπέδου με αυτές ενός επιπέδου ψηλότερα (Forman and Gass, 1999).

- Σύνθεση: εκτός από την δυνατότητα διαχωρισμού μιας οντότητας στα μέρη που την απαρτίζουν, η AHP προσφέρει την δυνατότητα σύνθεσης των μεμονωμένων στοιχείων της ιεραρχίας σε ένα σύνολο ή οντότητα, μετρώντας και συνθέτωντας έτσι ένα μεγάλο όγκο παραγόντων που υπεισέρχονται σε μια ιεραρχία.

Τέλος, σύμφωνα με τους Froman and Gass (1999), τα τρία κοινά αποδεκτά στάδια της μεθόδου είναι:

1. δεδομένου ότι $i = 1, \dots, m$ αποτελούν τα κριτήρια της απόφασης, πρέπει να υπολογιστούν οι αντίστοιχες βαρύτητες τους w_i
2. για κάθε i θα πρέπει να συγκριθούν οι εναλλακτικές επιλογές j , όπου $j = 1, \dots, n$ και να καθοριστούν οι βαρύτητες τους w_{ij}
3. τέλος θα πρέπει να καθοριστούν οι τελικές ή ολικές βαρύτητες των εναλλακτικών W_j σε σχέση με όλα τα κριτήρια μέσω της διανυσματικής εξίσωσης

$$W_j = w_{1j} * w_1 + w_{2j} * w_2 + \dots + w_{mj} * w_m \quad (1)$$

. Στη συνέχεια οι επιλογές κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το διάνυσμα W_j

Η κλίμακα συγκρίσεων που προτάθηκε από τον Saaty είναι η εξής: I (identical, 1), WP (weak preference, 3), SP (strong preference, 5), DP (very strong preference, 7) και AP (absolute preference, 9). Υπάρχουν επίσης και οι ενδιάμεσες τιμές 2, 4, 6, 8. Τελικά συνολική κλίμακα που προτάθηκε από τον Saaty είναι: $P = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9\}$ συμπεριλαμβάνοντας και τις αντίστροφες τιμές $1/X$.

2.4 ΑΣΑΦΗΣ ΑΗΡ

Η μέθοδος της Ιεραρχικής Ανάλυσης και οι παραλλαγές τις αποτελούν σημαντικό κομμάτι της σύγχρονης μεθοδολογίας αποφάσεων, για τους παρακάτω λόγους (Tong and Bonissone 1984; Zimmermann 1987; Chen and Hwang 1992; Deng 1999):

- η δυνατότητα χειρισμού υποκειμενικών, αβέβαιων και ανακριβών δεδομένων
- η ευρωστία της μεθόδου κατά την επίλυση πρακτικών προβλημάτων κατάταξης
- η μεθοδολογική καθαρότητα και η μαθηματική της ακρίβεια
- η διαφάνεια της ασαφούς λογικής και της θεωρίας των ασαφών συνόλων

Ο κύριος στόχος είναι η επίδειξη μιας πρακτικής μεθόδου για την αξιολόγηση τακτικών σε περίπλοκα προβλήματα απόφασης όπου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός αποφασιζόντων και όπου υπάρχει η ανάγκη να αξιοποιηθεί η ανθρώπινη γνώση, όπου η ασάφεια μας φέρνει πιο κοντά σε πραγματικά αποτελέσματα από μια διαδικασία αξιολόγησης βασισμένη σε ποσοτικά δεδομένα.

Οι Saaty και Vargas δηλώνουν ότι: *” Η αβεβαιότητα της ανθρώπινης κρίσης μπορεί να εκφραστεί με δύο τρόπους: πρώτον, σαν μια εκτίμηση με μια ορισμένη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας, και δεύτερον, ως μια εκτίμηση διαστήματος χωρίς συγκεκριμένη συνάρτηση κατανομής”*. Ο πρώτος τρόπος οδηγεί σε διάφορες στατιστικές μεθόδους και ο δεύτερος οδηγεί σε μεθόδους ασαφών προτεραιοτήτων.

Μια ασαφής έκδοση της μεθόδου ΑΗΡ βασίζεται στην χρήση τριγωνικών ασαφών αριθμών κατά τη διάρκεια των ανα ζεύγη συγκρίσεων, ώστε να υπολογιστούν τα βάρη των κριτηρίων και οι συνολική χρησιμότητα των εναλλακτικών, γνωστή και ως ασαφής χρησιμότητα. Για να φτάσουμε στο τελικό στάδιο, δηλαδή την κατάταξη των εναλλακτικών, οι ασαφείς χρησιμότητες πρέπει να αποσαφηνιστούν και να καταταχθούν. Στην μέθοδο αυτή, τα ποιοτικά κριτήρια εκφράζονται μέσω βαρών που δημιουργούνται από τους ειδικούς. Οι τοπικές προτεραιότητες που υπολογίζονται αθροίζονται σε ολικά αποτελέσματα των εναλλακτικών, εφαρμόζοντας την αρχή της ιεραρχικής σύνθεσης.

Για των υπολογισμό αυτών των ολικών αποτελεσμάτων, χρειάζεται μια διαδικασία αποασαφοποίησης, η οποία δεν αποτελεί μέρος της διαδικασίας ΑΗΡ. Οι μέθοδοι μέσω των οποίων αντλούνται τα αριθμητικά βάρη των εναλλακτικών, τα οποία και επιτρέπουν την τελική τους κατάταξη, είναι πολλοί και υπόκεινται σε συνεχή έρευνα. Ο πιο συχνός

τροπος αποασαφοποίησης είναι η μεθοδος των α -cuts, ώστε να υπολογιστούν οι μήτρες διαστημάτων εμπιστοσύνης. Ακολουθώντας αυτή την μέθοδο, για την αποασαφοποίηση χρησιμοποιείται ο λεγόμενος δείκτης εμπιστοσύνης (ή αισιοδοξίας) του αποφασίζοντα ώστε να πετύχουμε την γραμμική μετατροπή των διαστημάτων σε συγκεκριμένες τιμές.

Όπως έχει τονιστεί από τον Deng (1999), η εφαρμογή της ασαφούς AHP μπορεί να δημιουργήσει αναξιόπιστα αποτελέσματα εάν: (α) χρησιμοποιείται μια μη ισορροπημένη 9-βάθμια κλίμακα, (β) η κλίμακα ασαφοποίησης δεν είναι πλήρως δικαιολογημένη, και (γ) εφαρμοστεί μια ακατάλληλη μέθοδος αποασαφοποίησης.

Μερικά παραδείγματα της μεθόδου fuzzy AHP είναι η αξιολόγηση σχεδίων διαχείρισης υδάτινων πόρων (Sredjevic and Medeiros, 2008), κρίσιμων αποφάσεων κατά την διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων (Buyukozkam and Feyzioglu, 2004), ευέλικτων κατασκευαστικών συστημάτων (Chutima and Suwanfujji 1998) και διαχείρισης ασφάλειας κατά την παραγωγή (Dagdeviren and Yuksel, 2008), επιλογής συστημάτων διαχείρισης πόρων (ERP) (Cebeci, 2009), παραγόντων επιτυχίας του ηλεκτρονικού εμπορίου (Kong and Liu, 2005), επιλογής προσωπικού (Gungor et al., 2009) και επιλογής οπλικών συστημάτων (Dagdeviren et al., 2009).

3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κατασκευαστικός τομέας είναι υπεύθυνος για την κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων πρώτων υλών και ενέργειας, αλλά και για την δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων. Στην έκθεση που δημοσίευσε ένα ερευνητικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2003) ανέφερε ότι ο τομέας των κατασκευών ευθύνεται περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο τομέα για την κατανάλωση πρώτων υλών (κατά βάρος, περίπου το 50%), καθώς και για την ποσότητα απορριμμάτων. Η Ευρωπαϊκή υπηρεσία στατιστικών Eurostat, στην έκθεση που παρουσίασε το 2011, σημειώνει ότι οι κατασκευές ήταν υπεύθυνες για το 32,9% του συνολικού όγκου απορριμμάτων στην Ευρώπη των 27. Επίσης η ίδια πηγή αναφέρει ότι η διαδικασία που, περισσότερο από κάθε άλλη, συνδέεται με την παραγωγή μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων, είναι η επιτόπου κατασκευή κτιρίων.

Το βασικό δομικό υλικό που χρησιμοποιείται κατά κόρον στον τομέα των κατασκευών είναι το σκυρόδεμα. Η χρήση του σκυροδέματος δικαιολογείται από τις ιδιότητες που το καθιστούν ιδανική επιλογή για κατασκευές, η σταθερότητα και η μηχανική αντοχή του. Παρόλα αυτά, το υλικό αυτό δεν είναι τόσο θετικό για την περιβαλλοντική αειφορία. Το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή ικανότητα ανακύκλωσης, το οποίο και οδηγεί σε τεράστιους όγκους κατασκευαστικών απορριμμάτων, μετά την απόφαση κατεδάφισης κάποιου κτιρίου. Το ίδιο φυσικά ισχύει και για τα απορρίμματα που συνδέονται με την παραγωγή των κατασκευαστικών υλικών καθώς και με τις σοβαρές επιπτώσεις που έχει η διαδικασία εξώρυξης των πρώτων υλών στο περιβάλλον.

Έχει παρατηρηθεί λοιπόν ότι η παραδοσιακή χρήση σκυροδέματος στην κατασκευαστική βιομηχανία δεν φέρνει τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κλάδου. Αντιθέτως, οι κατασκευές βασισμένες σε ξύλο και ασάλι, παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες περιβαλλοντικής προστασίας, κυρίως λόγω των ιδιοτήτων και αντοχών των υλικών αλλά και των επιλογών ανακύκλωσής τους. Είναι χαρακτηριστικό ότι κατά την παραγωγή ξύλου και προϊόντων ξύλου, παράγεται ένα εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό απορριμμάτων (EC 2010), κάτι το οποίο αναδुकνύει τις δυνατότητες του κλάδου όσον αφορά την περιβαλλοντική αειφορία.

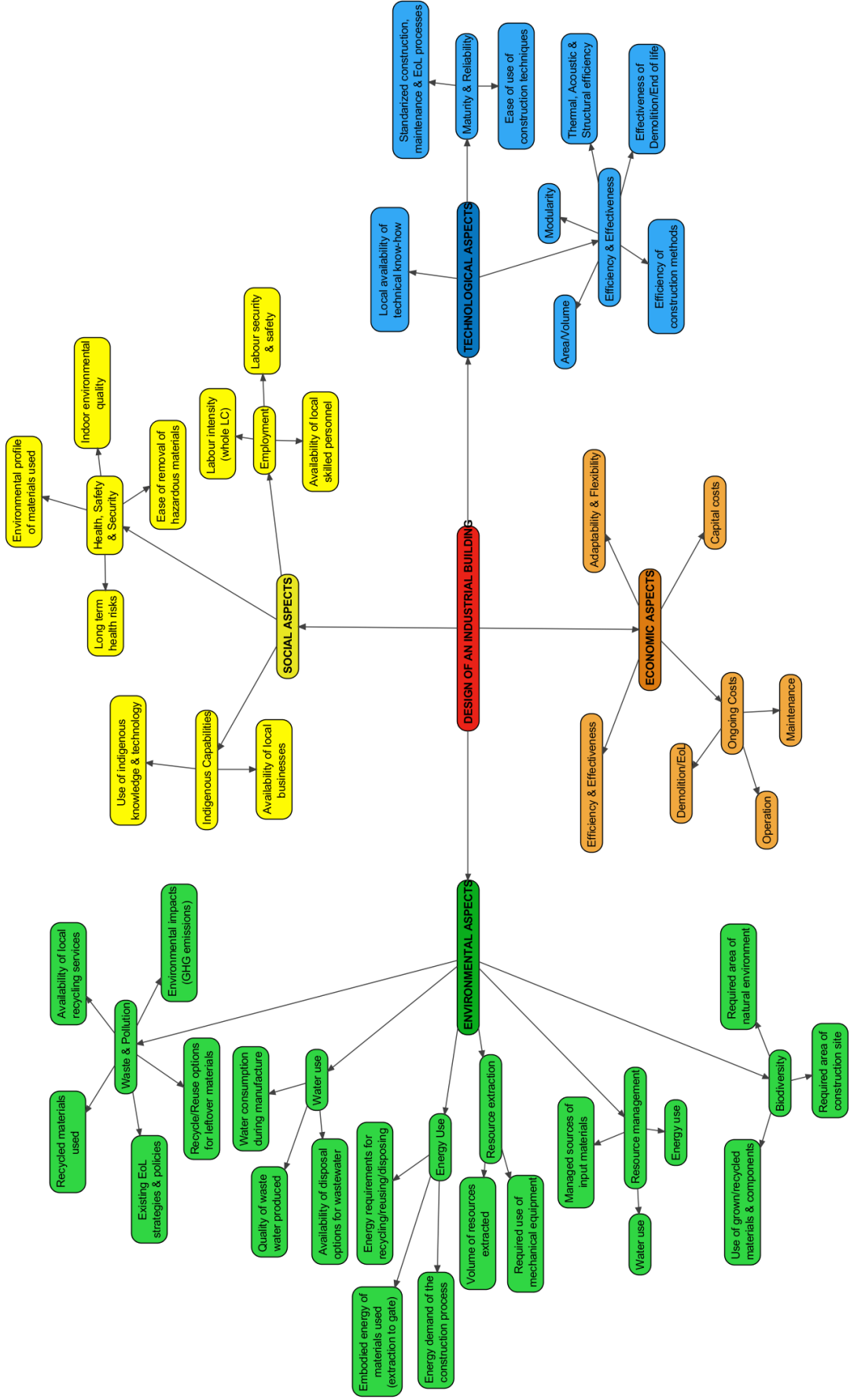
Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε αυτό ακριβώς το σημείο, την χρήση δηλαδή ξύλου

και ατσαλιού κατά την κατασκευή ενός βιομηχανικού κτιρίου γενικής χρήσης. Τα δύο αυτά υλικά θα αξιολογηθούν ως προς ένα ευρος οικολογικών, οικονομικών, κοινωνικών και τεχνικών παραγόντων και κριτηρίων, σε μια προσπάθεια αξιολόγησης της επίδρασης που θα έχει η επιλογή τους ως δομικού υλικού. Φυσικά, μια βιομηχανική κατασκευή, οποιαδήποτε μεγέθους, αποτελείται από πάρα πολλά και σημαντικά δομικά μέρη. Για την απλοποίηση της ανάλυσης, σε αυτήν την μελέτη οι εναλλακτικές που αξιολογούνται βασίζονται σε βασικά δομικά μέρη του κτιρίου, τον σκελετό της κατασκευής και τους τοίχους. Οι τέσσερις εναλλακτικές που αναγνωρίστηκαν, σε συνεργασία με τους ειδικούς, είναι οι εξής:

- Μεταλλικός σκελετός και πάνελ (F1)
- Μεταλλικός σκελετός και τοίχοι (F2)
- Ξύλινος σκελετός και τοίχοι (F3)
- Ξύλινος σκελετός και ξύλινα πάνελ (F4)

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το πρώτο στάδιο της μεθόδου AHP είναι η ανάλυση του προβλήματος και η δημιουργία της ιεραρχίας απόφασης. Αυτή η διαδικασία ήταν της μορφής ελεύθερου καταιγισμού ιδεών (brainstorming), κατά την οποία ο κύριος στόχος είναι η παραγωγή κριτηρίων που θα μπορούσαν να αποτελέσουν υποψήφια κριτήρια για την αξιολόγηση των εναλλακτικών. Κατά το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αυτής δεν τίθενται περιορισμοί (π.χ. δυσκολία μέτρησης, ακρίβεια, ύπαρξη μονάδας κλπ) κατά την επιλογή των κριτηρίων, καθώς ο στόχος είναι η όσο το δυνατόν ευρύτερη κάλυψη του προβλήματος. Η διαδικασία αυτή έγινε σε συνεργασία με ειδικούς αλλά και μέσω βιβλιογραφίας και από αυτήν προέκυψε μια πρώτη ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος, η οποία και φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Μετά από μια διαδικασία ανάδρασης (feedback), πάντα σε συνεργασία με τους ειδικούς, η πρώτη πολύπλοκη ανάλυση απλοποιήθηκε, με κριτήρια κυριώς την σημαντικότητα, σαφήνεια και δυνατότητα αξιολόγησης τους. Αυτή η διαδικασία οδήγησε στην τελική ιεραρχία του προβλήματος που παρουσιάζεται παρακάτω:

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

C1. ECONOMIC COSTS

W(E1). CAPITAL COSTS

W(11). ONGOING COSTS

W(12). DEMOLITION/END OF LIFE

W(13). OPERATION

W(E2). MAINTENANCE

W(21). ADAPTABILITY & FLEXIBILITY

W(22). EFFICIENCY & EFFECTIVENESS

C2. ENVIRONMENTAL ASPECTS

W(EA1). RESOURCE MANAGEMENT

W(EA11). MANAGED SOURCES OF INPUT MATERIALS

W(EA12). ENERGY USE

W(EA2). ENERGY USE

W(EA21). EMBODIED ENERGY

W(EA22). ENERGY DEMAND

W(EA3). BIODIVERSITY

W(EA4). RESOURCE EXTRACTION

C3. SOCIAL ASPECTS

W(S1). ENVIRONMENTAL PROFILE OF MATERIALS USED

W(S2). INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

W(S3). EASE OF REMOVAL OF HAZARDOUS MATERIALS

W(S4). LONG TERM HEALTH RISKS

C4. TECHNOLOGICAL ASPECTS

W(TA1). MATURITY & RELIABILITY

W(TA2). EFFICIENCY OF CONSTRUCTION METHODS

3.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟ ΕΙΔΙΚΟΎΣ (EXPERT OPINION)

Το επόμενο βήμα της μεθόδου εμπεριέχει την αξιολόγηση των κριτηρίων, η οποία και γίνεται με την βοήθεια ειδικών (expert opinion), οι οποίοι και αξιολόγησαν συγκριτικά τα κριτήρια και υποκριτήρια (όπου αυτά υπήρχαν) ως προς τον στόχο. Η κλίμακα της αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η επίσημη κλίμακα που έχει προταθεί από τον Saaty (1980):

| Κλίμακα Saaty | Περιγραφή κρίσης |
|---------------|-----------------------|
| 1 | Ίσης σημασίας |
| 3 | Αδύναμη υπεροχή |
| 5 | Ισχυρή υπεροχή |
| 7 | Αποδεδειγμένη υπεροχή |
| 9 | Απόλυτη υπεροχή |
| 2 | Ενδιάμεση τιμή |
| 4 | Ενδιάμεση τιμή |
| 6 | Ενδιάμεση τιμή |
| 8 | Ενδιάμεση τιμή |

Πίνακας 1: Κλίμακα αξιολόγησης κατά τον Saaty

Από την διαδικασία αξιολόγησης δημιουργήθηκαν οι παρακάτω πίνακες κρίσης (judgement matrices), οι οποίοι είναι συμμετρικοί καθώς ισχύει: $x_{(i,j)} = \frac{1}{x_{(j,i)}}$. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες που προέκυψαν από την διαβούλευση με τους ειδικούς.

Για τα κεντρικά κριτήρια C1, C2, C3 και C4, ως προς τον στόχο:

| C = | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| | Economic Aspects | Environmental Aspects | Social Aspects | Technological Aspects |
| Economic Aspects | 1 | 3 | 1 | 5 |
| Environmental Aspects | | 1 | 7 | 3 |
| Social Aspects | | | 1 | 1 |
| Technological Aspects | | | | 1 |

Για το κριτήριο $C_1 = \text{Economic Aspects}$:

| | | Capital Costs | Maintenance |
|------|---------------|---------------|-------------|
| C1 = | Capital Costs | 1 | 8 |
| | Maintenance | | 1 |

Και για τα υπο-κριτήρια του, Capital Costs και Maintenance:

| | Ongoing Costs | Demolition/ End of life | Operation |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|
| Capital Costs = Ongoing Costs | 1 | 9 | 3 |
| Demolition/ End of life | | 1 | 1 |
| Operation | | | 1 |

| | Adaptability & Flexibility | Efficiency & Effectiveness |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Maintenance = Adaptability & Flexibility | 1 | 2 |
| Efficiency & Effectiveness | | 1 |

Για το κριτήριο $C_2 = \text{Environmental Aspects}$:

| | Biodiversity | Resource Management | Resource Extraction | Energy Use |
|------------------------|--------------|------------------------|------------------------|------------|
| $C_2 =$ Biodiversity | 1 | 6 | 6 | 9 |
| Resource Management | | 1 | 3 | 2 |
| Resource Extraction | | | 1 | 9 |
| Energy Use | | | | 1 |

Και για τα υπό-κριτήρια του, Resource Management και Energy Use:

| | Managed sources of input materials | Energy Use |
|-----------------------|------------------------------------|------------|
| Resource Management = | Managed sources of input materials | Energy Use |
| | 1 | 2 |
| | | 1 |

| | Embodied Energy | Energy demand of the construction process |
|--------------|-----------------|---|
| Energy Use = | Embodied Energy | Energy demand of the construction process |
| | 1 | 2 |
| | | 1 |

Για το κριτήριο $C_3 = \text{Social Aspects}$:

| | Environmental profile of input materials | Indoor Environmental Quality | Ease of removal of hazardous materials | of health risks | Long term health risks |
|--|--|------------------------------|--|-----------------|------------------------|
| Environmental profile of input materials | 1 | 2 | 4 | 2 | |
| Indoor Environmental Quality | | 1 | 9 | 5 | |
| Ease of removal of hazardous materials | | | 1 | 2 | |
| Long term health risks | | | | | 1 |

Και τέλος για το κριτήριο $C_4 = \text{Technological Aspects}$:

| | Maturity& Reliability | Efficiency of construction methods |
|------|-----------------------|---|
| C4 = | 1 | 2 |
| | | 1 |

3.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΗΡ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ

Το πρώτο βήμα της μεθόδου ΑΗΡ είναι ο υπολογισμός των βαρών των κεντρικών κριτηρίων (C1, C2, C3, και C4) ως προς τον τελικό στόχο. Αυτό γίνεται με την μέθοδο του σταθμισμένου μέσου, δηλαδή με το βάρος του κάθε κριτηρίου να υπολογίζεται από το άθροισμα των στοιχείων της αντίστοιχης γραμμής του πίνακα (C) και διαιρώντας το με το συνολικό άθροισμα των στοιχείων του πίνακα.

$$W_{C1} = \frac{1 + 3 + 1 + 5}{1 + 3 + 1 + 5 + 1 + 7 + 3 + 1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} + 1} = \frac{10}{27.009} = 0.370 \quad (2)$$

$$W_{C2} = \frac{\frac{1}{3} + 1 + 7 + 3}{1 + 3 + 1 + 5 + 1 + 7 + 3 + 1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} + 1} = \frac{11.333}{27.009} = 0.420 \quad (3)$$

$$W_{C3} = \frac{1 + \frac{1}{7} + 1 + 1}{1 + 3 + 1 + 5 + 1 + 7 + 3 + 1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} + 1} = \frac{3.143}{27.009} = 0.116 \quad (4)$$

$$W_{C4} = \frac{\frac{1}{5} + \frac{1}{3} + 1 + 1}{1 + 3 + 1 + 5 + 1 + 7 + 3 + 1 + 1 + 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{7} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} + 1} = \frac{2.533}{27.009} = 0.094 \quad (5)$$

Παρατηρούμε ότι $W_{C1} + W_{C2} + W_{C3} + W_{C4} = 1$. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα βάρη των υποκριτηρίων, του κάθε κριτηρίου, καθώς και τα βάρη των δικών τους υποκριτηρίων, όπου αυτά υπάρχουν. Το κριτήριο Economic Aspects (C1) χωρίζεται στα υπο-κριτήρια

Capital Costs (W_{E1}) και Maintenance (W_{E2}), τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται στα ακόλουθα υπο-κριτήρια Ongoing Costs (W_{11}), Demolition/EOL (W_{12}), Operation (W_{13}) και Adaptability & Flexibility (W_{21}), Efficiency & Effectiveness (W_{22}) αντίστοιχα.

Ο τρόπος υπολογισμού είναι παρόμοιος όπως και στην περίπτωση των κεντρικών κριτηρίων, προσθέτοντας δηλαδή τα στοιχεία κάθε γραμμής και διαιρώντας τα με το άθροισμα όλων των στοιχείων του αντίστοιχου πίνακα. Για τα υποκριτήρια Capital Costs (W_{E1}) και Maintenance (W_{E2}) είναι:

$$W_{E1} = \frac{1 + 8}{1 + 8 + 1 + \frac{1}{8}} = \frac{9}{10.125} = 0.889 \quad (6)$$

$$W_{E2} = \frac{1 + \frac{1}{8}}{1 + 8 + 1 + \frac{1}{8}} = \frac{1.125}{10.125} = 0.111 \quad (7)$$

Είναι προφανές από τις (5) και (6) ότι

$$W_{E1} + W_{E2} = 1 \quad (8)$$

Οι τιμές των βαρών (W_{E1}) και (W_{E2}) αντιπροσωπεύουν την επίδραση που έχουν τα Capital Costs και Maintenance αντίστοιχα στο κριτήριο Economic Aspects. Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζουμε τα βάρη των δικών τους υποκριτηρίων.

Για το κριτήριο Capital Costs:

$$W_{11} = \frac{1 + 9 + 3}{1 + 9 + 3 + \frac{1}{9} + 1 + 1 + \frac{1}{3} + 1 + 1} = \frac{13}{17.444} = 0.745 \quad (9)$$

$$W_{12} = \frac{2.111}{1 + 9 + 3 + \frac{1}{9} + 1 + 1 + \frac{1}{3} + 1 + 1} = 0.121 \quad (10)$$

$$W_{13} = \frac{2.333}{1 + 9 + 3 + \frac{1}{9} + 1 + 1 + \frac{1}{3} + 1 + 1} = 0.134 \quad (11)$$

Είναι προφανές από τις (8), (9) και (10) ότι

$$W_{11} + W_{12} + W_{13} = 1 \quad (12)$$

Οι τιμές των βαρών (W_{11}), (W_{12}) και (W_{13}) αντιπροσωπεύουν την επίδραση που έχουν τα Ongoing Costs, Demolition/EOL και Operation αντίστοιχα στο υπό-κριτήριο Capital Costs ((W_{E1})). Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την συμμετοχή τους στο τελικό βάρος του κριτηρίου Capital Costs που έχουμε ήδη υπολογίσει. Αυτό γίνεται πολλαπλασιάζοντας τα επιμέρους αυτά βάρη με το W_{E1} . Δηλαδή:

$$W'_1 = W_1 \times W_{E1} = \begin{bmatrix} W_{E1} \times W_{11} \\ W_{E1} \times W_{12} \\ W_{E1} \times W_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.889 \times 0.745 \\ 0.889 \times 0.121 \\ 0.889 \times 0.134 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Τελικά έχουμε

$$W'_1 = \begin{bmatrix} 0.663 \\ 0.108 \\ 0.119 \end{bmatrix} \quad (14)$$

όπου οι τιμές του πίνακα (W'_1) αντιπροσωπεύουν τα σταθμισμένα βάρη ως προς το κριτήριο ((W_{E1})) και φυσικά ισχύει ότι

$$W'_{11} + W'_{12} + W'_{13} = W_{E1} \quad (15)$$

Ο τελικός μας στόχος είναι ο υπολογισμός των βαρών αυτών ως προς το κριτήριο Economic Aspects (C1), δηλαδή να βρούμε την επίδραση αυτών των υπό-κριτηρίων στο τελικό βάρος του κεντρικού κριτηρίου και έτσι την επίδρασή τους απευθείας στον τελικό στόχο, παρακάμπτοντας τα υπόλοιπα επίπεδα υποκριτηρίων. Αυτό γίνεται πάλι με τον πολλαπλασιασμό του πίνακα (W'_1) με το W_{C1} , δηλαδή

$$W''_1 = W'_1 \times W_{C1} = \begin{bmatrix} 0.663 \times 0.370 \\ 0.108 \times 0.370 \\ 0.119 \times 0.370 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.245 \\ 0.041 \\ 0.044 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Τα τελικά αυτά βάρη αντιπροσωπεύουν την επίδραση των υποκριτηρίων του W_{E1} απευθείας στο τελικό στόχο. Παρόμοια διαδικασία ακολουθούμε για το κριτήριο Maintenance (W_{E2})

$$W_{21} = \frac{1 + 2}{1 + 2 + 1 + \frac{1}{2}} = \frac{3}{4.5} = 0.667 \quad (17)$$

$$W_{22} = \frac{1 + \frac{1}{2}}{1 + 2 + 1 + \frac{1}{2}} = \frac{1.5}{4.5} = 0.333 \quad (18)$$

Είναι προφανές από (16) και (17) ότι

$$W_{21} + W_{22} = 1 \quad (19)$$

Οπότε είναι

$$W'_2 = W_2 \times W_{E2} = \begin{bmatrix} W_{21} \times W_{E2} \\ W_{22} \times W_{E2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.667 \times 0.111 \\ 0.333 \times 0.111 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.074 \\ 0.037 \end{bmatrix} \quad (20)$$

όπου $W_{E2} = 0.111$ από (6).

Οπότε η επίδραση των υποκριτηρίων στο κεντρικό κριτήριο (W_{C1}) θα είναι

$$W''_2 = W'_2 \times W_{C1} = \begin{bmatrix} 0.074 \times 0.370 \\ 0.036 \times 0.370 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.027 \\ 0.013 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Έχουμε λοιπόν υπολογίσει την επίδραση των υποκριτηρίων $W_{11}, W_{12}, W_{13}, W_{21}, W_{22}$ απευθείας στον τελικό στόχο. Αυτό φαίνεται και από την σχέση (από (15) και (20)):

$$W''_{11} + W''_{12} + W''_{13} + W''_{21} + W''_{22} = W_{C1} = 0.370 \quad (22)$$

Ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθούμε και για το κριτήριο Environmental Aspects (C2) το οποίο χωρίζεται στα υποκριτήρια Resource Management (W_{EA1}), Energy Use (W_{EA2}), Biodiversity (W_{EA3}) και Resource Extraction (W_{EA4}), καθώς και στα (υπο)υποκριτήρια Managed sources of input (W_{EA11}), Energy use (W_{EA12}), Embodied energy (W_{EA21}) και Energy Demand (W_{EA22}). Σημειώνεται ότι τα κριτήρια Biodiversity και Resource Extraction δεν αναλύονται σε υποκριτήρια.

Οπότε έχουμε:

$$W_{EA1} = \frac{1 + 6 + 6 + 9}{1 + 6 + 6 + 9 + 0.167 + 1 + 3 + 2 + 0.167 + 0.333 + 1 + 9 + 0.167 + 0.5 + 0.167 + 1} = 0.544 \quad (23)$$

$$W_{EA2} = \frac{0.167 + 1 + 3 + 2}{1 + 6 + 6 + 9 + 0.167 + 1 + 3 + 2 + 0.167 + 0.333 + 1 + 9 + 0.167 + 0.5 + 0.167 + 1} = 0.152 \quad (24)$$

$$W_{EA3} = \frac{0.167 + 0.333 + 1 + 9}{1 + 6 + 6 + 9 + 0.167 + 1 + 3 + 2 + 0.167 + 0.333 + 1 + 9 + 0.167 + 0.5 + 0.167 + 1} = 0.259 \quad (25)$$

$$W_{EA4} = \frac{0.167 + 0.5 + 0.167 + 1}{1 + 6 + 6 + 9 + 0.167 + 1 + 3 + 2 + 0.167 + 0.333 + 1 + 9 + 0.167 + 0.5 + 0.167 + 1} = 0.045 \quad (26)$$

Και για τα υποκριτήρια:

$$W_{EA_{11}} = \frac{1 + 2}{1 + 2 + 1 + 0.5} = 0.667 \quad (27)$$

$$W_{EA_{12}} = \frac{1 + 0.5}{1 + 2 + 1 + 0.5} = 0.333 \quad (28)$$

$$W_{EA_{21}} = \frac{1 + 2}{1 + 2 + 1 + 0.5} = 0.667 \quad (29)$$

$$W_{EA22} = \frac{1 + 0.5}{1 + 2 + 1 + 0.5} = 0.333 \quad (30)$$

Οπότε, από (22) - (25) και (26) - (30), έχουμε:

$$W'_{EA1} = \begin{bmatrix} W'_{EA11} \\ W'_{EA12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.544 \times 0.667 \\ 0.544 \times 0.333 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.363 \\ 0.181 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$W'_{EA2} = \begin{bmatrix} W'_{EA21} \\ W'_{EA22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.152 \times 0.667 \\ 0.152 \times 0.333 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.101 \\ 0.051 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Τα υπόλοιπα δεν απαιτούν υπολογισμούς αφού δεν περιέχουν υποκριτήρια. Πολλαπλασιάζοντας λοιπόν ξανά με το βάρος του κριτηρίου (από τη σχέση (2)) Environmental Aspects (C2) θα υπολογίσουμε την επίδραση των υποκριτηρίων του Environmental Aspects στον τελικό στόχο.

$$W''_{EA1} = \begin{bmatrix} W''_{EA11} \\ W''_{EA12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.363 \times 0.420 \\ 0.181 \times 0.420 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.153 \\ 0.076 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$W''_{EA2} = \begin{bmatrix} W''_{EA21} \\ W''_{EA22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.101 \times 0.420 \\ 0.051 \times 0.420 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.042 \\ 0.021 \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$W'_{EA3} = 0.259 \times 0.420 = 0.109 \quad (35)$$

$$W'_{EA4} = 0.045 \times 0.420 = 0.019 \quad (36)$$

Βλέπουμε ξανά, από (32-35), ότι

$$W''_{EA11} + W''_{EA12} + W''_{EA21} + W''_{EA22} + W'_{EA3} + W'_{EA4} = 0.420 = W_{C2} \quad (37)$$

Το κριτήριο Social Aspects (C3) χωρίζεται στα υποκριτήρια Environmental profile of materials used (W_{S1}), Indoor environmental quality (W_{S2}), Ease of removal of hazardous materials (W_{S3}) και Long-term health risks (W_{S4}). Σε αυτή την περίπτωση, κανένα από τα κριτήρια δεν χωρίζεται σε υποκριτήρια, οπότε οι υπολογισμοί είναι πιο απλοί.

$$W_{S1} = \frac{1 + 2 + 4 + 2}{1 + 2 + 4 + 2 + 0.5 + 1 + 9 + 5 + 0.25 + 0.111 + 1 + 2 + 0.5 + 0.2 + 0.5 + 1} = 0.299 \quad (38)$$

$$W_{S2} = \frac{15.5}{1 + 2 + 4 + 2 + 0.5 + 1 + 9 + 5 + 0.25 + 0.111 + 1 + 2 + 0.5 + 0.2 + 0.5 + 1} = 0.515 \quad (39)$$

$$W_{S3} = \frac{3.417}{1 + 2 + 4 + 2 + 0.5 + 1 + 9 + 5 + 0.25 + 0.111 + 1 + 2 + 0.5 + 0.2 + 0.5 + 1} = 0.113 \quad (40)$$

$$W_{S4} = \frac{2.2}{1 + 2 + 4 + 2 + 0.5 + 1 + 9 + 5 + 0.25 + 0.111 + 1 + 2 + 0.5 + 0.2 + 0.5 + 1} = 0.073 \quad (41)$$

από 37-40 έχουμε ότι

$$W_{S1} + W_{S2} + W_{S3} + W_{S4} = 1 \quad (42)$$

Οπότε η επίδραση των υποκριτηρίων στον τελικό στόχο είναι:

$$W'_{S1} = W_{C3} \times W_{S1} = 0.116 \times 0.299 = 0.035 \quad (43)$$

$$W'_{S2} = W_{C3} \times W_{S2} = 0.116 \times 0.515 = 0.06 \quad (44)$$

$$W'_{S3} = W_{C3} \times W_{S3} = 0.116 \times 0.113 = 0.013 \quad (45)$$

$$W'_{S4} = W_{C3} \times W_{S4} = 0.116 \times 0.073 = 0.008 \quad (46)$$

Παρατηρούμε, από 43-45, ότι:

$$W'_{S1} + W'_{S2} + W'_{S3} + W'_{S4} = 0.116 = W_{C3} \quad (47)$$

Τέλος το κριτήριο Technological Aspects χωρίζεται στα υποκριτήρια Maturity & Reliability (W_{TA1}) και Efficiency of construction methods (W_{TA2}). Οπότε έχουμε:

$$W_{TA1} = \frac{1 + 2}{1 + 2 + 1 + 0.5} = \frac{3}{4.5} = 0.667 \quad (48)$$

$$W_{TA2} = \frac{1 + 0.5}{1 + 2 + 1 + 0.5} = \frac{1.5}{4.5} = 0.333 \quad (49)$$

Πολλαπλασιάζοντας με το βάρος του C4 βρίσκουμε την επίδραση των υποκριτηρίων στον τελικό στόχο:

$$W'_{TA1} = W_{C4} \times W_{TA1} = 0.094 \times 0.667 = 0.063 \quad (50)$$

$$W'_{TA2} = W_{C4} \times W_{TA2} = 0.094 \times 0.333 = 0.031 \quad (51)$$

Προφανώς ισχύει και σε αυτήν την περίπτωση:

$$W'_{TA1} + W'_{TA2} = 0.094 = W_{C4} \quad (52)$$

Τελικά καταφέραμε να υπολογίσουμε το διάνυσμα βαρών (W) όλων των υποκριτηρίων μας, ως προς τον τελικό στοχο:

$$W = (W''_{11}, W''_{12}, W''_{13}, W''_{21}, W''_{22}, W''_{EA11}, W''_{EA12}, W''_{EA21}, W''_{EA22}, W'_{EA3}, W'_{EA4}, \quad (53)$$

$$W'_{S1}, W'_{S2}, W'_{S3}, W'_{S4}, W'_{TA1}, W'_{TA2}) \quad (54)$$

| $X(i,j)$ | Τιμή |
|------------------------|-------|
| $W''(11)$ | 0,245 |
| $W''(12)$ | 0,041 |
| $W''(13)$ | 0,044 |
| $W''(21)$ | 0,027 |
| $W''(22)$ | 0,013 |
| $W''(EA11)$ | 0,153 |
| $W''(EA12)$ | 0,076 |
| W = $W''(EA21)$ | 0,042 |
| $W''(EA22)$ | 0,021 |
| $W'(EA3)$ | 0,109 |
| $W'(EA4)$ | 0,019 |
| $W'(S1)$ | 0,035 |
| $W'(S2)$ | 0,06 |
| $W'(S3)$ | 0,013 |
| $W'(S4)$ | 0,008 |
| $W'(TA1)$ | 0,063 |
| $W'(TA2)$ | 0,031 |

Πίνακας 2: Διάνυσμα βαρών των υποκριτηρίων

Το επόμενο βήμα της μεθόδου είναι η συγκριτική, κατά ζεύγη, αξιολόγηση από τους ειδικούς των τεσσάρων εναλλακτικών, σε σχέση με το κάθε υποκριτήριο. Με την ίδια διαδικασία, οι ειδικοί αξιολογώντας τις εναλλακτικές αυτή τη φορά, ως προς τα κριτήρια και υποκριτήρια, δημιουργούν τους παρακάτω 17 (όσα και ο αριθμός τους) 4x4 πίνακες:

Για το κριτήριο Ongoing Costs W(11):

$$W(11) = \begin{array}{cccc} & \hline & 1 & 5 & 9 & 7 \\ & & 1 & 9 & 7 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ & \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Demolition/End of Life W(22):

$$W(12) = \begin{array}{cccc} & \hline & 1 & 9 & 5 & 7 \\ & & 1 & 7 & 5 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ & \hline \end{array}$$

Για τα κριτήρια Operation W(13) καθώς και Adaptability & Flexibility W(21):

$$W(13) = \begin{array}{cccc} & \hline & 1 & 7 & 7 & 5 \\ & & 1 & 9 & 5 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ & \hline \end{array}$$

$$W(21) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 7 & 7 & 5 \\ & & 1 & 9 & 5 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Efficiency & Effectiveness W(22):

$$W(22) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 7 & 5 & 5 \\ & & 1 & 5 & 5 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Biodiversity W(EA3):

$$W(EA3) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 1 & 2 & 2 \\ & & 1 & 2 & 2 \\ & & & 1 & 2 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Managed sources of input materials W(EA11):

$$W(EA11) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 7 & 5 & 5 \\ & & 1 & 5 & 5 \\ & & & 1 & 3 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Energy use W(EA12):

$$W(EA12) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 3 & 5 & 3 \\ & & 1 & 3 & 3 \\ & & & 1 & 5 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Resource extraction W(EA4):

$$W(EA4) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 5 & 3 & 3 \\ & & 1 & 5 & 3 \\ & & & 1 & 3 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Embodied energy of materials W(EA21):

$$W(EA21) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 1 & 3 & 3 \\ & & 1 & 3 & 3 \\ & & & 1 & 3 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Energy demand of the construction process W(EA22):

$$W(EA22) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 3 & 3 & 1 \\ & & 1 & 3 & 1 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Environmental profile of input materials W(S1):

$$W(S1) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 1 & 3 & 3 \\ & & 1 & 1 & 3 \\ & & & 1 & 3 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Indoor Environmental Quality W(S2):

$$W(S2) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 1 & 1 & 3 \\ & & 1 & 1 & 3 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Ease of removal of hazardous materials W(S3):

$$W(S3) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 3 & 3 & 1 \\ & & 1 & 3 & 3 \\ & & & 1 & 2 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Long term health risks W(S4):

$$W(S4) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 3 & 3 & 5 \\ & & 1 & 3 & 5 \\ & & & 1 & 5 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Για το κριτήριο Maturity & Reliability W(TA1):

$$W(TA1) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 3 & 5 & 5 \\ & & 1 & 3 & 5 \\ & & & 1 & 3 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Και τέλος, για το κριτήριο Efficiency of production methods W(TA2):

$$W(TA2) = \begin{array}{cccc} \hline & 1 & 7 & 5 & 5 \\ & & 1 & 3 & 3 \\ & & & 1 & 1 \\ & & & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Η ίδια ακριβώς διαδικασία, του σταθμισμένου μέσου, εφαρμόζεται στους παραπάνω πίνακες. Έτσι λαμβάνουμε, από κάθε πίνακα ένα διάνυσμα X , μεγέθους 4×1 , το οποίο ονομάζεται διάνυσμα προτεραιότητας (priority vector). Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε το αποτέλεσμα αυτών των υπολογισμών, δηλαδή τα 17 διανύσματα προτεραιότητας.

| | | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | $X(11) = 0,503342653$ | | $X(11) = 0,315789474$ |
| Τελικά το $X(w11) =$ | $X(12) = 0,393522438$ | Τελικά το $X(EA3) =$ | $X(12) = 0,315789474$ |
| | $X(13) = 0,050842184$ | | $X(13) = 0,236842105$ |
| | $X(14) = 0,052292726$ | | $X(14) = 0,131578947$ |
| | $X(11) = 0,552809655$ | | $X(11) = 0,432694388$ |
| Τελικά το $X(w12) =$ | $X(12) = 0,329451939$ | Τελικά το $X(EA4) =$ | $X(12) = 0,331732364$ |
| | $X(13) = 0,058869203$ | | $X(13) = 0,163461122$ |
| | $X(14) = 0,058869203$ | | $X(14) = 0,072112126$ |
| | $X(11) = 0,502554232$ | | $X(11) = 0,375002344$ |
| Τελικά το $X(w13) =$ | $X(12) = 0,380503911$ | Τελικά το $X(S1) =$ | $X(12) = 0,281251758$ |
| | $X(13) = 0,056635349$ | | $X(13) = 0,25$ |
| | $X(14) = 0,060306508$ | | $X(14) = 0,093745898$ |
| | $X(11) = 0,502554232$ | | $X(11) = 0,321429719$ |
| Τελικά το $X(w21) =$ | $X(12) = 0,380503911$ | Τελικά το $X(S2) =$ | $X(12) = 0,321429719$ |
| | $X(13) = 0,056635349$ | | $X(13) = 0,21428648$ |
| | $X(14) = 0,060306508$ | | $X(14) = 0,142854082$ |
| | $X(11) = 0,530303923$ | | $X(11) = 0,366414451$ |
| $X =$ Τελικά το $X(w22) =$ | $X(12) = 0,328281697$ | Τελικά το $X(S3) =$ | $X(12) = 0,335878387$ |
| | $X(13) = 0,07070719$ | | $X(13) = 0,167936903$ |
| | $X(14) = 0,07070719$ | | $X(14) = 0,129770258$ |
| | $X(11) = 0,510260488$ | | $X(11) = 0,405406775$ |
| Τελικά το $X(EA11) =$ | $X(12) = 0,31587392$ | Τελικά το $X(S4) =$ | $X(12) = 0,315315254$ |
| | $X(13) = 0,124730342$ | | $X(13) = 0,225223734$ |
| | $X(14) = 0,04913525$ | | $X(14) = 0,054054237$ |
| | $X(11) = 0,432694388$ | | $X(11) = 0,472974571$ |
| Τελικά το $X(EA12) =$ | $X(12) = 0,264423146$ | Τελικά το $X(TA1) =$ | $X(12) = 0,315315254$ |
| | $X(13) = 0,235576854$ | | $X(13) = 0,153152544$ |
| | $X(14) = 0,067305612$ | | $X(14) = 0,05855763$ |
| | $X(11) = 0,352943772$ | | $X(11) = 0,59584103$ |
| Τελικά το $X(EA21) =$ | $X(12) = 0,352943772$ | Τελικά το $X(TA2) =$ | $X(12) = 0,236442961$ |
| | $X(13) = 0,205880926$ | | $X(13) = 0,083858004$ |
| | $X(14) = 0,088231531$ | | $X(14) = 0,083858004$ |
| | $X(11) = 0,400002$ | | |
| Τελικά το $X(EA22) =$ | $X(12) = 0,266666333$ | | |
| | $X(13) = 0,133330667$ | | |
| | $X(14) = 0,200001$ | | |

Στη συνέχεια, τα 17 αυτά διανύσματα πολλαπλασιάζονται με τα αντίστοιχα βάρη των κριτηρίων που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, στον πίνακα W. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ο πίνακας απόδοσης Z (performance matrix) που ακολουθεί. Ο πίνακας αυτός είναι της μορφής 17x4. Η τελική αξιολόγηση των εναλλακτικών γίνεται με την άθροιση των στοιχείων κάθε γραμμής του πίνακα, οι οποίες φυσικά αντιπροσωπεύουν τις 4 εναλλακτικές. Έτσι δημιουργείται ο τελικός πίνακας απόφασης F, όπου F1, F2, F3, F4, οι τελική απόδοση της κάθε εναλλακτικής.

$$F = \begin{array}{l} \hline F1 \quad 0,454065979 \\ F2 \quad 0,333989563 \\ F3 \quad 0,135006719 \\ F4 \quad 0,076937739 \\ \hline \end{array}$$

Βλέπουμε εύκολα λοιπόν την τελική κατάταξη των εναλλακτικών, ως προς το σύνολο των υποκριτηρίων που είχαν αρχικά τεθεί: $F1 > F2 > F3 > F4$.

| Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,12331895 | 0,022665196 | 0,022112386 | 0,013568964 | 0,006893951 | 0,078069855 | 0,032884773 | 0,014823638 | 0,008400042 |
| 0,096412997 | 0,01350753 | 0,016742172 | 0,010273606 | 0,004267662 | 0,04832871 | 0,020096159 | 0,014823638 | 0,005599993 |
| 0,012456335 | 0,002413637 | 0,002491955 | 0,001529154 | 0,000919193 | 0,019083742 | 0,017903841 | 0,008646999 | 0,002799944 |
| 0,012811718 | 0,002413637 | 0,002653486 | 0,001628276 | 0,000919193 | 0,007517693 | 0,005115227 | 0,003705724 | 0,004200021 |
| Z10 | Z11 | Z12 | Z13 | Z14 | Z15 | Z16 | Z17 | |
| 0,034421053 | 0,008221193 | 0,013125082 | 0,019285783 | 0,004763388 | 0,003243254 | 0,029797398 | 0,018471072 | |
| 0,034421053 | 0,006302915 | 0,009843812 | 0,019285783 | 0,004366419 | 0,002522522 | 0,019864861 | 0,007329732 | |
| 0,025815789 | 0,003105761 | 0,00875 | 0,012857189 | 0,00218318 | 0,00180179 | 0,00964861 | 0,002599598 | |
| 0,014342105 | 0,00137013 | 0,003281106 | 0,008571245 | 0,001687013 | 0,000432434 | 0,003689131 | 0,002599598 | |

Z =

3.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ FUZZY DECISION MAKING (FDM)

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η λεγόμενη Fuzzy Decision Making (FDM) μέθοδος, η οποία έχει προταθεί από τους Srdjevic και Medeiros (2007). Η FDM περιέχει ποιοτικές αξιολογήσεις, σε ένα ασαφές πλαίσιο, και βασίζεται στις ακόλουθες αρχές:

- Η αριθμητική μέθοδος AHP ασαφτοποιείται, διατηρώντας την λογική της καθώς και την μέθοδο χειραγώγησης των διανυσμάτων προτεραιότητας.
- Όλη η κλιμακα αξιολόγησης του Saaty ασαφτοποιείται, όχι μόνο οι μονοί, θετικοί ακέραιοι. Τριγωνικοί ασαφείς αριθμοί χρησιμοποιούνται.
- Εφαρμόζεται μια συγκεντρωτική αρχή στην διαχείριση των κριτηρίων, τα οποία χωρίζονται σε υποκριτήρια. Τα επίπεδα των κριτηρίων και τα υποκριτηρίων συγκεντρώνονται σε ένα μοναδικό επίπεδο αξιολόγησης.
- Η μέθοδος total integral value χρησιμοποιείται για την αποασαφοποίηση και την τελική κατάταξη των εναλλακτικών.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών αριθμών που χρησιμοποιούνται θεωρούνται συμμετρικοί και τριγωνικοί. Για τον υπολογισμό τους γίνεται χρήση της λεγόμενης ασαφής απόστασης δ , η τιμή της οποίας είναι 1 για τις ενδιάμεσες τιμές, 2 για τους μονούς αριθμούς και 1 για τους ζυγούς καθώς και τις οριακές τιμές (1, 9). Οι τελικές τιμές της ασαφούς κλίμακας παραδίδονται στον πίνακα που ακολουθεί.

| Απλή κλίμακα Saaty | Περιγραφή κρίσης | Ασαφές Αντίστοιχο | | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------|----|----|---|
| | | mi | ai | βi | |
| 1 | Ίσης σημασίας | $\bar{1}$ | 1 | 1 | 3 |
| 3 | Αδύναμη υπεροχή | $\bar{3}$ | 3 | 1 | 5 |
| 5 | Ισχυρή υπεροχή | $\bar{5}$ | 5 | 3 | 7 |
| 7 | Αποδεδειγμένη υπεροχή | $\bar{7}$ | 7 | 5 | 9 |
| 9 | Απόλυτη υπεροχή | $\bar{9}$ | 9 | 7 | 9 |
| 2 | Ενδιάμεση τιμή | $\bar{2}$ | 2 | 1 | 3 |
| 4 | Ενδιάμεση τιμή | $\bar{4}$ | 4 | 3 | 5 |
| 6 | Ενδιάμεση τιμή | $\bar{6}$ | 6 | 5 | 7 |
| 8 | Ενδιάμεση τιμή | $\bar{8}$ | 8 | 7 | 9 |

Πίνακας 3: Ασαφής κλίμακα αξιολόγησης

Λόγω της συμμετρικής μορφής των πινάκων, τα συμμετρικά στοιχεία των οποίων ως προς την διαγώνιο ακολουθούν την σχέση $X_{(i,j)} = \frac{1}{X_{(j,i)}}$, θα πρέπει να οριστεί και η αντίστροφη ασαφής κλίμακα Saaty. Για τον υπολογισμό των αντιστρόφων ασαφών αριθμών χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος:

$$M^{-1} = (m, \alpha, \beta)^{-1} \approx [m^{-1}, (\beta * m)^{-2}, (\alpha * m)^{-2}]$$

(Στον πίνακα 4 βλέπουμε την αντίστροφη ασαφή κλίμακα)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στις αρχές τις μεθόδου, η μέθοδος υπολογισμού των βαρών καθώς και αξιολόγησης των εναλλακτικών αποτελεί μια ασαφή επέκταση της κανονικής μεθόδου AHP που χρησιμοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για τον υπολογισμό των ασαφών βαρών των κριτηρίων καθώς και τον διανυσμάτων προτεραιότητας, και του τελικού πίνακα αξιολόγησης, ήταν απαραίτητες αλγεβρικές πράξεις μεταξύ των ασαφών αριθμών. Στην βιβλιογραφία υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών τρόπων υπολογισμού αλγεβρικών πράξεων ασαφών αριθμών. Παρατίθενται οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη:

- **Πολλαπλασιασμός:** $M \times N = [m * n, \min(a_1 * b_1, a_1 * b_3, a_3 * b_1, a_3 * b_3), \max(a_1 * b_1, a_1 * b_3, a_3 * b_1, a_3 * b_3)]$

| Αντίστροφη ασαφής κλίμακα | m_i | α_i | β_i |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $\bar{1}^{-1}$ | 1 | 0,111111111 | 1 |
| $\bar{3}^{-1}$ | 0,333333333 | 0,004444444 | 0,111111111 |
| $\bar{5}^{-1}$ | 0,2 | 0,000816327 | 0,004444444 |
| $\bar{7}^{-1}$ | 0,142857143 | 0,000251953 | 0,000816327 |
| $\bar{9}^{-1}$ | 0,111111111 | 0,000152416 | 0,000251953 |
| $\bar{2}^{-1}$ | 0,5 | 0,027777778 | 0,25 |
| $\bar{4}^{-1}$ | 0,25 | 0,0025 | 0,006944444 |
| $\bar{6}^{-1}$ | 0,166666667 | 0,000566893 | 0,001111111 |
| $\bar{8}^{-1}$ | 0,125 | 0,000192901 | 0,000318878 |

Πίνακας 4: Αντίστροφη ασαφής κλίμακα

- **Πρόσθεση:** $M_1 + M_2 + \dots + M_i = [(m_1 + m_2 + \dots + m_i), (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i), (\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_i)]$
- **Διαίρεση:** $\frac{M}{N} \approx [\frac{m}{n}, \frac{m * \delta + n * \alpha}{n^2}, \frac{m * \gamma + n * \beta}{n^2}]$

Οι υπολογισμοί για την μέθοδο FDM είναι αρκετά εκτεταμένοι, γι'αυτό και παρατίθενται στα Παραρτήματα Α και Β. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, όπως θυμόμαστε από το προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ο πίνακας των βαρών των κριτηρίων W και ο πίνακας απόδοσης των εναλλακτικών X , οι οποίοι και φαίνονται παρακάτω. Έπειτα, με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην αριθμητική εκδοχή της ΑΗΡ, κάθε διάνυσμα $X(ij)$ πολλαπλασιάζεται με το αντίστοιχο βάρος $W(ij)$ και έτσι δημιουργείται ο ασαφής πίνακας απόδοσης Z .

| Υποκριτήριο | m | α | β |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| W''(11) | 0,254683779 | 2,807217192 | 3,497941611 |
| W''(12) | 0,041358904 | 1,421141519 | 1,660133824 |
| W''(13) | 0,045712473 | 0,26672008 | 0,316433206 |
| W''(21) | 0,028479596 | 0,435930108 | 0,676510487 |
| W''(22) | 0,014239798 | 0,223502272 | 0,352828599 |
| W''(EA11) | 0,044231 | 1,7552444 | 2,20716 |
| W''(EA12) | 0,022116 | 0,89996872 | 1,151126 |
| W''(EA21) | 0,044231 | 0,4552865 | 0,740113 |
| W''(EA22) | 0,022116 | 0,23339667 | 0,386 |
| W'(EA3) | 0,112969066 | 0,463250641 | 0,565112433 |
| W'(EA4) | 0,019724758 | 0,079137866 | 0,120761687 |
| W'(S1) | 0,036176764 | 0,209384062 | 0,283007716 |
| W'(S2) | 0,062304427 | 0,329705091 | 0,467721015 |
| W'(S3) | 0,013510458 | 0,075544543 | 0,116703899 |
| W'(S4) | 0,008843209 | 0,04661372 | 0,070342338 |
| W'(TA1) | 0,06493348 | 0,452519225 | 0,542314351 |
| W'(TA2) | 0,03246674 | 0,232007547 | 0,282839684 |

Πίνακας 5: Ασαφή βάρη των υποκριτηρίων του προβλήματος

| | m | | α | | β | | m | | α | | β | |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Τελικά το X(w11) = | 0, 503341081 | 1, 045586681 | 1, 010426546 | 0, 769688297 | 0, 315789474 | 0, 75900277 | 0, 8033241 | 0, 315789474 | 0, 75900277 | 0, 8033241 | 0, 315789474 | 0, 75900277 |
| | 0, 393521209 | 0, 828708932 | 0, 769688297 | 0, 174640978 | Τελικά το X(EA3) = | | | | | | | |
| | 0, 050842533 | 0, 114403683 | 0, 174640978 | 0, 129975797 | 0, 236842105 | 0, 52393044 | 0, 510387812 | 0, 236842105 | 0, 52393044 | 0, 510387812 | 0, 236842105 | 0, 52393044 |
| | 0, 052295177 | 0, 096032322 | 0, 129975797 | 1, 094090034 | 0, 131578947 | 0, 2855494 | 0, 268928901 | 0, 131578947 | 0, 2855494 | 0, 268928901 | 0, 131578947 | 0, 2855494 |
| Τελικά το X(w12) = | 0, 552807913 | 1, 193964751 | 1, 094090034 | 0, 710163299 | 0, 432692308 | 0, 941105769 | 0, 939883091 | 0, 432692308 | 0, 941105769 | 0, 939883091 | 0, 432692308 | 0, 941105769 |
| | 0, 329451181 | 0, 698106414 | 0, 710163299 | 0, 192485438 | 0, 331730769 | 0, 735966935 | 0, 708718062 | 0, 331730769 | 0, 735966935 | 0, 708718062 | 0, 331730769 | 0, 735966935 |
| | 0, 058870453 | 0, 134616726 | 0, 192485438 | 0, 142230173 | 0, 163461538 | 0, 346103153 | 0, 375259253 | 0, 163461538 | 0, 346103153 | 0, 375259253 | 0, 163461538 | 0, 346103153 |
| | 0, 058870453 | 0, 112281053 | 0, 142230173 | 0, 058588549 | 0, 072115385 | 0, 157331731 | 0, 156647182 | 0, 072115385 | 0, 157331731 | 0, 156647182 | 0, 072115385 | 0, 157331731 |
| | 0, 502552648 | 0, 365154666 | 1, 058588549 | 0, 74624248 | 0, 375 | 0, 8984375 | 0, 93 | 0, 375 | 0, 8984375 | 0, 93 | 0, 375 | 0, 8984375 |
| | 0, 380504148 | 0, 821499892 | 0, 74624248 | 0, 190802247 | 0, 28125 | 0, 679036458 | 0, 6975 | 0, 28125 | 0, 679036458 | 0, 6975 | 0, 28125 | 0, 679036458 |
| | 0, 056636886 | 0, 131400356 | 0, 190802247 | 0, 143335667 | 0, 25 | 0, 573125 | 0, 547083333 | 0, 25 | 0, 573125 | 0, 547083333 | 0, 25 | 0, 573125 |
| | 0, 060306318 | 0, 114352176 | 0, 143335667 | 0, 058588549 | 0, 078125 | 0, 195403646 | 0, 188541667 | 0, 078125 | 0, 195403646 | 0, 188541667 | 0, 078125 | 0, 195403646 |
| Τελικά το X(w21) = | 0, 502552648 | 0, 365154666 | 1, 058588549 | 0, 74624248 | 0, 321428571 | 0, 87244898 | 0, 93 | 0, 321428571 | 0, 87244898 | 0, 93 | 0, 321428571 | 0, 87244898 |
| | 0, 380504148 | 0, 821499892 | 0, 74624248 | 0, 190802247 | 0, 321428571 | 0, 824829932 | 0, 822857143 | 0, 321428571 | 0, 824829932 | 0, 822857143 | 0, 321428571 | 0, 824829932 |
| | 0, 056636886 | 0, 131400356 | 0, 190802247 | 0, 143335667 | 0, 214285714 | 0, 557823129 | 0, 548571429 | 0, 214285714 | 0, 557823129 | 0, 548571429 | 0, 214285714 | 0, 557823129 |
| | 0, 060306318 | 0, 114352176 | 0, 143335667 | 0, 058588549 | 0, 142857143 | 0, 352517007 | 0, 306190476 | 0, 142857143 | 0, 352517007 | 0, 306190476 | 0, 142857143 | 0, 352517007 |
| | 0, 53030303 | 1, 181866363 | 1, 111499079 | 0, 714750352 | 0, 366412214 | 0, 849367752 | 0, 903276033 | 0, 366412214 | 0, 849367752 | 0, 903276033 | 0, 366412214 | 0, 849367752 |
| | 0, 328282828 | 0, 719012718 | 0, 714750352 | 0, 223096996 | 0, 335877863 | 0, 748256318 | 0, 756756211 | 0, 335877863 | 0, 748256318 | 0, 756756211 | 0, 335877863 | 0, 748256318 |
| Τελικά το X(w22) = | 0, 070707071 | 0, 169414794 | 0, 223096996 | 0, 164174438 | 0, 167938931 | 0, 397334266 | 0, 36311093 | 0, 167938931 | 0, 397334266 | 0, 36311093 | 0, 167938931 | 0, 397334266 |
| | 0, 070707071 | 0, 14322699 | 0, 164174438 | 0, 594526581 | 0, 129770992 | 0, 288298662 | 0, 260113824 | 0, 129770992 | 0, 288298662 | 0, 260113824 | 0, 129770992 | 0, 288298662 |
| | 0, 594526581 | 1, 321826223 | 1, 232015584 | 0, 792586887 | 0, 405405405 | 0, 864864865 | 0, 895029889 | 0, 405405405 | 0, 864864865 | 0, 895029889 | 0, 405405405 | 0, 864864865 |
| | 0, 368040264 | 0, 804126303 | 0, 792586887 | 0, 355767732 | 0, 315315315 | 0, 684084084 | 0, 681119343 | 0, 315315315 | 0, 684084084 | 0, 681119343 | 0, 315315315 | 0, 684084084 |
| Τελικά το X(EA11) = | 0, 14532872 | 0, 292339698 | 0, 355767732 | 0, 138994345 | 0, 225225225 | 0, 503303303 | 0, 467208797 | 0, 225225225 | 0, 503303303 | 0, 467208797 | 0, 225225225 | 0, 503303303 |
| | 0, 057250708 | 0, 122349808 | 0, 138994345 | 0, 432692308 | 0, 054054054 | 0, 122154808 | 0, 13104903 | 0, 054054054 | 0, 122154808 | 0, 13104903 | 0, 054054054 | 0, 122154808 |
| | 0, 432692308 | 0, 941105769 | 0, 939883091 | 0, 606424282 | 0, 472972973 | 1, 042792793 | 0, 999156492 | 0, 472972973 | 1, 042792793 | 0, 999156492 | 0, 472972973 | 1, 042792793 |
| | 0, 264423077 | 0, 551241987 | 0, 606424282 | 0, 483829512 | 0, 315315315 | 0, 684084084 | 0, 681119343 | 0, 315315315 | 0, 684084084 | 0, 681119343 | 0, 315315315 | 0, 684084084 |
| Τελικά το X(EA12) = | 0, 235576923 | 0, 539011807 | 0, 483829512 | 0, 150370703 | 0, 153153153 | 0, 317895446 | 0, 357041322 | 0, 153153153 | 0, 317895446 | 0, 357041322 | 0, 153153153 | 0, 317895446 |
| | 0, 067307692 | 0, 149148025 | 0, 150370703 | 0, 86366782 | 0, 058558559 | 0, 129634737 | 0, 137089903 | 0, 058558559 | 0, 129634737 | 0, 137089903 | 0, 058558559 | 0, 129634737 |
| | 0, 352941176 | 0, 823529412 | 0, 86366782 | 0, 775432526 | 0, 595838588 | 1, 368253349 | 1, 218083355 | 0, 595838588 | 1, 368253349 | 1, 218083355 | 0, 595838588 | 1, 368253349 |
| | 0, 352941176 | 0, 784313725 | 0, 775432526 | 0, 454786621 | 0, 236443884 | 0, 484643193 | 0, 572191247 | 0, 236443884 | 0, 484643193 | 0, 572191247 | 0, 236443884 | 0, 484643193 |
| Τελικά το X(EA21) = | 0, 205882353 | 0, 466078431 | 0, 454786621 | 0, 18650519 | 0, 083858764 | 0, 203041577 | 0, 252742627 | 0, 083858764 | 0, 203041577 | 0, 252742627 | 0, 083858764 | 0, 203041577 |
| | 0, 088235294 | 0, 206470588 | 0, 18650519 | 0, 006933333 | 0, 083858764 | 0, 17361745 | 0, 186538339 | 0, 083858764 | 0, 17361745 | 0, 186538339 | 0, 083858764 | 0, 17361745 |
| | 0, 4 | 0, 986666667 | 1, 006933333 | 0, 693511111 | 0, 4 | 0, 986666667 | 1, 006933333 | 0, 4 | 0, 986666667 | 1, 006933333 | 0, 4 | 0, 986666667 |
| | 0, 266666667 | 0, 674666667 | 0, 693511111 | 0, 380088889 | 0, 266666667 | 0, 674666667 | 0, 693511111 | 0, 266666667 | 0, 674666667 | 0, 693511111 | 0, 266666667 | 0, 674666667 |
| Τελικά το X(EA22) = | 0, 133333333 | 0, 362666667 | 0, 380088889 | 0, 403466667 | 0, 2 | 0, 46 | 0, 403466667 | 0, 133333333 | 0, 362666667 | 0, 380088889 | 0, 133333333 | 0, 362666667 |
| | 0, 2 | 0, 46 | 0, 403466667 | | | | | 0, 2 | 0, 46 | 0, 403466667 | 0, 2 | 0, 46 |

Πίνακας 6: Διανύσματα αξιολόγησης των ζευγών κριτηρίου-εναλλακτικής

| | m | α | β | m | α | β |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $Z1 =$ | 0, 128192809 | 2, 836486772 | 3, 657401159 | 0, 035674442 | 0, 35160852 | 0, 453968437 |
| | 0, 100223469 | 2, 160682218 | 2, 898775458 | 0, 035674442 | 0, 323377179 | 0, 402483894 |
| | 0, 012948769 | 0, 321155985 | 0, 610883943 | 0, 026755831 | 0, 236437481 | 0, 296079606 |
| | 0, 013318733 | 0, 269583585 | 0, 454647749 | 0, 014864351 | 0, 124581486 | 0, 161367516 |
| $Z2 =$ | 0, 02286353 | 1, 554856773 | 1, 982141268 | 0, 008534751 | 0, 074380342 | 0, 11364952 |
| | 0, 01362574 | 0, 992108009 | 1, 178966113 | 0, 006543309 | 0, 056086435 | 0, 088876608 |
| | 0, 002434817 | 0, 191309419 | 0, 319551587 | 0, 003224239 | 0, 027389865 | 0, 04531694 |
| | 0, 002434817 | 0, 159567266 | 0, 236121122 | 0, 001422458 | 0, 012396724 | 0, 018999645 |
| $Z3 =$ | 0, 022972924 | 0, 097394082 | 0, 334972568 | 0, 013566287 | 0, 188118493 | 0, 263197176 |
| | 0, 017393786 | 0, 199037854 | 0, 259949844 | 0, 010174715 | 0, 142179412 | 0, 197397882 |
| | 0, 002589012 | 0, 035047114 | 0, 060376167 | 0, 009044191 | 0, 114550531 | 0, 162198797 |
| | 0, 002756751 | 0, 030500022 | 0, 045356165 | 0, 00282631 | 0, 03947762 | 0, 05530074 |
| $Z4 =$ | 0, 014312497 | 0, 159181913 | 0, 716146255 | 0, 020026423 | 0, 28765087 | 0, 434980544 |
| | 0, 010836605 | 0, 325309565 | 0, 555753292 | 0, 020026423 | 0, 271300189 | 0, 385790293 |
| | 0, 001612996 | 0, 057281371 | 0, 129079721 | 0, 013350949 | 0, 180866793 | 0, 2609056 |
| | 0, 0017175 | 0, 049849557 | 0, 096968082 | 0, 008900632 | 0, 100952559 | 0, 164879612 |
| $Z5 =$ | 0, 007551408 | 0, 24842257 | 0, 416996253 | 0, 004950397 | 0, 064165099 | 0, 105415835 |
| | 0, 004674681 | 0, 159748328 | 0, 25368825 | 0, 004537864 | 0, 056526682 | 0, 088316401 |
| | 0, 001006854 | 0, 037864591 | 0, 078715001 | 0, 002268932 | 0, 027431049 | 0, 046370458 |
| | 0, 001006854 | 0, 032011558 | 0, 057925437 | 0, 001753266 | 0, 01965018 | 0, 033645578 |
| $Z6 =$ | 0, 026296505 | 2, 162488454 | 2, 917481965 | 0, 003585085 | 0, 040314568 | 0, 062958495 |
| | 0, 016278789 | 1, 391183696 | 1, 774835411 | 0, 002788399 | 0, 031749506 | 0, 048120074 |
| | 0, 006428035 | 0, 513127617 | 0, 785236308 | 0, 001991714 | 0, 02177834 | 0, 035403531 |
| | 0, 002532256 | 0, 214753815 | 0, 306782758 | 0, 000478011 | 0, 00569409 | 0, 009218295 |
| $Z7 =$ | 0, 009569423 | 0, 845865382 | 1, 08333132 | 0, 030711781 | 0, 452137521 | 0, 565521497 |
| | 0, 005847981 | 0, 496100546 | 0, 698070758 | 0, 020474521 | 0, 308219597 | 0, 370988616 |
| | 0, 005210019 | 0, 435431426 | 0, 620470505 | 0, 009944767 | 0, 143853801 | 0, 193628633 |
| | 0, 001488577 | 0, 134228557 | 0, 173095626 | 0, 003802411 | 0, 058662211 | 0, 074345822 |
| $Z8 =$ | 0, 015610941 | 0, 374941824 | 0, 639211781 | 0, 019344936 | 0, 282604531 | 0, 386996345 |
| | 0, 015610941 | 0, 353043961 | 0, 580480784 | 0, 007676562 | 0, 112440878 | 0, 161838392 |
| | 0, 009106382 | 0, 207058209 | 0, 344950706 | 0, 002722621 | 0, 047107178 | 0, 071485645 |
| | 0, 003902735 | 0, 084913295 | 0, 152811566 | 0, 002722621 | 0, 040280559 | 0, 052760445 |
| $Z9 =$ | 0, 0088464 | 0, 230284714 | 0, 388676267 | | | |
| | 0, 0058976 | 0, 157464953 | 0, 267695289 | | | |
| | 0, 0029488 | 0, 084645192 | 0, 146714311 | | | |
| | 0, 0044232 | 0, 094167776 | 0, 17756 | | | |

Πίνακας 7: Ασαφής πίνακας απόδοσης

Τα τελικά βάρη αξιολόγησης των εναλλακτικών, προέρχονται πάλι από την πρόσθεση των στοιχείων κάθε γραμμής του πίνακα Z, δηλαδή από την εξίσωση:

$$F_i = \sum x_{ij} * w_j, \text{ για } i = 1, 2, \dots, N. \quad (55)$$

Παρακάτω φαίνεται ο τελικός ασαφής πίνακας απόφασης F:

| Fi | m | α | β |
|----|-------------|-------------|-------------|
| F1 | 0,392610538 | 10,25090243 | 14,52304669 |
| F2 | 0,298285826 | 7,536559008 | 10,21202736 |
| F3 | 0,113588928 | 2,682335962 | 4,207367459 |
| F4 | 0,070351484 | 1,471270857 | 2,271786158 |

Πίνακας 8: Τελικός πίνακας απόφασης

Για το ranking των εναλλακτικών θα χρησιμοποιήσουμε ξανά την μέθοδο total integral value (Liou and Wang, 1992):

$$I_A = \frac{1}{2} * [\lambda * \beta + m + (1 - \lambda) * \alpha], \lambda \in [0, 1] \quad (56)$$

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει διαφορετικές τιμές του λ, για να καθορίσει την στάση των ειδικών ως προς το ρίσκο. Παρακάτω βλέπουμε τις τρεις διαφορετικές στρατηγικές.

- Για λ = 0, pessimistic vs risk:

| | |
|---------|-------------|
| I(F1) = | 5,321756483 |
| I(F2) = | 3,917422417 |
| I(F3) = | 1,397962445 |
| I(F4) = | 0,770811171 |

- Για $\lambda = 0,5$, moderate vs risk:

$$I(F1) = 6,389792548$$

$$I(F2) = 4,586289504$$

$$I(F3) = 1,779220319$$

$$I(F4) = 0,970939996$$

- Για $\lambda = 1$, optimistic vs risk:

$$I(F1) = 7,457828612$$

$$I(F2) = 5,255156592$$

$$I(F3) = 2,160478194$$

$$I(F4) = 1,171068821$$

Παρατηρούμε ότι για κάθε λ ισχύει $I(F1) > I(F2) > I(F3) > I(F4)$. Οπότε η σειρά αξιολόγησης των εναλλακτικών είναι $F1 > F2 > F3 > F4$.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Σε αυτή την μελέτη, τόσο η ασαφής όσο και η αναλυτική μέθοδος της AHP χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση βιομηχανικών κτιρίων, ως προς τα βασικά τους δομικά χαρακτηριστικά (σκελετός και τοιχοποιία). Η σχέση ανάμεσα στις αξίες και στην αξιολόγηση (των ειδικών), η οποία είναι σημαντική για την αξιολόγηση περίπλοκων προβλημάτων, δεν μπορεί πάντα να θεωρηθεί ίδια ή σταθερή. Ενώ η ειδική γνώση θεωρείται πολύ χρήσιμη για την επίλυση περίπλοκων προβλημάτων όπως ο σχεδιασμός ενός βιομηχανικού κτιρίου, η γνώμη των ειδικών μπορεί να είναι διαφορετική ανάλογα το άτομο και έτσι μπορεί να υπόκειται σε γνωσιακούς περιορισμούς υπό αβεβαιότητα και υποκειμενικότητα. Η ασαφής μέθοδος θεωρείται πιο αξιόπιστη γιατί μπορεί και διαχειρίζεται αυτή την ποιοτική σχέση ανάμεσα στις υποκειμενικές αξίες και τα ποσοτικά δεδομένα. Χρησιμοποιήθηκε για να "συλλάβει" την ανακριβή φύση της επιλογής των χαρακτηριστικών (πρώτων υλών), τεχνολογιών κατασκευής, οικονομικών κριτηρίων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και της ανακρίβειας των υποκειμενικών κρίσεων, και την περίπλοκη σχέση μεταξύ τους. Η αναλυτική διαδικασία της AHP χρησιμοποιήθηκε για την προσδιορισμό των βαρών των κριτήρια αξιολόγησης.

Η μέθοδος αυτή σκοπεύει στην βελτίωση της εφαρμογής της ασαφής έκδοσης της AHP σε πραγματικές καταστάσεις σχεδιασμού βιομηχανικών κτιρίων. Η ανάλυση του σχεδιασμού ενός βιομηχανικού κτιρίου είναι μια περίπλοκη διαδικασία, με πολλούς παράγοντες και περίπλοκες σχέσεις μεταξύ τους. Ένα σύνολο 4 κεντρικών περιοχών απόφασης και 17 υποκριτηρίων αναγνωρίστηκαν, μέσω της αλληλεπίδρασης με τους ειδικούς, και χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των 4 διαφορετικών εναλλακτικών. Τα ασαφή σύνολα χρησιμοποιήθηκαν για εκφράσουν τις μεταβλητές εισόδου σε γλωσσικούς όρους.

Ακολουθώντας την λογική της αναλυτικής (σαφής) μεθόδου για την επίλυση προβλημάτων απόφασης με κριτήρια, υποκριτήρια και εναλλακτικές, ένα ισορροπημένο ασαφές πλαίσιο δημιουργήθηκε. Ασαφοποιεί την 9-βάθμια κλιμακα αξιολόγησης του Saaty στην αρχή της υπολογιστικής διαδικασίας και αναλύει την σημαντικότητα των κριτηρίων και υποκριτηρίων σε σχέση με τα "ενοποιημένα" κριτήρια και υποκριτήρια, τα οποία έχουν ποια χαρτογραφηθεί σε ένα μοναδικό επίπεδο. Η αξιολόγηση των εναλλακτικών, σε σχέση με αυτά τα ενοποιημένα κριτήρια και υποκριτήρια, οδηγεί στην δημιουργία ενός μοναδικού ασαφούς πίνακα επίδοσης (Z). Η Fuzzy extent analysis, η επέκταση δηλαδή της κανονικής μεθόδου της AHP, με ασαφείς μεταβλητές και υπολογισμούς, χρησιμο-

ποιείται σε όλες τις αξιολογήσεις. Τέλος, προτείνεται η μέθοδος integral value για την αποασαφοποίηση των αποτελεσμάτων, κυρίως λόγο της ακριβής αλλά και ευκολής και γρήγορης υπολογιστικής διαδικασίας που περιέχει. Αναγνωρίστηκε η αποτελεσματικότητα και σταθερότητα της μεθόδου, όσον αφορά τους υπολογισμούς. Επίσης ένα περαιτέρω πλεονέκτημα της είναι η ευκολία χρησιμοποίησής της σε συναντήσεις με τους ενδιαφερόμενους φορείς ενός προβλήματος. Τέλος, παρατηρούμε ότι η αξιολόγηση έδωσε τα ίδια αποτελέσματα, όσον αφορά την ιεράρχιση των εναλλακτικών, τόσο στην αναλυτική όσο και στην ασαφή μέθοδο. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία της ασαφής μεθόδου και ανοίγει τον δρόμο για μια πιο αναλυτική, όσον αφορά τα κριτήρια και τις εναλλακτικές, αξιολόγηση βιομηχανικών κτιρίων, όπου τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά κριτήρια χρησιμοποιούνται.

Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να ακολουθήσει όπου η μέθοδος αυτή μπορεί να εμπλουτιστεί δοκιμάζοντας άλλες μορφές υπολογισμού, όπως για παράδειγμα την χρήση ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors) ή της μεθόδου centre of gravity, έτσι ώστε να αξιολογηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων για την αποασαφοποίηση του πίνακα Z, με μια πιο πολύπλοκη ιεράρχιση του προβλήματος ή με συνδυασμό με άλλες αναλυτικές μεθόδους. Μια ακόμη ενδιαφέρουσα κατεύθυνση είναι η επέκταση της βάσης δεδομένων, χρησιμοποιώντας ποσοτικά στοιχεία που έχουν να κάνουν με τις πρώτες ύλες (κόστος, δομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά), πειραματικά δεδομένα όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και υπολογισμούς σχετικά με ενέργεια και πρώτες ύλες που χρειάζονται για το σύνολο της ζωής του κτιρίου (δηλαδή από την εξαγωγή των υλών μέχρι και την κανονική λειτουργία του κτιρίου. Τέτοια στοιχεία μπορούν να βρεθούν σε βάσεις δεδομένων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής καθώς. Επίσης μπορεί να γίνει συνδυασμός των δύο μεθόδων, δηλαδή μια ασαφής AHP για την αξιολόγηση ειδικής γνώμης και AKZ για την αξιολόγηση ποσοτικών στοιχείων.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα κατεύθυνση θα μπορούσε να είναι όχι απλά η κατάταξη των εναλλακτικών αλλά ο υπολογισμός των πιθανοτήτων και δυνατοτήτων σχετικά με την σχέση μεταξύ ευκαιριών και ρίσκου. Παραδείγματος χάριν, οι ασαφείς αριθμοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό των μέγιστου και ελάχιστου εύρους επίπτωσης των υλικών και των ιδιοτήτων τους στο περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία, ή σχετικά με το κόστος ή χρόνο κατασκευής. Τότε θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα α -cuts (Buckley and Eslami, 2002, 46) για να ορίσουμε πιο περιορισμένα κατώτερα και ανώτερα επίπεδα για τα σχετικά βάρη (ανάλογα με την διάθεση των αποφασιζό-

ντων ως προς το ρίσκο και την αβεβαιότητα). Για να επιτευχθεί βέβαια αυτό χρειάζεται βελτίωση στην βάση δεδομένων του προβλήματος καθώς και στην ιεράρχισή του.

Μια σημαντική προσθήκη θα ήταν η ανάπτυξη αλγορίθμων ομαδοποίησης (fuzzy clustering), οι οποίοι θα μπορούσαν να αναλύσουν μεγάλα δείγματα από ένα μεγάλο αριθμό ειδικών, παραδείγματος χάριν με την χρησιμοποίηση ενός αλγόριθμου ασαφής απόστασης (Xu and Chen 2007, 254). Αυτό θα μπορούσε να βελτιώσει αισθητά την ποιότητα της αξιολόγησης, καθώς θα μπορούσε να διαχειριστεί εύκολα και γρήγορα έναν πολύ μεγαλύτερο αριθμό ειδικών. Επιπρόσθετα, ένας Εξελικτικός αλγόριθμος, ο οποίος θα υπολογίζει το ελάχιστο και μέγιστο των ασαφών βαρών θα μπορούσε να προσφέρει ένα παράδειγμα σύγκρισης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Αυτό μπορεί να επεκταθεί, με ταυτόχρονη εφαρμογή και άλλων πολυκριτήριων μεθόδων, που μπορούν να εφαρμοστούν στο ίδιο πρόβλημα, όπως η PROMETHEE, ELECTRE και MACBETH, έτσι ώστε να επικυρωθούν τα αποτελέσματα. Εξάλλου, μια τέτοια ανάλυση θα μπορούσε να αναδείξει διαφορές αλλά και περιορισμούς των μεθόδων.

Α ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΣΑΦΩΝ ΒΑΡΩΝ

Α.1 ΒΑΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

$$W_{C1} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (57)$$

$$W_{C2} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (58)$$

$$W_{C3} = \frac{\bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (59)$$

$$W_{C4} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (60)$$

| | | Αριθμητής | | |
|---------------------|--|--------------|-------------|-------------|
| | | m | α | β |
| | | 10 | 6 | 18 |
| W(c1): | | Παρονομαστής | | |
| | | n | γ | δ |
| | | 26,00952381 | 17,00995717 | 47,22748299 |
| Τελικά W(c1) είναι: | | m | α | β |
| | | 0,384474551 | 0,928804599 | 0,943496537 |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | | |
|---------------------|--|-------------|-------------|------------------|---------------------|---|---|
| | | | | m | α | β | |
| W(c2): | | 11,33333333 | 7,00444444 | 17,11111111 | | | |
| | | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | | n | γ | δ |
| | | 26,00952381 | 17,00995717 | 47,22748299 | | | |
| | | | | m | α | β | |
| Τελικά W(c2) είναι: | | 0,435737825 | 1,060505581 | 0,942846668 | | | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | | |
|---------------------|--|-------------|-------------|------------------|---------------------|---|---|
| | | | | m | α | β | |
| W(c3): | | 3,142857143 | 3,000251953 | 9,000816327 | | | |
| | | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | | n | γ | δ |
| | | 26,00952381 | 17,00995717 | 47,22748299 | | | |
| | | | | m | α | β | |
| Τελικά W(c3) είναι: | | 0,120834859 | 0,334761154 | 0,425083219 | | | |

| <u>Αριθμητής</u> | | | |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| | m | α | β |
| W(c4): | 2,533333333 | 2,005260771 | 6,115555556 |
| <u>Παρονομαστής</u> | | | |
| | n | γ | δ |
| | 26,00952381 | 17,00995717 | 47,22748299 |
| | | | |
| Τελικά W(c4) είναι: | m | α | β |
| | 0,09740022 | 0,253954207 | 0,298826275 |

A.2 ΒΑΡΗ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ECONOMIC COSTS (C1)

$$W_{E1} = \frac{\bar{1} + \bar{8}}{\bar{1} + \bar{8} + \bar{1} + \bar{8}^{-1}} \quad (61)$$

$$W_{E2} = \frac{\bar{1} + \bar{8}^{-1}}{\bar{1} + \bar{8} + \bar{1} + \bar{8}^{-1}} \quad (62)$$

| | | Αριθμητής | |
|---------------------|---|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(E1): | m | 9 | 12 |
| | | Παρονομαστής | |
| | n | 10,125 | 15,00031888 |
| Τελικά W(E1) είναι: | | 0,888888889 | 2,10702388 |

| | | Αριθμητής | |
|---------------------|---|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(E2): | m | 1,125 | 3,000318878 |
| | | Παρονομαστής | |
| | n | 10,125 | 15,00031888 |
| Τελικά W(E2) είναι: | | 0,111111111 | 0,263397037 |

A .2.1 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ CAPITAL COSTS (E1)

$$W_{11} = \frac{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}} \quad (63)$$

$$W_{12} = \frac{\bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}} \quad (64)$$

$$W_{13} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{3} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}} \quad (65)$$

| Αριθμητής | | | |
|---------------------|--|--------------|-------------|
| | | α | β |
| | | m | 9 |
| | | 13 | 17 |
| W(11): | | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | | n | 17 |
| | | 17,44444444 | 29,11136306 |
| 13,00459686 | | | |
| | | | |
| | | α | β |
| Τελικά W(11) είναι: | | m | 17 |
| | | 0,74522293 | 1,530075885 |
| | | 1,759554761 | 1,530075885 |

| | | | | Αριθμητής | | | |
|---------------------|--|---------------|--------------|--------------|--------------|--|--|
| | | m | α | β | | | |
| W(12): | | 2, 111111111 | 2, 000152416 | 6, 000251953 | | | |
| | | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ | | |
| | | 17, 444444444 | 13, 00459686 | 29, 11136306 | | | |
| | | | | Αριθμητής | | | |
| | | m | α | β | | | |
| Τελικά W(12) είναι: | | 0, 121019108 | 0, 316615621 | 0, 434181592 | | | |

| | | | | Αριθμητής | | | |
|---------------------|--|---------------|--------------|--------------|--------------|--|--|
| | | m | α | β | | | |
| W(13): | | 2, 333333333 | 1, 115555556 | 4, 111111111 | | | |
| | | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ | | |
| | | 17, 444444444 | 13, 00459686 | 29, 11136306 | | | |
| | | | | Αριθμητής | | | |
| | | m | α | β | | | |
| Τελικά W(13) είναι: | | 0, 133757962 | 0, 2871649 | 0, 335383537 | | | |

Τελικά τα $W'(11)$, $W'(12)$, $W'(13)$ είναι:

| | | m | α | β |
|----------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| $W'(11)$ | $W(E1) \times W(11)$ | 0, 662420382 | 3, 022398031 | 3, 707423899 |
| $W'(12)$ | $W(E1) \times W(12)$ | 0, 107572541 | 0, 625418935 | 0, 914830983 |
| $W'(13)$ | $W(E1) \times W(13)$ | 0, 118895966 | 0, 335383537 | 0, 706661122 |

Και τα $W''(11)$, $W''(12)$, $W''(13)$ είναι:

| | | m | α | β |
|-----------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W''(11)$ | $W(C1) \times W'(11)$ | 0,254683779 | 2,807217192 | 3,497941611 |
| $W''(12)$ | $W(C1) \times W'(12)$ | 0,041358904 | 1,421141519 | 1,660133824 |
| $W''(13)$ | $W(C1) \times W'(13)$ | 0,045712473 | 0,26672008 | 0,316433206 |

A .2.2 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ MAINTENANCE (E2)

$$W_{21} = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (66)$$

$$W_{22} = \frac{1 + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (67)$$

| | | Αριθμητής | | |
|---------------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | α | β | |
| W(21): | m | 2 | 6 | |
| | 3 | | | |
| | | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ | |
| | 4,5 | 3,027777778 | 9,25 | |
| Τελικά W(21) είναι: | | α | β | |
| | m | 1,814814815 | 1,781893004 | |
| | 0,666666667 | | | |

| | | Αριθμητής | | |
|---------------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | α | β | |
| W(22): | m | 3,027777778 | 9,25 | |
| | 1,5 | | | |
| | | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ | |
| | 4,5 | 3,027777778 | 9,25 | |
| Τελικά W(22) είναι: | | α | β | |
| | m | 0,913580247 | 0,946502058 | |
| | 0,333333333 | | | |

Τελικά τα $W'(21)$, $W'(22)$ είναι:

| | | m | α | β |
|----------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W'(21)$ | $W(E2) \times W(21)$ | 0,074074074 | 0,469345337 | 0,717024875 |
| $W'(22)$ | $W(E2) \times W(22)$ | 0,037037037 | 0,24063433 | 0,373958552 |

Και τα $W''(21)$, $W''(22)$ είναι:

| | | m | α | β |
|-----------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W''(21)$ | $W(C1) \times W'(21)$ | 0,028479596 | 0,435930108 | 0,676510487 |
| $W''(22)$ | $W(C1) \times W'(22)$ | 0,014239798 | 0,223502272 | 0,352828599 |

A.3 ΒΑΡΗ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ENVIRONMENTAL ASPECTS (C2)

$$W_{EA1} = \frac{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9}}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}} \quad (68)$$

$$W_{EA2} = \frac{\bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}} \quad (69)$$

$$W_{EA3} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{9}}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}} \quad (70)$$

$$W_{EA1} = \frac{\bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{6} + \bar{6} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{2} + \bar{6}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{6}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{6}^{-1} + \bar{1}} \quad (71)$$

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| | m | 18 | 26 |
| | 22 | | |
| W(EA1): | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | n | 30,0344898 | 52,36555556 |
| | 40,5 | | |
| Τελικά W(EA1) είναι: | | α | β |
| | m | 1,146802147 | 1,044815592 |
| | 0,543209877 | | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(EA2): | m | 3,000566893 | 11,00111111 |
| | 6,166666667 | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | n | 30,0344898 | 52,36555556 |
| | 40,5 | | |
| Τελικά W(EA2) είναι: | | α | β |
| | m | 0,270961064 | 0,384549725 |
| | 0,152263374 | | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(EA3): | m | 8,005011338 | 12,11222222 |
| | 10,5 | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | n | 30,0344898 | 52,36555556 |
| | 40,5 | | |
| Τελικά W(EA3) είναι: | | α | β |
| | m | 0,532870777 | 0,491331896 |
| | 0,259259259 | | |

| <u>Αριθμητής</u> | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | m | α | β |
| W(EA4): | 1,833333333 | 1,028911565 | 3,252222222 |
| | | | |
| <u>Παρονομαστής</u> | | | |
| | n | γ | δ |
| | 40,5 | 30,0344898 | 52,36555556 |
| | | | |
| Τελικά W(EA4) είναι: | m | α | β |
| | 0,04526749 | 0,083935032 | 0,113871807 |

A .3.1 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ RESOURCE MANAGEMENT (EA1)

$$W_{EA11} = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (72)$$

$$W_{EA12} = \frac{\bar{1} + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (73)$$

| | | Αριθμητής | |
|-----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(EA11): | m | | |
| | 3 | 2 | 6 |
| | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ |
| | 4,5 | 3,027777778 | 9,25 |
| Τελικά W(EA11) είναι: | | α | β |
| | m | | |
| | 0,666666667 | 1,814814815 | 1,781893004 |

| | | Αριθμητής | |
|-----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(EA12): | m | | |
| | 1,5 | 1,027777778 | 3,25 |
| | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ |
| | 4,5 | 3,027777778 | 9,25 |
| Τελικά W(EA12) είναι: | | α | β |
| | m | | |
| | 0,333333333 | 0,913580247 | 0,946502058 |

Τελικά τα $W'(EA11)$, $W'(EA12)$ είναι:

| | | m | α | β |
|------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W'(EA11)$ | $W(EA1) \times W(EA11)$ | 0,362139918 | 1,861749595 | 2,081233527 |
| $W'(EA12)$ | $W(EA1) \times W(EA12)$ | 0,181069959 | 0,954522887 | 1,085450592 |

Και τα $W''(EA11)$, $W''(EA12)$ είναι:

| | | m | α | β |
|-------------|-------------------------|------------|-------------|-------------|
| $W''(EA11)$ | $W(C2) \times W'(EA11)$ | 0,15779806 | 1,755344401 | 2,207159771 |
| $W''(EA12)$ | $W(C2) \times W'(EA12)$ | 0,07889903 | 0,899968723 | 1,151126411 |

A .3.2 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ENERGY USE (EA2)

$$W_{EA21} = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (74)$$

$$W_{EA22} = \frac{\bar{1} + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (75)$$

| | | Αριθμητής | |
|-----------------------|----------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(EA21): | m | 3 | 6 |
| | n | 4,5 | 9,25 |
| | | 3,027777778 | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| Τελικά W(EA21) είναι: | m | 0,666666667 | 1,781893004 |
| | α | 1,814814815 | |
| | β | | |

| | | Αριθμητής | |
|-----------------------|----------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(EA22): | m | 1,5 | 3,25 |
| | n | 4,5 | 9,25 |
| | | 3,027777778 | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| Τελικά W(EA22) είναι: | m | 0,333333333 | 0,946502058 |
| | α | 0,913580247 | |
| | β | | |

Τελικά τα $W'(EA21)$, $W'(EA22)$ είναι:

| | | m | α | β |
|------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W'(EA21)$ | $W(EA2) \times W(EA21)$ | 0,101508916 | 0,482823624 | 0,697886539 |
| $W'(EA22)$ | $W(EA2) \times W(EA22)$ | 0,050754458 | 0,247544676 | 0,363977106 |

Και τα $W''(EA21)$, $W''(EA22)$ είναι:

| | | m | α | β |
|--------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W''(\text{EA21})$ | $W(\text{C2}) \times W'(\text{EA21})$ | 0,044231274 | 0,455228645 | 0,740112569 |
| $W''(\text{EA22})$ | $W(\text{C2}) \times W'(\text{EA22})$ | 0,022115637 | 0,233396673 | 0,385999753 |

A .3.3 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ BIODIVERSITY (EA3) ΚΑΙ RESOURCE EXTRACTION (EA4)

| | | m | α | β |
|------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W'(\text{EA3})$ | $W(\text{C2}) \times W(\text{EA3})$ | 0,112969066 | 0,463250641 | 0,565112433 |
| $W'(\text{EA4})$ | $W(\text{C2}) \times W(\text{EA4})$ | 0,019724758 | 0,079137866 | 0,120761687 |

A .4 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ SOCIAL ASPECTS (C3)

$$W_{S1} = \frac{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (76)$$

$$W_{S2} = \frac{\bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (77)$$

$$W_{S3} = \frac{\bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (78)$$

$$W_{S4} = \frac{\bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{4} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{4}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (79)$$

| | | Αριθμητής | |
|---------------------|-------------|--------------|-------------|
| | m | α | β |
| | 9 | 6 | 14 |
| W(S1): | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ |
| | 30,06111111 | 20,08680208 | 42,76164084 |
| Τελικά W(S1) είναι: | m | α | β |
| | 0,299390131 | 0,625472997 | 0,665770145 |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | | |
|---------------------|--|-------------|--|------------------|---------------------|-------------|----------|
| | | | | m | α | β | |
| W(S2): | | 15,5 | | 11,02777778 | | 19,25 | |
| | | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | | n | γ | δ |
| | | 30,06111111 | | 20,08680208 | | 42,76164084 | |
| | | | | m | α | β | |
| Τελικά W(S2) είναι: | | 0,515616337 | | 1,100304585 | | 0,984896506 | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | | |
|---------------------|--|-------------|--|------------------|---------------------|-------------|----------|
| | | | | m | α | β | |
| W(S3): | | 3,361111111 | | 2,002652416 | | 6,007196397 | |
| | | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | | n | γ | δ |
| | | 30,06111111 | | 20,08680208 | | 42,76164084 | |
| | | | | m | α | β | |
| Τελικά W(S3) είναι: | | 0,111809277 | | 0,225666994 | | 0,274543652 | |

| | | Αριθμητής | | |
|---------------------|--|--------------|--------------|-------------|
| | | m | α | β |
| W(S4): | | 2,2 | 1,056371882 | 3,504444444 |
| | | | Παρονομαστής | |
| | | n | γ | δ |
| | | 30,061111111 | 20,08680208 | 42,76164084 |
| Τελικά W(S4) είναι: | | m | α | β |
| | | 0,073184254 | 0,139244709 | 0,165478982 |

Τα κριτήρια S1, S2, S3 και S4 δεν έχουν υποκριτήρια οπότε είναι:

| | | m | α | β |
|--------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| W'(S1) | W(C3) x W(S1) | 0,036176764 | 0,209384062 | 0,283007716 |
| W'(S2) | W(C3) x W(S2) | 0,062304427 | 0,329705091 | 0,467721015 |
| W'(S3) | W(C3) x W(S3) | 0,013510458 | 0,075544543 | 0,116703899 |
| W'(S4) | W(C3) x W(S4) | 0,008843209 | 0,04661372 | 0,070342338 |

A .5 ΒΑΡΗ ΤΩΝ ΥΠΟΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ TECHNOLOGICAL ASPECTS (C4)

$$W_1 = \frac{\bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (80)$$

$$W_2 = \frac{\bar{1} + \bar{2}^{-1}}{\bar{1} + \bar{2} + \bar{1} + \bar{2}^{-1}} \quad (81)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | α | β | |
| W(TA1): | m | 2 | 6 | |
| | 3 | | | |
| | | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ | |
| | 4,5 | 3,027777778 | 9,25 | |
| Τελικά W(TA1) είναι: | | α | β | |
| | m | 1,814814815 | 1,781893004 | |
| | 0,666666667 | | | |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|--|
| | | α | β | |
| W(TA2): | m | 1,027777778 | 3,25 | |
| | 1,5 | | | |
| | | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ | |
| | 4,5 | 3,027777778 | 9,25 | |
| Τελικά W(TA2) είναι: | | α | β | |
| | m | 0,913580247 | 0,946502058 | |
| | 0,333333333 | | | |

Τα κριτήρια TA1 και TA2 δεν έχουν υποκριτήρια οπότε είναι:

| | | m | α | β |
|---------|----------------|------------|-------------|-------------|
| W'(TA1) | W(C4) x W(TA1) | 0,06493348 | 0,452519225 | 0,542314351 |
| W'(TA2) | W(C4) x W(TA2) | 0,03246674 | 0,232007547 | 0,282839684 |

Οπότε το τελικό διάνυσμα βαρών όλων των υποκριτηρίων είναι:

| Υποκριτήριο | m | α | β |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| W''(11) | 0,254683779 | 2,807217192 | 3,497941611 |
| W''(12) | 0,041358904 | 1,421141519 | 1,660133824 |
| W''(13) | 0,045712473 | 0,26672008 | 0,316433206 |
| W''(21) | 0,028479596 | 0,435930108 | 0,676510487 |
| W''(22) | 0,014239798 | 0,223502272 | 0,352828599 |
| W''(EA11) | 0,044231 | 1,7552444 | 2,20716 |
| W''(EA12) | 0,022116 | 0,89996872 | 1,151126 |
| W''(EA21) | 0,044231 | 0,4552865 | 0,740113 |
| W''(EA22) | 0,022116 | 0,23339667 | 0,386 |
| W'(EA3) | 0,112969066 | 0,463250641 | 0,565112433 |
| W'(EA4) | 0,019724758 | 0,079137866 | 0,120761687 |
| W'(S1) | 0,036176764 | 0,209384062 | 0,283007716 |
| W'(S2) | 0,062304427 | 0,329705091 | 0,467721015 |
| W'(S3) | 0,013510458 | 0,075544543 | 0,116703899 |
| W'(S4) | 0,008843209 | 0,04661372 | 0,070342338 |
| W'(TA1) | 0,06493348 | 0,452519225 | 0,542314351 |
| W'(TA2) | 0,03246674 | 0,232007547 | 0,282839684 |

B ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ

Ongoing Costs $W(11)$

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{5} + \bar{9} + \bar{7}}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (82)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{7}}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (83)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{9}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (84)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{7}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (85)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 22 | 16 | 28 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 43,70793651 | 32,11273617 | 59,006581 | |
| | m | α | β | |
| Τελικά W(X11) είναι: | 0,503341081 | 1,045586681 | 1,010426546 | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(X12): | m | 13,00081633 | 21,00444444 |
| | 17,2 | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| W(X12): | n | 32,11273617 | 59,006581 |
| | 43,70793651 | | |
| | | Αριθμητής | |
| | | α | β |
| Τελικά W(X12) είναι: | m | 0,828708932 | 0,769688297 |
| | 0,393521209 | | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| W(X13): | m | 2,000304832 | 6,000503905 |
| | 2,222222222 | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| W(X13): | n | 32,11273617 | 59,006581 |
| | 43,70793651 | | |
| | | Αριθμητής | |
| | | α | β |
| Τελικά W(X13) είναι: | m | 0,114403683 | 0,174640978 |
| | 0,050842533 | | |

| | | | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--|--|--|--------------|-------------|-------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X14): | | | | 2,285714286 | 1,111615016 | 4,001632653 |
| | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 43,70793651 | 32,11273617 | 59,006581 |
| Τελικά W(X14) είναι: | | | | m | α | β |
| | | | | 0,052295177 | 0,096032322 | 0,129975797 |

| | | | | | X(i,j) | m | α | β |
|--------------------|--|--|--|--|--------|-------------|-------------|-------------|
| Τελικά το X(w11) = | | | | | X(11) | 0,503341081 | 1,045586681 | 1,010426546 |
| | | | | | X(12) | 0,393521209 | 0,828708932 | 0,769688297 |
| | | | | | X(13) | 0,050842533 | 0,114403683 | 0,174640978 |
| | | | | | X(14) | 0,052295177 | 0,096032322 | 0,129975797 |

Demolition/End of Life W(12)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (86)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (87)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (88)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{7}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (89)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 22 | 16 | 28 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 39,7968254 | 28,11340009 | 57,01077349 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,552807913 | 1,193964751 | 1,094090034 | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--|--|------------------|--------------|--------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X12): | | | | 13, 1111111 | 9, 000152416 | 19, 00025195 |
| | | | | | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 39, 7968254 | 28, 11340009 | 57, 01077349 |
| Τελικά W(X12) είναι: | | | | m | α | β |
| | | | | 0, 329451181 | 0, 698106414 | 0, 710163299 |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--|--|------------------|--------------|--------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X13): | | | | 2, 342857143 | 2, 001068279 | 6, 005260771 |
| | | | | | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 39, 7968254 | 28, 11340009 | 57, 01077349 |
| Τελικά W(X13) είναι: | | | | m | α | β |
| | | | | 0, 058870453 | 0, 134616726 | 0, 192485438 |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X14): | | 2,342857143 | 1,11217939 | 4,005260771 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 39,7968254 | 28,11340009 | 57,01077349 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,058870453 | 0,112281053 | 0,142230173 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|--------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(w12) = | X(11) | 0,552807913 | 1,193964751 | 1,094090034 | |
| | X(12) | 0,329451181 | 0,698106414 | 0,710163299 | |
| | X(13) | 0,058870453 | 0,134616726 | 0,192485438 | |
| | X(14) | 0,058870453 | 0,112281053 | 0,142230173 | |

Operation W(13) KAI Adaptability & Flexibility W(21)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{7} + \bar{7} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (90)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (91)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{9}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (92)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{9}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (93)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 20 | 14 | 28 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 39,7968254 | 28,11340009 | 57,01077349 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,502552648 | 0,365154666 | 1,058588549 | |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X12): | | 15,14285714 | 11,00025195 | 19,00081633 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 39,7968254 | 28,11340009 | 57,01077349 | |
| Τελικά W(X12) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,380504148 | 0,821499892 | 0,74624248 | |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X13): | | 2,253968254 | 2,000404368 | 6,001068279 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 39,7968254 | 28,11340009 | 57,01077349 | |
| Τελικά W(X13) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,056636886 | 0,131400356 | 0,190802247 | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--|-------------|--------------|
| | | m | β |
| W(X14): | | 2,4 | 4,008888889 |
| | | 1,112743764 | |
| | | | Παρονομαστής |
| | | n | δ |
| | | 39,7968254 | 57,01077349 |
| | | 28,11340009 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | β |
| | | 0,060306318 | 0,143335667 |
| | | 0,114352176 | |

| | | $X(i,j)$ | m | α | β |
|-----------------------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|
| Τελικά το $X(w13)$ και $X(w21) =$ | X(11) | 0,502552648 | 0,365154666 | 1,058588549 | |
| | X(12) | 0,380504148 | 0,821499892 | 0,74624248 | |
| | X(13) | 0,056636886 | 0,131400356 | 0,190802247 | |
| | X(14) | 0,060306318 | 0,114352176 | 0,143335667 | |

Efficiency & Effectiveness W(22)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (94)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{9} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (95)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{9}^{-1} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (96)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (97)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 18 | 12 | 26 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 33,94285714 | 22,11462837 | 53,0185941 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,53030303 | 1,181866363 | 1,111499079 | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--|--|---------------------|-------------|-------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X12): | | | | 11,14285714 | 7,000251953 | 17,00081633 |
| | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 33,94285714 | 22,11462837 | 53,0185941 |
| | | | | m | α | β |
| Τελικά W(X12) είναι: | | | | 0,328282828 | 0,719012718 | 0,714750352 |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--|--|---------------------|-------------|-------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X13): | | | | 2,4 | 2,001632653 | 6,008888889 |
| | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 33,94285714 | 22,11462837 | 53,0185941 |
| | | | | m | α | β |
| Τελικά W(X13) είναι: | | | | 0,070707071 | 0,169414794 | 0,223096996 |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--|--------------|-------------|
| | | m | β |
| W(X14): | | 2,4 | 4,008888889 |
| | | 1,112743764 | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 33,94285714 | 53,0185941 |
| | | 22,11462837 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | β |
| | | 0,070707071 | 0,164174438 |
| | | 0,14322699 | |

| | | $X(i,j)$ | m | α | β |
|--------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|
| Τελικά το X(w22) = | X(11) | 0,53030303 | 1,181866363 | 1,111499079 | |
| | X(12) | 0,328282828 | 0,719012718 | 0,714750352 | |
| | X(13) | 0,070707071 | 0,169414794 | 0,223096996 | |
| | X(14) | 0,070707071 | 0,14322699 | 0,164174438 | |

Biodiversity W(EA3)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (98)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (99)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (100)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (101)$$

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-----------|
| | m | α | β |
| | 6 | 4 | 12 |
| W(X11): | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ |
| | 19 | 10,33333333 | 33 |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β |
| | 0,315789474 | 0,75900277 | 0,8033241 |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | α | β |
| W(X12): | m | 3, 11111111 | 10 |
| | 6 | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | n | 10, 33333333 | 33 |
| | 19 | | |
| Τελικά W(X12) είναι: | | α | β |
| | m | 0, 712219144 | 0, 698060942 |
| | 0, 315789474 | | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | α | β |
| W(X13): | m | 2, 138888889 | 7, 25 |
| | 4, 5 | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | n | 10, 33333333 | 33 |
| | 19 | | |
| Τελικά W(X13) είναι: | | α | β |
| | m | 0, 52393044 | 0, 510387812 |
| | 0, 236842105 | | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--|--------------|-------------|
| | | m | α |
| W(X14): | | 2,5 | 1,083333333 |
| | | | β |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 19 | 10,33333333 |
| | | m | α |
| Τελικά W(X14) είναι: | | 0,131578947 | 0,2855494 |
| | | | β |
| | | | 0,268928901 |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|--------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|
| Τελικά το X(EA3) = | X(11) | 0,315789474 | 0,75900277 | 0,8033241 | |
| | X(12) | 0,315789474 | 0,712219144 | 0,698060942 | |
| | X(13) | 0,236842105 | 0,52393044 | 0,510387812 | |
| | X(14) | 0,131578947 | 0,2855494 | 0,268928901 | |

Managed Sources of Input Materials W(EA11)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (102)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (103)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (104)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{2}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (105)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 18 | 12 | 26 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 30,27619048 | 19,0079617 | 47,12970522 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,594526581 | 1,321826223 | 1,232015584 | |

| | | <u>Αριθμητής</u> | |
|----------------------|-------------|---------------------|-------------|
| | m | α | β |
| | 11,14285714 | 7,000251953 | 17,00081633 |
| W(X12): | | <u>Παρονομαστής</u> | |
| | n | γ | δ |
| | 30,27619048 | 19,0079617 | 47,12970522 |
| Τελικά W(X12) είναι: | m | α | β |
| | 0,368040264 | 0,804126303 | 0,792586887 |

| | | <u>Αριθμητής</u> | |
|----------------------|-------------|---------------------|-------------|
| | m | α | β |
| | 4,4 | 2,001632653 | 8,008888889 |
| W(X13): | | <u>Παρονομαστής</u> | |
| | n | γ | δ |
| | 30,27619048 | 19,0079617 | 47,12970522 |
| Τελικά W(X13) είναι: | m | α | β |
| | 0,14532872 | 0,292339698 | 0,355767732 |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X14): | | 1,733333333 | 1,006077098 | 3,12 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 30,27619048 | 19,0079617 | 47,12970522 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,057250708 | 0,122349808 | 0,138994345 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|---------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(EA11) = | X(11) | 0,594526581 | 1,321826223 | 1,232015584 | |
| | X(12) | 0,368040264 | 0,804126303 | 0,792586887 | |
| | X(13) | 0,14532872 | 0,292339698 | 0,355767732 | |
| | X(14) | 0,057250708 | 0,122349808 | 0,138994345 | |

Energy Use W(EA12)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (106)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (107)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (108)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (109)$$

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | | α | β |
| | m | 6 | 20 |
| | 12 | | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | |
| | | γ | δ |
| | n | 14,01941043 | 46,45333333 |
| | 27,73333333 | | |
| Τελικά W(X11) είναι: | | α | β |
| | m | 0,941105769 | 0,939883091 |
| | 0,432692308 | | |

| | | Αριθμητής | |
|---------|--|---------------|---------------|
| | | m | β |
| W(X12): | | 7, 333333333 | 13, 11111111 |
| | | 3, 004444444 | |
| | | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 27, 733333333 | 46, 453333333 |

| | | m | α | β |
|----------------------|--|--------------|--------------|--------------|
| Τελικά W(X12) είναι: | | 0, 264423077 | 0, 551241987 | 0, 606424282 |

| | | Αριθμητής | |
|---------|--|---------------|---------------|
| | | m | β |
| W(X13): | | 6, 533333333 | 10, 11555556 |
| | | 4, 005260771 | |
| | | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 27, 733333333 | 46, 453333333 |

| | | m | α | β |
|----------------------|--|--------------|--------------|--------------|
| Τελικά W(X13) είναι: | | 0, 235576923 | 0, 539011807 | 0, 483829512 |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X14): | | 1,866666667 | 1,009705215 | 3,226666667 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 27,73333333 | 14,01941043 | 46,45333333 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,067307692 | 0,149148025 | 0,150370703 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|---------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(EA12) = | X(11) | 0,432692308 | 0,941105769 | 0,939883091 | |
| | X(12) | 0,264423077 | 0,551241987 | 0,606424282 | |
| | X(13) | 0,235576923 | 0,539011807 | 0,483829512 | |
| | X(14) | 0,067307692 | 0,149148025 | 0,150370703 | |

Resource Extraction W(EA4)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (110)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (111)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (112)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (113)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 12 | 6 | 20 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 27,73333333 | 14,01941043 | 46,45333333 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,432692308 | 0,941105769 | 0,939883091 | |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | | α | β | |
| W(X12): | m | | | |
| | 9,2 | 5,000816327 | 15,00444444 | |
| | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 27,73333333 | 14,01941043 | 46,45333333 | |
| Τελικά W(X12) είναι: | | m | α | β |
| | | 0,331730769 | 0,735966935 | 0,708718062 |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | | α | β | |
| W(X13): | m | | | |
| | 4,533333333 | 2,005260771 | 8,115555556 | |
| | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 27,73333333 | 14,01941043 | 46,45333333 | |
| Τελικά W(X13) είναι: | | m | α | β |
| | | 0,163461538 | 0,346103153 | 0,375259253 |

| | | | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--|--|-------------|--------------|-------------|
| | | | | α | β | |
| W(X14): | m | | | 1,013333333 | 3,333333333 | |
| | 2 | | | | | |
| | | | | | Παρονομαστής | |
| | n | | | γ | δ | |
| | 27,73333333 | | | 14,01941043 | 46,45333333 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | | | m | α | β |
| | | | | 0,072115385 | 0,157331731 | 0,156647182 |

| | | | | | X(i,j) | m | α | β |
|--------------------|--|--|--|--|--------|-------------|-------------|-------------|
| Τελικά το X(EA4) = | | | | | X(11) | 0,432692308 | 0,941105769 | 0,939883091 |
| | | | | | X(12) | 0,331730769 | 0,735966935 | 0,708718062 |
| | | | | | X(13) | 0,163461538 | 0,346103153 | 0,375259253 |
| | | | | | X(14) | 0,072115385 | 0,157331731 | 0,156647182 |

Embodied Energy of Materials W(EA21)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (114)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (115)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (116)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{5}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (117)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 8 | 4 | 16 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 22,66666667 | 10,13333333 | 41,55555556 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,352941176 | 0,823529412 | 0,86366782 | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | | |
|----------------------|--|--|--|------------------|---------------------|--------------|----|
| | | | | m | α | β | |
| W(X12): | | | | | 8 | 3, 11111111 | 14 |
| | | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | | n | γ | δ |
| | | | | 22, 66666667 | 10, 13333333 | 41, 55555556 | |
| | | | | m | α | β | |
| Τελικά W(X12) είναι: | | | | 0, 352941176 | 0, 784313725 | 0, 775432526 | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | | |
|----------------------|--|--|--|------------------|---------------------|--------------|-------------|
| | | | | m | α | β | |
| W(X13): | | | | | 4, 66666667 | 2, 00888889 | 8, 22222222 |
| | | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | | n | γ | δ |
| | | | | 22, 66666667 | 10, 13333333 | 41, 55555556 | |
| | | | | m | α | β | |
| Τελικά W(X13) είναι: | | | | 0, 205882353 | 0, 466078431 | 0, 454786621 | |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--|--------------|-------------|
| | | m | β |
| W(X14): | | 2 | 3,33333333 |
| | | | 1,01333333 |
| | | | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 22,66666667 | 41,55555556 |
| | | | |
| | | | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | β |
| | | 0,088235294 | 0,18650519 |
| | | | |
| | | | |

| | | $X(i,j)$ | m | α | β |
|---------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|
| Τελικά το X(EA21) = | X(11) | 0,352941176 | 0,823529412 | 0,86366782 | |
| | X(12) | 0,352941176 | 0,784313725 | 0,775432526 | |
| | X(13) | 0,205882353 | 0,466078431 | 0,454786621 | |
| | X(14) | 0,088235294 | 0,206470588 | 0,18650519 | |

Energy Demand of the Construction Process W(EA22)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (118)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (119)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (120)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (121)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--------------|-------------|-------------|---|
| W(X11): | m | α | β | |
| | 8 | 4 | 16 | |
| | Παρονομαστής | | | |
| | n | γ | δ | |
| | 20 | 10,34666667 | 39,33333333 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | | m | α | β |
| | 0,4 | 0,986666667 | 1,006933333 | |

| | | | | Αριθμητής | | |
|---------|--|--|--|----------------------|--------------|--------------|
| | | | | m | α | β |
| | | | | 5, 333333333 | 3, 004444444 | 11, 11111111 |
| W(X12): | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 20 | 10, 34666667 | 39, 33333333 |
| | | | | Τελικά W(X12) είναι: | | |
| | | | | m | α | β |
| | | | | 0, 266666667 | 0, 674666667 | 0, 693511111 |

| | | | | Αριθμητής | | |
|---------|--|--|--|----------------------|--------------|--------------|
| | | | | m | α | β |
| | | | | 2, 666666667 | 2, 008888889 | 6, 22222222 |
| W(X13): | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 20 | 10, 34666667 | 39, 33333333 |
| | | | | Τελικά W(X13) είναι: | | |
| | | | | m | α | β |
| | | | | 0, 133333333 | 0, 362666667 | 0, 380088889 |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-----|-----------|-------------------------|
| | | m | α |
| W(X14): | | 4 | 1,333333333 |
| | | | Παρονομαστής |
| | n | γ | δ |
| | | 20 | 10,34666667 39,33333333 |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α |
| | | 0,2 | 0,46 0,403466667 |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|---------------------|-------|--------|-------------|-------------|-------------|
| Τελικά το X(EA22) = | X(11) | | 0,4 | 0,986666667 | 1,006933333 |
| | X(12) | | 0,266666667 | 0,674666667 | 0,693511111 |
| | X(13) | | 0,133333333 | 0,362666667 | 0,380088889 |
| | X(14) | | 0,2 | 0,46 | 0,403466667 |

Environmental Profile of Input Materials W(S1)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (122)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (123)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (124)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (125)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 8 | 4 | 16 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 21,33333333 | 10,24 | 40,44444444 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,375 | 0,8984375 | 0,93 | |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| | | α | β | |
| W(X12): | m | | | |
| | 6 | 3, 11111111 | 12 | |
| | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 21, 33333333 | 10, 24 | 40, 44444444 | |
| Τελικά W(X12) είναι: | | m | α | β |
| | | 0, 28125 | 0, 679036458 | 0, 6975 |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | α | β | |
| W(X13): | m | | | |
| | 5, 33333333 | 2, 115555556 | 9, 11111111 | |
| | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 21, 33333333 | 10, 24 | 40, 44444444 | |
| Τελικά W(X13) είναι: | | m | α | β |
| | | 0, 25 | 0, 573125 | 0, 547083333 |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X14): | | 1,666666667 | 1,008888889 | 3,222222222 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 21,33333333 | 10,24 | 40,44444444 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,078125 | 0,195403646 | 0,188541667 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|-------------------|-------|----------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(S1) = | X(11) | 0,375 | 0,8984375 | 0,93 | |
| | X(12) | 0,28125 | 0,679036458 | 0,6975 | |
| | X(13) | 0,25 | 0,573125 | 0,547083333 | |
| | X(14) | 0,078125 | 0,195403646 | 0,188541667 | |

Indoor Environmental Quality W(S2)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (126)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (127)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (128)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (129)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 6 | 4 | 14 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 18,66666667 | 10,45333333 | 38,22222222 | |
| | m | α | β | |
| Τελικά W(X11) είναι: | 0,321428571 | 0,87244898 | 0,93 | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--------------|--------------|------------------|--|---------------------|
| | | m | α | β | | |
| W(X12): | | 6 | 3, 11111111 | 12 | | |
| | | | | | | <u>Παρονομαστής</u> |
| | | n | γ | δ | | |
| | | 18, 66666667 | 10, 45333333 | 38, 22222222 | | |
| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
| Τελικά W(X12) είναι: | | m | α | β | | |
| | | 0, 321428571 | 0, 824829932 | 0, 822857143 | | |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--------------|--------------|------------------|--|---------------------|
| | | m | α | β | | |
| W(X13): | | 4 | 2, 22222222 | 8 | | |
| | | | | | | <u>Παρονομαστής</u> |
| | | n | γ | δ | | |
| | | 18, 66666667 | 10, 45333333 | 38, 22222222 | | |
| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
| Τελικά W(X13) είναι: | | m | α | β | | |
| | | 0, 214285714 | 0, 557823129 | 0, 548571429 | | |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--|--------------|--------------|--------------|
| | | m | α | β |
| W(X14): | | 2,666666667 | 1,12 | 4,222222222 |
| | | | Παρονομαστής | |
| | | n | γ | δ |
| | | 18,666666667 | 10,453333333 | 38,222222222 |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β |
| | | 0,142857143 | 0,352517007 | 0,306190476 |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|-------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(S2) = | X(11) | 0,321428571 | 0,87244898 | 0,93 | |
| | X(12) | 0,321428571 | 0,824829932 | 0,822857143 | |
| | X(13) | 0,214285714 | 0,557823129 | 0,548571429 | |
| | X(14) | 0,142857143 | 0,352517007 | 0,306190476 | |

Ease of Removal of Hazardous Materials W(S3)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (130)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (131)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{2}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (132)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{1}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{2}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{2} + \bar{1}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{2}^{-1} + \bar{1}} \quad (133)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|--|
| | m | α | β | |
| | 8 | 4 | 16 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 21,83333333 | 10,15666667 | 39,69444444 | |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β | |
| | 0,366412214 | 0,849367752 | 0,903276033 | |

| | | | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--|--|--|---------------|---------------|--------------|
| | | | | m | α | β |
| | | | | 7, 333333333 | 3, 004444444 | 13, 11111111 |
| W(X12): | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 21, 833333333 | 10, 156666667 | 39, 69444444 |
| | | | | m | α | β |
| Τελικά W(X12) είναι: | | | | 0, 335877863 | 0, 748256318 | 0, 756756211 |

| | | | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--|--|--|---------------|---------------|--------------|
| | | | | m | α | β |
| | | | | 3, 666666667 | 2, 008888889 | 6, 222222222 |
| W(X13): | | | | Παρονομαστής | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 21, 833333333 | 10, 156666667 | 39, 69444444 |
| | | | | m | α | β |
| Τελικά W(X13) είναι: | | | | 0, 167938931 | 0, 397334266 | 0, 36311093 |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|--------------|--------------|--------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X14): | | 2,833333333 | 1,143333333 | 4,361111111 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 21,833333333 | 10,156666667 | 39,694444444 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,129770992 | 0,288298662 | 0,260113824 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|-------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(S3) = | X(11) | 0,366412214 | 0,849367752 | 0,903276033 | |
| | X(12) | 0,335877863 | 0,748256318 | 0,756756211 | |
| | X(13) | 0,167938931 | 0,397334266 | 0,36311093 | |
| | X(14) | 0,129770992 | 0,288298662 | 0,260113824 | |

Long Term Health Risks W(S4)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (134)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (135)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (136)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{1}} \quad (137)$$

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | m | α | β |
| | 12 | 6 | 20 |
| W(X11): | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ |
| | 29, 6 | 16, 01578231 | 48, 34666667 |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β |
| | 0, 405405405 | 0, 864864865 | 0, 895029889 |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--|--|---------------------|-------------|-------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X12): | | | | 9,333333333 | 5,004444444 | 15,11111111 |
| | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 29,6 | 16,01578231 | 48,34666667 |
| Τελικά W(X12) είναι: | | | | m | α | β |
| | | | | 0,315315315 | 0,684084084 | 0,681119343 |

| | | | | <u>Αριθμητής</u> | | |
|----------------------|--|--|--|---------------------|-------------|-------------|
| | | | | m | α | β |
| W(X13): | | | | 6,666666667 | 4,008888889 | 10,22222222 |
| | | | | <u>Παρονομαστής</u> | | |
| | | | | n | γ | δ |
| | | | | 29,6 | 16,01578231 | 48,34666667 |
| Τελικά W(X13) είναι: | | | | m | α | β |
| | | | | 0,225225225 | 0,503303303 | 0,467208797 |

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|--|--------------|-------------|
| | | m | β |
| W(X14): | | 1,6 | 3,013333333 |
| | | 1,00244898 | |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 29,6 | 48,34666667 |
| | | 16,01578231 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | β |
| | | 0,054054054 | 0,13104903 |
| | | 0,122154808 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|-------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---------|
| Τελικά το X(S4) = | X(11) | 0,405405405 | 0,864864865 | 0,895029889 | |
| | X(12) | 0,315315315 | 0,684084084 | 0,681119343 | |
| | X(13) | 0,225225225 | 0,503303303 | 0,467208797 | |
| | X(14) | 0,054054054 | 0,122154808 | 0,13104903 | |

Maturity & Reliability W(TA1)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (138)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (139)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (140)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}} \quad (141)$$

| | | Αριθμητής | |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|
| | m | α | β |
| | 14 | 8 | 22 |
| W(X11): | | Παρονομαστής | |
| | n | γ | δ |
| | 29,6 | 16,01578231 | 48,34666667 |
| Τελικά W(X11) είναι: | m | α | β |
| | 0,472972973 | 1,042792793 | 0,999156492 |

| | | Αριθμητής | |
|---------|--|--------------|-------------|
| | | m | β |
| W(X12): | | 9,333333333 | 15,11111111 |
| | | 5,004444444 | |
| | | α | β |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 29,6 | 48,34666667 |

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Τελικά W(X12) είναι: | m | α | β |
| | 0,315315315 | 0,684084084 | 0,681119343 |

| | | Αριθμητής | |
|---------|--|--------------|-------------|
| | | m | β |
| W(X13): | | 4,533333333 | 8,115555556 |
| | | 2,005260771 | |
| | | α | β |
| | | Παρονομαστής | |
| | | n | δ |
| | | 29,6 | 48,34666667 |

| | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Τελικά W(X13) είναι: | m | α | β |
| | 0,153153153 | 0,317895446 | 0,357041322 |

| | | Αριθμητής | | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|---|
| | | m | α | β | |
| W(X14): | | 1,733333333 | 1,006077098 | 3,12 | |
| | | | Παρονομαστής | | |
| | | | n | γ | δ |
| | | 29,6 | 16,01578231 | 48,34666667 | |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β | |
| | | 0,058558559 | 0,129634737 | 0,137089903 | |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|--------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(TA1) = | X(11) | 0,472972973 | 1,042792793 | 0,999156492 | |
| | X(12) | 0,315315315 | 0,684084084 | 0,681119343 | |
| | X(13) | 0,153153153 | 0,317895446 | 0,357041322 | |
| | X(14) | 0,058558559 | 0,129634737 | 0,137089903 | |

Efficiency of Production Methods W(TA2)

$$W_{X11} = \frac{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (142)$$

$$W_{X12} = \frac{\bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (143)$$

$$W_{X13} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1}}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (144)$$

$$W_{X14} = \frac{\bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + 1}{\bar{1} + \bar{7} + \bar{5} + \bar{5} + \bar{7}^{-1} + \bar{1} + \bar{3} + \bar{3} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1} + \bar{1} + \bar{5}^{-1} + \bar{3}^{-1} + \bar{1}^{-1} + \bar{1}} \quad (145)$$

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | m | α | β | |
| | 18 | 12 | 26 | |
| W(X11): | | Παρονομαστής | | |
| | n | γ | δ | |
| | 30, 20952381 | 18, 12188461 | 49, 23192744 | |
| | m | α | β | |
| Τελικά W(X11) είναι: | 0, 595838588 | 1, 368253349 | 1, 218083355 | |

| | | <u>Αριθμητής</u> | |
|---------|-------------|---------------------|-------------|
| | m | α | β |
| W(X12): | 7,142857143 | 3,000251953 | 13,00081633 |
| | | <u>Παρονομαστής</u> | |
| | n | γ | δ |
| | 30,20952381 | 18,12188461 | 49,23192744 |

| Τελικά W(X12) είναι: | m | α | β |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0,236443884 | 0,484643193 | 0,572191247 |

| | | <u>Αριθμητής</u> | |
|---------|-------------|---------------------|-------------|
| | m | α | β |
| W(X13): | 2,533333333 | 2,005260771 | 6,115555556 |
| | | <u>Παρονομαστής</u> | |
| | n | γ | δ |
| | 30,20952381 | 18,12188461 | 49,23192744 |

| Τελικά W(X13) είναι: | m | α | β |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0,083858764 | 0,203041577 | 0,252742627 |

| | | Αριθμητής | | |
|----------------------|--|-------------|--------------|-------------|
| | | m | α | β |
| W(X14): | | 2,533333333 | 1,116371882 | 4,115555556 |
| | | | Παρονομαστής | |
| | | n | γ | δ |
| | | 30,20952381 | 18,12188461 | 49,23192744 |
| Τελικά W(X14) είναι: | | m | α | β |
| | | 0,083858764 | 0,17361745 | 0,186538339 |

| | | X(i,j) | m | α | β |
|--------------------|-------|-------------|-------------|-------------|---|
| Τελικά το X(TA2) = | X(11) | 0,595838588 | 1,368253349 | 1,218083355 | |
| | X(12) | 0,236443884 | 0,484643193 | 0,572191247 | |
| | X(13) | 0,083858764 | 0,203041577 | 0,252742627 | |
| | X(14) | 0,083858764 | 0,17361745 | 0,186538339 | |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μητρόπουλος Παναγιώτης. Πολυκριτηριακή ανάλυση στη λήψη αποφάσεων για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και την κατανομή πόρων. *Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Παν/μίου Πατρών*, 2007.
- [2] Ζορμπά Δ. Πολυκριτήρια ανάλυση με χρήση συμβιβαστικού Προγραμματισμού: Εφαρμογή σε αρδευτικά δίκτυα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. *Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπληροφορική - Κατεύθυνση υδάτινων πόρων, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογραφικών, ΑΠΘ*, 2010.
- [3] Μαυρίδου Σ. Περιβαλλοντική αξιολόγηση συμβατικών δομικών υλικών με συνδυασμό των μεθόδων ανάλυσης κύκλου ζωής και πολυκριτήριας ανάλυσης. *Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πρόγραμμα Προστασίας Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ*, 2010.
- [4] Subhabrata Bobby Banerjee. Who sustains whose development? sustainable development and the reinvention of nature. *Organization Studies*, 24(1):143–180, 2003.
- [5] Sharon Beder. 'revoltin' developments: The politics of sustainable development'. *Arena Magazine*, June/July:37–39, 1994.
- [6] G. Buyukozkam and O. Feyzioglu. A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development. *International Journal of Production Economics*, 90:27–45, 2004.
- [7] U. Cebeci. Fuzzy ahp-based decision support system for selecting erp systems in textile industry by using balanced scorecard. *Expert Systems with Applications*, 36:8900–8909, 2009.
- [8] Hwang CL Chen SJ. *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer, 1992.
- [9] P. Chutima and P. Suwanfuji. Fuzzy analytical hierarchy process part routing in fms. *International Journal of Science and Technology*, 3(2):29–47, 1998.
- [10] M. Cowen and R. Shenton. Agrarian doctrines of development: Part 1. *Journal of Peasant Studies*, 25.

- [11] S. Dagdeviren M., Yavuz and N. Kilin. Weapon selection using the ahp and totpsis methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 36:8143–8151, 2009.
- [12] Saul I. Gass Ernest H. Forman. The analytic hierarchy process—an exposition. *Operations Research*, 49:4:469–486, 1999.
- [13] Arturo Escobar. *Encountering Development: The making and unmaking of the Third World*. Princeton University Press, 1995.
- [14] Greco S Figueira, J and editors Ehrgott, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer Science + Business Media, 2005.
- [15] James J. Kennelly Gladwin, Thomas N. and Tara-Shelomith Krause. Shifting paradigms for sustainable development: Implications for management theory and research. *Academy of Management Review*, 20(4):874–907, 1995.
- [16] Serhadlioglu G. Gungor, Z. and E. Kesen. A fuzzy ahp approach to personnel selection problem. *Applied Soft Computing*, 9:641–646, 2009.
- [17] Deng H. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *Int Journal of Approx. Reason*, 21:215–231, 1999.
- [18] Zimmermann H-J. *Fuzzy sets decision making and expert systems*. Kluwer, 1987.
- [19] H. Henderson. Paths to sustainable development. *Futures*, 26(2):125–137, 1994.
- [20] Johan Holmberg and Richard Sandbrook. *Sustainable development: What is to be done?’ in Policies for a small planet*. J. Holmberg (ed.). London:Earthscan, 1992.
- [21] George J. Klir and Bo Yuan. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice Hall, 1995.
- [22] F. Kong and H. Liu. Applying fuzzy analytic hierarchy process to evaluate success factors of ecommerce. *International Journal of Information and Systems sciences*, 1(3-4):406–412, 2005.
- [23] W. Lafferty. The pursuit of sustainable development - concepts, policies and arenas. *International Political Science Review*, 20(2):123–128, 1999.

- [24] Wang MJJ Liou TS. Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets Syst*, 50:247–256, 1992.
- [25] Dagdeviren M. and I. Yuksel. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (ahp) model for behavior-based safety management. *Information Sciences*, 178:1717–1733, 2008.
- [26] Phil Macnaghten and John Urry. *Contested natures*. London: Sage, 1998.
- [27] Kathleen McAfee. Selling nature to save it? biodiversity and green developmentalism. *Environment and Planning*, 17(2):133–154, 1999.
- [28] OECD. Harmful tax competition, an emerging global issue. *OECD*, 1998.
- [29] UN Department of Economic and Social Affairs. *Agenda 21*. 1992.
- [30] Robert Olson. Alternative images of a sustainable future. *Futures*, 26(2):156–169, 1994.
- [31] World Commission on Environment and Development. *Our common future*. Oxford Paperbacks, 1987.
- [32] Vargas LG Saaty TL. *Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process*. Kluwer, 2001.
- [33] Wolfgang Sachs. *Planet Dialectics: Explorations in Environment and Development*. Zed Books, 2000.
- [34] B. Sredjevic and Y.D.P. Medeiros. Fuzzy ahp assessment of water management plans. water resources management. *Water Resource Manage*, 22:877–894, 2008.
- [35] Bonissone PP Tong RM. Linguistic solutions to fuzzy decision problems. *TIMS/Studies in the Management Sciences*, 20:323–334, 1984.
- [36] L.A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information Control*, 8:338–353, 1965.