



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Μ.Β.Α. ΤΕΧΝΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Μ Ε Τ Α Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΕΡΟΧΗΣ (ELECTRE I, PROMETHEE)
ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΟΥ
ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Κ. ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π. – MSc

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. Γ. ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Μ.Β.Α. ΤΕΧΝΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Μ Ε Τ Α Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΕΡΟΧΗΣ (ELECTRE I, PROMETHEE)
ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΤΟΥ
ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Κ. ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π. – MSc

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. Γ. ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2016

Επιβλέπων: Ματσόπουλος Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή την

.....
Ματσόπουλος Γεώργιος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Παναγόπουλος Αθανάσιος
Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Ασκούνης Δημήτριος
Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

στην οικογένειά μου
στους ανθρώπους που έχω δίπλα μου

στους ανθρώπους που πιστεύουν, αισιοδοξούν, αγωνίζονται
και κάνουν τα όνειρά τους πραγματικότητα

σε καιρούς δραματικών αλλαγών,
όσοι μαθαίνουν να κληρονομήσουν τη Γη.
Όσοι έχουν ήδη μάθει έχουν εξοτρίσει τον εαυτό τους
για έναν κόσμο που δεν υπάρχει.

Eric Hoffer

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Γεώργιο Μασόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε κατά την ανάθεση του θέματος. Δεν θα μπορούσα, άλλωστε, να μη μνημονεύσω τα επιστημονικά ερεθίσματα που μου προκάλεσε ως καθηγητής μου, τόσο στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., όσο και στο Μ.Β.Α. Τεχνο-Οικονομικά Συστήματα.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω ακόμη σε όλα τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες του Μ.Β.Α. Τεχνο-Οικονομικά Συστήματα για την πληθώρα γνώσεων που μου μεταλαμπάδευσαν, αλλά και τους νέους δρόμους σκέψης και επιστημονικού σκεπτικισμού που μου άνοιξαν, τα δύο τελευταία έτη.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια, τους φίλους και κυρίως τους ανθρώπους που έχω δίπλα μου, για τη συμπαράστασή τους όλον αυτόν τον καιρό και να εκφράσω τη βεβαιότητα μου ότι θα συνεχίσω να έχω τη στήριξη τους.

Κλείνοντας, θα ήθελα να επισημάνω ότι, παρόλο που καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια για την αρτιότητα του κειμένου που ακολουθεί, σχόλια και παρατηρήσεις είναι πάντοτε κάτι παραπάνω από ευπρόσδεκτα. Άλλωστε, μία ερευνητική εργασία οφείλει, εφόσον ευεληπιστεί να θεωρηθεί επιτυχημένη, να προκαλεί ερεθίσματα για επιστημονικό διάλογο και ανταλλαγή απόψεων.

Αθανασίου Δημήτρης

Αθήνα, Ιανουάριος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη εποχή, ολοένα και μεγαλύτερη σημασία αποδίδεται στην προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Η διεύρυνση του όρου «μνημείο», η επιταγή για εκπόνηση επιστημονικής τεκμηρίωσης, αξιοποιώντας διεπιστημονικές γνώσεις και η διατύπωση των αρχών της αντιστρεψιμότητας και της συμβατότητας, είναι ορισμένες από τις σύγχρονες εξελίξεις στην επιστήμη της αποκατάστασης των μνημείων.

Παράλληλα, η διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης, οδήγησε στην ανάπτυξη της Πολυκριτήριας Ανάλυσης. Η προσπάθεια εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων – παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης ορθολογικής απόφασης οδήγησε τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη θεωριών που επιχειρούν να δώσουν λύση σε προβλήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

Σε ένα πρώτο επίπεδο, πραγματοποιείται μια σύντομη ανασκόπηση της σημασίας που λαμβάνει η προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και ορισμένων κείμενων κανόνων και άρθρων αρχών που τη διέπουν. Επιπροσθέτως, λαμβάνει χώρα μια σύντομη εισαγωγή στην επιστήμη των δομικών υλικών και στις βασικές αρχές της μεθοδολογίας για την αποκατάσταση των υλικών ενός μνημείου. Τέλος, επιχειρείται μια εισαγωγή στις αρχές της Πολυκριτήριας Ανάλυσης, στη Θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής, στην εντροπία κριτηρίων και στις μεθόδους ELECTRE I, με και χωρίς κατώφλι βέτο, PROMETHEE και AHP.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, επιχειρείται η υποστήριξη της απόφασης της επιλογής ενός υλικού καθαρισμού των μαρμάρων του ιστορικού κτιρίου της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος, στα σημεία εκείνα όπου δημιουργείται εύθρυπτη φαιόμαυρη κρούστα. Για το σκοπό αυτό, επεξεργάζονται δεδομένα από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στο

παρελθόν και τα οποία οδήγησαν στην πραγματοποίηση του καθαρισμού των μαρμάρων της Εθνικής Βιβλιοθήκης. Αντικειμενικός σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η παροχή πληροφοριών που θα υποδείξουν τη φυσικοχημικά συμβατή επέμβαση καθαρισμού, κατά τη βέβαιη επανεμφάνιση της φθοράς στο μέλλον αλλά και τη λήψη μέτρων περιορισμού της φθοράς, στην περίπτωση κατά την οποία η πραγματοποιηθείσα επέμβαση δεν αποτελούσε τη βέλτιστη δυνατή.

Μετά τη μελέτη του αντικειμένου της απόφασης, αναλύεται η συνεπής οικογένεια κριτηρίων και οι εναλλακτικές επιλογές του προβλήματος. Στη συνέχεια, διατυπώνονται πέντε διαφορετικά μοντέλα ολικής προτίμησης, δηλαδή πέντε περιπτώσεις βαρύτητας των κριτηρίων, αξιοποιώντας την εντροπία των κριτηρίων και τη μέθοδο AHP. Ακολούθως, επιχειρείται η υποστήριξη της απόφασης, με εφαρμογή των μεθόδων ELECTRE I, με και χωρίς κατώφλι βέτο και PROMETHEE. Επιπλέον, εξετάζεται η επίδραση των κατωφλίων βέτο της μεθόδου ELECTRE I, της βαρύτητας των κριτηρίων απόφασης και των τύπων κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE στην υποστήριξη της απόφασης, ενώ παράλληλα συγκρίνονται τα αποτελέσματα των μεθόδων ELECTRE I και PROMETHEE.

Αποδεικνύεται ότι η εφαρμογή πάστας AB57 για χρονικό διάστημα 1h αποτελεί την πιο συμβατή επέμβαση καθαρισμού. Εναλλακτικά, η εφαρμογή πάστας EDTA για χρονικό διάστημα 1h αποτελεί τη δεύτερη πιο συμβατή επέμβαση. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα των προγενέστερων μελετών και διαπιστώνεται ότι η διαφοροποίηση δεν είναι σημαντική. Τέλος, ορισμένες προτάσεις κατατίθενται, ώστε να αποτελέσουν έρεισμα για περαιτέρω μελέτη, με σκοπό την εύρεση της πλέον συμβατής επέμβασης καθαρισμού της φαιόμαυρης κρούστας των μαρμάρων της ιστορικής κατασκευής.

ABSTRACT

In modern days, protection of the Cultural Heritage is of increasing significance. The expansion of the term «monument», the need for scientific documentation, utilizing interdisciplinarity and the development of the principles of reversibility and compatibility, are some of the recent developments in the field of monuments restoration.

At the same time, comprehending that the solution to difficult and important problems is not possible via a unilateral and one-dimension analysis, led to the growth of the Multicriteria Analysis. The effort of viewing all parameters of a problem and all the criteria – factors that affect the taking of a suitable rational decision, led to the development of theories, which attempts to give a solution to problems of Multicriteria Analysis.

At first, a short overview of the significance of the protection of the Cultural Heritage takes place, as well as certain current rules and unwritten principles concerning it. Additionally, a brief introduction to the science of building materials is being presented, as well as the basic principles of the methodology for the restoration of materials of a monument. Finally, an introduction to the principles of Multicriteria Analysis is attempted, as well as to the Outranking Relations Theory, to the entropy of the criteria and to the methods ELECTRE I, with and without veto, PROMETHEE and AHP.

In the present work, the decision aiding of the choice of a cleaning material for the marbles of the historic structure of the National Library of Greece, where black–grey crusts are presented, is attempted. For this reason, data from previous experiments, that led to the leaning of the historic structure, are being processed. The aim of the present work was to provide information about which is the most physicochemically compatible cleaning operation, as it is assumed that the same type of damage will probably occur again in the near future, as well as to take measures, in case the cleaning that took place was not the best possible.

After the study of the decision object, the consistent family of criteria and the set of alternatives of the problem are being analyzed. Thereafter, five different (global evaluation models, in other words five weight cases, are formulated, taking into account the entropy of the criteria, as well as the AHP method. Besides that, the decision aiding is attempted, using the methods ELECTRE I, with and without veto and PROMETHEE. Furthermore, the influence of the veto of the method ELECTRE I, of the weights of the criteria and of the different criteria types of the PROMETHEE methods, over the results of the decision aiding is being analyzed and the results of the methods ELECTRE I and PROMETHEE are being compared.

It is proven that the use of AB57 poultice for 1h is the most physicochemically compatible cleaning operation. Alternately, the use of EDTA poultice for 1h is the second most physicochemically compatible cleaning operation. The results are being compared with those of the previous studies and it is observed that the differentiation is not important. Finally, a few proposals are made, aiming at motivating to study further, in order to identify the most physicochemically compatible cleaning operation for the black-grey crusts of the marbles of the historic structure.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Abstract.....	iv
Πίνακας Περιεχομένων	1
Ευρετήριο Πινάκων.....	4
Ευρετήριο Σχημάτων	8
Συντμήσεις.....	9
1. Εισαγωγή.....	10
1.1. Σκοπός Της Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	10
1.2. Διάρθρωση Της Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	11
2. Θεωρητικό Μέρος.....	12
2.1. Προστασία Της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.....	12
2.1.1. Αναγκαιότητα Προστασίας Της Πολιτιστικής Κληρονομιάς	12
2.1.2. Κανόνες Που Διέπουν Την Προστασία Της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.....	18
2.1.3. Συστήματα Αξιών	22
2.2. Δομικά Υλικά	25
2.2.1. Κατηγορίες Υλικών.....	25
2.2.2. Κύκλος Ζωής Των Υλικών	27
2.2.3. Φθορά Των Υλικών	30
2.3. Βασικές Αρχές Και Μεθοδολογία Διαγνωστικής Μελέτης	36
2.3.1. Μεθοδολογία Προστασίας Της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.....	36
2.3.2. Διαγνωστική Μελέτη	38
2.3.3. Συμβατότητα Υλικών Αποκατάστασης Της Πολιτιστικής Κληρονομιάς.....	43
3. Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων	47
3.1. Μεθοδολογία Πολυκριτηρίας Ανάλυσης (Multicriteria Analysis).....	47
3.2. Θεωρία Των Σχέσεων Υπεροχής (Outranking Relations Theory).....	53
3.3. Η Μέθοδος ELECTRE I (ELimination Et Choix Traduisant La REalité)..	55
3.4. Η Μέθοδος ELECTRE I Με Βέτο	58

3.5. Η Μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations).....	59
3.6. Εντροπία Κριτηρίων Απόφασης.....	64
3.7. Η Μέθοδος AHP (Analytic Hierarchy Process).....	65
4. Ανάλυση Του Προβλήματος	67
4.1. Η Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος.....	67
4.2. Μελέτη Του Αντικειμένου Απόφασης (Decision Object).....	70
4.3. Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων (Consistent Family Of Criteria)	72
4.4. Εναλλακτικές Επιλογές (Set Of Alternatives).....	74
4.5. Πίνακας Κριτηρίων – Εναλλακτικών	75
5. Παρουσίαση Και Σχολιασμός Των Αποτελεσμάτων.....	76
5.1. Μοντέλο Ολικής Προτίμησης Μέσω Του Υπολογισμού Της Εντροπίας Των Κριτηρίων (1η Περίπτωση Βαρύτητας).....	78
5.2. Μοντέλο Ολικής Προτίμησης Με Εφαρμογή Της Μεθόδου AHP	79
5.2.1. 2η Περίπτωση Βαρύτητας.....	79
5.2.2. 3η Περίπτωση Βαρύτητας.....	81
5.2.3. 4η Περίπτωση Βαρύτητας.....	82
5.2.4. 5η Περίπτωση Βαρύτητας (Ισοδυναμία)	83
5.3. Υποστήριξη Της Απόφασης Με Εφαρμογή Της Μεθόδου ELECTRE I	84
5.4. Υποστήριξη Της Απόφασης Με Εφαρμογή Της Μεθόδου ELECTRE I Με Βέτο	89
5.5. Υποστήριξη Της Απόφασης Με Εφαρμογή Της Μεθόδου PROMETHEE	92
5.5.1. Εφαρμογή Σύνθετες Κριτηρίου	93
5.5.2. Εφαρμογή Σχεδόν Κριτηρίου.....	100
5.5.3. Εφαρμογή Κριτηρίου Γραμμικής Προτίμησης.....	107
5.5.4. Εφαρμογή Κριτηρίου Επιπέδου.....	114
5.5.5. Εφαρμογή Κριτηρίου Γραμμικής Προτίμησης Και Περιοχής Αδιαφορίας	121
5.6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	128
5.6.1. Επίδραση Βέτο Στη Μέθοδο ELECTRE I.....	128
5.6.2. Επίδραση Της Βαρύτητας Των Κριτηρίων.....	129
5.6.3. Επίδραση Των Τύπων Κριτηρίων Της Μεθόδου PROMETHEE....	134
5.6.4. Σύγκριση Των Αποτελεσμάτων Της Παρούσας Μελέτης Με Εκείνα Προγενέστερων Μελετών.....	138
6. Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	139

6.1. Συμπεράσματα	139
6.2. Μελλοντικές Προοπτικές	142
7. Βιβλιογραφία	143

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Η εξέλιξη της αντιμετώπισης των προστατευόμενων περιοχών...	16
Πίνακας 2: Το Σύστημα Αξιών του Alois Riegl (1903).....	22
Πίνακας 3: Το πιο πρόσφατο από τα Συστήματα Αξιών του Bernard M. Feilden (1988).....	23
Πίνακας 4: Το Σύστημα Αξιών του M. Κορρέ (1983).....	23
Πίνακας 5: Γενικές κατηγορίες των υλικών	25
Πίνακας 6: Κύριες ιδιότητες των δομικών υλικών	26
Πίνακας 7: Η μορφή ενός πίνακα n κριτηρίων C_{ij} και m εναλλακτικών επιλογών P_i	55
Πίνακας 8: Η μορφή του πίνακα συμφωνίας και του πίνακα ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I	55
Πίνακας 9: Οι έξι τύποι κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE και τα αντίστοιχα διαγράμματα της συνάρτησης του βαθμού προτίμησης των δύο συγκρινόμενων εναλλακτικών	61
Πίνακας 10: Η κλίμακα της έντασης της σημασίας ενός στοιχείου σχέση με ένα άλλο, στη μέθοδο AHP	65
Πίνακας 11: Οι τιμές της μεταβλητής R_i , συναρτήσει του αριθμού των στοιχείων, n	66
Πίνακας 12: Συνεπής οικογένεια κριτηρίων του προβλήματος.....	73
Πίνακας 13: Οι εναλλακτικές επιλογές του προβλήματος	74
Πίνακας 14: Ο πίνακας κριτηρίων – εναλλακτικών του προβλήματος	75
Πίνακας 15: Η 1η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, n οποία προκύπτει από τον υπολογισμό της εντροπίας τους, H_i	78
Πίνακας 16: Η 2η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, n οποία προκύπτει μέσω της μεθόδου AHP	80
Πίνακας 17: Η 3η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, n οποία προκύπτει μέσω της μεθόδου AHP	81
Πίνακας 18: Η 4η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, n οποία προκύπτει μέσω της μεθόδου AHP	82
Πίνακας 19: Η 5η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, κατά την οποία όλα τα κριτήρια είναι ισοδύναμα μεταξύ τους	83
Πίνακας 20: Ο πίνακας συμφωνίας και ο πίνακας ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I, για την 1η περίπτωση βαρύτητας	86
Πίνακας 21: Ο πίνακας συμφωνίας και ο πίνακας ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I, για τη 2η περίπτωση βαρύτητας	87
Πίνακας 22: Ο πίνακας συμφωνίας και ο πίνακας ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I, για την 3η περίπτωση βαρύτητας	87
Πίνακας 23: Ο πίνακας συμφωνίας και ο πίνακας ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I, για την 4η περίπτωση βαρύτητας	88

Πίνακας 24: Ο πίνακας συμφωνίας και ο πίνακας ασυμφωνίας (δεξιά) της μεθόδου ELECTRE I, για την 5η περίπτωση βαρύτητας.....	88
Πίνακας 25: Τα κατώφλια αδιαφορίας βέτο των κριτηρίων.....	89
Πίνακας 26: Ο πίνακας ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I με βέτο.....	91
Πίνακας 27: Οι τιμές των κατωφλίων αδιαφορίας, q και προτίμησης, p, της μεθόδου PROMETHEE, για τα κριτήρια του προβλήματος	92
Πίνακας 28: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το σύνθητες κριτήριο της μεθόδου PROMETHEE.....	94
Πίνακας 29: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθητες κριτήριο για την 1η περίπτωση βαρύτητας	95
Πίνακας 30: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθητες κριτήριο για τη 2η περίπτωση βαρύτητας	96
Πίνακας 31: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθητες κριτήριο για την 3η περίπτωση βαρύτητας	97
Πίνακας 32: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθητες κριτήριο για την 4η περίπτωση βαρύτητας	98
Πίνακας 33: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθητες κριτήριο για την 5η περίπτωση βαρύτητας	99
Πίνακας 34: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο της μεθόδου PROMETHEE	101
Πίνακας 35: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 1η περίπτωση βαρύτητας.....	102
Πίνακας 36: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για τη 2η περίπτωση βαρύτητας.....	103
Πίνακας 37: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 3η περίπτωση βαρύτητας.....	104
Πίνακας 38: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 4η περίπτωση βαρύτητας.....	105
Πίνακας 39: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 5η περίπτωση βαρύτητας.....	106
Πίνακας 40: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης της μεθόδου PROMETHEE	108
Πίνακας 41: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 1η περίπτωση βαρύτητας.....	109
Πίνακας 42: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για τη 2η περίπτωση βαρύτητας.....	110
Πίνακας 43: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 3η περίπτωση βαρύτητας.....	111
Πίνακας 44: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 4η περίπτωση βαρύτητας.....	112

Πίνακας 45: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 5η περίπτωση βαρύτητας.....	113
Πίνακας 46: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου της μεθόδου PROMETHEE.....	115
Πίνακας 47: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 1η περίπτωση βαρύτητας	116
Πίνακας 48: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για τη 2η περίπτωση βαρύτητας	117
Πίνακας 49: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 3η περίπτωση βαρύτητας	118
Πίνακας 50: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 4η περίπτωση βαρύτητας	119
Πίνακας 51: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 5η περίπτωση βαρύτητας	120
Πίνακας 52: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας της μεθόδου PROMETHEE.....	122
Πίνακας 53: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 1η περίπτωση βαρύτητας	123
Πίνακας 54: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για τη 2η περίπτωση βαρύτητας	124
Πίνακας 55: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 3η περίπτωση βαρύτητας	125
Πίνακας 56: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 4η περίπτωση βαρύτητας	126
Πίνακας 57: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 5η περίπτωση βαρύτητας	127
Πίνακας 58: Οι εναλλακτικές επιλογές που κρίνονται επιλέξιμες μετά την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο, για κάθε περίπτωση βαρύτητας.....	128
Πίνακας 59: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 1ης περίπτωσης βαρύτητας... ..	131
Πίνακας 60: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 2ης περίπτωσης βαρύτητας... ..	131
Πίνακας 61: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 3ης περίπτωσης βαρύτητας... ..	132
Πίνακας 62: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 4ης περίπτωσης βαρύτητας... ..	132

Πίνακας 63: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 5ης περίπτωσης βαρύτητας...	133
Πίνακας 64: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το σύννηθες κριτήριο, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου	136
Πίνακας 65: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου	136
Πίνακας 66: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου	136
Πίνακας 67: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου	137
Πίνακας 68: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου.	137
Πίνακας 69: Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από προγενέστερες μελέτες, μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας της Ασαφούς Λογικής στα δεδομένα του προβλήματος	138

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Παραδείγματα παλιών και νεότερων παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς	13
Σχήμα 2: Κύριοι παράγοντες για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό του κύκλου ζωής ενός υλικού.....	27
Σχήμα 3: Η μεταβολή των ιδιοτήτων (συνεχής γραμμή) ή του κόστους (διακεκομμένη γραμμή) ενός υλικού, σαν συνάρτηση του χρόνου ή αριθμού κύκλων λειτουργίας.....	29
Σχήμα 4: Μηχανισμός κατάρρευσης τοιχοποιίας από όξινη ανθρακική κρούστα	33
Σχήμα 5: Μηχανισμός κυψέλωσης αλάτων σε τοιχοποιία.....	34
Σχήμα 6: Μεθοδολογία διαγνωστικής μελέτης.....	39
Σχήμα 7: Τμήμα του τοίχους της μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου, στο οποίο είχαν χρησιμοποιηθεί ασύμβατατσιμεντιτικά κονιάματα ως υλικό αποκατάστασης	45
Σχήμα 8: Οι εμπλεκόμενοι φορείς μιας απόφασης και ο τρόπος με τον οποίο αλληλοεπιδρούν	49
Σχήμα 9: Τα τέσσερα είδη προβληματικής της απόφασης	51
Σχήμα 10: Τα βήματα λήψης της απόφασης	52
Σχήμα 11: Η Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος	69
Σχήμα 12: Διάγραμμα ροής της υπολογιστικής διαδικασίας που ακολουθείται στην παρούσα εργασία.....	77

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

ΓΟΚ	Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός
ΕΒΕ	Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (National Technical University of Athens)
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (United Nations)
ΑΗΡ	Analytic Hierarchy Process
CIAM	Διεθνές Συνέδριο Μοντέρνας Αρχιτεκτονικής (Congrès International d'Architecture Moderne – International Congresses of Modern Architecture)
CPI	Cleaning Performance Index
DA	Υποστήριξη της Απόφασης (Decision Aiding)
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la Réalité
MBA	Οργάνωση και Διοίκηση Επιχειρήσεων (Master in Business Administration)
MCA	Πολυκριτήρια Ανάλυση (Multi Criteria Analysis)
NDT	Μη Καταστρεπτική Τεχνική (Non-Destructive Technique)
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations
UNESCO	Εκπαιδευτική Επιστημονική και Πολιτιστική Οργάνωση των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη σύγχρονη εποχή, ολοένα και μεγαλύτερη σημασία αποδίδεται στην προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Η διεύρυνση του όρου «μνημείο», η επιταγή για εκπόνηση επιστημονικής τεκμηρίωσης, αξιοποιώντας διεπιστημονικές γνώσεις και η διατύπωση των αρχών της αντιστρεψιμότητας και της συμβατότητας, είναι ορισμένες από τις σύγχρονες εξελίξεις στην επιστήμη της αποκατάστασης των μνημείων.

Παράλληλα, η διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης, οδήγησε στην ανάπτυξη της Πολυκριτήριας Ανάλυσης. Η προσπάθεια εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων – παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης ορθολογικής απόφασης οδήγησε τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη θεωριών που επιχειρούν να δώσουν λύση σε προβλήματα Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, επιχειρείται η υποστήριξη της απόφασης της επιλογής ενός υλικού καθαρισμού των μαρμάρων του ιστορικού κτιρίου της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος, στα σημεία εκείνα όπου δημιουργείται εύθρυπτη φαιόμαυρη κρούστα. Για το σκοπό αυτό, επεξεργάζονται δεδομένα από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν και τα οποία οδήγησαν στην πραγματοποίηση του καθαρισμού των μαρμάρων της Εθνικής Βιβλιοθήκης. Αντικειμενικός σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η παροχή πληροφοριών που θα υποδείξουν την φυσικοχημικά συμβατή επέμβαση καθαρισμού, κατά τη βέβαιη επανεμφάνιση της φθοράς στο μέλλον αλλά και τη λήψη μέτρων περιορισμού της φθοράς, στην περίπτωση κατά την οποία η πραγματοποιηθείσα επέμβαση δεν αποτελούσε τη βέλτιστη δυνατή.

1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σε ένα πρώτο επίπεδο, πραγματοποιείται μια σύντομη ανασκόπηση της σημασίας που λαμβάνει η προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς και ορισμένων κείμενων κανόνων και άρθρων αρχών που τη διέπουν. Επιπροσθέτως, λαμβάνει χώρα μια σύντομη εισαγωγή στην επιστήμη των δομικών υλικών και στις βασικές αρχές της μεθοδολογίας για την αποκατάσταση των υλικών ενός μνημείου. Τέλος, επιχειρείται μια εισαγωγή στις αρχές της Πολυκριτήριας Ανάλυσης, στη Θεωρία των Σχέσεων Υπεροχής, στην εντροπία κριτηρίων και στις μεθόδους ELECTRE I, με και χωρίς κατώφλι βέτο, PROMETHEE και AHP.

Μετά τη μελέτη του αντικειμένου της απόφασης, αναλύεται η συνεπής οικογένεια κριτηρίων και οι εναλλακτικές επιλογές του προβλήματος. Στη συνέχεια, διατυπώνονται πέντε διαφορετικά μοντέλα ολικής προτίμησης, δηλαδή πέντε περιπτώσεις βαρύτητας των κριτηρίων, αξιοποιώντας την εντροπία των κριτηρίων και τη μέθοδο AHP. Ακολούθως, επιχειρείται η υποστήριξη της απόφασης, με εφαρμογή των μεθόδων ELECTRE I, με και χωρίς κατώφλι βέτο και PROMETHEE. Επιπλέον, εξετάζεται η επίδραση των κατωφλίων βέτο της μεθόδου ELECTRE I, της βαρύτητας των κριτηρίων και των τύπων κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE στην υποστήριξη της απόφασης, ενώ παράλληλα συγκρίνονται τα αποτελέσματα των μεθόδων ELECTRE I και PROMETHEE. Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα των προγενέστερων μελετών. Τέλος μία σειρά από συμπεράσματα διατυπώνεται και ορισμένες προτάσεις κατατίθενται, ώστε να αποτελέσουν έρεισμα για περαιτέρω μελέτη, με σκοπό την εύρεση της πλέον συμβατής επέμβασης καθαρισμού της φαιόμαυρης κρούστας των μαρμάρων της ιστορικής κατασκευής.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

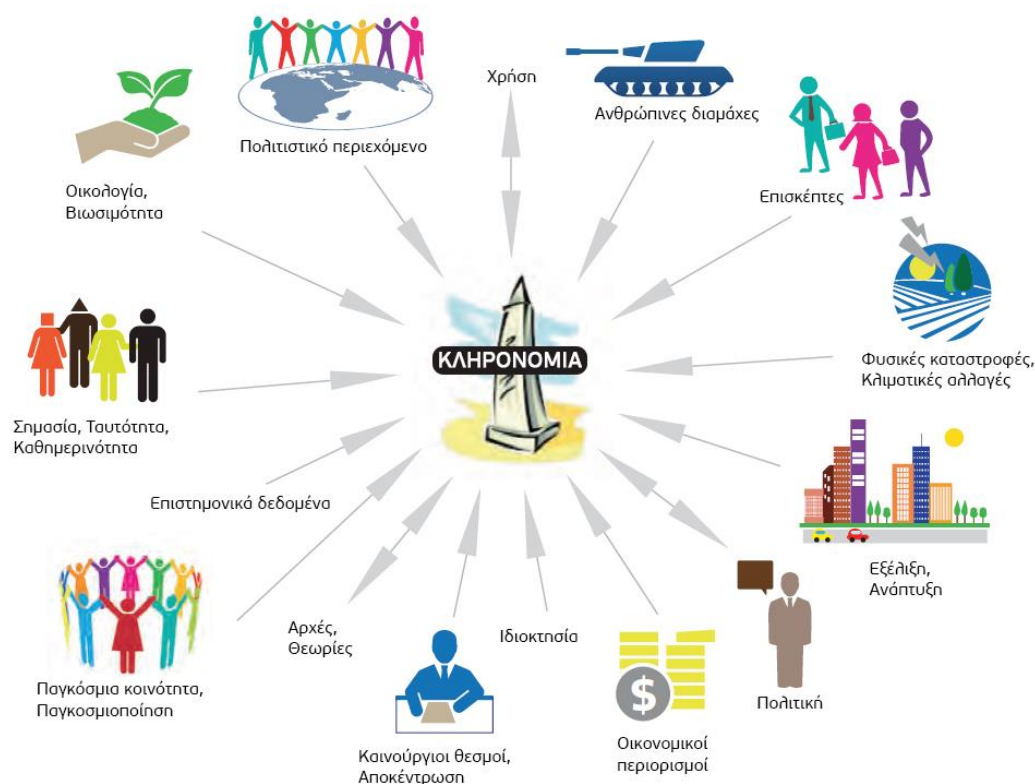
2.1.1. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Στη σύγχρονη εποχή, ολοένα και μεγαλύτερη σημασία αποδίδεται στην προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς από κάθε κοινωνία. Ο λόγος που αυτό συμβαίνει δεν είναι απόλυτα σαφής, αλλά μάλλον έχει να κάνει με την αυξανόμενη ταχύτητα του εκσυγχρονισμού και των πολλών αλλαγών στην κοινωνία. Υπό τέτοιες συνθήκες, τα στοιχεία του παρελθόντος μίας κοινωνίας μπορούν να προσφέρουν το αίσθημα του ανήκειν και της ασφάλειας στις σύγχρονες κοινωνίες και να δράσουν ως μια άγκυρα σε έναν ταχέως μεταβαλλόμενο κόσμο. Επιπλέον, σε πολλές κοινωνίες η κληρονομιά μπορεί να αποτελέσει το στοιχείο καθορισμού της εθνικής ταυτότητας. Η κατανόηση του παρελθόντος μπορεί επίσης να αποτελέσει μεγάλη βοήθεια για τη διαχείριση των προβλημάτων του παρόντος και του μέλλοντος [1].

Το εύρος αυτού που θεωρείται ως κληρονομιά έχει διευρυνθεί σημαντικά κατά τα τελευταία χρόνια. Παλαιότερα, η κληρονομιά έτεινε να αποτελείται από μεμονωμένα μνημεία και κτίρια, όπως χώρους λατρείας ή οχυρωματικά έργα και συχνά θεωρούταν ως κάτι αυτόνομο, χωρίς ιδιαίτερη σχέση με το περιβάλλον τοπίο. Σήμερα, αναγνωρίζεται ότι τα στοιχεία που περιβάλλουν το μνημείο έχουν επηρεαστεί από την αλληλεπίδρασή τους με την ανθρωπότητα και ως εκ τούτου μπορούν να αναγνωριστούν ως κληρονομιά. Παράλληλα, κρίνεται σκόπιμη η πιο προσεκτική κρίση του κατά πόσον κάτι είναι μνημείο ή όχι, με την εισαγωγή διαφόρων κριτηρίων και συστημάτων αξιών (βλ. §2.1.3). Άλλωστε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, ένα σύνολο από παράγοντες επηρεάζουν πλέον την πολιτιστική κληρονομιά.

Μεγαλύτερη Ποδηλοκόκτττ

Μεγαλύτερη Ανάγκη για
Κατάλληλη Διαχείριση



Σχήμα 1: Παραδείγματα παλιών και νεότερων παραγόντων που επηρεάζουν τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς [2].

Αναπόφευκτα, αυτή η επέκταση της έννοιας της κληρονομιάς οδήγησε με τη σειρά της σε μια τεράστια επέκταση των τύπων των κατασκευών και των τοποθεσιών οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως κληρονομιά. Η Σύμβαση για την Παγκόσμια Κληρονομιά (World Heritage Convention) αναγνωρίζει ότι η κληρονομιά μπορεί να οριστεί ως «μνημεία, ομάδες κτιρίων και τόποι». Στην πράξη, το ευρύ αυτό σύνολο περιλαμβάνει: αστικά κέντρα, αρχαιολογικούς χώρους, βιομηχανική κληρονομιά, πολιτιστικά τοπία και διαδρομές πολιτιστικής κληρονομιάς. Η έννοια ενός ιστορικού μνημείου δεν καλύπτει μόνο το μεμονωμένο αρχιτεκτονικό έργο αλλά και την αστική ή την αγροτική τοποθεσία που μαρτυρά έναν ιδιαίτερο πολιτισμό μια ενδεικτική εξέλιξη ή ένα ιστορικό γεγονός. Αυτό ισχύει όχι μόνο για τις μεγάλες δημιουργίες αλλά και για τα ταπεινά έργα που με τον καιρό απέκτησαν πολιτιστική σημασία [3]. Αυτό αυξάνει

σημαντικά το φάσμα των περιοχών που πρέπει να απασχολούν τους υπευθύνους για τη διαχείριση της κληρονομιάς και έτσι διευρύνει το φάσμα των δεξιοτήτων που απαιτούνται για το σκοπό αυτό. Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων, αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να βασίζεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της μνημειακής κληρονομιάς [3]. Επίσης, αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό τα είδη και ο αριθμός των απειλών που μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις σε τόπους πολιτιστικής κληρονομιάς. Εκτός από τις άμεσες απειλές για τα στοιχεία του ίδιου του τόπου κληρονομιάς, είναι πολύ πιο συχνές οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούνται από δυσμενείς εξελίξεις στον περιβάλλον χώρο του. Υπό τις συνθήκες αυτές, οι αποφάσεις που λαμβάνονται για την ευρύτερη οικονομική ή κοινωνική πολιτική που εφαρμόζεται στην κάθε περιοχή, πρέπει να είναι συμβατές με την ευημερία του τόπου που αποτελεί κληρονομιά [1].

Η αναγνώριση ότι οι τοποθεσίες πολιτιστικής κληρονομιάς δεν είναι απομονωμένες έχει οδηγήσει στην αντιμετώπιση του περιβάλλοντος τους ως ένα φυσικό περιβάλλον και παράλληλα, σε μία σειρά από κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές απειλές και ευκαιρίες. Οτιδήποτε συμβαίνει σε αυτό το περιβάλλον μπορεί να έχει επίδραση στην πολιτιστική κληρονομιά και τη σημασία της. Αυτό σημαίνει ότι ένα σύστημα διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι απαραίτητο και ότι όλοι όσοι συμμετέχουν σε αυτό πρέπει να έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν τις αποφάσεις σχετικά με το τι γίνεται στο περιβάλλον του μνημείου. Γενικότερα, η αλλαγή στη γύρω περιοχή είναι μάλλον αναπόφευκτη, αλλά πρέπει να ελέγχεται ώστε να μη βλάψει τις αξίες που δηλώνει η πολιτιστική κληρονομιά. Πράγματι, μπορεί να αποτελέσει εφαλτήριο για νέες χρήσεις των μνημείων, γεγονός που μπορεί, εφόσον γίνεται υπό όρους και προϋποθέσεις, να οδηγήσει στην ομαλή ένταξη των μνημείων στη σύγχρονη ζωή [2].

Σήμερα, οι κοινότητες εμπλέκονται όλο και περισσότερο στην κληρονομιά τους (Πίνακας 1). Υπάρχει ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση σχετικά με τη συμβολή της πολιτιστικής κληρονομιάς στην αειφόρο ανάπτυξη και την

κοινωνική συνοχή. Αυτό συνδέεται με το ολόένα και πιο ευρύ φάσμα του τι μπορεί να θεωρηθεί ως κληρονομιά, συμπεριλαμβανομένων, για παράδειγμα, ολόκληρο τοπίων, αστικών κέντρων, πρώην βιομηχανικών και στρατιωτικών εγκαταστάσεων, καθώς και ό,τι έχει παραδοσιακά θεωρηθεί ως κληρονομιά, όπως αρχαιολογικοί χώροι, ερείπια και σημαντικά κτίρια.

Η πολυπλοκότητα της πολιτιστικής κληρονομιάς θα πρέπει, επομένως, να υποχρεώσει την κοινωνία στην ολοκληρωμένη διαχείριση της, αντί για τη διατήρηση μόνο συγκεκριμένων δομών, όπως συνέβη στο παρελθόν. Λόγω του πολύ διευρυμένου πεδίου εφαρμογής του τι θεωρείται ως κληρονομιά, αυξάνεται η πολυπλοκότητα των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα μνημεία, καθώς και η ανάγκη να τη χρησιμοποιήσουν με βιώσιμο τρόπο, είτε για τουρισμό, είτε για άλλους σκοπούς. Κατά συνέπεια, η φροντίδα της κληρονομιάς συνεπάγεται αναπόφευκτα τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το ποια αλλαγή είναι, ή δεν είναι αποδεκτή. Σημαντικό στοιχείο είναι κάθε αλλαγή να αποτελεί προϊόν διαλόγου, εξακριβωμένης επιστημονικής τεκμηρίωσης και να καταγράφεται πλήρως για μελλοντική αναφορά [3].

Πίνακας 1: Η εξέλιξη της αντιμετώπισης των προστατευόμενων περιοχών (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα) [4].

Αντικείμενο	Στο παρελθόν, οι προστατευόμενες περιοχές:	Πλέον, οι προστατευόμενες περιοχές:
Στόχοι	<ul style="list-style-type: none"> • Αναφέρονταν στη διατήρηση. • Αφορούσαν την προστασία. • Κηρύσσονταν κυρίως για την προστασία θεαματικών τοπίων. • Η διαχείριση γινόταν κυρίως για τους επισκέπτες και τους τουρίστες. 	<ul style="list-style-type: none"> • Αξιοποιούνται επίσης για την επίτευξη κοινωνικών και οικονομικών στόχων. • Συχνά εξυπηρετούν επιστημονικούς και πολιτιστικούς σκοπούς. • Η διαχείριση λαμβάνει περισσότερο υπόψη τους κατοίκους της περιοχής.
Διακυβέρνηση	<ul style="list-style-type: none"> • Διευθύνονταν από την κεντρική κυβέρνηση. 	<ul style="list-style-type: none"> • Διευθύνονται από οργανισμούς, με τη συμμετοχή πλήθους ενδιαφερόμενων.
Κάτοικοι	<ul style="list-style-type: none"> • Η διαχείριση γίνονταν εναντίων των ανθρώπων. • Η διαχείριση γινόταν χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές γνωμοδοτήσεις. 	<ul style="list-style-type: none"> • Αξιοποιούνται με, για, και σε ορισμένες περιπτώσεις από τους κατοίκους. • Η διαχείριση γίνεται και για την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων της περιοχής.
Ευρύτερο πλαίσιο	<ul style="list-style-type: none"> • Η ανάπτυξη κάθε μιας γινόταν χωριστά. • Η διαχείριση εφαρμόζε το μοντέλο των «νησιών», δηλαδή καθένα ήταν ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα. 	<ul style="list-style-type: none"> • Γίνεται προγραμματισμός ως μέρος εθνικών, περιφερειακών και διεθνών προγραμμάτων. • Διαχειρίζονται ως «δίκτυα», δηλαδή αυστηρά προστατευόμενες περιοχές, ρυθμισμένες, αλλά και συνδεδεμένες μεταξύ τους.
Αντιλήψεις	<ul style="list-style-type: none"> • Θεωρούνταν πρωτίστως ένα εθνικό προτέρημα. • Προκαλούσαν ανησυχία μόνο σε εθνικό επίπεδο. 	<ul style="list-style-type: none"> • Θεωρούνται επίσης προτέρημα της τοπικής κοινωνίας. • Προκαλούν επίσης διεθνή ανησυχία.

Αντικείμενο	Στο παρελθόν, οι προστατευόμενες περιοχές:	Πλέον, οι προστατευμένες περιοχές:
Τεχνικές διαχείρισης	<ul style="list-style-type: none"> • Η διαχείριση γινόταν μέσα ένα σύντομο χρονοδιάγραμμα. • Η διαχείριση γινόταν με τεχνοκρατικούς τρόπους. 	<ul style="list-style-type: none"> • Η διαχείριση γίνεται καθόλη τη διάρκεια ζωής (lifetime). • Η διαχείριση γίνεται με πολιτικά κριτήρια.
Οικονομία	<ul style="list-style-type: none"> • Το κόστος κάλυπταν οι φορολογούμενοι. 	<ul style="list-style-type: none"> • Οι πηγές χρηματοδότησης είναι πολλές.
Δεξιότητες διαχείρισης	<ul style="list-style-type: none"> • Η διαχείριση γινόταν από τους επιστήμονες. • Υπήρχε καθοδήγηση από εμπειρογνώμονες. 	<ul style="list-style-type: none"> • Υπεύθυνοι για τη διαχείριση είναι άτομα πολλών ειδικοτήτων. • Το σχέδιο διαχείρισης βασίζεται στην τοπική γνώση.

2.1.2. ΚΑΝΟΝΕΣ ΠΟΥ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Κατά τη διαδικασία μιας μελέτης αποκατάστασης και συντήρησης ενός μνημείου πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη οι βασικές αρχές που έχουν γίνει αποδεκτές τόσο διεθνώς, όσο και στο εκάστοτε τοπικό νομικό δίκαιο. Οι πρώτες αναφορές στην προστασία πολιτιστικών αγαθών σε διεθνές επίπεδο εμφανίζονται το 17ο αιώνα σε συνθήκες ειρήνης και αφορούν την επιστροφή έργων τέχνης που αφαιρέθηκαν κατά τη διάρκεια εχθροπραξιών. Κατά τον 19^ο αιώνα ξεκινά ο ορισμός της έννοιας του μνημείου και ο προβληματισμός της προστασίας και αποκατάστασης. Οι εθνικοί κατάλογοι μνημείων ξεκίνησαν από το πρώτο μισό του 19ου αιώνα, ενώ το 1890 ιδρύονται οι πρώτες οργανώσεις για την προστασία των τόπων φυσικού κάλλους και εμφανίζονται οι πρώτες ιδιωτικές πρωτοβουλίες για την προστασία των παιδιών πόλεων. Η Νομοθεσία διαμορφώνεται σταδιακά από τα τέλη του 19ου αιώνα.

Το 1931 το διοργανώνεται το 1ο συνέδριο για τη διατήρηση των μνημείων στην Αθήνα, με συμμετοχή 118 ευρωπαϊών επιστημόνων (αρχαιολόγων, ιστορικών τέχνης, αρχιτεκτόνων, συντηρητών μνημείων). Συζητούνται οι βασικές αρχές αποκατάστασης, τα υλικά και οι τεχνικές, η χρήση των μνημείων και για πρώτη φορά εμφανίζεται ο όρος «κληρονομιά της ανθρωπότητας». Ακολουθεί το 1933 το συνέδριο του CIAM (Congrès International d'Architecture Moderne – International Congresses of Modern Architecture – Διεθνές Συνέδριο Μοντέρνας Αρχιτεκτονικής) στην Αθήνα, από τα αποτελέσματα του οποίου συντάσσεται η Χάρτα της Αθήνας (1943).

Το 1964 δημοσιεύεται η Χάρτα της Βενετίας [3]. Καταρτίστηκε κατά τη διάρκεια του δευτέρου Διεθνούς Συνεδρίου Αρχιτεκτόνων και Τεχνικών των Ιστορικών Μνημείων, που πραγματοποιήθηκε στη Βενετία στις 25 – 31 Μαΐου 1964 και που διοργανώθηκε από το ICOMOS (Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών – International Council on Monuments and Sites). Η Χάρτα αυτή αναγνωρίζεται διεθνώς ως ένα διαχρονικό πλαίσιο κατευθυντήριων αρχών που διέπουν τη θεωρία και κυρίως την πράξη της αποκατάστασης και της

συντήρησης κάθε είδους μνημείων. Περιλαμβάνει 16 άρθρα και εισάγει έννοιες όπως αυτή της διεπιστημονικότητας, ενώ επεκτείνει την έννοια του ιστορικού μνημείου, ώστε αυτό να περιλαμβάνει την μεμονωμένη αρχιτεκτονική δημιουργία καθώς και την αστική ή αγροτική τοποθεσία που αποτελεί μαρτυρία ενός ειδικού πολιτισμού, μιας σημαντικής εξέλιξης, ή ενός ιστορικού γεγονότος. Καλύπτει όχι μόνο τις μεγάλες, αλλά και τις ταπεινές δημιουργίες, επιτρέπονται οι απαραίτητες διαρρυθμίσεις για την εξυπηρέτηση της τυχόν απαιτούμενης νέας χρήσης και αποκλείεται κάθε προσθήκη ή κατεδάφιση που θα μπορούσε να αλλάξει το άμεσο παραδοσιακό περιβάλλον. Επιπλέον, επιβάλλεται η διατήρηση των αξιολογών προσθηκών όλων των περιόδων του μνημείου και ορίζει ότι η αποκατάσταση σταματά εκεί που τελειώνουν οι ενδείξεις και ξεκινούν οι υποθέσεις για το μνημείο. Οι προσθήκες των στοιχείων που λείπουν πρέπει να είναι ορατές και να ξεχωρίζουν, ενώ προσθήκες σύγχρονων στοιχείων, επιτρέπονται με πολλούς περιορισμούς.

Το 1972 υπογράφεται η σύμβαση για την προστασία της πολιτιστικής και φυσικής παγκόσμιας κληρονομιάς, ενώ ακολουθεί το 1975 η Διακήρυξη του Άμστερνταμ (Ευρωπαϊκή Χάρτα για την Αρχιτεκτονική Κληρονομιά). Στην τελευταία εισάγεται ο όρος της «αρχιτεκτονικής κληρονομιάς», που περιλαμβάνει όχι μόνο το μεμονωμένο μνημείο με το άμεσο περιβάλλον του, αλλά επίσης ολόκληρες πόλεις και χωριά ή τμήματα πόλεων ιστορικού ή πολιτιστικού ενδιαφέροντος και ακόμη ιστορικούς κήπους και πάρκα. Ακόμη, εισάγεται ο όρος της «ολοκληρωμένης διατήρησης» στην οποία προτεραιότητα έχει η διατήρηση της λειτουργικής και κοινωνικής ιδιαιτερότητας των ιστορικών περιοχών, ενώ εκτός από την πολιτιστική αξία των κτιρίων εισάγεται και η αξία χρήσης τους, δηλαδή οι χρήσεις εκείνες οι οποίες θα αντιστοιχούν σε ανάγκες της σύγχρονης ζωής και παράλληλα θα σέβονται τον ιδιαίτερο χαρακτήρα τους και θα εξασφαλίζουν τη διατήρησή τους.

Το 1985 υπογράφεται η Σύμβαση της Γρανάδας και το 1987 η Χάρτα Ιστορικών Πόλεων (Χάρτα της Ουάσιγκτον). Το 1998 συντάσσεται η νέα Χάρτα της Αθήνας, η οποία ορίζει πως ο πολεοδομικός σχεδιασμός πρέπει να ασκήσει ειδικό ρόλο για να εξασφαλίσει την καλύτερη ποιότητα σχεδίου με σεβασμό στο

χαρακτήρα της πόλης και στην οργάνωση του δημόσιου χώρου της και πως ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται σε μια εις βάθος ανάλυση της ιστορικής, λειτουργικής, μορφολογικής και πολιτιστικής φυσιογνωμίας της περιοχής και στην αναγνώριση των ιδιαίτερων ποιοτήτων της. Ακόμη, εισάγονται έννοιες όπως αυτή της βιώσιμης ανάπτυξης των οικοσυστημάτων της πόλης, της ενδυνάμωση της οικονομικής βάσης της πόλης και της αποφυγής μονολειτουργικών ζωνών στην πόλη. Η πρώτη συμπλήρωση της νέας Χάρτας της Αθήνας πραγματοποιήθηκε το 2003, με την εισαγωγή εννοιών όπως της διευκόλυνσης των ανθρώπινων επαφών, της αύξηση των τόπων χαλάρωσης και αναψυχής, της βελτίωσης του ατομικού και συλλογικού αισθήματος ασφάλειας και της διατήρησης του υψηλού αισθητικά περιβάλλοντος σε όλη την πόλη.

Το 2011 υπογράφονται οι Αρχές της Βαλέτα για τις ιστορικές πόλεις. Σύμφωνα με αυτές τις αρχές, οι ιστορικές πόλεις και τα ιστορικά σύνολα συγκροτούνται από υλικά και άυλα στοιχεία και, ως ζωντανοί οργανισμοί, υπόκεινται σε συνεχείς αλλαγές. Οι αλλαγές, όταν κατευθύνονται σωστά, μπορούν να αποτελέσουν ευκαιρία, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα των ιστορικών πόλεων, οικισμών και αστικών περιοχών, με βάση τα ιστορικά χαρακτηριστικά τους. Κάθε παρέμβαση πρέπει να έχει ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και της ποιότητας του περιβάλλοντος και να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Πρέπει να γίνονται σεβαστές οι πολιτιστικές διαφορές και παραδόσεις των διαφορετικών κοινωνιών που κατοίκησαν διαχρονικά τις ιστορικές πόλεις και κάθε ενέργεια πρέπει να βασίζεται σε προκαταρκτικές διεπιστημονικές μελέτες [5].

Στην Ελλάδα, η πρώτη σχετική νομοθεσία περιλάμβανε τους νόμους ΒΧΜΣΤ του 1889 και 5351/1932, περί αρχαιοτήτων. Σήμερα, η προστασία των μνημείων κατοχυρώνεται από το ισχύον Σύνταγμα της Ελλάδας, στο άρθρο 24 §1 και §6 [6]. Επιπλέον κατοχυρώνεται από μία σειρά διεθνών ρυθμίσεων και οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς κατοχυρώνεται στη χώρα μας, από μία σειρά από νόμους, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι οι ακόλουθοι [7]:

- ν. 1337/1983 (νέος οικιστικός νόμος)
- ν. 1577/1985 (Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός – ΓΟΚ)
- ν. 1650/1986 περί προστασίας του περιβάλλοντος
- ν. 2039/1992 (υιοθέτηση της Σύμβασης της Γρανάδας)
- ν. 2508/1997 περί προστασίας του περιβάλλοντος, οικονομικής ανάπτυξης και κοινωνικής συνοχής
- ν. 2742/1999 περί χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρας ανάπτυξης και άλλες διατάξεις
- ν. 3028/2002 περί προστασίας των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς
- ν. 4067/2012 (νέος ΓΟΚ)

Σε διεθνές επίπεδο, η UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – Εκπαιδευτική Επιστημονική και Πολιτιστική Οργάνωση των Ηνωμένων Εθνών) δημιουργήθηκε το 1945 και αποτελεί έναν σημαντικό εξειδικευμένο διεθνή οργανισμό του ΟΗΕ (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών – United Nations). Στόχος της UNESCO είναι η παγίωση της παγκόσμιας ειρήνης μέσα από την επικοινωνία των λαών δια της εκπαίδευσης, των φυσικών και κοινωνικών επιστημών και του πολιτισμού. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια, η UNESCO αποτελεί ένα διεθνές κέντρο επικοινωνίας αλλά και ένα εργαστήριο ιδεών για τη δημιουργία προτύπων, τη σύναψη διεθνών συνθηκών σε διάφορα αναδυόμενα προβλήματα, όπως ηθικής τάξης, καθώς και τον σεβασμό στις κοινές αξίες κάθε πολιτισμού των λαών. Ο σύγχρονος ρόλος του οργανισμού αυτού κρίνεται πολύ σημαντικός ιδιαίτερα στην αναζήτηση παγκόσμιων οραμάτων για τον αμοιβαίο σεβασμό και την βιώσιμη ανάπτυξη των λαών, που υπαγορεύουν οι σχετικές συνθήκες των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, με σπώτερο στόχο την εξάλειψη της φτώχειας ή τουλάχιστον τον περιορισμό της [1].

2.1.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΩΝ

Το σύνολο των Χαρτών και των διατάξεων περί της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς αποκαλύπτουν ένα σύνολο αξιών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να ιεραρχούνται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού της αποκατάστασης ενός μνημείου. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται διάφορα Συστήματα Αξιών. Από αυτά, πρωτοπόρο για την εποχή του θεωρείται του Alois Riegl (1903), το οποίο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, χωρίζει τις αξίες σε Μνήμης και Παρόντος. Εξαιρετικά σημαντικά είναι τα Συστήματα Αξιών του Bernard M. Feilden (1979, 1982 και 1988), το πιο πρόσφατο από τα οποία, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, χωρίζει τις αξίες σε Συγκινησιακές, Πολιτιστικές και Χρήσης. Τέλος, ιδιαίτερης σπουδαιότητας είναι το Σύστημα Αξιών του M. Κορρέ (1983), το οποίο αναλύεται εκτενέστερα στον Πίνακα 4 [8]. Το πιο από όλα τα Συστήματα Αξιών θα ακολουθηθεί σε μια μελέτη αποκατάστασης ενός μνημείου, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι η επιλογή των ίδιων των μελετητών, οι κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές προτεραιότητες της εποχής, οι εκάστοτε επιστημονικές αντιλήψεις κ.λπ. [1].

Πίνακας 2: Το Σύστημα Αξιών του Alois Riegl (1903). Η σημαντικότητα αυξάνεται προς τα πάνω και συνεπώς η κατηγορία 1 λογίζεται ως σπουδαιότερη της 2 και αντίστοιχα η υποκατηγορία α λογίζεται ως σπουδαιότερη της β [8].

1. Αξίες Μνήμης
α) Αξία της ηλικίας β) Ιστορική αξία γ) Αξία εξειδικευμένης αναμνηστικής λειτουργίας
2. Αξίες Παρόντος
α) Χρηστική αξία β) Καλλιτεχνική αξία β1) Αξία δημιουργικής πρωτοτυπίας (πρωταρχική καλλιτεχνική αξία) β2) σχετική καλλιτεχνική αξία

Πίνακας 3: Το πιο πρόσφατο από τα Συστήματα Αξιών του Bernard M. Feilden (1988). Η σημαντικότητα αυξάνεται προς τα πάνω και συνεπώς η κατηγορία 1 λογίζεται ως σπουδαιότερη της 2 και αντίστοιχα η υποκατηγορία α λογίζεται ως σπουδαιότερη της β [8].

1. Συγκινησιακές Αξίες
<ul style="list-style-type: none"> α) Θαυμασμός β) Ταυτότης γ) Ιστορική συνέχεια δ) Πνευματική και συμβολική ε) Ιερότης
2. Πολιτιστικές Αξίες
<ul style="list-style-type: none"> α) Αξία τεκμηρίου β) Ιστορική αξία γ) Αρχαιολογική αξία, αξία ηλικίας και σπανιότητας δ) Αισθητική αξία και αξία συμβόλου ε) Αρχιτεκτονική αξία ζ) Αξία αστικού τοπίου, φυσικού τοπίου και οικολογική αξία η) Επιστημονική και τεχνολογική αξία
3. Χρηστικές Αξίες
<ul style="list-style-type: none"> α) λειτουργική β) οικονομική γ) κοινωνική δ) πολιτική

Πίνακας 4: Το Σύστημα Αξιών του M. Κορρέ (1983), στο οποίο περιγράφονται αναλυτικά οι έννοιες που εντάσσονται σε κάθε κατηγορία αξιών. Η σημαντικότητα αυξάνεται προς τα πάνω και συνεπώς η αισθητική αξία λογίζεται ως η σπουδαιότερη και η συγκινησιακή αξία ως η λιγότερο σπουδαία [8].

Αισθητική Αξία
Εξαρτάται από την καλλιτεχνική αξία ως εκτιμάται σήμερα, από την κατάσταση του υλικού και από το περιβάλλον του μνημείου συμπεριλαμβανομένων φωτός και καιρού.
Καλλιτεχνική Αξία
Εξαρτάται μόνον από τη μορφή και το στυλ ως εκτιμώνται σήμερα και ομοίως από τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού.

Ιστορική Αξία

Εξαρτάται μόνον από τις υφιστάμενες ιστορικές μαρτυρίες αναφορικών προς το αντικείμενο ή από παρόμοια αξία αρχαιολογικές μαρτυρίες.

Αρχαιολογική Αξία

Εξαρτάται μόνον από τις αναγνωριζόμενες υλικές μαρτυρίες.

Αξία Τεκμηρίου

Ως προς την Ιστορία της Τέχνης την Ιστορία της Τεχνικής, την Ιστορία της Επιστήμης κ.λπ., ή ως προς οιονδήποτε συνδυασμό αυτών.

Αξία Μνήμης

Ατομικής ή συλλογικής.

Αξία Συμβολισμού

Ατομική ή συλλογική με πνευματικό, εθνικό, κοινωνικό, πολιτικό, ιστορικό ή θρησκευτικό νόημα.

Αξία Τοποσήμου

Εξαρτάται από την ορατότητα, την ατομικότητα και την απόσταση από άλλα τοπόσημα.

Αξία Σπανιότητας

1. Γνήσια ή απόλυτη αξία σπανιότητας: γνώρισμα εξαιρετικών επιτευγμάτων. Τα αντικείμενα αυτά είναι σπάνια όχι εξ αιτίας τυχαίας εξαφάνισης ή μη ανακάλυψης άλλων του αυτού είδους, ούτε εξ αιτίας μη αναγνώρισης (για παράδειγμα για λόγους ιδεολογικών προτιμήσεων) άλλων παρόμοιων ως ισαξίων, αλλά μόνον επειδή προϋποθέτουν υψηλή ανθρώπινη δεξιότητα ή τεχνογνωσία ή εξόχως δυσεύρετη ύλη ή αμύθητη δαπάνη, ή, κατά μείζονα λόγο, εάν προϋποθέτουν συνδυασμό των προηγούμενων.

2. Συμπτωματική ή τυχαία αξία σπανιότητας: ανήκει σε αντικείμενα τα οποία δεν είναι μεν σπουδαία (δύνανται μάλιστα να είναι και ευτελή), υφίστανται όμως σε ελάχιστο αριθμό, είτε εξ αρχής, είτε κατόπιν συμπτωματικής εξαφάνισης όλων των άλλων του είδους των, όσον πολυπληθές και αν υπήρξε αυτό κάποτε.

3. Σχετική αξία σπανιότητας: αποτέλεσμα σύγκρισης της σπανιότητας ενός αντικειμένου προς τη σπανιότητα ενός άλλου ή άλλων αντικειμένων.

Υλική Αυθεντικότητα

Εξαρτάται από το ποσοστόν αυθεντικού υλικού από συγκινησιακής απόψεως ή επί τη βάση αναγνωρίσιμων εκδηλώσεων ηλικίας.

Χρηστική Αξία

Εξαρτάται από την λειτουργική καταλληλότητα και την κατάσταση διατηρήσεως.

Συγκινησιακή Αξία

Εξαρτάται από το νόημα, τη σπουδαιότητα, την υλική αυθεντικότητα, την ηλικία, τη φήμη και από τις άλλες αξίες χωριστά ή σε συνδυασμό.

2.2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

2.2.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τα υλικά με τα οποία ασχολείται η επιστήμη και τεχνική των υλικών μπορούν να ταξινομηθούν στις κατηγορίες που φαίνονται στον Πίνακα 5, χωρίς φυσικά η κατηγοριοποίηση αυτή να είναι απόλυτη. Ανάλογα με την εφαρμογή τους, τα δομικά υλικά παρουσιάζουν μια σειρά από ιδιότητες, όπως αυτές αποτυπώνονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 5: Γενικές κατηγορίες των υλικών. Υπάρχουν υλικά που ανήκουν σε περισσότερες από μία κατηγορίες [9].

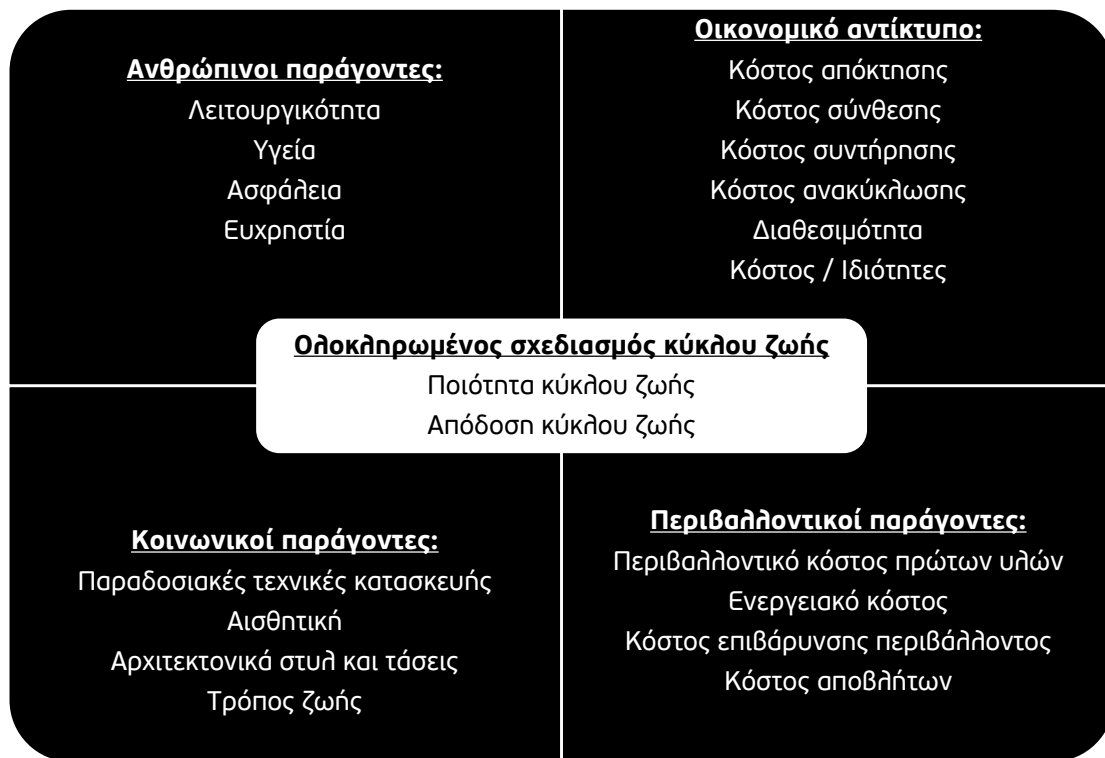
Κατηγορία	Υλικά
Μεταλλο	Σίδηρος και χάλυβες Αλουμίνιο και τα κράματά του Χαλκός και τα κράματά του Νικέλιο και τα κράματά του Τιτάνιο και τα κράματά του
Κεραμικά και ύαλοι	Αλουμίνα (Al_2O_3 , σάπφειρος) Μαγνήσια (MgO) Πυριτικοί ύαλοι και οξείδια του πυριτίου Καρβίδιο του Πυριτίου (SiC) Νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4) Τσιμέντο και μίγματα του Κονιάματα
Σύνθετα υλικά	Fiberglass (GFRP) Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες Στερεά διαλύματα κεραμικών και μετάλλων (Cermets)
Πολυμερή	Πολυεθυλένιο (PE) Πολυστυρένιο (PS) Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) Ελαστομερή και φυσικό καουτσούκ
Φυσικά υλικά	Ξύλο Δομικοί λίθοι

Πίνακας 6: Κύριες ιδιότητες των δομικών υλικών [9].

Κατηγορία	Ιδιότητες
Φυσικές	Πυκνότητα Πορώδες Διαπερατότητα
Μηχανικές	Μέτρο ελαστικότητας Αντοχή εφελκυσμού και παραμόρφωσης Αντοχή θραύσης Σκληρότητα Αντοχή κόπωσης Αντοχή σε ερπυσμό Απόσβεση
Θερμικές	Θερμική αγωγιμότητα Θερμοχωρητικότητα Συντελεστής θερμικής διαστολής
Οικονομικές	Κόστος και διαθεσιμότητα Ευκολία ανακύκλωσης
Παραγωγή	Ευκολία παραγωγής Συμβατότητα με άλλα υλικά Επεξεργασία φινίρισμα
Αισθητικές	Χρώμα Υφή

2.2.2. ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα κύρια στοιχεία του ολοκληρωμένου σχεδιασμού κύκλου ζωής των υλικών παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Για κάθε εφαρμογή, τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κάποιου στοιχείου, έχουν συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής ενός υλικού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Το περιβάλλον παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στη διατήρηση, την αύξηση, ή τη μείωση της διάρκειας ζωής ενός υλικού.



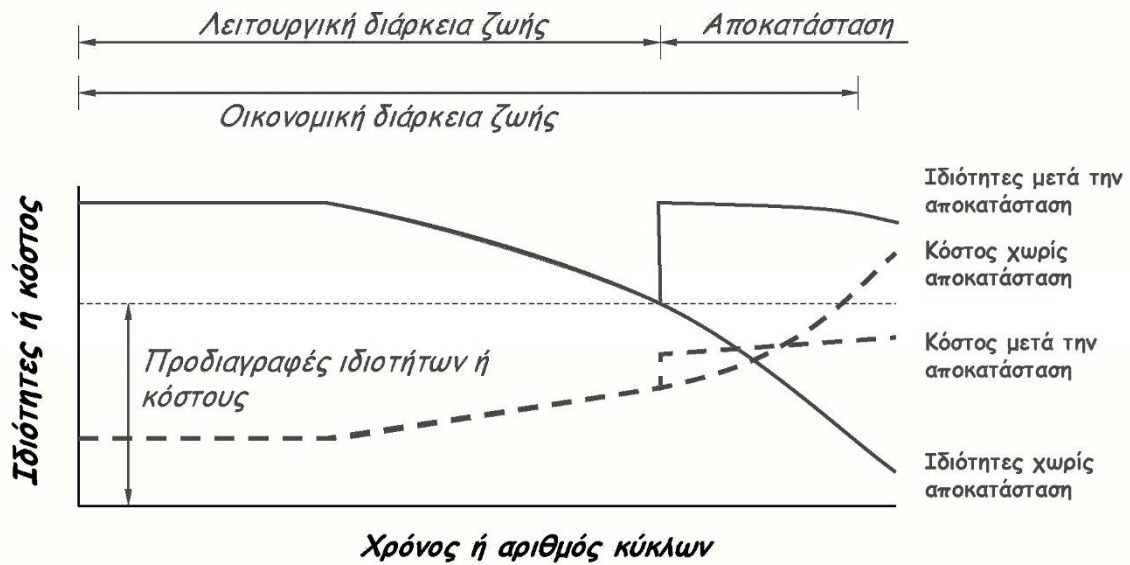
Σχήμα 2: Κύριοι παράγοντες για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό του κύκλου ζωής ενός υλικού [10].

Είναι χρήσιμο να αποσαφηνιστούν μερικοί ορισμοί, ώστε να γίνει κατανοητή η έννοια της διάρκειας ζωής ενός υλικού και πως αυτή μπορεί να εκτιμηθεί. Τα υλικά υπόκεινται σε συνεχή φθορά κατά τη διάρκεια της χρήσης τους. Η φθορά αυτή μπορεί να είναι αμελητέα ή ελάχιστα διακριτή σε ανθρώπινα χρονικά όρια, ή σχετικά ευδιάκριτη με έντονη δράση.

Ως λειτουργική διάρκεια ζωής ενός υλικού για συγκεκριμένη εφαρμογή, ορίζεται το χρονικό διάστημα (ή αριθμός κύκλων λειτουργίας) που παρέχεται μέχρι την απώλεια μάζας, ή μείωση κάποιας ιδιότητας (μηχανική, φυσική, χημική κ.λπ.) του υλικού, σε τέτοιο βαθμό που καθιστά την χρήση του μη ικανοποιητική για τη συγκεκριμένη εφαρμογή (Σχήμα 3). Η λειτουργική διάρκεια ζωής ενός υλικού μπορεί να εκτιμηθεί με δοκιμές κόπωσης ή προηγούμενη εμπειρία με παρόμοια υλικά. Παράλληλα, υπάρχουν σύγχρονα θεωρητικά μοντέλα που αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για τον προσδιορισμό της λειτουργικής διάρκειας ζωής ενός υλικού, σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Ως οικονομική διάρκεια ζωής ενός υλικού, ορίζεται το χρονικό διάστημα (ή αριθμός κύκλων λειτουργίας) πέραν του οποίου είναι οικονομικά ασύμφορη η διατήρηση του υπάρχοντος υλικού (Σχήμα 3). Αυτό συμβαίνει όταν το συνολικό κόστος συντήρησης, αποκατάστασης, αποτίμησης και αντικατάστασης του υπάρχοντος υλικού είναι μεγαλύτερο από το ολικό κόστος ζωής ενός νέου υλικού ίδιας ή διαφορετικής σύστασης. Για παράδειγμα, μια παραδοσιακή τοιχοποιία είναι ίσως πιο οικονομικό να αντικατασταθεί με μια σύγχρονη τοιχοποιία, αν το κόστος συντήρησης των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένη είναι συγκριτικά δυσανάλογο σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης σύγχρονων υλικών.

Το κόστος ζωής (lifetime cost) ενός υλικού συμπεριλαμβάνει το κόστος κατασκευής, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος προστασίας, το κόστος συντήρησης, το κόστος αποκατάστασης, το κόστος αντικατάστασης και την εναπομένουσα αξία (αξία ενός προϊόντος στο τέλος της ζωής του, για παράδειγμα πώληση ενός αυτοκινήτου για σίδερα). Κατά την φάση του σχεδιασμού λειτουργικών και δομικών στοιχείων, λαμβάνονται υπόψη τόσο το κόστος ζωής του υλικού όσο και οι ιδιότητές του προκειμένου να γίνει η επιλογή του πλέον κατάλληλου υλικού για συγκεκριμένη εφαρμογή [10].



Σχήμα 3: Η μεταβολή των ιδιοτήτων (συνεχής γραμμή) ή του κόστους (διακεκομμένη γραμμή) ενός υλικού, σαν συνάρτηση του χρόνου ή αριθμού κύκλων λειτουργίας. Παρατηρούμε ότι, μετά το πέρας ενός αρχικού διαστήματος και όσο ο χρόνος περνάει, τόσο οι ιδιότητες αρχίζουν να φθίνουν. Η αποκατάσταση πραγματοποιείται (ιδανικά) τη στιγμή που οι ιδιότητες του υλικού φτάνουν το κατώτατο όριο των προδιαγραφών που έχουν τεθεί (λειτουργική διάρκεια ζωής). Κατόπιν, αποκαθιστά τις ιδιότητες σε ένα επίπεδο (σχεδόν) ίδιο με το αρχικό και εν συνεχεία οι ιδιότητες αρχίζουν να φθίνουν ξανά, οπότε και μία νέα αποκατάσταση είναι αναγκαία. Αντίθετα, μετά το πέρας ενός αρχικού διαστήματος και όσο ο χρόνος περνάει τόσο το κόστος αυξάνεται. Η αποκατάσταση αυξάνει το κόστος απότομα, αλλά εν συνεχεία το κόστος λαμβάνει τιμές μικρότερες από αυτές που θα λάμβανε αν δεν είχε πραγματοποιηθεί η αποκατάσταση [10].

2.2.3. ΦΘΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Φθορά ονομάζεται η απομείωση στο χρόνο των ιδιοτήτων (φυσικών, χημικών, μηχανικών κ.ά.) και των χαρακτηριστικών (ορυκτολογικών, υφής κ.ά.), της συνοχής, των διαστάσεων και της αισθητικής των υλικών. Τα διάφορα φαινόμενα φθοράς εκδηλώνονται στη διεπιφάνεια μεταξύ του περιβάλλοντος και των υλικών και κατατάσσονται γενικά ως ακολούθως [10]:

- Μηχανική ή φυσική φθορά. Αφορά σε μηχανική χαλάρωση των δομών και διαχωρισμό των συστατικών του υλικού λόγω θλιπτικών, εφελκυστικών ή διατμητικών τάσεων, αναπτυσσόμενων δυνάμεων εντός του υλικού λόγω ανισοτροπίας ή διαδικασιών που σχετίζονται με την παρουσία διαλυτών αλάτων και των κύκλων ύγρانشης – ψύξης. Παράδειγμα φυσικής φθοράς είναι η φθορά του τσιμέντου λόγω τριβής.
- Χημική φθορά. Περιλαμβάνει τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του υλικού. Παράδειγμα χημικής φθοράς είναι η επίδραση της όξινη βροχής σε δομικά υλικά.
- Βιολογική φθορά. Αφορά στην επίδραση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες φθοράς.

Οι παράγοντες φθοράς χωρίζονται σε ενδογενείς παράγοντες, δηλαδή εκείνους που αφορούν στο υλικό και σε εξωγενείς παράγοντες, δηλαδή εκείνους που αφορούν στο περιβάλλον. Ειδικότερα, εν συνεχεία αναλύονται οι ενδογενείς παράγοντες [10].

Το είδος του δομικού υλικού. Χωρίς να είναι απόλυτο, τα μέταλλα είναι πιο επιρρεπή σε συγκεκριμένους τύπους μηχανικής φθοράς όπως η τριβή και η κόπωση και χημικής φθοράς (ανάπτυξη σκωρίας) παρά στους υπόλοιπους, όπως η δράση διαλυτών αλάτων, η βιολογική φθορά κ.λπ.. Επιπλέον, τα προϊόντα της οξείδωσης αυξάνουν τον όγκο των μεταλλικών στοιχείων, τα οποία, όταν είναι εγκιβωτισμένα σε κάποιο άλλο υλικό, ασκούν ισχυρές μηχανικές τάσεις και ενδέχεται να οδηγήσουν στη ρήξη του υλικού.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η φθορά που έχουν υποστεί τα μάρμαρα της Ακρόπολης από τα μεταλλικά στοιχεία (σίδηρος) που τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό τους κατά την επέμβαση που πραγματοποιήθηκε από τον Μπαλάνο και τα οποία σήμερα έχουν σε μεγάλο βαθμό σκουριάσει. Αντίθετα με τα μέταλλα, δομικά υλικά όπως η πέτρα, τα κονιάματα και τα κεραμικά (συμπεριλαμβανομένου του τσιμέντου) είναι πιο επιρρεπή σε διαφορετικών τύπων φθορές, όπως η χημική φθορά από την όξινη βροχή και από τα καυσαέρια, η δράση διαλυτών αλάτων και οι κύκλοι ύγρανσης – ξήρανσης.

Οι ιδιότητες (μηχανικές, φυσικοχημικές, ορυκτολογικές) του υλικού.

Οι ιδιότητες ενός υλικού επηρεάζονται σε διαφορετικό βαθμό από συγκεκριμένους εξωγενείς παράγοντες. Είναι σημαντικό να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του εφαρμοζόμενου εξωγενή παράγοντα και της ιδιότητας η οποία δύναται να μεταβληθεί, ώστε η συγκεκριμένη ιδιότητα να καταστεί τελικά μέτρο αξιολόγησης της φθοράς του υλικού.

Η μακροδομή και η μικροδομή του υλικού και η χωρική κατανομή των ιδιοτήτων. Ιδιαίτερα η μικροδομή, η οποία διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο στις ιδιότητες (μηχανικές, φυσικές, φυσικοχημικές) των υλικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εξάπλωση της φθοράς στο υλικό. Τα όρια της κλίμακας για το διαχωρισμό μεταξύ της μακροδομής και της μικροδομής εξαρτώνται από την μετρούμενη ιδιότητα.

Η προέλευση του υλικού και η απόληψή του. Είναι κατανοητό ότι η σύσταση και η μικροδομή του υλικού επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την προέλευσή του. Αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο σε σύνθετα υλικά όπως το τσιμέντο και τα κονιάματα, όπου η προέλευση των πρώτων υλών καθορίζει άμεσα την σύσταση του σύνθετου υλικού. Τα παραδοσιακά δομικά υλικά, όπως η πέτρα και το μάρμαρο, εξαρτώνται ακόμα περισσότερο από την προέλευσή τους.

Η τεχνολογία παραγωγής του υλικού. Η τεχνολογία παραγωγής είναι δυνατόν σε ορισμένες περιπτώσεις να μεταβάλλει σημαντικά τόσο την μικροδομή, όσο και τις ιδιότητες των δομικών υλικών. Η εφαρμογή της κατάλληλης τεχνολογίας παραγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα κονιάματα

αποκατάστασης, ώστε η συμβατότητά τους με τα υπάρχοντα υλικά να είναι η βέλτιστη δυνατή.

Η συμβατότητα του υλικού με άλλα υλικά. Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε μία κατασκευή πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους (βλ. §2.3.3).

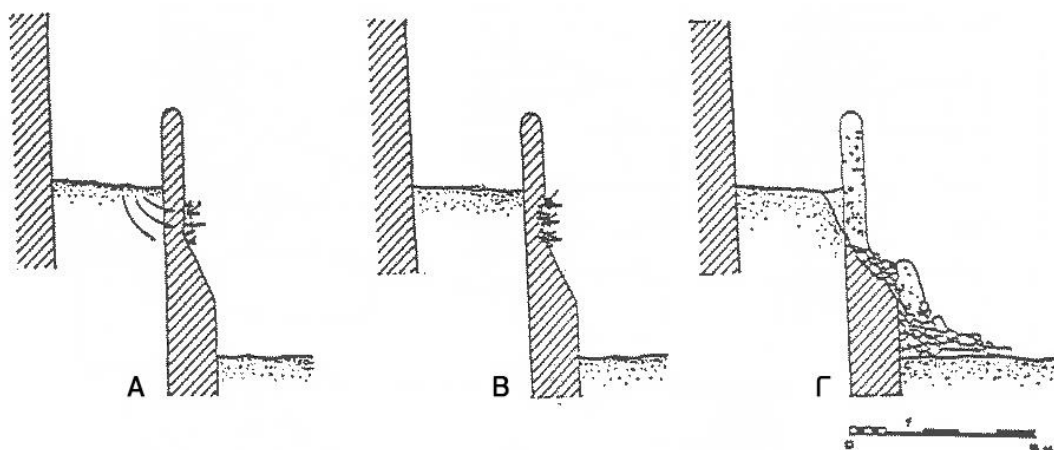
Αντίστοιχα, οι παράγοντες που αφορούν το περιβάλλον (εξωγενείς παράγοντες) αναλύονται στη συνέχεια [10].

Το είδος των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων (βιομηχανική, αστική ή θαλασσινή ατμόσφαιρα) που επιδρούν στο υλικό. Από το είδος αυτό καθορίζονται οι μηχανισμοί της φθοράς στα δομικά υλικά. Συγκεκριμένα, σε μία επιφάνεια μπορεί να επιδρούν ατμοσφαιρικά σωματίδια, αερολύματα, διαφόρων ειδών αποθέσεις σε ξηρή και υγρή φάση, σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές, παγετός, διαλυτά άλατα κ.ά.. Ειδικότερα, σε ένα υλικό μπορεί να εμφανιστούν επιφανειακές κρούστες ή να πραγματοποιηθεί κρυστάλλωση αλάτων. Στις επιφανειακές κρούστες εντάσσεται η γυψοποίηση των μαρμάρων και οι όξινη ανθρακική κρούστα.

Η γυψοποίηση αναφέρεται στον σχηματισμό γύψου, δηλαδή $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, με προσβολή του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ή του CaCO_3 των λίθων από θειικό οξύ. Ο γύψος στην επιφάνεια της πέτρας είναι διαλυτός και με έκπλυση (για παράδειγμα από τη βροχή) αποκαλύπτει το υγιές, μη γυψοποιημένο στρώμα της πέτρας, δηλαδή επιτρέπει την εξέλιξη του φαινομένου σε βάθος. Αυτό έχει σαν γενικότερο αποτέλεσμα την σταδιακή απαλοιφή των λεπτομερειών της επιφάνειας της πέτρας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η γυψοποίηση του πεντελικού μαρμάρου της Ακρόπολης, η οποία χρόνο με τον χρόνο απαλείφει τις λεπτομέρειες από τις Καρυάτιδες.

Η όξινη ανθρακική κρούστα αναφέρεται στη μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου, δηλαδή CaCO_3 , σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο, δηλαδή $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, το οποίο στην συνέχεια με την εξάτμιση του νερού μετατρέπεται σε ανακρυσταλλωμένο ανθρακικό ασβέστιο. Το στρώμα αυτό, θεωρείται ότι δεν έχει καλή συνοχή με το υποκείμενο ανθρακικό ασβέστιο (της κύριας μάζας της

πέτρας) και οδηγεί σε χαλάρωση της κρούστας, που σε συνέργια με βιολογική δραστηριότητα, και την χαλάρωση των αρμών μπορεί να προκαλέσει τοπικές καταρρεύσεις σε τοιχοποιίες. Η εξέλιξη αυτού του φαινομένου φαίνεται στο Σχήμα 4.

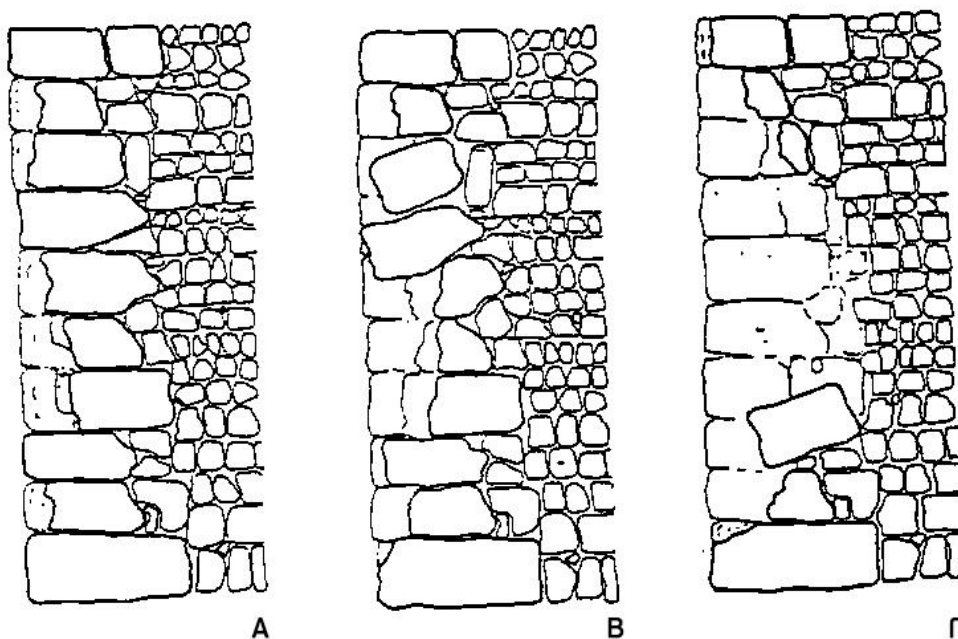


Σχήμα 4: Μηχανισμός κατάρρευσης τοιχοποιίας από όξινη ανθρακική κρούστα [11].

Η κρυστάλλωση των αλάτων οφείλεται στο γεγονός ότι η θαλασσινή ατμόσφαιρα είναι πολύ πλούσια σε χλωριούχο νάτριο. Το υδατικό διάλυμα των αλάτων μεταφέρεται στην επιφάνεια του λίθου, όπου πραγματοποιείται εξάτμιση του διαλύτη (δηλαδή του νερού). Αποτέλεσμα της εξάτμισης είναι η κρυστάλλωση των αλάτων εντός των πόρων, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα (ή παραπάνω) από τα ακόλουθα τρία φαινόμενα:

- Εξάνθηση, κατά την οποία η ταχύτητα αναπλήρωσης του νερού στην επιφάνεια είναι μεγαλύτερη από της εξάτμισης και τα άλατα κρυσταλλώνονται έξω από τους πόρους, σχηματίζοντας αποθέσεις.
- Κρυπτοεξάνθηση, κατά την οποία η ταχύτητα αναπλήρωσης του νερού στην επιφάνεια είναι μικρότερη από αυτή της εξάτμισης και έτσι το υδατικό μέτωπο υποχωρεί στο εσωτερικό της πέτρας και η κρυστάλλωση γίνεται μέσα στους πόρους.
- Κυψέλλωση, κατά την οποία η επιφάνεια της πέτρας εκφυλίζεται με τη δημιουργία σπηλαιώσεων και εμφανίζεται σε περιοχές που εκτίθενται σε

ισχυρούς ανέμους. Το Σχήμα 5 δείχνει τον μηχανισμό κατάρρευσης της τοιχοποιίας, λόγω κυψέλωσης.



Σχήμα 5: Μηχανισμός κυψέλωσης αλάτων σε τοιχοποιία [11].

Η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων. Σε γενικές γραμμές, η ένταση της φθοράς των δομικών υλικών αυξάνεται με αύξηση της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητας της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων. Και οι τρεις αυτοί εξωγενείς παράγοντες, δρουν συνήθως αθροιστικά, αλλά τα αποτελέσματά τους εξαρτώνται σημαντικά από αρκετούς ενδογενείς παράγοντες, όπως το είδος και η μικροδομή του υλικού.

Το είδος των μηχανικών φορτίσεων. Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται οι εφελκυστικές, οι διατμητικές ή θλιπτικές τάσεις, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η τριβή, η διόγκωση του υλικού λόγω χημικής αντίδρασης, η κρυστάλλωση αλάτων και ο σχηματισμός πάγου, οι σεισμικές δονήσεις κ.ά.. Για παράδειγμα, η αστοχία του τσιμέντου, λόγω ανάπτυξης σημαντικών εφελκυστικών τάσεων (λόγω σεισμού, υπερφόρτωσης κ.ά.) οδηγεί κυρίως σε μεγάλες ρηγματώσεις.

Η κατανομή, ο προσανατολισμός και η ένταση των περιβαλλοντικών παραγόντων ανάλογα με τη θέση του υλικού στην κατασκευή. Συνήθως δρουν έμμεσα στην αστοχία και φθορά των υλικών. Είναι επίσης δυνατόν, στο ίδιο υλικό να παρατηρούνται διαφορετικού τύπου φθορές, ανάλογα με την θέση του στην κατασκευή, όπως για παράδειγμα φθορά λόγω υγρασίας στα κατώτερα στρώματα της τοικοποιίας και φθορά λόγω κρυστάλλωσης των αλάτων στα ανώτερα στρώματα.

Οι συνθήκες χρήσης του δομικού υλικού. Τα δομικά υλικά έχουν συχνά διαφορετικές χρήσεις. Οι συνθήκες χρήσης του υλικού θα καθορίσουν επομένως και τους μηχανισμούς και την ένταση της φθοράς.

Η μικροκλίμα και το νερό. Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται οι φθορές που προκαλούνται από τη βροχή, τα αερόλυμα, την ανερχόμενη τριχοειδή υγρασία και τη συμπύκνωση. Το νερό ελέγχει τη μεταφορά, την κρυστάλλωση, την ανακρυστάλλωση και την ενυδάτωση στον λίθο και ευθύνεται για την υπό προϋποθέσεις ανάπτυξη ισχυρών ωσμωτικών πιέσεων.

Διάφοροι βιολογικοί παράγοντες. Σε αυτήν την κατηγορία εντάσσονται τα βακτήρια, τα άλγη, οι μύκητες, οι λειχήνες, τα δένδρα, τα φυτά και τα πουλιά. Τα αποτελέσματα της δράσης αυτών των παραγόντων μπορεί να έχουν τόσο αισθητικό χαρακτήρα, όσο και να προκαλέσουν φυσικές ή χημικές διεργασίες στην επιφάνεια των υλικών. Ειδικότερα, η δράση των βακτηρίων μπορεί να ευνοήσει τη διάβρωση της πέτρας, μέσα από την ανάλωση χημικών συστατικών των ορυκτών της και μπορεί να παρέχει προϊόντα μεταβολισμού τα οποία δρουν ως καταλύτες στην εξέλιξη της φθοράς.

2.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Στη σύγχρονη εποχή επιβάλλεται, πριν επιχειρηθεί οποιαδήποτε επέμβαση σε ένα μνημείο, να ακολουθείται ρητά η πορεία εργασίας που υποδεικνύεται από όλους τους κανόνες που έχουν θεσμοθετηθεί και που έχει στόχο να αποτρέψει ή να ελαχιστοποιήσει τις πιθανότητες μίας άστοχης και ίσως βλαπτικής εφαρμογής. Στα πλαίσια αυτά καταβάλλεται σημαντική προσπάθεια για την προστασία των μνημείων και των κτιρίων σημαντικής αρχιτεκτονικής αξίας μέσω ολοκληρωμένου σχεδίου και με την συνεργασία διαφόρων φορέων. Η προστασία των μνημείων συνίσταται στην επέμβαση στο ίδιο το μνημείο και στην επέμβαση στο περιβάλλον.

Η επέμβαση στο μνημείο αφορά τέσσερις κύριες κατευθύνσεις [10]:

1. Διαγνωστική μελέτη. Αφορά τη μελέτη των ιδιοτήτων των αυθεντικών υλικών και των μηχανισμών φθοράς τους.
2. Συντήρηση – Επέμβαση στα υλικά. Περιλαμβάνει μία σειρά από ενέργειες, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι ακόλουθες:
 - Προστερέωση (σε περιπτώσεις προχωρημένης διάβρωσης).
 - Καθαρισμός (μηχανική, φυσική ή χημική απομάκρυνση επιφανειακών επικαθίσεων).
 - Στερέωση (αποκατάσταση της συνοχής του διαβρωμένου λίθου).
 - Επιφανειακή προστασία (απομόνωση και προστασία του λίθου από τη διαβρωτική δράση των ατμοσφαιρικών παραγόντων).
 - Σύνθεση και εφαρμογή κονιαμάτων αποκατάστασης, συμβατών με τα ιστορικά δομικά υλικά του κτιρίου.
 - Αντιμετώπιση ανερχόμενης υγρασίας.
 - Συνεχής παρακολούθηση και έλεγχος των υλικών της επέμβασης στο χρόνο, για την έγκαιρη αντιμετώπιση νέων προβλημάτων ή αστοχιών

και τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων συντήρησης.

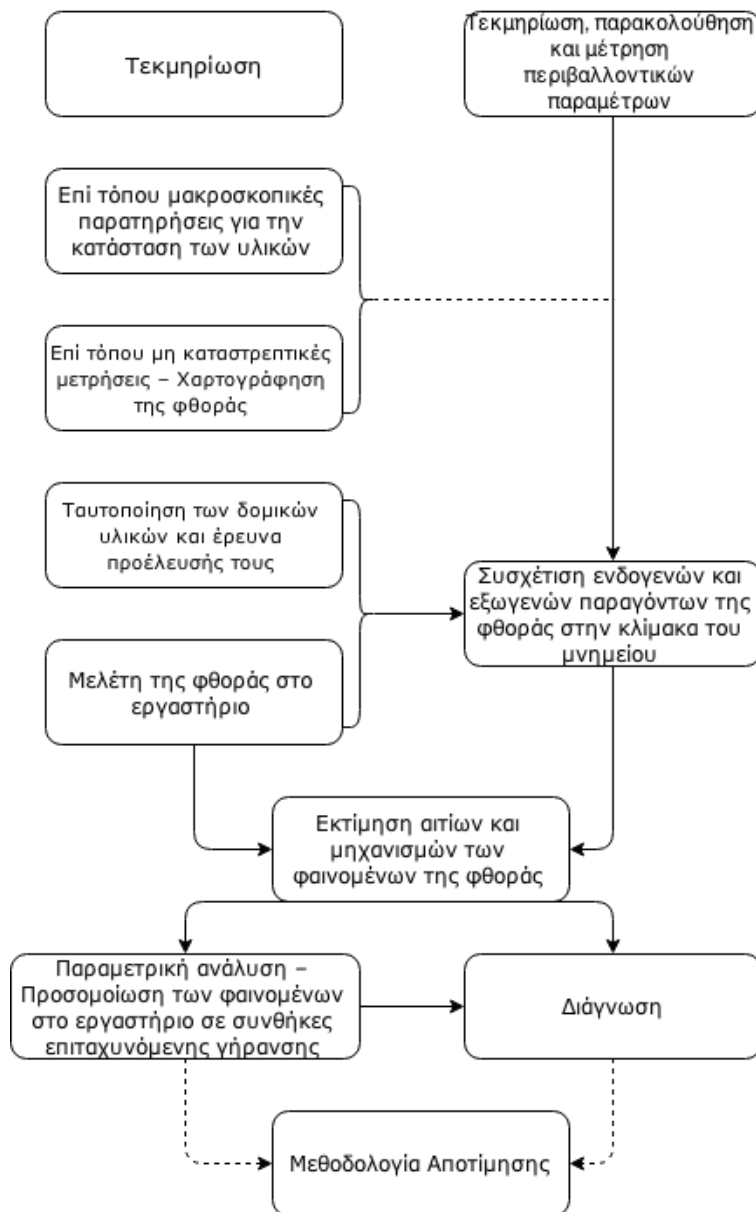
3. Αποκατάσταση του φορέα, που αφορά μία σειρά από δομοστατικές επεμβάσεις.
4. Αναστήλωση του μνημείου, που αφορά μία σειρά από αρχιτεκτονικές επεμβάσεις.

Η επέμβαση στο περιβάλλον είναι εξαιρετικά σημαντική ώστε να αντιμετωπιστεί απευθείας η προέλευση της φθοράς. Περιλαμβάνει μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας των μνημείων (έλεγχος των μικροκλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων) και διαχείριση περιβάλλοντος για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων (χωροταξικές, πολεοδομικές ρυθμίσεις). Είναι επομένως προφανές ότι η συντήρηση είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

Τα κριτήρια επιλογής υλικών και μεθόδων επέμβασης πρέπει να βασίζονται σε μια γενικότερη δεοντολογία των επεμβάσεων συντήρησης, σε συμβατότητα των δομικών υλικών μεταξύ τους και με τα υλικά επέμβασης και στην αντιστρεψιμότητα της επέμβασης, στο μέτρο που αυτή είναι εφικτή [10].

2.3.2. ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η διάγνωση της φθοράς των υλικών πρέπει να ακολουθεί μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία διαγνωστικής μελέτης, η οποία περιλαμβάνει τα βήματα που φαίνονται στο Σχήμα 6. Αρχικά, η ιστορική τεκμηρίωση περιλαμβάνει τη μελέτη των ιστορικών αρχείων και τη σύγκριση παλαιότερων φωτογραφιών με νεότερες, ώστε να καταγραφούν σημαντικές πληροφορίες τόσο για την προέλευση των υλικών, όσο και για τυχόν προγενέστερες επεμβάσεις. Η γνώση των μνημείων και του είδους των επεμβάσεων που έγιναν παλαιότερα αποτελούν στοιχεία απαραίτητα, που συμπληρώνουν και πολλές φορές εξηγούν τη σημερινή εικόνα του μνημείου. Συνεπώς και η τήρηση λεπτομερών αρχείων κάθε επέμβασης μπορεί να βοηθήσει καθοριστικά τον επόμενο μελετητή ή συντηρητή. Επιπρόσθετα, σε αυτό το στάδιο πρέπει να γίνει λεπτομερώς η τοπογραφική αποτύπωση και η αρχιτεκτονική αποτύπωση.



Σχήμα 6: Μεθοδολογία διαγνωστικής μελέτης [11]. Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε με χρήση του διαδικτυακού λογισμικού draw.io, έκδοση 4.8.0.5, της εταιρίας JGraph Ltd [1, 12].

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει επί τόπου μακροσκοπικές παρατηρήσεις για την κατάσταση των υλικών. Πρώτο στάδιο είναι η τεκμηρίωση της κατάστασης, όπου συλλέγονται και ταξινομούνται στοιχεία, όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή, σχετικά με τη σοβαρότητα της φθοράς (φωτογραφική, φωτογραμμετρική και σχεδιαστική αποτύπωση). Δεύτερο στάδιο είναι οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις (τυπολογία των φαινομένων διάβρωσης), όπου επιχειρείται η περιγραφή και καταγραφή των διαφόρων μορφών φθοράς και η συσχέτισή τους με

παράγοντες, όπως η θέση, το μικροκλίμα και το είδος του λίθου. Τρίτο και τελευταίο στάδιο είναι οι επί τόπου μετρήσεις στο μνημείο και στο άμεσο περιβάλλον, όπου λαμβάνουν χώρα έλεγχοι, όπως για υγρασία στους τοίχους, για παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, για τυχόν ύπαρξη υπογείων νερών κ.ά., συλλογή στοιχείων σχετικά με τα υδροθερμικά και γενικά τα κλιματικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής και εφόσον κριθεί αναγκαίο, ορισμένοι από τους προηγούμενους παράγοντες είναι δυνατόν να παρακολουθούνται μόνιμα, στο άμεσο περιβάλλον του μνημείου.

Ακολουθεί η τεκμηρίωση, παρακολούθηση και μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων. Εδώ ελέγχεται η μικροκλίμα (θερμοκρασία, υγρασία, βροχοπτώσεις, ταχύτητα και συχνότητα ανέμων κ.ά.), οι ρύποι (στερεολύματα, υδρολύματα, αερολύματα), η χημική ανάλυση εδάφους, η ανερχόμενη υγρασία και γίνεται έρευνα για εύρεση αλάτων σε υγρή ή στερεή φάση.

Επόμενο βήμα είναι η εκτέλεση επί τόπου μη καταστρεπτικών τεχνικών (NDT – Non-Destructive Technique) και η χαρτογράφηση της φθοράς, όπως επίσης και η συσχέτιση των δεδομένων του περιβάλλοντος και της φθοράς των υλικών. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι ο χαρακτηρισμός των υλικών μπορεί να είναι καταστρεπτικός (destructive) ή μη καταστρεπτικός (non-destructive). Οι καταστρεπτικές δοκιμές εφαρμόζονται κυρίως στην φάση του σχεδιασμού, ενώ οι μη καταστρεπτικές δοκιμές είναι προτιμότερες στην μετέπειτα διάρκεια ζωής του υλικού. Οι τεχνικές χαρακτηρισμού των υλικών μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε εργαστηριακές ή επί τόπου (in-situ). Οι επί τόπου μετρήσεις είναι γενικά προτιμότερες αλλά όχι πάντα εφικτές για ορισμένες τεχνικές και μεθόδους χαρακτηρισμού των υλικών [10]. Μερικές από τις μη καταστρεπτικές τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό το βήμα είναι η μικροσκοπία οπτικών ινών, η θερμοκάμερα, το γεωραντάρ, η υπερηχοσκόπηση, τα μικροκύματα κ.ά..

Ακολουθεί η ταυτοποίηση των δομικών υλικών και η έρευνα της προέλευσής τους. Για να βρεθεί η προέλευση των υλικών της ιστορικής κατασκευής όταν υπάρχει έλλειψη σχετικών πληροφοριών είναι αναγκαία η διεξαγωγή μελετών σε δείγματα από το μνημείο και δείγματα λατομείων της

περιοχής βάσει γεωλογικού χάρτη. Ορισμένες από αυτές τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται είναι η πετρογραφική μελέτη, η ορυκτολογική μελέτη η μελέτη της χημικής σύστασης, η νετρονική ενεργοποίηση (ανάλυση διάκρισης) κ.ά..

Επόμενο βήμα είναι η μελέτη της φθοράς στο εργαστήριο. Προϋποθέτει συστηματική δειγματοληψία από τα διαβρωμένα εξωτερικά τμήματα του υλικού, και με τρόπο ώστε να καλύπτονται όλες τις μορφές διάβρωσης που παρατηρούνται. Ασφαλώς σημαντικό στοιχείο κατά τη δειγματοληψία η λήψη όσο το δυνατόν μικρότερου όγκου δείγματος και μάλιστα από τα λιγότερο εμφανή σημεία του μνημείου, ώστε να αποφεύγεται η εκτεταμένη καταστροφή αυθεντικού υλικού και η αισθητική αλλοίωση του μνημείου. Τα αποτελέσματα αυτής της εξέτασης, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα από τη μελέτη υγιών δειγμάτων από το ίδιο υλικό, οδηγούν σε συμπεράσματα σχετικά με το είδος και το βαθμό διάβρωσης, την κατάσταση των προϊόντων διάβρωσης και του υλικού, όπως και την αιτία δημιουργίας της φθοράς.

Ακολουθεί η συσχέτιση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων της φθοράς στο επίπεδο του μνημείου, η οποία περιλαμβάνει στοχαστική συσχέτιση των περιβαλλοντικών παραγόντων και των δεδομένων της φθοράς των υλικών με πολυκριτήρια ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, με δύο ομάδες μεταβλητών (ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες φθοράς), γραφική παράσταση του συνόλου των δεδομένων σε δυσδιάστατο διάγραμμα και εκτίμηση του ρόλου και του ειδικού βάρους κάθε μεταβλητής στις διαφορετικές ομάδες. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται ανάλυση διάκρισης, η οποία αποδίδει μία πλήρη εικόνα του διαχωρισμού των δεδομένων σε ομάδες, οδηγεί στην καταγραφή των συναρτήσεων διάκρισης και βοηθάει στην πρόβλεψη σε ποια ομάδα κατατάσσεται μια νέα περίπτωση

Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η εκτίμηση αιτίων και μηχανισμών των φαινομένων της φθοράς. Γίνεται αξιολόγηση των εργαστηριακών δεδομένων, των δεδομένων από τα αποτελέσματα των επί τόπου μη καταστρεπτικών τεχνικών ελέγχου και εξάγονται τα σχετικά συμπεράσματα.

Τελευταίο βήμα είναι η παραμετρική ανάλυση και η προσομοίωση των φαινομένων στο εργαστήριο σε συνθήκες επιταχυνόμενης γήρανσης (ASTM). Αφού καθοριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα φθοράς, ακολουθεί η προσομοίωση των συνθηκών στο εργαστήριο και οι δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης σε θάλαμο αλατονέφωσης, θάλαμο προσομοίωσης περιβαλλοντικών συνθηκών, εφαρμογή κύκλων εμβάπτισης – ξήρανσης κ.ά.. Με αυτόν τον τρόπο, επιβεβαιώνεται η αρχική εκτίμηση για τα αίτια και τους μηχανισμούς της φθοράς [13].

2.3.3. ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

Η επιλογή ενός ορθολογικού σχήματος επέμβασης σε υφιστάμενο κτίριο προϋποθέτει μια σειρά από ερευνητικές εργασίες και συνεκτίμηση πολλών παραμέτρων. Οι σημαντικότερες απαιτήσεις για τον καθορισμό της βέλτιστης τεχνικής επέμβασης είναι [14]:

- Σαφή γνώση των υλικών και της μορφολογίας του φέροντα οργανισμού του κτιρίου.
- Αποτύπωση της παθολογίας και περιγραφή του τύπου και της έκτασης των βλαβών.
- Προσδιορισμός και τεκμηρίωση των αιτιών πρόκλησης της υφιστάμενης παθολογίας και των βλαβών του κτιρίου.
- Εκτίμηση της υφιστάμενης αντοχής του φέροντα οργανισμού με επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές.
- Σαφή γνώση των διαφόρων τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης.

Τα κριτήρια και οι αρχές επεμβάσεων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή των κατάλληλων τεχνικών συμβάλλουν καθοριστικά στην αποτελεσματικότητα του τελικού σχήματος επέμβασης. Τα κριτήρια αυτά είναι [15]:

- Σεβασμός στο πρωτότυπο.
- Αντιστρεψιμότητα προτεινόμενων επεμβάσεων (στο μέτρο του δυνατού).
- Συμβατότητα προτεινόμενων και υφιστάμενων υλικών (καθώς στην πράξη η πλήρης αντιστρεψιμότητα δύσκολα επιτυγχάνεται).
- Διαχρονικότητα νέων επεμβάσεων.
- Οικονομικό κόστος επέμβασης και συντήρησης.
- Χρόνος αποπεράτωσης.
- Κοινωνικό και ψυχολογικό κόστος των ενοίκων και του κοινωνικού συνόλου.

- Επαρκής και ευσταθής υποστήλωση κατά τη διάρκεια των εργασιών επέμβασης.

Από τα παραπάνω, η συμβατότητα των υλικών είναι ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας. Ειδικότερα, η πλήρης αντιστρεψιμότητα, δηλαδή ο σχεδιασμός μιας επέμβασης αποκατάστασης, ώστε αυτή να μπορεί να αφαιρεθεί πλήρως, στην πράξη δύσκολα επιτυγχάνεται. Έτσι, η συμβατότητα των υλικών λαμβάνεται υπόψη, ώστε ακόμα και να μην μπορεί να αφαιρεθεί πλήρως η επέμβαση, να μην προξενήσει τουλάχιστον περεταίρω φθορά στο αυθεντικό υλικό. Αναλυτικότερα, η συμβατότητα μπορεί να αφορά διάφορους παράγοντες όπως η χημική σύσταση, ο συντελεστής θερμικής διαστολής (επιδιώκονται όσο το δυνατόν παρόμοιες τιμές, ώστε κατά τη διάρκεια θερμικών κύκλων να μη παρατηρείται ανομοιογένεια στη διαστολή και συνεπώς συνεπαγόμενη ανάπτυξη τάσεων), η πυκνότητα (επιδιώκονται παρόμοιες τιμές ώστε να αποφεύγεται η καθίζηση) κ.ά. και καθορίζεται κάθε φορά ανάλογα με την επιθυμητή συμπεριφορά των υλικών. Η ασυμβατότητα των υλικών είναι δυνατόν να οδηγήσει στην αστοχία τους, στην μείωση της διάρκειας ζωής τους, ή στην εκλεκτική ένταση της φθοράς σε ένα από τα υλικά του δομικού συστήματος [10].

Συμβατότητα δεν σημαίνει απαραίτητα υλικά με τα ίδια χημικά συστατικά, αλλά με παρόμοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες [16]. Μέχρι τώρα ο προσδιορισμός της συμβατότητας των υλικών στηριζόταν σε πειραματικά αποτελέσματα σε συνθήκες εργαστηρίου οι οποίες συχνά διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματικές. Τα υλικά εξετάζονται με την χρήση τεχνικών που χρησιμοποιούνται για δοκιμές σκυροδέματος και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αυθεντικά υλικά [17].

Η χρήση τσιμέντου στις ιστορικές κατασκευές είναι από τις πλέον ασύμβατες. Αναλυτικότερα, τα κονιάματα τσιμέντου παρουσιάζουν υψηλές τιμές θλιπτικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας καθιστώντας τα πολύ δυνατά και άκαμπτα σε σχέση με τα παραδοσιακά κονιάματα στις ιστορικές τοιχοποιίες. Επιπλέον, η χρήση του τσιμέντου ως υλικού αποκατάστασης διαταράσσει τη μηχανική συμπεριφορά, τη στατική και τη δυναμική της τοιχοποιίας, με κίνδυνο

εμφάνισης διαφορετικών φορτίσεων σε τμήματα της δομής και συνεπώς την επακόλουθη αστοχία τους. Τα κονιάματα τσιμέντου παρουσιάζουν ακόμη γενικότερα μεγάλο συντελεστή θερμική διαστολής, σχεδόν διπλάσιο της πέτρας, με αποτέλεσμα, σε κύκλους θέρμανσης – ψύξης, να ασκούνται μηχανικές τάσεις στα αυθεντικά υλικά που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία (ρηγμάτωση). Επιπρόσθετα, σε εφαρμογές αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών, η μικρή τιμή πορώδους και η σχετικά πυκνή δομή των τσιμεντιτικών κονιαμάτων δυσκολεύει την «αναπνοή» της τοιχοποιίας, δηλαδή την μεταφορά της υγρασίας στους κύκλους ύγρυνσης και ξήρανσης. Τέλος, τα τσιμεντιτικά κονιάματα είναι φορέας διαλυτών αλάτων. Ο εκλεκτικός προσανατολισμός των διαλυτών αλάτων στα γειτονικά ιστορικά δομικά υλικά και η κρυστάλλωση τους κατά τη φάση της εξάτμισης οδηγούν σε άσκηση πιέσεων κρυστάλλωσης [18]. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα χρήσης τσιμέντου σε εργασίες αποκατάστασης της μεσαιωνικής πόλης της ρόδου μπορούν να παρατηρηθούν στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Τμήμα του τοίχους της μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου, στο οποίο είχαν χρησιμοποιηθεί ασύμβατα τσιμεντιτικά κονιάματα ως υλικό αποκατάστασης. Παρατηρούμε ότι τμήματα έχουν αποσπαστεί, δημιουργώντας κοιλότητες [18].

Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης είναι τα ακόλουθα [10]:

- Προσομοίωση των ιδιοτήτων των ιστορικών κονιαμάτων.
- Βελτίωση των χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων.
- Αναπαραγωγισιμότητα και έλεγχος της παρασκευής τους βάσει συγκεκριμένων προδιαγραφών.

Η αντίστροφη μηχανική προσέγγιση (reverse engineering), που συχνά εφαρμόζεται για το σχεδιασμό συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης, αποτελείται από τις ακόλουθες φάσεις [19]:

1. Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων.
2. Παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης.
3. Αποτίμηση των χαρακτηριστικών τους.
4. Αριστοποίηση παρασκευής.
5. Αποτίμηση με πιλοτική, επί τόπου εφαρμογή.

3. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (MULTICRITERIA ANALYSIS)

Η πολυκριτήρια ανάλυση (Multicriteria Analysis – MCA) αποτελεί έναν εξελιγμένο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας, ο οποίος τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση, τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτήριας ανάλυσης αποτέλεσε η απλή διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται μέσω μιας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης.

Κατά την προσπάθεια, όμως, εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων – παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο ορισμένες φορές αποθαρρύνει τους αποφασίζοντες και αναλυτές από την υιοθέτηση αυτής της πιο ρεαλιστικής προσέγγισης. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων [20].

Η πολυκριτήρια ανάλυση είναι μία επίσημη, επιστημονικά τεκμηριωμένη μέθοδος επίλυσης προβλημάτων, όπου υπάρχουν πολλές και αλληλοσυγκρουόμενες παράμετροι και κριτήρια που επηρεάζουν το πρόβλημα, παρέχοντας ταυτόχρονα στους έχοντες την αρμοδιότητα λήψης απόφασης, μια οπτικοποιημένη και εύκολα αντιληπτή προσέγγιση αναλυτικής λογικής [21].

Ως εμπλεκόμενοι φορείς σε μια διαδικασία απόφασης ορίζονται ο αποφασίζων, ο αναλυτής, ο μεσολαβητής και τα τρίτα μέρη. Ο τρόπος με τον

οποίο αλληλοεπιδρούν οι εμπλεκόμενοι φορείς σε μια διαδικασία απόφασης φαίνεται στο Σχήμα 8 [20].

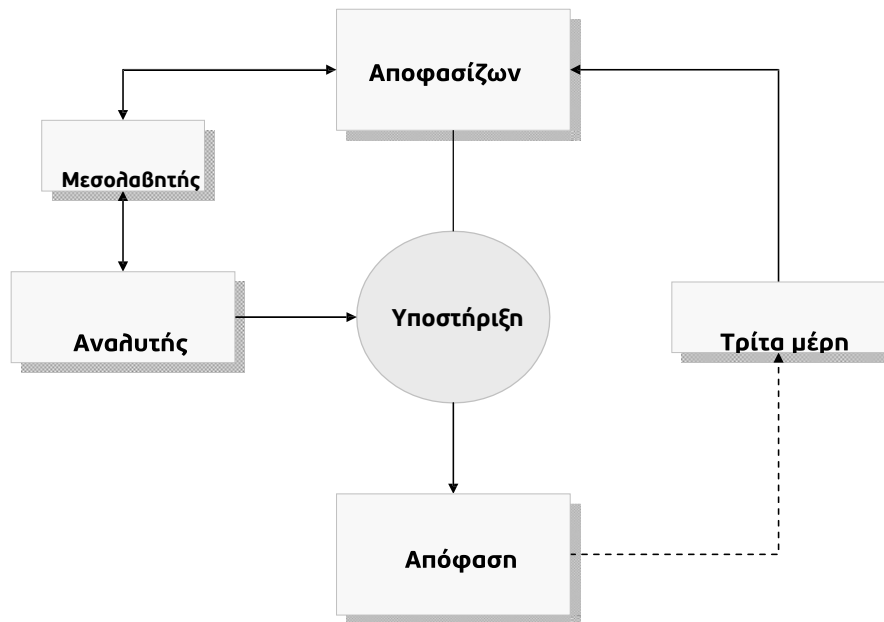
Αποφασίζων (decision maker). Ως αποφασίζων μιας προβληματικής, ορίζεται εκείνος ο εμπλεκόμενος φορέας, του οποίου οι στόχοι, οι περιορισμοί και το σύστημα προτιμήσεων, καθορίζουν ευθέως την εξέλιξη και τελική έκβαση της διαδικασίας απόφασης.

Αναλυτής (analyst or facilitator). Με βάση τον Σίσκο [22], το έργο ενός αναλυτή είναι γενικά επιτελικό και συνίσταται στο να υποστηρίζει ανθρώπους στη λήψη αποφάσεων, χωρίς να υποκαθιστά το ρόλο του αποφασίζοντος. Για τον λόγο αυτό, η δραστηριότητα ενός αναλυτή αναφέρεται ως υποστήριξη αποφάσεων (decision aiding).

Μεσολαβητής (client). Μεταξύ του αποφασίζοντος και του αναλυτή, ενεργεί ο μεσολαβητής, ο οποίος σε ρόλο εξουσιοδοτημένου συμβούλου του αποφασίζοντος, συμβάλλει στην αποτελεσματική επικοινωνία των δυο μερών.

Τρίτα μέρη (third parties). Ως τρίτα μέρη σε μια διαδικασία απόφασης, αναφέρονται εκείνοι οι εμπλεκόμενοι φορείς οι οποίοι δεν συμμετέχουν με ενεργό ρόλο σε αυτή, αλλά των οποίων το σύστημα προτιμήσεων θα πρέπει σε κάποιο βαθμό να συνεκτιμηθεί, καθώς θα επηρεαστούν, είτε έμμεσα, είτε άμεσα από τις συνέπειες που θα προκαλέσει η τελική απόφαση [23].

Η υποστήριξη της απόφασης (DA – Decision Aiding) είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα άτομο, με τη χρησιμοποίηση τεκμηριωμένων, αλλά όχι απαραίτητα πλήρως φορμαλιστικών μοντέλων, βοηθάει στην εξαγωγή στοιχείων που απαντούν στα ερωτήματα που ο αποφασίζων θέτει [24]. Τα στοιχεία αυτά βοηθούν στην αποσαφήνιση της απόφασης και συχνά στην διατύπωση συμβουλών ή απλά προτιμήσεων. Ο όρος συμβουλή χρησιμοποιείται, καθώς ο αποφασίζων είναι πλήρως ελεύθερος να πράξει όπως ο ίδιος επιθυμεί, μετά τη λήψη της υποστήριξης της απόφασης [25].



Σχήμα 8: Οι εμπλεκόμενοι φορείς μιας απόφασης και ο τρόπος με τον οποίο αλληλοεπιδρούν [20].

Η θεωρία της πολυκριτήριας ανάλυσης μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες [26]:

- Πολυκριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός (multiobjective mathematical programming).
- Πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας (multiattribute utility theory).
- Θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations approach).
- Αναλυτική συνθετική προσέγγιση (preference disaggregation approach).

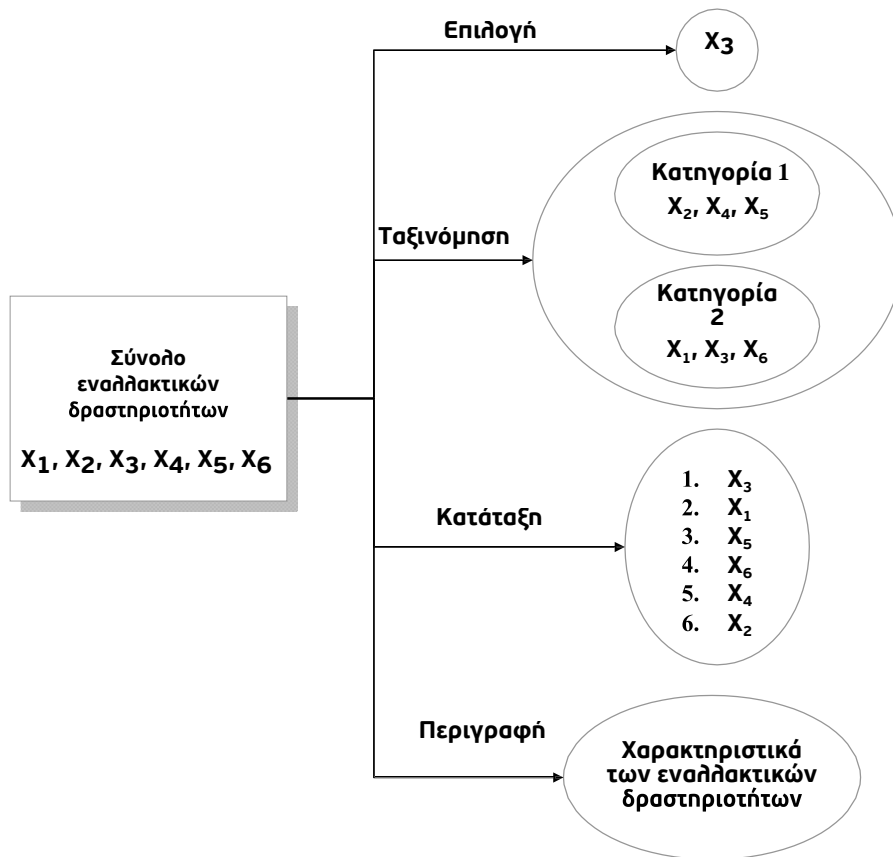
Σύμφωνα με τον Roy [27, 28] και όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, μπορούν να οριστούν οι τέσσερις προβληματικές της ανάλυσης (decision problematic).

Κατάταξη (ranking): Η προβληματική της κατάταξης έχει σαν στόχο την δημιουργία ενός καταλόγου προτίμησης των διαθέσιμων εναλλακτικών δραστηριοτήτων με βάση μια σειρά προτεραιότητας. Με άλλα λόγια, οι εναλλακτικές δραστηριότητες κατατάσσονται από τις καλύτερες προς τις χειρότερες.

Επιλογή (choice): Η προβληματική της επιλογής, περιλαμβάνει την εύρεση του μικρότερου δυνατού υποσυνόλου, από ένα μεγαλύτερο σύνολο εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι εναλλακτικές του οποίου είναι οι πλέον κατάλληλες για να επιλύσουν ένα δεδομένο πρόβλημα.

Περιγραφή (description): Η προβληματική της περιγραφής των εναλλακτικών δραστηριοτήτων ενός προβλήματος, αναφέρεται στην αναπαράσταση αυτών βάσει των επιδόσεων τους στα επιμέρους κριτήρια περιγραφής τους.

Ταξινόμηση (classification): Η προβληματική της ταξινόμησης έχει σαν στόχο την ανάθεση κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας σε μια προκαθορισμένη ομοιογενή κατηγορία (κλάση). Η ανάθεση αυτή πρέπει να βασίζεται στην σημαντικότητα ενός κριτηρίου για μια εναλλακτική δραστηριότητα και όχι στην σύγκριση της με τις άλλες εναλλακτικές δραστηριότητες του αρχικού συνόλου. Παρ' όλα αυτά, πρακτικά, η αντιστοίχιση συχνά βασίζεται στις σχετικές διαφορές των εναλλακτικών δραστηριοτήτων επί ενός κριτηρίου.



Σχήμα 9: Τα τέσσερα είδη προβληματικής της απόφασης [29].

Μια από τις σημαντικότερες και πιο διάσημες μεθοδολογίες για την λήψη αποφάσεων είναι του Roy [27], η οποία αποτελείται από τέσσερα βασικά βήματα (Σχήμα 10).

Βήμα 1ο: Μελέτη του αντικειμένου απόφασης. Καθορίζεται το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί καθώς και το σύνολο των λύσεων του προβλήματος. Το σύνολο αυτό μπορεί να είναι είτε συνεχές είτε διακριτό. Ταυτόχρονα ορίζεται και η μέθοδος πολυκριτήριας ανάλυσης που θα ακολουθηθεί για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Βήμα 2ο: Συνεπής οικογένεια κριτηρίων. Ο αποφασίζων εντοπίζει όλους του παράγοντες που επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά την λήψη της τελικής απόφασης του προβλήματος. Οι παράγοντες ονομάζονται και κριτήρια και έχουν κάποιες βασικές και αναγκαίες ιδιότητες. Πρέπει να είναι μονότονοι, επαρκείς και μη πλεονάσιμοι (δηλαδή η εξαίρεση ενός κριτηρίου από το σύνολο το

κριτηρίων έχει ως αποτέλεσμα την αναίρεση της μονοτονίας ή της επάρκειας για ένα ζεύγος κριτηρίων). Με την λέξη κριτήριο εννοούμε «το μέτρο για την διαμόρφωση κρίσης και με αυτή την έννοια χρησιμοποιείται στην επιχειρησιακή έρευνα και την θεωρία αποφάσεων».

Βήμα 3ο: Μοντέλο ολικής προτίμησης. Ο αποφασίζων εκφράζει τις προτιμήσεις του για κάθε ένα από τα κριτήρια που επιλέχθηκαν σε συνάρτηση των επιλεγμένων εναλλακτικών. Οι διαφορετικές προτιμήσεις που έχει κάθε μέλος για ένα κριτήριο θα έχουν άμεσο αντίκτυπο στο τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης. Σε ένα συλλογικό μοντέλο αποφάσεων οι προτιμήσεις αυτές συμψηφίζονται ώστε να δοθεί ένα τελικό ομαδικό αποτέλεσμα.

Βήμα 4ο: Υποστήριξης της απόφασης. Διερεύνηση και αξιολόγηση της απόφασης. Στο στάδιο αυτό κρίνεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να λυθεί το πρόβλημα όσον αφορά στην επιλογή της προβληματικής αλλά και στον τρόπο σύνθεσης των προτιμήσεων.



Σχήμα 10: Τα βήματα λήψης της απόφασης [27].

3.2. ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΥΠΕΡΟΧΗΣ (OUTRANKING RELATIONS THEORY)

Η θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations theory) είναι μια από τις τέσσερις μεγάλες κατηγορίες πολυκριτηριακών μεθόδων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η ομάδα των αλγορίθμων ELECTRE. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε πρώτη φορά από τον Bernard Roy το 1965, όταν δούλευε σε εταιρία συμβουλών. Σκοπός της ELECTRE ήταν να επιλέξει την καλύτερη ενέργεια από μια συγκεκριμένη σειρά ενεργειών για όφελος της εταιρίας. Με την πάροδο του χρόνου η ELECTRE εξελιχθείτε σε ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS και ELECTRE TRI. Μια άλλη οικογένεια μεθόδων που ανήκουν στην οικογένεια των σχέσεων υπεροχής είναι η PROMETHEE [30].

Η βασική ιδέα της οικογένειας των μεθόδων αυτών είναι η δημιουργία σχέσεων υπεροχής ανάμεσα στις εναλλακτικές τιμές του προβλήματος. Μέσω των σχέσεων υπεροχής που έχουν δημιουργηθεί εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα – αποτελέσματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των εναλλακτικών (ποια είναι η καλύτερη και ποια είναι λιγότερο καλή), μέσω των οποίων υπολογίζεται και η τελική λύση για το πρόβλημα που εξετάζεται [31].

Η σχέση υπεροχής είναι μια διμερής σχέση η οποία επιτρέπει την εκτίμηση της ισχύος της υπεροχής μιας εναλλακτικής δραστηριότητας έναντι μιας άλλης εναλλακτικής δραστηριότητας. Η ισχύς αυτή αυξάνει όσο περισσότερες είναι οι ενδείξεις υπέρ της υπεροχής της μίας εναλλακτικής δραστηριότητας (θετικές ενδείξεις) χωρίς παράλληλα να υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις που να αναιρούν την ισχύ της υπεροχής (αρνητικές ενδείξεις) [32].

Η γενική έννοια και ορισμός της σχέσης υπεροχής, όπως περιεγράφηκε παραπάνω, υιοθετείται από όλες τις μεθοδολογίες της θεωρίας των σχέσεων υπεροχής, αλλά ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται διαφέρει, ανάλογα με την μέθοδο. Στις περισσότερες μεθοδολογίες, η σχέση υπεροχής κατασκευάζεται μέσα από μια σειρά διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών

δραστηριοτήτων. Παρά το γεγονός ότι οι διμερείς συγκρίσεις μπορούν να γίνουν με πολλούς τρόπους, η αρχή της συμφωνίας – ασυμφωνίας (concordance – discordance principle) είναι κυρίαρχη στις περισσότερες μεθοδολογίες της θεωρίας των σχέσεων υπεροχής. Βάσει της αρχής αυτής, «η εναλλακτική a είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο η εναλλακτική b » και συμβολίζεται με aSb , αν [33]:

- Η πλειοψηφία των κριτηρίων υποστηρίζει τον παραπάνω ισχυρισμό (συνθήκη συμφωνίας – concordance condition).
- Η αντίθεση των άλλων κριτηρίων – της μειονότητας – δεν είναι τόσο ισχυρή (συνθήκη ασυμφωνίας – discordance condition).

Με την βοήθεια της διμερούς σχέσης S μπορούν να μοντελοποιηθούν οι τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις προτίμησης [34].

Κατάσταση Προτίμησης (Preference). Αν ισχύει ότι aSb και παράλληλα δεν ισχύει ότι bSa , τότε η εναλλακτική a προτιμάται αυστηρά της εναλλακτικής b , γεγονός που συμβολίζεται με xPy .

Κατάσταση Αδιαφορίας (Indifference). Αν ισχύει ότι aSb και παράλληλα ισχύει ότι bSa , η εναλλακτική a είναι αδιάφορη της εναλλακτικής b ή οι δύο εναλλακτικές είναι ισοδύναμες, γεγονός που συμβολίζεται με aIb .

Κατάσταση Μη Συγκρισιμότητας (Incomparability). Αν δεν ισχύει ότι aSb και παράλληλα δεν ισχύει ότι bSa , τότε η εναλλακτική a είναι μη συγκρίσιμη της εναλλακτικής b , γεγονός που συμβολίζεται με aRb .

3.3. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE I (ELIMINATION ET CHOIX TRADUISANT LA REALITÉ)

Η μέθοδος ELECTRE I (ELimination Et Choix Traduisant la Realite) θεμελιώθηκε από τον Roy [28, 35, 36] και απαντά σε προβλήματα επιλογής (choice).

Έστω ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα n κριτηρίων C_j και m εναλλακτικών επιλογών P_i , όπου σε κάθε κριτήριο έχει δοθεί μία βαρύτητα (σημαντικότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια) w_j^* και κάθε εναλλακτική επιλογή έχει μια επίδοση (score) g_{ij} σε κάθε κριτήριο j . Όλα τα παραπάνω φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Η μορφή ενός πίνακα n κριτηρίων C_j και m εναλλακτικών επιλογών P_i . w_j είναι η βαρύτητα κάθε κριτηρίου και g_{ij} είναι η επίδοση κάθε εναλλακτικής σε κάθε κριτήριο.

	C_{r_1}	C_{r_2}	...	C_{r_n}
w	w_1	w_2	...	w_n
P_1	g_{11}	g_{12}	...	g_{1n}
P_2	g_{21}	g_{22}	...	g_{2n}
...
P_m	G_{m1}	G_{m2}	...	G_{mn}

Πίνακας 8: Η μορφή του πίνακα συμφωνίας (στοιχεία C) και του πίνακα ασυμφωνίας (στοιχεία D) της μεθόδου ELECTRE I.

	P_1	P_2	...	P_m
P_1		C_{12} ή D_{12}	...	C_{1m} ή D_{1m}
P_2	C_{21} ή D_{21}		...	C_{2m} ή D_{2m}
...
P_m	C_{m1} ή D_{m1}	C_{m2} ή D_{m2}	...	

* Σε όσα ακολουθούν έχει γίνει η σύμβαση ότι οι βαρύτητες τίθενται έτσι ώστε το άθροισμά τους να είναι ίσο με 1. Παρά ταύτα, η βαρύτητα κάθε κριτηρίου μπορεί να είναι οποιοσδήποτε πραγματικός αριθμός. Το πηλίκο της κάθε βαρύτητας διά το άθροισμα όλων των βαρυτήτων $w_j/\sum w_j$ δίνει τις κανονικοποιημένες βαρύτητες, το άθροισμα των οποίων είναι, όπως στη θεώρηση που πραγματοποιείται, 1.

Σύμφωνα με τη μέθοδο ELECTRE I, από τον Πίνακα εξάγονται δύο πίνακες, οι οποίοι συγκρίνουν τις εναλλακτικές επιλογές P: ο πίνακας συμφωνίας C και ο πίνακας ασυμφωνίας D (Πίνακας 8). Έστω ότι η σύγκριση πραγματοποιείται ανάμεσα στην εναλλακτική α και στην εναλλακτική β, όπου προφανώς $\alpha \neq \beta$. Έστω επίσης ότι με $g_j(\alpha) \geq g_j(\beta)$ συμβολίζονται τα κριτήρια εκείνα στα οποία η α είναι τουλάχιστον ισοδύναμη (δηλαδή είναι καλύτερη ή ισοδύναμη) της β και ότι με $g_j(\beta) - g_j(\alpha)$ συμβολίζεται κατά πόσο η α χάνει από τη β (δηλαδή αν πρόκειται για κριτήριο προς μεγιστοποίηση είναι ίσο με $g_j(\beta) - g_j(\alpha)$, ενώ αντίθετα αν πρόκειται για κριτήριο προς ελαχιστοποίηση είναι ίσο με $g_j(\alpha) - g_j(\beta)$). Τέλος, έστω ότι με $g_j(c) - g_j(d)$ συμβολίζεται το κατά πόσο χάνει κάθε εναλλακτική από κάθε άλλη σε κάθε κριτήριο (δηλαδή με $\max [g_j(c) - g_j(d)]$ συμβολίζεται το μέγιστο κατά το οποίο χάνει μία εναλλακτική από κάποια άλλη σε οποιοδήποτε κριτήριο και προφανώς είναι μοναδικό για κάθε πρόβλημα).

Τότε, τα στοιχεία του πίνακα συμφωνίας C θα είναι της μορφής $C(\alpha, \beta)$ και τα στοιχεία του πίνακα ασυμφωνίας D θα είναι της μορφής $D(\alpha, \beta)$ και θα προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$C(\alpha, \beta) = \frac{1}{W} \sum_{g_j(\alpha) \geq g_j(\beta)} w_j, \text{ όπου } W = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j$$

$$D(\alpha, \beta) = \begin{cases} 0, \text{ αν } g_j(\alpha) \geq g_j(\beta) \forall j \\ \frac{1}{\delta} \max [g_j(\beta) - g_j(\alpha)] \end{cases}, \text{ όπου } \delta = \max [g_j(c) - g_j(d)]$$

Προφανώς, ισχύει ότι:

$$0 \leq C(\alpha, \beta) \leq 1$$

$$0 \leq D(\alpha, \beta) \leq 1$$

Έστω μια τιμή από τον πίνακα συμφωνίας \hat{c} και η αντίστοιχη τιμή του πίνακα ασυμφωνίας \hat{d} . Η σχέση επικράτησης που ισχύει είναι η ακόλουθη:

$$\alpha S \beta \Leftrightarrow C(\alpha, \beta) \geq \hat{c} \text{ και } D(\alpha, \beta) \geq \hat{d}$$

Η σχέση επικράτησης είναι ισχυρότερη (ή πιο βέβαιη) όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του \hat{c} (και αντίστοιχα όσο χαμηλότερη η τιμή του \hat{d}) και αντίστροφα,

ασθενέστερη (ή λιγότερο βέβαιη) όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του \hat{c} (και αντίστοιχα όσο υψηλότερη η τιμή του \hat{d}). Με αυτό το σκεπτικό, πραγματοποιούνται διαδοχικοί έλεγχοι, ξεκινώντας από το ζευγάρι με το υψηλότερο \hat{c} και το χαμηλότερο \hat{d} (αυστηρή λύση) και εν συνεχεία, πραγματοποιείται «χαλάρωση» σε χαμηλότερα \hat{c} (και ταυτόχρονα υψηλότερα \hat{d}), οπότε και απορρίπτονται επιπλέον εναλλακτικές (επιεικείς λύσεις). Σύμφωνα με τις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές, δεν ενδείκνυται το «χαλάρωμα» σε τιμές μικρότερες από $\hat{c} = 0,7$ και μεγαλύτερες από $\hat{d} = 0,3$. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορούν να θεωρηθούν οι εναπομείναντες εναλλακτικές ισοδύναμες, ή να επιχειρηθεί με σημαντική επιφύλαξη ένα επιπλέον μικρό «χαλάρωμα».

3.4. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE I ΜΕ ΒΕΤΟ

Έστω ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα n κριτηρίων C_j και m εναλλακτικών επιλογών P_i , όπου σε κάθε κριτήριο έχει δοθεί μια βαρύτητα w_j και κάθε εναλλακτική επιλογή έχει μια επίδοση (score) g_{ij} σε κάθε κριτήριο j . Εισάγεται επιπλέον ένα κατώφλι αδιαφορίας βέτο (veto) v_j σε ορισμένα ή όλα τα κριτήρια, το οποίο δηλώνει ότι διαφορές της επίδοσης ανάμεσα σε δύο εναλλακτικές μικρότερες από την τιμή του βέτο θεωρούνται αμελητέες. Με άλλα λόγια, δύο οποιεσδήποτε εναλλακτικές, των οποίων η επίδοση σε κάποιο κριτήριο απέχει κατά λιγότερο από την τιμή του βέτο, κρίνονται απολύτως ισοδύναμες, στο εν λόγω κριτήριο.

Η μέθοδος ELECTRE I με βέτο περιλαμβάνει, αντίστοιχα με την ELECTRE I, ένα πίνακα συμφωνίας και έναν πίνακα ασυμφωνίας, από τους οποίους εξάγεται η σχέση επικράτησης. Ο πίνακας συμφωνίας προκύπτει με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στη μέθοδο ELECTRE I χωρίς τη χρήση βέτο (βλ. §3.3). Με άλλα λόγια, η ύπαρξη βέτο δεν επηρεάζει τον πίνακα συμφωνίας. Οι τιμές του πίνακα ασυμφωνίας προκύπτουν από τη σχέση:

$$D(\alpha, \beta) = \begin{cases} 0, & \text{αν } g_j(\alpha) - g_j(\beta) < v_j \\ 1, & \text{αν } g_j(\alpha) - g_j(\beta) \geq v_j \end{cases}$$

Προφανώς, κριτήρια στα οποία δεν έχει τεθεί κάποιο βέτο, δεν εξετάζονται κατά την κατασκευή του πίνακα ασυμφωνίας.

Εν συνεχεία, η σχέση επικράτησης και η διαδικασία που ακολουθείται μέχρι την τελική επιλογή μίας n περισσότερων εναλλακτικών, είναι όμοια με εκείνη που ακολουθείται στην απλή ELECTRE I (βλ. §3.3). Μοναδική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι το $\hat{\alpha}$ τίθεται ίσο με 0 και δεν αυξάνεται, καθώς μειώνεται διαδοχικά το $\hat{\epsilon}$, αφού οι μοναδικές τιμές που μπορεί να λάβει το $\hat{\alpha}$ είναι 0 και 1.

3.5. Η ΜΕΘΟΔΟΣ PROMETHEE (PREFERENCE RANKING ORGANIZATION METHOD FOR ENRICHMENT EVALUATIONS)

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) θεμελιώθηκε από τον Brans [37] και απαντά σε προβλήματα κατάταξης (ranking).

Έστω ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα n κριτηρίων C_j και m εναλλακτικών επιλογών P_i , όπου σε κάθε κριτήριο έχει δοθεί μία βαρύτητα w_j και κάθε εναλλακτική επιλογή έχει μια επίδοση (score) g_{ij} σε κάθε κριτήριο j . Στη μέθοδο PROMETHEE, συγκρίνονται οι εναλλακτικές μεταξύ τους ξεχωριστά για κάθε κριτήριο. Έτσι, για κάθε κριτήριο C_j προκύπτει ένας πίνακας, στοιχεία του οποίου είναι ο βαθμός προτίμησης H_j .

Έστω ότι συγκρίνεται η εναλλακτική α με την εναλλακτική β . Ο βαθμός προτίμησης της α σε σχέση με τη β σε κάποιο κριτήριο συμβολίζεται με $H_j(\alpha - \beta)$. Έστω επίσης ότι με $g(\alpha) \geq g(\beta)$ συμβολίζεται το γεγονός ότι η α είναι τουλάχιστον ισοδύναμη (δηλαδή είναι καλύτερη ή ισοδύναμη) της β , με $g(\alpha) = g(\beta)$ το γεγονός ότι η α και η β είναι ισοδύναμες και ότι με $g(\beta) - g(\alpha)$ συμβολίζεται κατά πόσο η α χάνει από τη β (δηλαδή αν πρόκειται για κριτήριο προς μεγιστοποίηση είναι ίσο με $g(\beta) - g(\alpha)$, ενώ αντίθετα αν πρόκειται για κριτήριο προς ελαχιστοποίηση είναι ίσο με $g(\alpha) - g(\beta)$).

Στη μέθοδο PROMETHEE, η σύγκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν από τους έξι τύπους κριτηρίων που φαίνονται στον Πίνακα 9 και περιγράφονται στη συνέχεια [37]. Επισημαίνεται ότι οι συγκεκριμένοι τύποι κριτηρίων δεν θα πρέπει να συγχέονται με τα κριτήρια του προβλήματος.

Τύπος κριτηρίου 1: Σύνηθες κριτήριο (usual criterion):

$$H_j(\alpha - \beta) = \begin{cases} 0, & \text{αν } g(\alpha) \leq g(\beta) \\ 1, & \text{αν } g(\alpha) > g(\beta) \end{cases}$$

Τύπος κριτηρίου 2: Σχεδόν κριτήριο (quasi criterion):

$$H_j(\alpha - \beta) = \begin{cases} 0, \text{αν } g(\alpha) < g(\beta) \\ 0, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) \leq q \\ 1, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) > q \end{cases}$$

όπου q είναι ένα κατώφλι αδιαφορίας που τίθεται στο συγκεκριμένο κριτήριο και δηλώνει ότι υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των δύο εναλλακτικών, όταν η διαφορά του σκορ των δύο εναλλακτικών δεν υπερβαίνει την τιμή του q .

Τύπος κριτηρίου 3: Κριτήριο γραμμικής προτίμησης (criterion with linear preference):

$$H_j(\alpha - \beta) = \begin{cases} 0, \text{αν } g(\alpha) < g(\beta) \\ \frac{g(\alpha) - g(\beta)}{p}, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) \leq p \\ 1, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) > p \end{cases}$$

όπου p είναι το κατώφλι προτίμησης, που δηλώνει ότι εάν η διαφορά μεταξύ των δύο εναλλακτικών είναι μεγαλύτερη από p , τότε υπάρχει μια ισχυρή προτίμηση, ενώ αν είναι μικρότερη ή ίση με p , τότε η προτίμηση είναι ασθενής.

Τύπος κριτηρίου 4: Κριτήριο επιπέδου (level criterion):

$$H_j(\alpha - \beta) = \begin{cases} 0, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) \leq q \text{ ή αν } g(\alpha) < g(\beta) \\ 0,5, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) \in (q, p] \\ 1, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) > p \end{cases}$$

όπου p είναι το κατώφλι προτίμησης, q είναι το κατώφλι αδιαφορίας και προφανώς ισχύει ότι $q < p$.

Τύπος κριτηρίου 5: Κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας (criterion with linear preference and indifference area):

$$H_j(\alpha - \beta) = \begin{cases} 0, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) \leq q \text{ ή αν } g(\alpha) < g(\beta) \\ \frac{g(\alpha) - g(\beta) - q}{p - q}, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) \in (q, p] \\ 1, \text{αν } g(\alpha) - g(\beta) > p \end{cases}$$

όπου p είναι το κατώφλι προτίμησης και q είναι το κατώφλι αδιαφορίας.

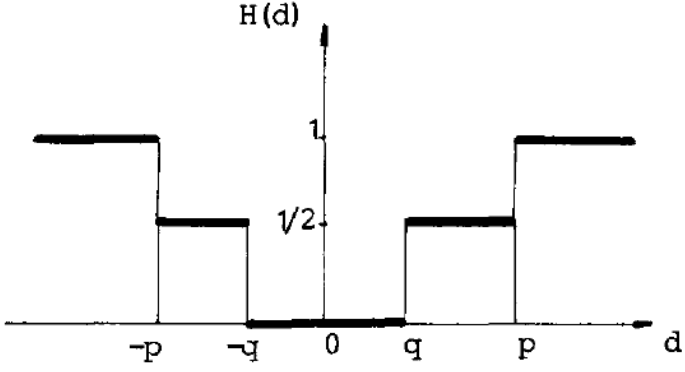
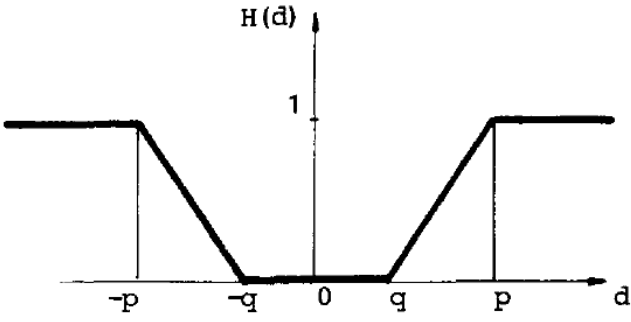
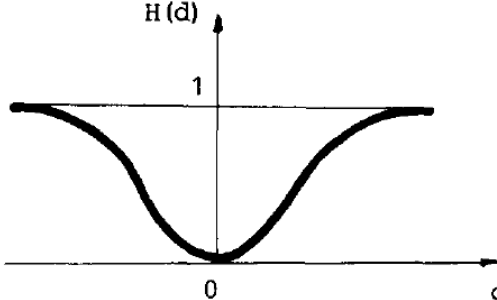
Τύπος κριτηρίου 6: Κριτήριο του Gauss (Gaussian criterion):

$$H_j(\alpha - \beta) = \begin{cases} 0, \text{ αν } g(\alpha) \leq g(\beta) \\ 1 - \exp\left[-\frac{(g(\alpha) - g(\beta))^2}{2\sigma^2}\right] \end{cases}$$

όπου σ είναι η παράμετρος που καθορίζει το σημείο αλλαγής στην καμπή της συνάρτησης.

Πίνακας 9: Οι έξι τύποι κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE και τα αντίστοιχα διαγράμματα της συνάρτησης του βαθμού προτίμησης των δύο συγκρινόμενων εναλλακτικών, $H(d)$ [37] (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).

Τύπος Κριτηρίου	Διάγραμμα	Παράμετροι
1: Σύνηθες κριτήριο (usual criterion)		-
2: Σχεδόν κριτήριο (quasi criterion)		q
3: Κριτήριο γραμμικής προτίμησης (criterion with linear preference)		p

Τύπος Κριτηρίου	Διάγραμμα	Παράμετροι
4: Κριτήριο επιπέδου (level criterion)		q, p
5: Κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας (criterion with linear preference and indifference area)		q, p
6: Κριτήριο του Gauss (Gaussian criterion)		σ

Τα στοιχεία των πινάκων όλων των κριτηρίων C_i αθροίζονται γραμμικά, λαμβάνοντας υπόψη τη βαρύτητα που έχει δοθεί σε κάθε κριτήριο, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\pi(P_i, P_j) = \sum_{j=1}^n w_j H_j(P_i, P_j)$$

Για τον προσδιορισμό της σχέσης υπεροχής, πρώτα υπολογίζονται τα εξής μεγέθη:

$$\Phi^-(P_i) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \pi(P_j, P_i)$$

$$\Phi^+(P_i) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \pi(P_i, P_j)$$

$$\Phi(P_i) = \Phi^+(P_i) + \Phi^-(P_i)$$

Τέλος, ως $\alpha \sim \beta$ συμβολίζεται το γεγονός ότι η εναλλακτική α είναι ισοδύναμη της β και πραγματοποιείται κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών, εφαρμόζοντας τις εξής σχέσεις υπεροχής:

$$\alpha \succ \beta \Leftrightarrow \Phi(\alpha) > \Phi(\beta)$$

$$\alpha \sim \beta \Leftrightarrow \Phi(\alpha) = \Phi(\beta)$$

3.6. ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

Έστω ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα n κριτηρίων C_j και m εναλλακτικών επιλογών P_i , όπου κάθε εναλλακτική επιλογή έχει μια επίδοση (score) g_{ij} σε κάθε κριτήριο j . Έστω επίσης ότι D_j είναι το άθροισμα των κανονικοποιημένων επιδόσεων κάθε κριτηρίου (δηλαδή ισχύει ότι $D_j = \sum_{i=1}^m g_{ij}$). Ένα εξαιρετικά διαδεδομένο μέτρο πληροφορίας ενός κριτηρίου είναι η εντροπία H . Όσο μεγαλύτερη είναι η εντροπία του κριτηρίου, τόσο μικρότερη πληροφορία παρέχει στην περιγραφή και αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών (στη Φυσική ως εντροπία ορίζεται το μέτρο της αταξίας που επικρατεί σε ένα σύστημα). Η μέγιστη τιμή της εντροπίας είναι 1 και εμφανίζεται όταν όλες οι εναλλακτικές έχουν την ίδια επίδοση στο συγκεκριμένο κριτήριο. Η εντροπία κάθε κριτηρίου δίνεται από τη σχέση [38]:

$$H(j) = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \frac{g_{ij}}{D_j} \ln \frac{g_{ij}}{D_j}$$

Έστω ότι με H^* συμβολίζεται η συνολική εντροπία των κριτηρίων (δηλαδή ισχύει ότι $H^* = \sum_{j=1}^n H(j)$). Τότε, η βαρύτητα w_j κάθε κριτηρίου μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της σχέσης:

$$w_j = \frac{1}{n - H^*} [1 - H(j)]$$

3.7. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΗΡ (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)

Η μέθοδος ΑΗΡ (Analytic Hierarchy Process) προϋποθέτει τη σύγκριση των στοιχείων (εναλλακτικές και βαρύτητες) ανά ζεύγη. Πιο συγκεκριμένα, ο αποφασίζων καλείται να προσδιορίσει πόσο μεγαλύτερη σημασία έχει για εκείνον καθένα στοιχείο, σε σύγκριση με κάθε άλλο (ιεράρχηση). Ο προσδιορισμός γίνεται με βάση την κλίμακα που φαίνεται στον Πίνακα 10. Προφανώς, αν α και β τα δύο στοιχεία που συγκρίνονται και $x (= \{1,2,\dots,9\})$ το πόσο σημαντικότερο είναι το α από το β, τότε η σημαντικότητα του β σε σχέση με το α θα είναι $1/x$. Το μητρώο το οποίο προκύπτει κανονικοποιείται και η βαρύτητα κάθε στοιχείου προκύπτει ως ο μέσος όρος των στοιχείων του μητρώου του.

Πίνακας 10: Η κλίμακα της έντασης της σημασίας ενός στοιχείου σχέση με ένα άλλο, στη μέθοδο ΑΗΡ [39].

Ένταση της Σημασίας	Ορισμός
1	Ισοδύναμα
2	Ασθενής
3	Μέτρια
4	Παραπάνω από Μέτρια
5	Ισχυρή
6	Παραπάνω από Ισχυρή
7	Πολύ Ισχυρή
8	Παραπάνω από Πολύ Ισχυρή
9	Πλήρης

Προς επιβεβαίωση της ορθότητας της ακολουθούμενης διαδικασίας, υπολογίζονται τα Μέτρα Συνέπειας, ΜΣ, των στοιχείων ως γινόμενο της σημασίας του στοιχείου σε σχέση με τα υπόλοιπα, επί της βαρύτητας του κριτηρίου, όπως προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία. Εφόσον το μέτρο συνέπειας όλων των στοιχείων είναι περίπου ίσο με τον αριθμό των στοιχείων,

τότε προκύπτει ένδειξη ότι η διαδικασία έχει πραγματοποιηθεί ομαλά. Τέλος, υπολογίζεται ο Δείκτης Συνέπειας, ΔΣ, από τη σχέση:

$$\Delta\Sigma = \frac{\lambda - n}{(n - 1)RI}$$

όπου: λ είναι ο μέσος όρος των ΜΣ όλων των στοιχείων, n είναι ο αριθμός των στοιχείων και RI είναι μεταβλητή, η τιμή της οποίας εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων και δίνεται στον Πίνακα 11. Ο δείκτης συνέπειας πρέπει να είναι περίπου ίσος με 0.

Πίνακας 11: Οι τιμές της μεταβλητής RI , συναρτήσει του αριθμού των στοιχείων, n .

n	RI
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

4.1. Η ΕΘΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Η Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος (ΕΒΕ – Σχήμα 11) ιδρύθηκε τυπικά με το Διάταγμα, που εκδόθηκε στις 15 Μαΐου 1832, με την επωνυμία «Δημοσία Βιβλιοθήκη» και με Διευθυντή το Γεώργιο Γεννάδιο, που έφερε τον τίτλο του «Επιστάτου».

Οι πρώτες «Σκέψεις περί σχηματισμού Εθνικής Ελληνικής Βιβλιοθήκης» δημοσιεύτηκαν από το φιλέλληνα Ι. Μάγερ σε άρθρο του στα «Ελληνικά Χρονικά» του Μεσολογίου, τον Αύγουστο του 1824. Η ιδέα υλοποιήθηκε το 1829 από τον Κυβερνήτη Ιωάννη Καποδίστρια, ο οποίος συμπεριέλαβε τη Βιβλιοθήκη μαζί με τα άλλα πνευματικά Ιδρύματα – Σχολεία, Εθνικό Μουσείο, Τυπογραφίας – στο Ορφανοτροφείο της Αίγινας, και ανέθεσε την επιστασία στον Ανδρέα Μουστοξύδη, Πρόεδρο της Επιτροπής του Ορφανοτροφείου, Έφορο και Διευθυντή του Εθνικού Μουσείου, Έφορο του Κεντρικού Σχολείου κ.λπ..

Στο τέλος του 1830 η Βιβλιοθήκη, που χαρακτηριζόταν από τον ίδιο το Μουστοξύδη ως Εθνική Βιβλιοθήκη, αριθμούσε 1.018 τόμους εντύπων βιβλίων, που είχαν συλλεγεί μετά από έκκληση των Αρχών προς όλους τους Έλληνες και φιλέλληνες, προς τους διοικητές και προς τις μονές της χώρας.

Το 1834 η Βιβλιοθήκη μεταφέρθηκε στη νέα πρωτεύουσα του Κράτους, την Αθήνα, και στεγάστηκε προσωρινά στο κτίσμα του Λουτρού (στη Ρωμαϊκή Αγορά) και αργότερα στην εκκλησία του Αγίου Ελευθερίου (δίπλα στη Μητρόπολη) και σε άλλα κτίρια. Παράλληλα με την κρατική μέριμνα για τον εμπλουτισμό της με αγορές ιδιωτικών βιβλιοθηκών, όπως αυτή του Δημήτρη Ποστολάκα (1.995 τόμοι), η Βιβλιοθήκη δέχτηκε πολλές δωρεές βιβλίων, όπως αυτές των Χριστόφορου και Κωνσταντίνου Σακελλαρίου (5.400 τόμοι), του Μάρκου Ρενιέρη (3.401 τόμοι) κ.ά.. Το 1842 η Δημόσια Βιβλιοθήκη (με 35.000 τόμους) ενοποιήθηκε με τη Βιβλιοθήκη του Πανεπιστημίου (15.000 τόμους) και

συστεγάστηκαν, μαζί με τη Νομισματική Συλλογή, στο νέο κτίριο του Οθώνειου Πανεπιστημίου.

Πρώτος Έφορος (Διευθυντής) ορίστηκε ο Γεώργιος Κοζάκης-Τυπάλδος, που παρέμεινε στη θέση αυτή ως το 1863. Την εποχή αυτή η Βιβλιοθήκη εμπλουτίστηκε με σημαντικές δωρεές σπάνιων ξενόγλωσσων βιβλίων, προερχόμενες από βασιλείς και ηγεμόνες χωρών της Ευρώπης.

Με το βασιλικό διάταγμα του 1866 οι δύο Βιβλιοθήκες συγχωνεύτηκαν και διοικητικά σε μία, με τον τίτλο «Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος». Στις 16 Μαρτίου 1888 τέθηκε ο θεμέλιος λίθος του νεοκλασικού μαρμάρινου κτηρίου, που χρηματοδοτήθηκε από τους Κεφαλληνούς αδελφούς Παναγή, Μαρίνο και Ανδρέα Βαθλιάνο.

Η Βιβλιοθήκη παρέμεινε στο κτίριο του Πανεπιστημίου μέχρι το 1903, οπότε μεταφέρθηκε στο νέο λαμπρό κτίριο, που σχεδιάστηκε από το Θεόφιλο Χάνσεν και οικοδομήθηκε με γενική επίβλεψη του Ερνέστου Τσίλλερ. Το κτίριο αποτελείται από τρία μέρη, με το βασικότερο να είναι το κεντρικό αναγνωστήριο, με τους στύλους ιωνικού ρυθμού και την γυάλινη οροφή. Για να φτάσει κανείς σε αυτό, περνά από δωρικούς κίονες-αναφορές στον Ναό του Ηφαίστου και φυσικά από την διπλή καμπυλωτή αναγεννησιακή σκάλα. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1902

Σήμερα η ΕΒΕ εξακολουθεί να στεγάζεται στο Βαθλιάνειο κτίριο, στο κέντρο της Αθήνας (Πανεπιστημίου 32, Αθήνα) καθώς και σε δύο άλλα κτίρια (Αγία Παρασκευή και Νέα Χαλκηδόνα) και η πολύτιμη, στο σύνολό της, Συλλογή του υλικού της περιλαμβάνει το γραπτό εθνικό πολιτιστικό θησαυρό της Ελλάδας. Στο μέλλον αναμένεται να μεταφερθεί στο Δέλτα Φαλήρου, στο αρχιτεκτονικό σχέδιο που θα χρηματοδοτήσει το Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος [40].

Σήμερα, η ΕΒΕ παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Αναγνωστήρια. Παρέχει δύο αναγνωστήρια βιβλίων και χειρόγραφων.

- Ελληνική Βιβλιογραφία. Η κύρια αποστολή της ΕΒΕ είναι να εκδίδει την Ελληνική Βιβλιογραφία, στην οποία καταγράφεται επίσημα η Εκδοτική Παραγωγή της Ελλάδας.
- Εθνικό κέντρο ISBN/ISSN/ISMN. Διατίθεται έντυπος και ηλεκτρονικός κατάλογος Ελλήνων εκδοτών.
- Καταθέσεις εντύπων. Κάθε εκδότης ή συγγραφέας καταθέτει τρία αντίτυπα, εφόσον το έντυπό του εκδίδεται από την ΕΒΕ.
- Εκδόσεις. Εκδίδει καταλόγους, πρότυπα και βιβλιοθηκονομικά εγχειρίδια για την οργάνωση των βιβλιοθηκών και γενικά για την εξυπηρέτηση της βιβλιοθηκονομικής κοινότητας.
- Λίστες συζητήσεων. Αναζητήσεις πραγματοποιούνται ηλεκτρονικά, μέσω server.
- Φωτοτύπηση και Εκτυπώσεις Μικροταινιών. Παρέχεται η δυνατότητα φωτοτύπησης και εκτύπωσης μικροταινιών βάσει συγκεκριμένων κανόνων και περιορισμών.



Σχήμα 11: Η Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος.

4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΑΠΟΦΑΣΗΣ (DECISION OBJECT)

Καθαρισμός ονομάζεται η απομάκρυνση κάθε ουσίας η οποία είναι επιβλαβής για το υλικό: διαλυτά άλατα, κρούστες όχι πολύ διαλυτές ή αδιάλυτες, διαστρωματώσεις διαφορετικών υλικών σκόπιμα εφαρμοσμένων και μη σταθερών, εκκρίσεις ζώων, ανεπτυγμένη βλάστηση κ.λπ. [41]. Η αποτίμηση των μεθόδων καθαρισμού είναι θεμελιώδες κριτήριο τόσο κατά τη διάρκεια πιλοτικών εφαρμογών και την επιλογή της ή των μεθόδων καθαρισμού που τελικά θα εφαρμοστούν, όσο και για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου που τελικά εφαρμόστηκε (για συγκεκριμένο υλικό και συγκεκριμένο τύπο φθοράς).

Περιοχές του ιστορικού κτιρίου της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος εμφανίζουν εύθρυπτη φαιόμαυρη κρούστα. Μετά από μελέτες [42], προσδιορίστηκε ότι η εν λόγω κρούστα παρουσιάζει μια εξωτερική πορώδη ζώνη με εμφανείς μικρορηγματώσεις και μια εσωτερική συνεκτικά συνδεδεμένη με την επιφάνεια του μαρμάρου. Επιπλέον, δείχνει συνεκτικά συνδεδεμένη με την επιφάνεια του μαρμάρου και παρουσιάζει λεία επιφανειακή μορφολογία. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιοχές αυτές προστατεύονται από τη διαλυτική δράση της βροχής από υπερκείμενο γείσο. Η επιφανειακά εύθρυπτη κρούστα βρίσκεται στους πρώτους 20 πόντους κάτω από το γείσο, ενώ η πιο συνεκτική μορφή της αναπτύσσεται στους επόμενους 30 πόντους κάτω από το γείσο. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει ακριβώς ότι η συσσώρευση των μαύρων επικαθήσεων εξαρτάται από τη θέση της εξεταζόμενης επιφάνειας στο κτίριο [42].

Για τον καθαρισμό της εύθρυπτης φαιόμαυρης κρούστας δοκιμάστηκε μια σειρά από υλικά καθαρισμού (πάστες), με σκοπό τον προσδιορισμό της πιο συμβατής επέμβασης αποκατάστασης της επιφάνειας. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι πρόκειται για ένα πρόβλημα Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

Όλα τα δεδομένα είναι αποτέλεσμα μελέτης της Καθηγήτριας Ε.Μ.Π. κας Αντωνία Μοροπούλου και της Δρ. Κατερίνα Δελέγκου, ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π. και είναι

δημοσιευμένα [42, 43]. Για την επεξεργασία τους έχουν χρησιμοποιηθεί μοντέλα Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic), προσέγγιση διαφορετική από αυτή που επιχειρείται στην παρούσα εργασία. Αποτέλεσμα των συγκεκριμένων μελετών ήταν η πραγματοποίηση του καθαρισμού των μαρμάρων της Εθνικής Βιβλιοθήκης.

Η εκ νέου μελέτη, του προβλήματος από την προσέγγιση που ακολουθείται στην παρούσα μελέτη έχει αξία για τρεις λόγους. Πρώτον, λόγω της ρυπασμένης ατμόσφαιρας της Αθήνας, είναι σχεδόν βέβαιο ότι αντίστοιχη μορφή φθοράς θα επανεμφανιστεί στο μέλλον. Συνεπώς, είναι εξαιρετικά χρήσιμο να υπάρχει μεγαλύτερη βεβαιότητα αναφορικά με το ποια είναι η φυσικοχημικά πιο συμβατή επέμβαση καθαρισμού. Δεύτερον, εφόσον αποδειχτεί ότι η επιλογή που έχει πραγματοποιηθεί δεν είναι η βέλτιστη δυνατή, ενέργειες είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν για τον περιορισμό της φθοράς που θα προκαλέσει μια μη συμβατή επέμβαση. Τέλος, η επιβεβαίωση ή η διάψευση των συμπερασμάτων των προγενέστερων μελετών θα βελτιώσει τις γνώσεις που υπάρχουν σήμερα στο συγκεκριμένο πεδίο, ενώ ίσως αποτελέσει έναυσμα για περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες.

4.3. ΣΥΝΕΠΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ (CONSISTENT FAMILY OF CRITERIA)

Οι γενικότεροι στόχοι μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- Συμβατότητα υλικών επέμβασης και αυθεντικών υλικών.
- Αντιστρεψιμότητα επέμβασης (στο μέτρο του δυνατού).
- Αισθητική: χρώμα, γυαλάδα του υλικού μετά τον καθαρισμό.
- Φυσικοχημικές ιδιότητες του υλικού μετά τον καθαρισμό.
- Καλός καθαρισμός της επιφάνειας.
- Καλή εργασιμότητα υλικών επέμβασης.
- Αντοχή επέμβασης στο χρόνο.
- Χαμηλό κόστος επέμβασης.

Από τους παραπάνω στόχους, δεν θα αποτελέσουν όλοι τα κριτήρια του προβλήματος. Ειδικότερα, το κόστος της επέμβασης δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς πρόκειται για επέμβαση σε ένα μνημείο (άλλωστε το κόστος των εξεταζόμενων επεμβάσεων είναι της ίδιας τάξεως μεγέθους). Αντίστοιχα, η εργασιμότητα των υλικών επέμβασης δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς αντίστοιχα υλικά αποκατάστασης έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς κατά το παρελθόν.

Καθένα από τα υλικά τοποθετείται στην επιφάνεια, παραμένει κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να δράσει και εν συνεχεία απομακρύνεται. Πριν και μετά την εφαρμογή, προσδιορίζονται ορισμένες φυσικοχημικές παράμετροι, με σκοπό τον υπολογισμό της επίδρασης που έχουν τα υλικά καθαρισμού στην επιφάνεια. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα κριτήρια απόφασης [42, 43] θα είναι οι ακόλουθες φυσικοχημικές παράμετροι (Πίνακας 12):

1ο Κριτήριο Απόφασης (C₁): Πάχος γυψοποιημένης επιφάνειας. Μετρείται σε μm και προκύπτει από μετρήσεις με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με μικροανάλυση ακτινών X (SEM-EDS) EAM. Στόχος είναι τιμές όσο το δυνατόν πιο κοντά στο κέντρο του διαστήματος (2 – 30) μm. Αναλυτικότερα, μικρότερες τιμές δηλώνουν απώλεια του προστατευτικού στρώματος γύψου, με

συνέπεια την απώλεια αυθεντικού υλικού (ανεπιθύμητο) και μεγαλύτερες μη απομάκρυνση του γύψου (ανεπιθύμητο).

2ο Κριτήριο Απόφασης (Cr₂): Πυκνότητα ρηγματώσεων. Μετριέται σε % και προκύπτει από: ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, χρησιμοποιώντας εικόνες από SEM-EDX. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση.

3ο Κριτήριο Απόφασης (Cr₃): Λόγος πραγματικής / προβαλλόμενη επιφάνεια. Μετριέται σε mm² και προκύπτει από μετρήσεις με Laser Profilometer. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση.

4ο Κριτήριο Απόφασης (Cr₄): Τραχύτητα. Μετριέται σε mm. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση.

5ο Κριτήριο Απόφασης (Cr₅): Συνολική μεταβολή χρώματος, ΔΕ. Είναι καθαρός αριθμός και προκύπτει από: μετρήσεις με χρωματόμετρο. Ειδικότερα, προσδιορίζονται οι τιμές του χρώματος L, a και b της επιφάνειας πριν και μετά την επέμβαση, οπότε το ΔΕ προκύπτει από τη σχέση:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Στόχος είναι τιμές όσο το δυνατόν πιο κοντά στο κέντρο του διαστήματος (6 – 15). Αναλυτικότερα, μικρότερες τιμές δηλώνουν μη καθαρισμό της επιφάνειας (ανεπιθύμητο) και μεγαλύτερες απώλεια αυθεντικού υλικού (ανεπιθύμητο).

Πίνακας 12: Συνεπής οικογένεια κριτηρίων του προβλήματος.

Κριτήριο	Cr₁	Cr₂	Cr₃	Cr₄	Cr₅
Φυσικοχημική Παράμετρος	Πάχος γυψοποιημένης επιφάνειας	Πυκνότητα ρηγματώσεων	Λόγος πραγματικής / προβαλλόμενη επιφάνεια	Τραχύτητα	Συνολική μεταβολή χρώματος, ΔΕ
Στόχος	(2 – 30) μm	min	min	min	(6 – 15)

4.4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ (SET OF ALTERNATIVES)

Οι εναλλακτικές επιλογές [42, 43] είναι τα ακόλουθα εμπορικά σκευάσματα – υλικά καθαρισμού επιφανειών:

- Πάστα MORA
- Πάστα AB57
- Πάστα NC
- Πάστα Σηπιόλιθου
- Πάστα EDTA

Κάθε υλικό έχει έναν συγκεκριμένο ενδεδειγμένο χρόνο εφαρμογής. Παρ' όλα αυτά, η μεταβολή του χρόνου εφαρμογής προκαλεί διαφορετικά αποτελέσματα στην προς καθαρισμό επιφάνεια. Συνεπώς, δύο από τα παραπάνω υλικά επιλέγεται να εφαρμοστούν για δύο διαφορετικά χρονικά διαστήματα έκαστο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι εναλλακτικές επιλογές του προβλήματος είναι οι ακόλουθες φαίνονται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13: Οι εναλλακτικές επιλογές του προβλήματος.

Εναλλακτική Επιλογή	Υλικό Καθαρισμού	Χρόνος Εφαρμογής
P ₁	Πάστα MORA	2h
P ₂	Πάστα AB57	2h
P ₃	Πάστα NC	2h
P ₄	Πάστα Σηπιόλιθου	3,5h
P ₅	Πάστα AB57	1h
P ₆	Πάστα NC	1h
P ₇	Πάστα EDTA	1h

4.5. ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ – ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ

Συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν στις §3.6 – §4.4, προκύπτει ο πίνακας κριτηρίων – εναλλακτικών (Πίνακας 14), ο οποίος αποτελεί το αντικείμενο της επεξεργασίας που ακολουθεί (βλ. §5). Επισημαίνεται εκ νέου ότι τα δεδομένα είναι δημοσιευμένα [42, 43].

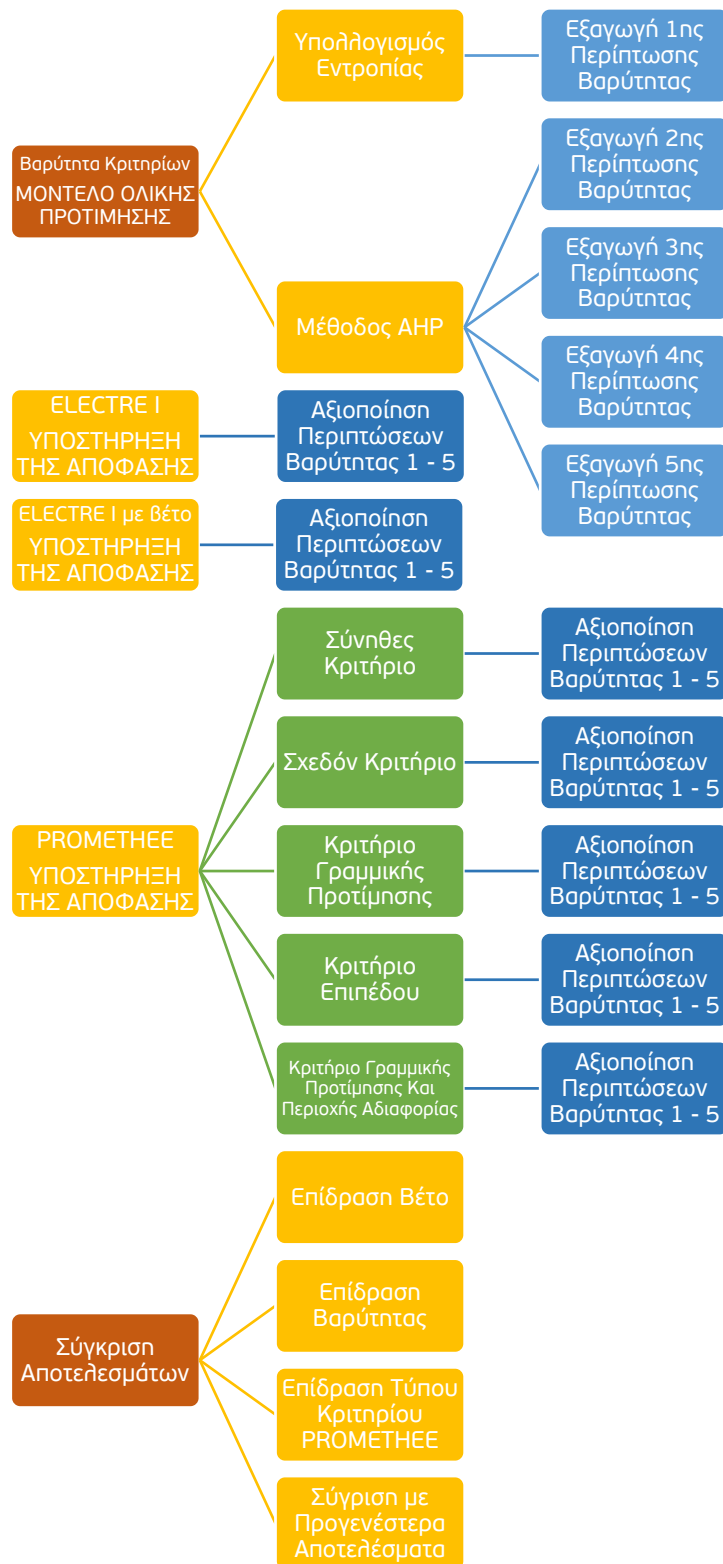
Πίνακας 14: Ο πίνακας κριτηρίων – εναλλακτικών του προβλήματος.

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
P₁	0,000	11,400	1,385	7,000	31,440
P₂	0,000	13,800	1,625	13,000	31,200
P₃	0,000	16,300	1,427	7,000	38,400
P₄	50,000	10,000	1,350	6,000	5,520
P₅	12,000	10,400	1,428	7,000	14,700
P₆	0,000	10,500	1,351	6,000	37,700
P₇	55,000	12,100	1,324	5,000	7,380

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρών κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή των μεθόδων ELECTRE I, με και χωρίς βέτο και PROMETHEE, με σκοπό την υποστήριξη της απόφασης του εξεταζόμενου προβλήματος. Όπως αναφέρθηκε (§3.3 και §3.5), η μέθοδος ELECTRE I απαντά σε προβλήματα επιλογής, ενώ η μέθοδος PROMETHEE απαντά σε προβλήματα κατάταξης. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος PROMETHEE χρησιμοποιείται για επιλογή, θεωρώντας ότι η εναλλακτική που επιλέγεται είναι εκείνη που κατατάσσεται ως καλύτερη.

Καθώς βιβλιογραφικά δεν προκύπτει κάποια συγκεκριμένη βαρύτητα των κριτηρίων που εξετάζονται, η βαρύτητα προκύπτει μέσω του υπολογισμού της εντροπίας (§5.1) και με εφαρμογή της μεθόδου AHP (§5.2). Κατά την εφαρμογή της μεθόδου AHP, μία σειρά από διαφορετικές ιεραρχίες εξετάζονται, από όπου θα προκύψουν οι περιπτώσεις βαρύτητας. Κάθε περίπτωση βαρύτητας εξετάζεται ξεχωριστά στις §5.3 – §5.5. Επιπλέον, κατά την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE (§5.5), διαφορετικοί τύποι κριτηρίων της μεθόδου εξετάζονται. Τέλος, εξετάζεται το εάν και κατά πόσο όλες οι διαφορετικές περιπτώσεις που περιεγραφήκαν επηρέασαν την υποστήριξη της απόφασης (§5.6.1 – §5.6.3) και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα προηγούμενων μελετών (§5.6.4). Το διάγραμμα ροής της παραπάνω διαδικασίας φαίνεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12: Διάγραμμα ροής της υπολογιστικής διαδικασίας που ακολουθείται στην παρούσα εργασία. Με κίτρινο χρώμα είναι σημειωμένες οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν, με μπλε ανοιχτό ο τρόπος εξαγωγής και με μπλε σκούρο τα σημεία εφαρμογής των περιπτώσεων βαρύτητας και με πράσινο χρώμα οι τύποι κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE που εφαρμόστηκαν.

5.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ (1η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ)

Η εντροπία κάθε κριτηρίου φαίνεται στον Πίνακα 15. Παρατηρείται ότι το κριτήριο C_{r1} έχει ιδιαίτερα χαμηλή εντροπία, το κριτήριο C_{r5} έχει υψηλή εντροπία, ενώ τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} έχουν πολύ υψηλή εντροπία. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια της εντροπίας, υπολογίζεται η 1η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων.

Πίνακας 15: Η 1η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, η οποία προκύπτει από τον υπολογισμό της εντροπίας τους, H .

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}
H	0,431609	0,993750	0,999015	0,984423	0,893778
Βαρύτητα κριτηρίων	0,814987	0,008961	0,001412	0,022334	0,152306

5.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΗΡ

5.2.1. 2Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Σε πρώτο στάδιο, επιλέγεται μία λίγο πιο επιεικής προσέγγιση από εκείνη που προκύπτει από την εντροπία των κριτηρίων (§5.1). Αναλυτικότερα, το κριτήριο C_{r1} λαμβάνει ισχυρή σημασία (ένταση 5) σε σχέση με τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} , ενώ λαμβάνει επίσης ασθενή σημασία (ένταση 2) σε σχέση με το κριτήριο C_{r5} . Αντίστοιχα, το κριτήριο C_{r5} λαμβάνει μέτρια σημασία (ένταση 3) σε σχέση με τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} . Τέλος, τα κριτήρια C_{r2} και C_{r4} κρίνονται ισοδύναμα μεταξύ τους (ένταση 1), ενώ λαμβάνουν ασθενή σημασία (ένταση 2) σε σχέση με το κριτήριο C_{r3} . Η εφαρμογή της μεθόδου ΑΗΡ στα παραπάνω δεδομένα οδηγεί στην εξαγωγή της 2ης περίπτωσης βαρύτητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 16. Τα μέτρα συνέπειας που προκύπτουν είναι κοντά στην τιμή 5, που αντιστοιχεί στο πλήθος των κριτηρίων. Ο δείκτης συνέπειας (σύμφωνα με τον Πίνακα 11 για αριθμό κριτηρίων $n = 5$ προκύπτει ότι $RI = 1,12$) προκύπτει ίσος με 0,018, τιμή που είναι, όπως αναμενόταν, πολύ κοντά στο 0.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονιστεί ότι η θεώρηση πως τα κριτήρια C_{r1} και C_{r5} είναι τα σημαντικότερα, η οποία υποδεικνύεται από την εντροπία τους, επιβεβαιώνεται και φυσικοχημικά. Πράγματι, τόσο το πάχος της γυψοποιημένης επιφάνειας (C_{r1}), όσο και η συνολική μεταβολή χρώματος, ΔE (C_{r5}) συνδέονται με την απώλεια αυθεντικού υλικού από το προς καθαρισμό μάρμαρο. Για παράδειγμα, μια υψηλή τιμή του ΔE δηλώνει υπερ-καθαρισμό της επιφάνειας, δηλαδή απομάκρυνση αυθεντικού υλικού. Στη θεωρία της προστασίας της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, η διατήρηση όσο το δυνατόν υψηλότερου ποσοστού αυθεντικού υλικού αποτελεί έναν εκ των κυριότερων στόχων των επιστημόνων. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, η επιβεβαίωση ότι η απώλεια αυθεντικού υλικού θα είναι μηδαμινή ή μηδενική, αποτελεί προϋπόθεση για την έγκριση της πραγματοποίησης μιας επέμβασης αποκατάστασης ενός μνημείου.

Πίνακας 16: Η 2η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, η οποία προκύπτει μέσω της μεθόδου ΑΗΡ. Φαίνεται επίσης η ένταση της σημασίας που έχει δοθεί σε κάθε κριτήριο, σε σχέση με κάθε άλλο.

	Cr_1	Cr_2	Cr_3	Cr_4	Cr_5	Βαρύτητα κριτηρίων	Μέτρο συνέπειας
Cr_1	1	5	5	5	2	0,462637	5,134204
Cr_2	0,2	1	2	1	0,333333	0,104579	5,048803
Cr_3	0,2	0,5	1	0,5	0,333333	0,070147	5,036205
Cr_4	0,2	1	2	1	0,333333	0,104579	5,048803
Cr_5	0,5	3	3	3	1	0,258059	5,143364

5.2.2. 3Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Σε δεύτερο στάδιο, επιλέγεται μία ακόμα πιο επιεικής προσέγγιση από εκείνη που εξετάζεται στην §5.2.1. Αναλυτικότερα, το κριτήριο C_{r1} λαμβάνει παραπάνω από μέτρια σημασία (ένταση 4) σε σχέση με τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} , ενώ κρίνεται ισοδύναμο (ένταση 1) σε σχέση με το κριτήριο C_{r5} . Αντίστοιχα, το κριτήριο C_{r5} λαμβάνει μέτρια σημασία (ένταση 3) σε σχέση με τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} . Τέλος, τα κριτήρια C_{r2} και C_{r4} κρίνονται ισοδύναμα μεταξύ τους (ένταση 1), ενώ λαμβάνουν ασθενή σημασία (ένταση 2) σε σχέση με το κριτήριο C_{r3} . Η εφαρμογή της μεθόδου AHP στα παραπάνω δεδομένα οδηγεί στην εξαγωγή της 3ης περίπτωσης βαρύτητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 17. Τα μέτρα συνέπειας που προκύπτουν είναι κοντά στην τιμή 5, που αντιστοιχεί στο πλήθος των κριτηρίων. Ο δείκτης συνέπειας (σύμφωνα με τον Πίνακα 11 για αριθμό κριτηρίων $n = 5$ προκύπτει ότι $RI = 1,12$) προκύπτει ίσος με 0,038, τιμή που είναι, όπως αναμενόταν, πολύ κοντά στο 0.

Πίνακας 17: Η 3η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, η οποία προκύπτει μέσω της μεθόδου AHP. Φαίνεται επίσης η ένταση της σημασίας που έχει δοθεί σε κάθε κριτήριο, σε σχέση με κάθε άλλο.

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}	Βαρύτητα κριτηρίων	Μέτρο συνέπειας
C_{r1}	1	4	4	4	1	0,374482	5,152257
C_{r2}	0,25	1	2	1	0,333333	0,115843	5,065397
C_{r3}	0,25	0,5	1	0,5	0,333333	0,078123	5,028241
C_{r4}	0,25	1	2	1	0,333333	0,115843	5,065397
C_{r5}	1	3	3	3	1	0,315710	5,130083

5.2.3. 4Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Σε τρίτο στάδιο, επιλέγεται μία επεικέστερη προσέγγιση από εκείνη που εξετάζεται στην §5.2.2. Αναλυτικότερα, το κριτήριο C_{r1} λαμβάνει παραπάνω από μέτρια σημασία (ένταση 4) σε σχέση με τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} , ενώ κρίνεται ισοδύναμο (ένταση 1) σε σχέση με το κριτήριο C_{r5} . Αντίστοιχα, το κριτήριο C_{r5} λαμβάνει μέτρια σημασία (ένταση 3) σε σχέση με τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} . Τέλος, τα κριτήρια C_{r2} , C_{r3} και C_{r4} κρίνονται ισοδύναμα μεταξύ τους (ένταση 1). Η εφαρμογή της μεθόδου AHP στα παραπάνω δεδομένα οδηγεί στην εξαγωγή της 4ης περίπτωσης βαρύτητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 18. Τα μέτρα συνέπειας που προκύπτουν είναι κοντά στην τιμή 5, που αντιστοιχεί στο πλήθος των κριτηρίων. Ο δείκτης συνέπειας (σύμφωνα με τον Πίνακα 11 για αριθμό κριτηρίων $n = 5$ προκύπτει ότι $RI = 1,12$) προκύπτει ίσος με 0,002, τιμή που είναι, όπως αναμενόταν, πολύ κοντά στο 0.

Πίνακας 18: Η 4η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, η οποία προκύπτει μέσω της μεθόδου AHP. Φαίνεται επίσης η ένταση της σημασίας που έχει δοθεί σε κάθε κριτήριο, σε σχέση με κάθε άλλο.

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}	Βαρύτητα κριτηρίων	Μέτρο συνέπειας
C_{r1}	1	4	4	4	1	0,379394	5,017565
C_{r2}	0,25	1	1	1	0,333333	0,100404	5,005024
C_{r3}	0,25	1	1	1	0,333333	0,100404	5,005024
C_{r4}	0,25	1	1	1	0,333333	0,100404	5,005024
C_{r5}	1	3	3	3	1	0,319394	5,017072

5.2.4. 5η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ)

Σε τέταρτο στάδιο επιλέγεται να εξεταστεί η περίπτωση κατά την οποία όλα τα κριτήρια είναι ισοδύναμα μεταξύ τους (ένταση 1). Η εφαρμογή της μεθόδου ΑΗΡ στα παραπάνω δεδομένα οδηγεί στην εξαγωγή της 5ης περίπτωσης βαρύτητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 19. Είναι προφανές ότι ήταν εκ των προτέρων γνωστή η τιμή της βαρύτητας κάθε κριτηρίου σε αυτήν την περίπτωση. Καθώς και τα 5 κριτήρια είναι ισοδύναμα μεταξύ τους, η κάθε βαρύτητα θα είναι ίση με $1/5 = 0,2$. Συνεπώς η χρήση της ΑΗΡ πραγματοποιείται μονάχα για επιβεβαίωση.

Πίνακας 19: Η 5η περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων, κατά την οποία όλα τα κριτήρια είναι ισοδύναμα μεταξύ τους.

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}	Βαρύτητα κριτηρίων	Μέτρο συνέπειας
C_{r1}	1	1	1	1	1	0,200000	5,000000
C_{r2}	1	1	1	1	1	0,200000	5,000000
C_{r3}	1	1	1	1	1	0,200000	5,000000
C_{r4}	1	1	1	1	1	0,200000	5,000000
C_{r5}	1	1	1	1	1	0,200000	5,000000

5.3. ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ELECTRE I

Σε αυτό το σημείο εφαρμόζεται η μέθοδος ELECTRE I, για καθεμία από τις 5 περιπτώσεις βαρύτητας. Τα αποτελέσματα των πινάκων συμφωνίας και ασυμφωνίας φαίνονται στους Πίνακες 20 έως 24. Υπενθυμίζεται ότι τα στοιχεία \hat{c} προκύπτουν από τον πίνακα συμφωνίας, τα στοιχεία \hat{d} προκύπτουν από τον πίνακα ασυμφωνίας, με $P S P'$ συμβολίζεται η σχέση υπεροχής της εναλλακτικής P έναντι της εναλλακτικής P' και με Π συμβολίζεται το σύνολο των εναλλακτικών που αποτελούν την προτεινόμενη λύση του προβλήματος. Τελικά, για κάθε περίπτωση βαρύτητας προκύπτουν οι σχέσεις υπεροχής που περιγράφονται στη συνέχεια.

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 20):

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_3, P_6 S P_3 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0,02: P_5 S P_4, P_1 S P_6 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_2, P_5, P_7\}$$

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0,11: P_2 S P_1 \text{ και } \Pi = \{P_2, P_5, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,8 \text{ και } \hat{d} = 0,13: P_3 S P_2, P_5 S P_7 \text{ και } \Pi = \{P_5\}$$

Συνεπώς, η εναλλακτική που προτείνονται είναι η P_5 .

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 21):

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_3, P_6 S P_3 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,9 \text{ και } \hat{d} = 0,22: P_5 S P_1 \text{ και } \Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,7 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_2 \text{ και } \Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,7 \text{ και } \hat{d} = 0,02: P_5 S P_4, P_2 S P_6 \text{ και } \Pi = \{P_5, P_7\}$$

Συνεπώς οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_5 και P_7 .

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 22):

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_3, P_6 S P_3 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,9 \text{ και } \hat{d} = 0,22: P_5 S P_1 \text{ και } \Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,7 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_2 \text{ και } \Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,7 \text{ και } \hat{d} = 0,02: P_5 S P_4, P_2 S P_6 \text{ και } \Pi = \{P_5, P_7\}$$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_5 και P_7 . Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα της 3ης περίπτωσης βαρύτητας είναι πανομοιότυπα με εκείνα της 2ης περίπτωσης βαρύτητας, λόγω της μικρής διαφοροποίησης στις βαρύτητες

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 23):

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_3, P_6 S P_3 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,9 \text{ και } \hat{d} = 0,22: P_5 S P_1 \text{ και } \Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,7 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_2 \text{ και } \Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,7 \text{ και } \hat{d} = 0,02: P_5 S P_4, P_2 S P_6 \text{ και } \Pi = \{P_5, P_7\}$$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_5 και P_7 .

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 24):

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_3, P_6 S P_3 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,8 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_2 \text{ και } \Pi = \{P_1, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,8 \text{ και } \hat{d} = 0,11: P_6 S P_1 \text{ και } \Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,6 \text{ και } \hat{d} = 0,09: P_7 S P_4 \text{ και } \Pi = \{P_5, P_6, P_7\}$$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_5 , P_6 και P_7 . Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (βλ. §3.3), η χρησιμοποίηση του $\hat{c} = 0,6$ δεν ενδείκνυται. Εδώ γίνεται μία παραδοχή και χρησιμοποιείται με επιφύλαξη, καθώς δίχως τη συγκεκριμένη παραδοχή οι εναλλακτικές που αποκλείονται είναι μόλις τρεις. Κατά συνέπεια, η εναλλακτική P_4 , η οποία αποκλείεται για $\hat{c} = 0,6$, ενδεχομένως να μπορεί επίσης να προταθεί. Το συμπέρασμα που εξάγεται από αυτήν την περίπτωση είναι ότι, όταν στο εξεταζόμενο πρόβλημα τα κριτήρια είναι ισοδύναμα, η μέθοδος ELECTRE I δεν είναι σε θέση να υποδείξει έναν μικρό αριθμό εναλλακτικών προς επιλογή.

Πίνακας 20: Ο πίνακας συμφωνίας (αριστερά) και ο πίνακας ασυμφωνίας (δεξιά) της μεθόδου ELECTRE I, για την 1η περίπτωση βαρύτητας.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,8	1	0,8	0	1	0,8
P_2	1		1	0,8	0	1	0,8
P_3	0,8	0,8		0,8	0	0,8	0,8
P_4	0,2	0,2	0,2		0	0,2	0,8
P_5	1	0,2	0,2	1		0,2	0,8
P_6	0,8	0,8	1	0,8	0		0,8
P_7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	0,47	0,30	0,02	0,44
P_2	0,11		0,11	0,47	0,30	0,13	0,43
P_3	0,13	0,13		0,60	0,43	0,11	0,56
P_4	0,91	0,91	0,91		0,69	0,91	0,03
P_5	0,22	0,22	0,22	0,02		0,22	0,13
P_6	0,11	0,12	0,00	0,59	0,42		0,55
P_7	1,00	1,00	1,00	0,09	0,78	1,00	

Πίνακας 21: Ο πίνακας συμφωνίας (αριστερά) και ο πίνακας ασυμφωνίας (δεξιά) της μεθόδου ELECTRE I, για τη 2η περίπτωση βαρύτητας.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,7	1	0,5	0,2	0,7	0,6
P_2	0,7		0,8	0,5	0	0,7	0,5
P_3	0,6	0,6		0,5	0,2	0,5	0,5
P_4	0,5	0,5	0,5		0,3	0,5	0,6
P_5	0,9	0,5	0,5	0,7		0,4	0,6
P_6	0,7	0,7	1	0,6	0,2		0,6
P_7	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	0,47	0,30	0,02	0,44
P_2	0,11		0,11	0,47	0,30	0,13	0,43
P_3	0,13	0,13		0,60	0,43	0,11	0,56
P_4	0,91	0,91	0,91		0,69	0,91	0,03
P_5	0,22	0,22	0,22	0,02		0,22	0,13
P_6	0,11	0,12	0,00	0,59	0,42		0,55
P_7	1,00	1,00	1,00	0,09	0,78	1,00	

Πίνακας 22: Ο πίνακας συμφωνίας (αριστερά) και ο πίνακας ασυμφωνίας (δεξιά) της μεθόδου ELECTRE I, για την 3η περίπτωση βαρύτητας.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,7	1	0,4	0,2	0,7	0,5
P_2	0,7		0,8	0,4	0	0,7	0,4
P_3	0,5	0,6		0,4	0,2	0,4	0,4
P_4	0,6	0,6	0,6		0,3	0,6	0,5
P_5	0,9	0,6	0,5	0,7		0,4	0,5
P_6	0,7	0,7	1	0,5	0,2		0,5
P_7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	0,47	0,30	0,02	0,44
P_2	0,11		0,11	0,47	0,30	0,13	0,43
P_3	0,13	0,13		0,60	0,43	0,11	0,56
P_4	0,91	0,91	0,91		0,69	0,91	0,03
P_5	0,22	0,22	0,22	0,02		0,22	0,13
P_6	0,11	0,12	0,00	0,59	0,42		0,55
P_7	1,00	1,00	1,00	0,09	0,78	1,00	

Πίνακας 23: Ο πίνακας συμφωνίας (αριστερά) και ο πίνακας ασυμφωνίας (δεξιά) της μεθόδου ELECTRE I, για την 4η περίπτωση βαρύτητας.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,7	1	0,4	0,2	0,7	0,5
P_2	0,7		0,8	0,4	0	0,7	0,4
P_3	0,5	0,6		0,4	0,2	0,4	0,4
P_4	0,6	0,6	0,6		0,3	0,6	0,5
P_5	0,9	0,6	0,5	0,7		0,4	0,5
P_6	0,7	0,7	1	0,5	0,2		0,5
P_7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	0,47	0,30	0,02	0,44
P_2	0,11		0,11	0,47	0,30	0,13	0,43
P_3	0,13	0,13		0,60	0,43	0,11	0,56
P_4	0,91	0,91	0,91		0,69	0,91	0,03
P_5	0,22	0,22	0,22	0,02		0,22	0,13
P_6	0,11	0,12	0,00	0,59	0,42		0,55
P_7	1,00	1,00	1,00	0,09	0,78	1,00	

Πίνακας 24: Ο πίνακας συμφωνίας (αριστερά) και ο πίνακας ασυμφωνίας (δεξιά) της μεθόδου ELECTRE I, για την 5η περίπτωση βαρύτητας.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,8	1	0,2	0,4	0,4	0,4
P_2	0,4		0,6	0,2	0	0,4	0,2
P_3	0,4	0,6		0,2	0,4	0,2	0,2
P_4	0,8	0,8	0,8		0,6	0,8	0,4
P_5	0,8	0,8	0,6	0,4		0,4	0,4
P_6	0,8	0,8	1	0,4	0,4		0,4
P_7	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	0,47	0,30	0,02	0,44
P_2	0,11		0,11	0,47	0,30	0,13	0,43
P_3	0,13	0,13		0,60	0,43	0,11	0,56
P_4	0,91	0,91	0,91		0,69	0,91	0,03
P_5	0,22	0,22	0,22	0,02		0,22	0,13
P_6	0,11	0,12	0,00	0,59	0,42		0,55
P_7	1,00	1,00	1,00	0,09	0,78	1,00	

5.4. ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ELECTRE I ΜΕ ΒΕΤΟ

Τα κατώφλια αδιαφορίας βέτο (veto) των κριτηρίων τίθενται όπως φαίνεται στον Πίνακα 25. Πιο συγκεκριμένα, στο C_{r1} επιλέγεται η μη χρησιμοποίηση βέτο, καθώς υπάρχει πολύ υψηλή διαφορά μεταξύ των επιδόσεων των εναλλακτικών και συνεπώς ένα χαμηλό βέτο δεν θα επηρέαζε το αποτέλεσμα, ενώ ένα υψηλό θα ακύρωνε το κριτήριο. Στο C_{r5} το βέτο τίθεται ίσο με 5, καθώς στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να διακρίνει μεταβολές χρώματος με τιμή $\Delta E \leq 5$. Στα υπόλοιπα κριτήρια τα βέτο τίθενται με στόχο να κριθούν ισοδύναμες εναλλακτικές με παραπλήσια επίδοση.

Πίνακας 25: Τα κατώφλια αδιαφορίας βέτο των κριτηρίων.

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}	C_{r4}	C_{r5}
Βέτο	-	1,2	0,1	1	5

Ο πίνακας ασυμφωνίας που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου φαίνεται στον Πίνακα 26. Υπενθυμίζεται ότι η χρήση βέτο δεν επηρεάζει τον πίνακα συμφωνίας και δεν επηρεάζεται από τις βαρύτητες των κριτηρίων. Συνεπώς, χρησιμοποιούνται οι πίνακες συμφωνίας που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο ELECTRE I χωρίς βέτο (Πίνακες 20 έως 24). Τελικά, για κάθε περίπτωση βαρύτητας προκύπτουν οι σχέσεις υπεροχής που περιγράφονται στη συνέχεια.

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 20 και Πίνακας 26):

$$\hat{c} = 1 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_3, P_5 S P_1, P_6 S P_3 \text{ και } \Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

$$\hat{c} = 0,8 \text{ και } \hat{d} = 0: P_1 S P_2 \text{ και } \Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_4, P_5, P_6 και P_7 .

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 21 και Πίνακας 26):

$\hat{c} = 1$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_3, P_6 S P_3$ και $\Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,9$ και $\hat{d} = 0$: $P_5 S P_1$ και $\Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,7$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_2$ και $\Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_4, P_5, P_6 και P_7 .

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 22 και Πίνακας 26):

$\hat{c} = 1$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_3, P_6 S P_3$ και $\Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,9$ και $\hat{d} = 0$: $P_5 S P_1$ και $\Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,7$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_2$ και $\Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,6$ και $\hat{d} = 0$: $P_4 S P_6$ και $\Pi = \{P_4, P_5, P_7\}$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_4, P_5 και P_7 .

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 23 και Πίνακας 26):

$\hat{c} = 1$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_3, P_6 S P_3$ και $\Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,9$ και $\hat{d} = 0$: $P_5 S P_1$ και $\Pi = \{P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,7$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_2$ και $\Pi = \{P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,6$ και $\hat{d} = 0$: $P_4 S P_6$ και $\Pi = \{P_4, P_5, P_7\}$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_4, P_5 και P_7 . Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (βλ. §3.3), η χρησιμοποίηση του $\hat{c} = 0,6$ δεν ενδείκνυται. Κατά συνέπεια, η εναλλακτική P_6 , η οποία αποκλείεται για $\hat{c} = 0,6$, ενδεχομένως να μπορεί επίσης να προταθεί.

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 24 και Πίνακας 26):

$\hat{c} = 1$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_3, P_6 S P_3$ και $\Pi = \{P_1, P_2, P_4, P_5, P_6, P_7\}$

$\hat{c} = 0,8$ και $\hat{d} = 0$: $P_1 S P_2, P_4 S P_1, P_4 S P_2, P_5 S P_1, P_5 S P_2, P_7 S P_1, P_7 S P_2, P_4 S P_6$ και $\Pi = \{P_4, P_5, P_7\}$

Συνεπώς, οι εναλλακτικές που προτείνονται είναι οι P_4, P_5 και P_7 .

Παρατηρείται ότι στην ουσία η εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I με βέτο έχει μονάχα περιορίσει τις εναλλακτικές και δεν έχει επιτευχθεί ο προσδιορισμός μιας ή έστω ενός μικρού αριθμού εναλλακτικών προς επιλογή. Ασφαλώς, ήταν πλήρως αναμενόμενο η εφαρμογή της ELECTRE I με βέτο να οδηγεί σε περισσότερες αποδεκτές εναλλακτικές σε σχέση με την ELECTRE I χωρίς βέτο, καθώς η χρήση των βέτο καθιστά ισοδύναμες ορισμένες από τις εναλλακτικές σε κάποια κριτήρια. Άλλωστε, υπενθυμίζεται ότι το κατώφλι αδιαφορίας βέτο δηλώνει ότι διαφορές της επίδοσης σε κάποιο κριτήριο ανάμεσα σε δύο εναλλακτικές μικρότερες από την τιμή του βέτο θεωρούνται αμελητέες.

Πίνακας 26: Ο πίνακας ασυμφωνίας της μεθόδου ELECTRE I με βέτο.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0	0	1	1	1	1
P_2	1		1	1	1	1	1
P_3	1	1		1	1	1	1
P_4	0	0	0		1	0	1
P_5	0	0	0	1		1	1
P_6	1	1	0	1	1		1
P_7	0	0	0	1	1	1	

5.5. ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROMETHEE

Για όλα τα κριτήρια του προβλήματος τίθενται οι παράμετροι q και p , όπως φαίνεται στον Πίνακα 27 με σκοπό τη χρησιμοποίησή τους σε όσους από τους τύπους κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE απαιτείται (Πίνακας 9). Η διαδικασία με την οποία έχουν τεθεί οι παράμετροι είναι όμοια με εκείνη που ακολουθήθηκε κατά την διαδικασία απόδοσης βέτο στη μέθοδο ELECTRE I με βέτο (§5.4). Έτσι στα Cr_2 , Cr_3 και Cr_5 το κατώφλι προτίμησης τίθεται ίσο με το βέτο. Αντίθετα, στο Cr_4 το κατώφλι αδιαφορίας τίθεται ίσο με το βέτο. Η άλλη παράμετρος τίθεται με στόχο να κριθούν ισοδύναμες εναλλακτικές με παραπλήσια επίδοση. Ένας επιπρόσθετος λόγος, για τον οποίο επιχειρήθηκε να διατηρηθούν όμοια όσο το δυνατόν περισσότερα κατώφλια, ανάμεσα στις μεθόδους ELECTRE I με βέτο και PROMETHEE, ήταν για να καταστεί αντικειμενικότερη η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 27: Οι τιμές των κατωφλίων αδιαφορίας, q και προτίμησης, p , της μεθόδου PROMETHEE, για τα κριτήρια του προβλήματος.

Κριτήριο	Cr_1	Cr_2	Cr_3	Cr_4	Cr_5
q	5	0,6	0,5	1	4
p	10	1,2	0,1	2	5

5.5.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΝΗΘΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ

Η σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας τη μέθοδο PROMETHEE για το σύννηθες κριτήριο, φαίνεται στον Πίνακα 28. Εν συνεχεία και για κάθε περίπτωση βάρους, υπολογίζονται οι παράμετροι Φ^+ , Φ^- και Φ , από όπου και προκύπτει η κατάταξη των εναλλακτικών (Πίνακες 29 έως 33). Οι κατατάξεις που προκύπτουν, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη, είναι οι ακόλουθες:

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 29):

$$P_5 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7$$

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 30):

$$P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 31):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 32):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 33):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

Πίνακας 28: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το σύνθηρες κριτήριο της μεθόδου PROMETHEE (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).

Cr_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_2	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_3	0,00	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00
P_4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	1,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00
P_6	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00		1,00
P_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	1,00
P_5	1,00	1,00	1,00	0,00		1,00	1,00
P_6	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00		1,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Cr_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

C_{r5}	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_2	1,00		1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	0,00
P_6	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Πίνακας 29: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθετο κριτήριο για την 1η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,03	0,16	0,81	0,00	0,15	0,82	1,9866	0,3311
P_2	0,15	0,00	0,16	0,81	0,00	0,15	0,81	2,0959	0,3493
P_3	0,00	0,02	0,00	0,81	0,00	0,00	0,81	1,6537	0,2756
P_4	0,19	0,19	0,19	0,00	0,00	0,16	0,82	1,5417	0,2569
P_5	0,98	1,00	0,98	0,97	0,00	0,98	0,82	5,7200	0,9533
P_6	0,03	0,03	0,19	0,81	0,00	0,00	0,82	1,8894	0,3149
P_7	0,18	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,00	1,0742	0,1790
Άθροισμα	1,5223	1,4592	1,8552	4,4033	0,1761	1,6196	4,9258		
$\Phi-$	0,2537	0,2432	0,3092	0,7339	0,0293	0,2699	0,8210		
Φ	0,0774	0,1061	-0,0336	-0,4769	0,9240	0,0450	-0,6419		

Πίνακας 30: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθετο κριτήριο για τη 2η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,28	0,43	0,46	0,00	0,26	0,57	2,0000	0,3333
P_2	0,26	0,00	0,36	0,46	0,00	0,26	0,46	1,8040	0,3007
P_3	0,00	0,17	0,00	0,46	0,00	0,00	0,46	1,1000	0,1833
P_4	0,54	0,54	0,54	0,00	0,00	0,43	0,57	2,6121	0,4353
P_5	0,83	1,00	0,83	0,72	0,00	0,83	0,57	4,7637	0,7940
P_6	0,28	0,28	0,54	0,46	0,00	0,00	0,57	2,1258	0,3543
P_7	0,43	0,54	0,54	0,43	0,43	0,43	0,00	2,8059	0,4676
Άθροισμα	2,3328	2,8081	3,2328	3,0040	0,4328	2,2070	3,1941		
$\Phi-$	0,3888	0,4680	0,5388	0,5007	0,0721	0,3678	0,5324		
Φ	-0,0555	-0,1673	-0,3555	-0,0653	0,7218	-0,0135	-0,0647		

Πίνακας 31: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθετο κριτήριο για την 3η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,31	0,51	0,37	0,00	0,32	0,49	2,0000	0,3333
P_2	0,32	0,00	0,43	0,37	0,00	0,32	0,37	1,8119	0,3020
P_3	0,00	0,19	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,9429	0,1572
P_4	0,63	0,63	0,63	0,00	0,00	0,51	0,49	2,8766	0,4794
P_5	0,81	1,00	0,81	0,69	0,00	0,81	0,49	4,5986	0,7664
P_6	0,31	0,31	0,63	0,37	0,00	0,00	0,49	2,1099	0,3517
P_7	0,51	0,63	0,63	0,51	0,51	0,51	0,00	3,2897	0,5483
Άθροισμα	2,5667	3,0646	3,6238	2,6978	0,5097	2,4568	2,7103		
$\Phi-$	0,4278	0,5108	0,6040	0,4496	0,0849	0,4095	0,4517		
Φ	-0,0945	-0,2088	-0,4468	0,0298	0,6815	-0,0578	0,0966		

Πίνακας 32: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθετο κριτήριο για την 4η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,30	0,52	0,38	0,00	0,32	0,48	2,0000	0,3333
P_2	0,32	0,00	0,42	0,38	0,00	0,32	0,38	1,8174	0,3029
P_3	0,00	0,20	0,00	0,38	0,00	0,00	0,38	0,9596	0,1599
P_4	0,62	0,62	0,62	0,00	0,00	0,52	0,48	2,8618	0,4770
P_5	0,80	1,00	0,80	0,70	0,00	0,80	0,48	4,5762	0,7627
P_6	0,30	0,30	0,62	0,38	0,00	0,00	0,48	2,0822	0,3470
P_7	0,52	0,62	0,62	0,52	0,52	0,52	0,00	3,3220	0,5537
Άθροισμα	2,5606	3,0444	3,6010	2,7366	0,5202	2,4784	2,6780		
$\Phi-$	0,4268	0,5074	0,6002	0,4561	0,0867	0,4131	0,4463		
Φ	-0,0934	-0,2045	-0,4402	0,0209	0,6760	-0,0660	0,1073		

Πίνακας 33: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σύνθετο κριτήριο για την 5η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,60	0,60	0,20	0,00	0,20	0,40	2,0000	0,3333
P_2	0,20	0,00	0,40	0,20	0,00	0,20	0,20	1,2000	0,2000
P_3	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,8000	0,1333
P_4	0,80	0,80	0,80	0,00	0,00	0,60	0,40	3,4000	0,5667
P_5	0,60	1,00	0,60	0,40	0,00	0,60	0,40	3,6000	0,6000
P_6	0,60	0,60	0,80	0,20	0,00	0,00	0,40	2,6000	0,4333
P_7	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,00	4,0000	0,6667
Άθροισμα	2,8000	4,2000	4,0000	1,8000	0,6000	2,2000	2,0000		
$\Phi-$	0,4667	0,7000	0,6667	0,3000	0,1000	0,3667	0,3333		
Φ	-0,1333	-0,5000	-0,5333	0,2667	0,5000	0,0667	0,3333		

5.5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΧΕΔΟΝ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ

Η σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας τη μέθοδο PROMETHEE για το σχεδόν κριτήριο, φαίνεται στον Πίνακα 34. Η τιμή του κατωφλίου αδιαφορίας, q , φαίνεται στον Πίνακα 27. Εν συνεχεία και για κάθε περίπτωση βάρους, υπολογίζονται οι παράμετροι $\Phi+$, $\Phi-$ και Φ , από όπου και προκύπτει η κατάταξη των εναλλακτικών (Πίνακες 35 έως 39). Οι κατατάξεις που προκύπτουν, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη, είναι οι ακόλουθες:

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 35):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4$$

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 36):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 37):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 38):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 39):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$$

Πίνακας 34: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο της μεθόδου PROMETHEE (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).

Cr_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_2	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_3	0,00	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00
P_4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00
P_6	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00		1,00
P_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	0,00	1,00
P_5	0,00	1,00	1,00	0,00		0,00	1,00
P_6	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00		1,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,00	1,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	

Cr_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,00	1,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	0,00
P_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Πίνακας 35: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 1η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,03	0,16	0,81	0,00	0,15	0,81	1,9763	0,3294
P_2	0,00	0,00	0,16	0,81	0,00	0,15	0,81	1,9435	0,3239
P_3	0,00	0,02	0,00	0,81	0,00	0,00	0,81	1,6537	0,2756
P_4	0,16	0,19	0,16	0,00	0,00	0,15	0,01	0,6688	0,1115
P_5	0,97	1,00	0,98	0,97	0,00	0,97	0,82	5,7021	0,9503
P_6	0,00	0,03	0,01	0,81	0,00	0,00	0,82	1,6806	0,2801
P_7	0,15	0,19	0,16	0,15	0,15	0,15	0,00	0,9583	0,1597
Άθροισμα	1,2809	1,4592	1,6317	4,3795	0,1537	1,5765	4,1018		
$\Phi-$	0,2135	0,2432	0,2719	0,7299	0,0256	0,2628	0,6836		
Φ	0,1159	0,0807	0,0037	-0,6185	0,9247	0,0173	-0,5239		

Πίνακας 36: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για τη 2η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,28	0,36	0,46	0,00	0,26	0,46	1,8253	0,3042
P_2	0,00	0,00	0,36	0,46	0,00	0,26	0,46	1,5460	0,2577
P_3	0,00	0,17	0,00	0,46	0,00	0,00	0,46	1,1000	0,1833
P_4	0,36	0,54	0,36	0,00	0,00	0,26	0,10	1,6253	0,2709
P_5	0,72	1,00	0,83	0,72	0,00	0,72	0,57	4,5546	0,7591
P_6	0,00	0,28	0,10	0,46	0,00	0,00	0,57	1,4137	0,2356
P_7	0,26	0,54	0,43	0,26	0,33	0,26	0,00	2,0725	0,3454
Άθροισμα	1,3414	2,8081	2,4506	2,8293	0,3282	1,7529	2,6269		
$\Phi-$	0,2236	0,4680	0,4084	0,4716	0,0547	0,2922	0,4378		
Φ	0,0806	-0,2103	-0,2251	-0,2007	0,7044	-0,0565	-0,0924		

Πίνακας 37: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 3η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,31	0,43	0,37	0,00	0,32	0,37	1,8060	0,3010
P_2	0,00	0,00	0,43	0,37	0,00	0,32	0,37	1,4962	0,2494
P_3	0,00	0,19	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,9429	0,1572
P_4	0,43	0,63	0,43	0,00	0,00	0,32	0,12	1,9202	0,3200
P_5	0,69	1,00	0,81	0,69	0,00	0,69	0,49	4,3669	0,7278
P_6	0,00	0,31	0,12	0,37	0,00	0,00	0,49	1,2905	0,2151
P_7	0,32	0,63	0,51	0,32	0,39	0,32	0,00	2,4762	0,4127
Άθροισμα	1,4375	3,0646	2,7262	2,5038	0,3938	1,9530	2,2199		
$\Phi-$	0,2396	0,5108	0,4544	0,4173	0,0656	0,3255	0,3700		
Φ	0,0614	-0,2614	-0,2972	-0,0973	0,6622	-0,1104	0,0427		

Πίνακας 38: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 4η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,30	0,42	0,38	0,00	0,32	0,38	1,7992	0,2999
P_2	0,00	0,00	0,42	0,38	0,00	0,32	0,38	1,4980	0,2497
P_3	0,00	0,20	0,00	0,38	0,00	0,00	0,38	0,9596	0,1599
P_4	0,42	0,62	0,42	0,00	0,00	0,32	0,10	1,8800	0,3133
P_5	0,70	1,00	0,80	0,70	0,00	0,70	0,48	4,3754	0,7292
P_6	0,00	0,30	0,10	0,38	0,00	0,00	0,48	1,2608	0,2101
P_7	0,32	0,62	0,52	0,32	0,42	0,32	0,00	2,5188	0,4198
Άθροισμα	1,4380	3,0444	2,6792	2,5358	0,4198	1,9764	2,1982		
$\Phi-$	0,2397	0,5074	0,4465	0,4226	0,0700	0,3294	0,3664		
Φ	0,0602	-0,2577	-0,2866	-0,1093	0,6593	-0,1193	0,0534		

Πίνακας 39: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο για την 5η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,60	0,40	0,20	0,00	0,20	0,20	1,6000	0,2667
P_2	0,00	0,00	0,40	0,20	0,00	0,20	0,20	1,0000	0,1667
P_3	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,8000	0,1333
P_4	0,40	0,80	0,40	0,00	0,00	0,20	0,20	2,0000	0,3333
P_5	0,40	1,00	0,60	0,40	0,00	0,40	0,40	3,2000	0,5333
P_6	0,00	0,60	0,20	0,20	0,00	0,00	0,40	1,4000	0,2333
P_7	0,20	0,80	0,60	0,20	0,40	0,20	0,00	2,4000	0,4000
Άθροισμα	1,0000	4,2000	2,6000	1,4000	0,4000	1,2000	1,6000		
$\Phi-$	0,1667	0,7000	0,4333	0,2333	0,0667	0,2000	0,2667		
Φ	0,1000	-0,5333	-0,3000	0,1000	0,4667	0,0333	0,1333		

5.5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗΣ

Η σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας τη μέθοδο PROMETHEE για το κριτήριο γραμμικής προτίμησης, φαίνεται στον Πίνακα 40. Η τιμή του κατωφλίου αδιαφορίας, q , φαίνεται στον Πίνακα 27. Εν συνεχεία και για κάθε περίπτωση βάρους, υπολογίζονται οι παράμετροι $\Phi+$, $\Phi-$ και Φ , από όπου και προκύπτει η κατάταξη των εναλλακτικών (Πίνακες 41 έως 45). Οι κατατάξεις που προκύπτουν, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη, είναι οι ακόλουθες:

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 41):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7$$

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 42):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 43):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 44):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 45):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$$

Πίνακας 40: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης της μεθόδου PROMETHEE (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).

Cr_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_2	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_3	0,00	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00
P_4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,50
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00
P_6	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00		1,00
P_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,58
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,33	0,42	1,00
P_5	0,83	1,00	1,00	0,00		0,08	1,00
P_6	0,75	1,00	1,00	0,00	0,00		1,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,42	0,00	0,43	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,01	0,00	0,00
P_4	0,35	1,00	0,77		0,78	0,01	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,34	1,00	0,76	0,00	0,77		0,00
P_7	0,61	1,00	1,00	0,26	1,00	0,27	

Cr_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,50	1,00	0,50		0,50	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,50	1,00	0,50	0,00	0,50		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	

Cr_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_2	0,05		1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	0,00
P_6	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Πίνακας 41: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 1η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,03	0,16	0,81	0,00	0,15	0,82	1,9827	0,3304
P_2	0,01	0,00	0,16	0,81	0,00	0,15	0,81	1,9509	0,3251
P_3	0,00	0,02	0,00	0,81	0,00	0,00	0,81	1,6537	0,2756
P_4	0,17	0,19	0,17	0,00	0,02	0,16	0,42	1,1192	0,1865
P_5	0,97	1,00	0,98	0,97	0,00	0,97	0,82	5,7103	0,9517
P_6	0,02	0,03	0,04	0,81	0,01	0,00	0,82	1,7448	0,2908
P_7	0,18	0,19	0,19	0,16	0,18	0,16	0,00	1,0493	0,1749
Άθροισμα	1,3489	1,4592	1,7004	4,3911	0,2042	1,5926	4,5145		
$\Phi-$	0,2248	0,2432	0,2834	0,7318	0,0340	0,2654	0,7524		
Φ	0,1056	0,0819	-0,0078	-0,5453	0,9177	0,0254	-0,5775		

Πίνακας 42: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για τη 2η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,28	0,39	0,46	0,03	0,26	0,52	1,9459	0,3243
P_2	0,01	0,00	0,36	0,46	0,00	0,26	0,46	1,5584	0,2597
P_3	0,00	0,17	0,00	0,46	0,00	0,00	0,46	1,1007	0,1835
P_4	0,44	0,54	0,47	0,00	0,14	0,30	0,34	2,2259	0,3710
P_5	0,81	1,00	0,83	0,72	0,00	0,73	0,57	4,6504	0,7751
P_6	0,15	0,28	0,25	0,46	0,11	0,00	0,57	1,8163	0,3027
P_7	0,41	0,54	0,54	0,33	0,43	0,33	0,00	2,5708	0,4285
Άθροισμα	1,8197	2,8081	2,8326	2,8998	0,7118	1,8772	2,9192		
$\Phi-$	0,3033	0,4680	0,4721	0,4833	0,1186	0,3129	0,4865		
Φ	0,0210	-0,2083	-0,2887	-0,1123	0,6564	-0,0101	-0,0581		

Πίνακας 43: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 3η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,31	0,46	0,37	0,03	0,32	0,44	1,9400	0,3233
P_2	0,02	0,00	0,43	0,37	0,00	0,32	0,37	1,5114	0,2519
P_3	0,00	0,19	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,9437	0,1573
P_4	0,52	0,63	0,55	0,00	0,16	0,36	0,30	2,5173	0,4195
P_5	0,79	1,00	0,81	0,69	0,00	0,70	0,49	4,4731	0,7455
P_6	0,17	0,31	0,28	0,37	0,12	0,00	0,49	1,7414	0,2902
P_7	0,48	0,63	0,63	0,39	0,51	0,39	0,00	3,0286	0,5048
Άθροισμα	1,9693	3,0646	3,1544	2,5821	0,8196	2,0907	2,4748		
$\Phi-$	0,3282	0,5108	0,5257	0,4303	0,1366	0,3485	0,4125		
Φ	-0,0049	-0,2589	-0,3685	-0,0108	0,6089	-0,0582	0,0923		

Πίνακας 44: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 4η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,30	0,46	0,38	0,04	0,32	0,44	1,9428	0,3238
P_2	0,02	0,00	0,42	0,38	0,00	0,32	0,38	1,5139	0,2523
P_3	0,00	0,20	0,00	0,38	0,00	0,00	0,38	0,9606	0,1601
P_4	0,51	0,62	0,55	0,00	0,16	0,36	0,29	2,4874	0,4146
P_5	0,78	1,00	0,80	0,70	0,00	0,71	0,48	4,4667	0,7445
P_6	0,16	0,30	0,27	0,38	0,13	0,00	0,48	1,7192	0,2865
P_7	0,48	0,62	0,62	0,40	0,52	0,40	0,00	3,0349	0,5058
Άθροισμα	1,9439	3,0444	3,1205	2,6121	0,8535	2,1049	2,4461		
$\Phi-$	0,3240	0,5074	0,5201	0,4353	0,1423	0,3508	0,4077		
Φ	-0,0002	-0,2551	-0,3600	-0,0208	0,6022	-0,0643	0,0981		

Πίνακας 45: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης για την 5η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,60	0,48	0,20	0,09	0,20	0,32	1,8867	0,3144
P_2	0,01	0,00	0,40	0,20	0,00	0,20	0,20	1,0096	0,1683
P_3	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,8020	0,1337
P_4	0,57	0,80	0,65	0,00	0,32	0,29	0,30	2,9320	0,4887
P_5	0,57	1,00	0,60	0,40	0,00	0,42	0,40	3,3833	0,5639
P_6	0,32	0,60	0,48	0,20	0,25	0,00	0,40	2,2520	0,3753
P_7	0,52	0,80	0,80	0,35	0,60	0,35	0,00	3,4280	0,5713
Άθροισμα	1,9863	4,2000	3,4180	1,5520	1,2647	1,4560	1,8167		
$\Phi-$	0,3310	0,7000	0,5697	0,2587	0,2108	0,2427	0,3028		
Φ	-0,0166	-0,5317	-0,4360	0,2300	0,3531	0,1327	0,2686		

5.5.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Η σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας τη μέθοδο PROMETHEE για το κριτήριο επιπέδου, φαίνεται στον Πίνακα 46. Η τιμή των κατωφλίων αδιαφορίας, q και προτίμησης, p , φαίνονται στον Πίνακα 27. Εν συνεχεία και για κάθε περίπτωση βάρους, υπολογίζονται οι παράμετροι Φ^+ , Φ^- και Φ , από όπου και προκύπτει η κατάταξη των εναλλακτικών (Πίνακες 47 έως 51). Οι κατατάξεις που προκύπτουν, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη, είναι οι ακόλουθες:

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 47):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7$$

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 48):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 49):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 50):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 51):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$$

Πίνακας 46: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου της μεθόδου PROMETHEE (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).

Cr_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_2	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_3	0,00	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00
P_4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,50
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00
P_6	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00		1,00
P_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	0,00	1,00
P_5	0,50	1,00	1,00	0,00		0,00	1,00
P_6	0,50	1,00	1,00	0,00	0,00		1,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,00	1,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	

Cr_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,50	1,00	0,50		0,50	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,50	1,00	0,50	0,00	0,50		0,00
P_7	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	

Cr_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	0,00
P_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Πίνακας 47: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 1η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_7$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα σ	$\Phi+$
P_1	0,00	0,03	0,16	0,81	0,00	0,15	0,82	1,9807	0,3301
P_2	0,00	0,00	0,16	0,81	0,00	0,15	0,81	1,9435	0,3239
P_3	0,00	0,02	0,00	0,81	0,00	0,00	0,81	1,6537	0,2756
P_4	0,17	0,19	0,17	0,00	0,01	0,15	0,42	1,1098	0,1850
P_5	0,97	1,00	0,98	0,97	0,00	0,97	0,82	5,7066	0,9511
P_6	0,02	0,03	0,02	0,81	0,01	0,00	0,82	1,7186	0,2864
P_7	0,16	0,19	0,17	0,16	0,16	0,16	0,00	1,0142	0,1690
Άθροισμα	1,3233	1,4592	1,6652	4,3907	0,1872	1,5877	4,5138		
$\Phi-$	0,2206	0,2432	0,2775	0,7318	0,0312	0,2646	0,7523		
Φ	0,1096	0,0807	-0,0019	-0,5468	0,9199	0,0218	-0,5833		

Πίνακας 48: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για τη 2η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_6 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,28	0,36	0,46	0,00	0,26	0,51	1,8776	0,3129
P_2	0,00	0,00	0,36	0,46	0,00	0,26	0,46	1,5460	0,2577
P_3	0,00	0,17	0,00	0,46	0,00	0,00	0,46	1,1000	0,1833
P_4	0,41	0,54	0,41	0,00	0,05	0,26	0,34	2,0135	0,3356
P_5	0,77	1,00	0,83	0,72	0,00	0,72	0,57	4,6069	0,7678
P_6	0,10	0,28	0,16	0,46	0,05	0,00	0,57	1,6229	0,2705
P_7	0,31	0,54	0,49	0,31	0,38	0,31	0,00	2,3340	0,3890
Άθροισμα	1,6028	2,8081	2,6074	2,8816	0,4851	1,8052	2,9105		
$\Phi-$	0,2671	0,4680	0,4346	0,4803	0,0808	0,3009	0,4851		
Φ	0,0458	-0,2103	-0,2512	-0,1447	0,6870	-0,0304	-0,0961		

Πίνακας 49: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 3η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,31	0,43	0,37	0,00	0,32	0,43	1,8640	0,3107
P_2	0,00	0,00	0,43	0,37	0,00	0,32	0,37	1,4962	0,2494
P_3	0,00	0,19	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,9429	0,1572
P_4	0,49	0,63	0,49	0,00	0,06	0,32	0,30	2,2812	0,3802
P_5	0,75	1,00	0,81	0,69	0,00	0,69	0,49	4,4249	0,7375
P_6	0,12	0,31	0,17	0,37	0,06	0,00	0,49	1,5221	0,2537
P_7	0,37	0,63	0,57	0,37	0,45	0,37	0,00	2,7658	0,4610
Άθροισμα	1,7271	3,0646	2,9000	2,5618	0,5676	2,0110	2,4651		
$\Phi-$	0,2878	0,5108	0,4833	0,4270	0,0946	0,3352	0,4109		
Φ	0,0228	-0,2614	-0,3262	-0,0468	0,6429	-0,0815	0,0501		

Πίνακας 50: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 4η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,30	0,42	0,38	0,00	0,32	0,43	1,8494	0,3082
P_2	0,00	0,00	0,42	0,38	0,00	0,32	0,38	1,4980	0,2497
P_3	0,00	0,20	0,00	0,38	0,00	0,00	0,38	0,9596	0,1599
P_4	0,47	0,62	0,47	0,00	0,05	0,32	0,29	2,2203	0,3701
P_5	0,75	1,00	0,80	0,70	0,00	0,70	0,48	4,4256	0,7376
P_6	0,10	0,30	0,15	0,38	0,05	0,00	0,48	1,4616	0,2436
P_7	0,37	0,62	0,57	0,37	0,47	0,37	0,00	2,7698	0,4616
Άθροισμα	1,6890	3,0444	2,8298	2,5860	0,5704	2,0266	2,4381		
$\Phi-$	0,2815	0,5074	0,4716	0,4310	0,0951	0,3378	0,4063		
Φ	0,0267	-0,2577	-0,3117	-0,0609	0,6425	-0,0942	0,0553		

Πίνακας 51: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου για την 5η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,60	0,40	0,20	0,00	0,20	0,30	1,7000	0,2833
P_2	0,00	0,00	0,40	0,20	0,00	0,20	0,20	1,0000	0,1667
P_3	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,8000	0,1333
P_4	0,50	0,80	0,50	0,00	0,10	0,20	0,30	2,4000	0,4000
P_5	0,50	1,00	0,60	0,40	0,00	0,40	0,40	3,3000	0,5500
P_6	0,20	0,60	0,30	0,20	0,10	0,00	0,40	1,8000	0,3000
P_7	0,30	0,80	0,70	0,30	0,50	0,30	0,00	2,9000	0,4833
Άθροισμα	1,5000	4,2000	2,9000	1,5000	0,7000	1,3000	1,8000		
$\Phi-$	0,2500	0,7000	0,4833	0,2500	0,1167	0,2167	0,3000		
Φ	0,0333	-0,5333	-0,3500	0,1500	0,4333	0,0833	0,1833		

5.5.5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΔΙΑΦΟΡΙΑΣ

Η σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας τη μέθοδο PROMETHEE για το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας, φαίνεται στον Πίνακα 52. Η τιμή των κατωφλίων αδιαφορίας, q και προτίμησης, p , φαίνονται στον Πίνακα 27. Εν συνεχεία και για κάθε περίπτωση βάρους, υπολογίζονται οι παράμετροι $\Phi+$, $\Phi-$ και Φ , από όπου και προκύπτει η κατάταξη των εναλλακτικών (Πίνακες 53 έως 57). Οι κατατάξεις που προκύπτουν, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη, είναι οι ακόλουθες:

1η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 53):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4$$

2η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 54):

$$P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_6 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

3η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 55):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

4η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 56):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$$

5η Περίπτωση Βαρύτητας (Πίνακας 57):

$$P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$$

Πίνακας 52: Σύγκριση των εναλλακτικών σε κάθε κριτήριο, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας της μεθόδου PROMETHEE (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).

Cr_1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_2	0,00		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
P_3	0,00	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00
P_4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00
P_6	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00		1,00
P_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,17
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	0,00	1,00
P_5	0,67	1,00	1,00	0,00		0,00	1,00
P_6	0,50	1,00	1,00	0,00	0,00		1,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

Cr_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,00	1,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	

Cr_4	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P_3	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	0,00	1,00	0,00		0,00	0,00	0,00
P_5	0,00	1,00	0,00	0,00		0,00	0,00
P_6	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	

Cr_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1		0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_2	0,00		1,00	0,00	0,00	1,00	0,00
P_3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
P_4	1,00	1,00	1,00		0,00	1,00	0,00
P_5	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	0,00
P_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
P_7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Πίνακας 53: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 1η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_3 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,03	0,16	0,81	0,00	0,15	0,82	1,9777	0,3296
P_2	0,00	0,00	0,16	0,81	0,00	0,15	0,81	1,9435	0,3239
P_3	0,00	0,02	0,00	0,81	0,00	0,00	0,81	1,6537	0,2756
P_4	0,16	0,19	0,16	0,00	0,00	0,15	0,01	0,6688	0,1115
P_5	0,97	1,00	0,98	0,97	0,00	0,97	0,82	5,7081	0,9513
P_6	0,00	0,03	0,01	0,81	0,00	0,00	0,82	1,6851	0,2808
P_7	0,17	0,19	0,19	0,15	0,18	0,15	0,00	1,0253	0,1709
Άθροισμα	1,3137	1,4592	1,6540	4,3795	0,1761	1,5765	4,1033		
$\Phi-$	0,2189	0,2432	0,2757	0,7299	0,0293	0,2628	0,6839		
Φ	0,1107	0,0807	-0,0001	-0,6185	0,9220	0,0181	-0,5130		

Πίνακας 54: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για τη 2η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_1 \rightarrow P_7 \rightarrow P_6 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,28	0,36	0,46	0,00	0,26	0,48	1,8427	0,3071
P_2	0,00	0,00	0,36	0,46	0,00	0,26	0,46	1,5460	0,2577
P_3	0,00	0,17	0,00	0,46	0,00	0,00	0,46	1,1000	0,1833
P_4	0,36	0,54	0,36	0,00	0,00	0,26	0,10	1,6253	0,2709
P_5	0,79	1,00	0,83	0,72	0,00	0,72	0,57	4,6243	0,7707
P_6	0,05	0,28	0,10	0,46	0,00	0,00	0,57	1,4660	0,2443
P_7	0,36	0,54	0,54	0,26	0,43	0,26	0,00	2,3863	0,3977
Άθροισμα	1,5680	2,8081	2,5551	2,8293	0,4328	1,7529	2,6444		
$\Phi-$	0,2613	0,4680	0,4259	0,4716	0,0721	0,2922	0,4407		
Φ	0,0458	-0,2103	-0,2425	-0,2007	0,6986	-0,0478	-0,0430		

Πίνακας 55: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 3η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,31	0,43	0,37	0,00	0,32	0,39	1,8253	0,3042
P_2	0,00	0,00	0,43	0,37	0,00	0,32	0,37	1,4962	0,2494
P_3	0,00	0,19	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,9429	0,1572
P_4	0,43	0,63	0,43	0,00	0,00	0,32	0,12	1,9202	0,3200
P_5	0,77	1,00	0,81	0,69	0,00	0,69	0,49	4,4442	0,7407
P_6	0,06	0,31	0,12	0,37	0,00	0,00	0,49	1,3484	0,2247
P_7	0,43	0,63	0,63	0,32	0,51	0,32	0,00	2,8237	0,4706
Άθροισμα	1,6884	3,0646	2,8421	2,5038	0,5097	1,9530	2,2392		
$\Phi-$	0,2814	0,5108	0,4737	0,4173	0,0849	0,3255	0,3732		
Φ	0,0228	-0,2614	-0,3165	-0,0973	0,6557	-0,1008	0,0974		

Πίνακας 56: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 4η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,30	0,42	0,38	0,00	0,32	0,40	1,8163	0,3027
P_2	0,00	0,00	0,42	0,38	0,00	0,32	0,38	1,4980	0,2497
P_3	0,00	0,20	0,00	0,38	0,00	0,00	0,38	0,9596	0,1599
P_4	0,42	0,62	0,42	0,00	0,00	0,32	0,10	1,8800	0,3133
P_5	0,77	1,00	0,80	0,70	0,00	0,70	0,48	4,4426	0,7404
P_6	0,05	0,30	0,10	0,38	0,00	0,00	0,48	1,3110	0,2185
P_7	0,42	0,62	0,62	0,32	0,52	0,32	0,00	2,8200	0,4700
Άθροισμα	1,6559	3,0444	2,7796	2,5358	0,5202	1,9764	2,2153		
$\Phi-$	0,2760	0,5074	0,4633	0,4226	0,0867	0,3294	0,3692		
Φ	0,0267	-0,2577	-0,3033	-0,1093	0,6537	-0,1109	0,1008		

Πίνακας 57: Εξαγωγή της παραμέτρου Φ της μεθόδου PROMETHEE, εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας για την 5η περίπτωση βαρύτητας. Η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	Άθροισμα	$\Phi+$
P_1	0,00	0,60	0,40	0,20	0,00	0,20	0,23	1,6333	0,2722
P_2	0,00	0,00	0,40	0,20	0,00	0,20	0,20	1,0000	0,1667
P_3	0,00	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,8000	0,1333
P_4	0,40	0,80	0,40	0,00	0,00	0,20	0,20	2,0000	0,3333
P_5	0,53	1,00	0,60	0,40	0,00	0,40	0,40	3,3333	0,5556
P_6	0,10	0,60	0,20	0,20	0,00	0,00	0,40	1,5000	0,2500
P_7	0,40	0,80	0,80	0,20	0,60	0,20	0,00	3,0000	0,5000
Άθροισμα	1,4333	4,2000	2,8000	1,4000	0,6000	1,2000	1,6333		
$\Phi-$	0,2389	0,7000	0,4667	0,2333	0,1000	0,2000	0,2722		
Φ	0,0333	-0,5333	-0,3333	0,1000	0,4556	0,0500	0,2278		

5.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.6.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΕΤΟ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ELECTRE I

Στον Πίνακα 58 φαίνεται η επίδραση του βέτο στα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE I, για κάθε περίπτωση βαρύτητας. Όπως προαναφέρθηκε (§5.4), η χρήση βέτο οδηγεί σε περισσότερες αποδεκτές εναλλακτικές, καθώς καθιστά ισοδύναμες ορισμένες από τις εναλλακτικές σε κάποια κριτήρια. Επιπλέον, παρατηρείται ότι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις οι εναλλακτικές που κρίνονται επιλέξιμες χωρίς τη χρήση βέτο, παραμένουν επιλέξιμες και μετά την εισαγωγή βέτο. Ακόμη, η εναλλακτική P₅ κρίνεται επιλέξιμη σε όλες τις περιπτώσεις βαρύτητας, με και χωρίς τη χρήση βέτο. Άρα η χρήση βέτο δεν επιδρά στην επιλογή ή μη της βέλτιστης (καθώς επιλέγεται σε όλες τις περιπτώσεις της μεθόδου ELECTRE I και της μεθόδου PROMETHEE) εναλλακτικής του προβλήματος.

Μπορεί, έτσι, να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι παρά το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση βέτο επιδρά στα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE I, εντούτοις δεν τα αλλοιώνει. Συνεπώς, καθώς πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα εξάγονται ακόμα και χωρίς το βέτο και καθώς η θέσπιση βέτο εμπεριέχει πάντοτε τον κίνδυνο τα κατώφλια να μην οριστούν αξιοκρατικά, ενώ απαιτεί και επιπλέον χρόνο, μπορεί να ειπωθεί ότι η χρήση βέτο κρίνεται περιττή.

Πίνακας 58: Οι εναλλακτικές επιλογές που κρίνονται επιλέξιμες μετά την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο, για κάθε περίπτωση βαρύτητας.

Περίπτωση Βαρύτητας	1η	2η	3η	4η	5η
ELECTRE I χωρίς Βέτο	P ₅	P ₅ , P ₇	P ₅ , P ₇	P ₅ , P ₇	P ₅ , P ₆ , P ₇ και ίσως P ₄
ELECTRE I με Βέτο	P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇	P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇	P ₄ , P ₅ P ₇	P ₄ , P ₅ , P ₇ και ίσως P ₆	P ₄ , P ₅ , P ₇

5.6.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της βαρύτητας των κριτηρίων στα αποτελέσματα των μεθόδων, πραγματοποιείται μία σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση βαρύτητας, όπως φαίνεται στους Πίνακες 59 έως 63. Στην περίπτωση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE και προκειμένου αυτά να καταστούν συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο, εξάγεται ένας μέσος όρος της κατάταξης που προκύπτει από τους διαφορετικούς τύπους κριτηρίου για κάθε τις περίπτωση βαρύτητας. Με άλλα λόγια, προκύπτει μία κατάταξη για κάθε περίπτωση βαρύτητας των κριτηρίων.

Η μεθοδολογία, με την οποία προκύπτει ο μέσος όρος της κατάταξης περιγράφεται στη συνέχεια. Εξετάζεται κάθε θέση της κατάταξης ξεχωριστά, ξεκινώντας από την 1η και καταλήγοντας στην 7η. Στην περίπτωση κατά την οποία μια θέση της κατάταξης καταλαμβάνεται από μία εναλλακτική περισσότερες φορές σε σχέση με κάθε άλλη εναλλακτική, τότε η συγκεκριμένη εναλλακτική καταλαμβάνει τη θέση. Για παράδειγμα, για την πρώτη περίπτωση βαρύτητας (Πίνακας 59) ο μέσος όρος της κατάταξης προκύπτει ως εξής:

- Θέση κατάταξης 1η: Η εναλλακτική P_5 καταλαμβάνει τη θέση και στις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_5 .
- Θέση κατάταξης 2η: Η εναλλακτική P_1 καταλαμβάνει τη θέση στις τέσσερις από τις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_1 .
- Θέση κατάταξης 3η: Η εναλλακτική P_2 καταλαμβάνει τη θέση στις τέσσερις από τις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_2 .
- Θέση κατάταξης 4η: Η εναλλακτική P_6 καταλαμβάνει τη θέση και στις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_6 .
- Θέση κατάταξης 5η: Η εναλλακτική P_3 καταλαμβάνει τη θέση και στις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_3 .

- Θέση κατάταξης 6n: Η εναλλακτική P₄ καταλαμβάνει τη θέση στις τρεις από τις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P₄.
- Θέση κατάταξης 7n: Η εναλλακτική P₇ καταλαμβάνει τη θέση στις τρεις από τις πέντε περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P₇.

Ομοίως προκύπτει ο μέσος όρος της κατάταξης της μεθόδου PROMTHEE και των υπολοίπων περιπτώσεων βαρύτητας.

Συγκρίνοντας το μέσο όρο των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMTHEE και τα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο, των πέντε περιπτώσεων βαρύτητας, μπορούν να διατυπωθούν ορισμένες παρατηρήσεις.

Την πρώτη θέση της κατάταξης της μεθόδου PROMTHEE καταλαμβάνει σε όλες τις περιπτώσεις βαρύτητας η εναλλακτική P₅. Μάλιστα, η συγκεκριμένη εναλλακτική κρίνεται επιλέξιμη σε όλες τις περιπτώσεις βαρύτητας από τη μέθοδο ELECTRE I, με και χωρίς βέτο. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε δύο συμπεράσματα. Πρώτον η εναλλακτική P₅ θα αποτελέσει, με σχετική βεβαιότητα, τη συμβουλή που θα δοθεί προς τον αποφασίζων. Δεύτερον, οι περιπτώσεις βαρύτητας οι οποίες απαιτούν τις λιγότερες δυνατές επιλογές, δηλαδή η 1n (καθώς ο αλγόριθμός της εντροπίας δεν απαιτεί να ερωτηθεί ο αποφασίζων αναφορικά με πόσο σημαντικό θεωρεί κάθε κριτήριο) και η 5n (καθώς τα κριτήρια τίθενται ισοδύναμα) οδηγούν σε εξίσου αξιόπιστα αποτελέσματα με τις υπόλοιπες τρεις περιπτώσεις βαρύτητας. Καθώς, όμως, η απόδοση βαρύτητας στα κριτήρια εμπιρεύει πάντοτε τον κίνδυνο να μην αποδοθεί αξιοκρατικά, αλλά και απαιτεί επιπλέον χρόνο, μπορεί να ειπωθεί ότι κρίνεται περιττή.

Τέλος, παρατηρείται ότι ο μέσος όρος της κατάταξης της μεθόδου PROMTHEE στην 3n και την 4n περίπτωση βαρύτητας είναι όμοιος. Συνεπώς η πολύ μικρή διαφοροποίηση της βαρύτητας των κριτηρίων δεν έχει επιρροή στο αποτέλεσμα της μεθόδου PROMTHEE.

Πίνακας 59: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 1ης περίπτωσης βαρύτητας.

ELECTRE I ELECTRE I με βέτο Θέση Κατάταξης PROMETHEE σύνηθες κριτήριο PROMETHEE σχεδόν κριτήριο PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης PROMETHEE κριτήριο επιπέδου PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας Μέσος Όρος Κατάταξης PROMETHEE	Επιλογή						
	P ₅						
	P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇						
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
P ₅	P ₂	P ₁	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇	
P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₇	P ₄	
P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇	
P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇	
P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₇	P ₄	
P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇	

Πίνακας 60: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 2ης περίπτωσης βαρύτητας.

ELECTRE I ELECTRE I με βέτο Θέση Κατάταξης PROMETHEE σύνηθες κριτήριο PROMETHEE σχεδόν κριτήριο PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης PROMETHEE κριτήριο επιπέδου PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας Μέσος Όρος Κατάταξης PROMETHEE	Επιλογή						
	P ₅ , P ₇						
	P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇						
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
P ₅	P ₆	P ₁	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃	
P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃	
P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃	
P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃	
P ₅	P ₁	P ₇	P ₆	P ₄	P ₂	P ₃	
P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃	

Πίνακας 61: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 3ης περίπτωσης βαρύτητας.

ELECTRE I ELECTRE I με βέτο Θέση Κατάταξης PROMETHEE σύνηθες κριτήριο PROMETHEE σχεδόν κριτήριο PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης PROMETHEE κριτήριο επιπέδου PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας Μέσος Όρος Κατάταξης PROMETHEE	Επιλογή						
	P ₅ , P ₇						
	P ₄ , P ₅ , P ₇						
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₁	P ₇	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃

Πίνακας 62: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 4ης περίπτωσης βαρύτητας.

ELECTRE I ELECTRE I με βέτο Θέση Κατάταξης PROMETHEE σύνηθες κριτήριο PROMETHEE σχεδόν κριτήριο PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης PROMETHEE κριτήριο επιπέδου PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας Μέσος Όρος Κατάταξης PROMETHEE	Επιλογή						
	P ₅ , P ₇						
	P ₄ , P ₅ , P ₇ και ίσως P ₆						
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₁	P ₇	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃

Πίνακας 63: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της 5ης περίπτωσης βαρύτητας.

ELECTRE I ELECTRE I με βέτο θέση Κατάταξης PROMETHEE σύνηθες κριτήριο PROMETHEE σχεδόν κριτήριο PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης PROMETHEE κριτήριο επιπέδου PROMETHEE κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας Μέσος Όρος Κατάταξης PROMETHEE	Επιλογή						
	P ₅ , P ₆ , P ₇ και ίσως P ₄						
	P ₄ , P ₅ , P ₇						
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃	
P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₃	P ₂	
P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂	
P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂	
P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂	
P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂	

5.6.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PROMETHEE

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της εφαρμογής των διαφορετικών τύπων κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE, εξάγεται ένας μέσος όρος της κατάταξης που προκύπτει από τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας σε κάθε τύπο κριτηρίου. Με άλλα λόγια, προκύπτει μία κατάταξη για κάθε τύπο κριτηρίου (Πίνακες 64 έως 68). Καθώς, όπως διαπιστώθηκε στην §5.6.3, οι περιπτώσεις βαρύτητας 3 και 4 οδηγούν στην εξαγωγή πανομοιότυπης κατάταξης, θεωρούνται ως μία περίπτωση, προκειμένου να είναι αντικειμενικότερος ο μέσος όρος που προκύπτει.

Η μεθοδολογία, με την οποία προκύπτει ο μέσος όρος της κατάταξης για κάθε τύπο κριτηρίου είναι όμοια με εκείνη που ακολουθήθηκε στην §5.6.2. Εφόσον προκύπτει ισοβαθμία, εξετάζονται οι υπόλοιπες θέσεις και απορρίπτεται η μία (ή περισσότερες) εκ των δύο (ή παραπάνω) εναλλακτικών που ισοβάθμισαν, εφόσον καταλαμβάνει μία από τις επόμενες θέσεις. Εφόσον δεν καθίσταται δυνατή η απόδοση θέσης, και οι 2 οι εναλλακτικές σημειώνονται. Για παράδειγμα, στο σύνθετο κριτήριο (Πίνακας 64) ο μέσος όρος της κατάταξης προκύπτει ως εξής:

- Θέση κατάταξης 1n: Η εναλλακτική P_5 καταλαμβάνει τη θέση και στις τέσσερις περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_5 .
- Θέση κατάταξης 2n: Η εναλλακτική P_7 καταλαμβάνει τη θέση στις τρεις από τις τέσσερις περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_7 .
- Θέση κατάταξης 3n: Οι εναλλακτικές P_1 και P_4 καταλαμβάνουν τη θέση από δύο φορές. Προκύπτει ισοβαθμία και η θέση παρακάμπτεται προς το παρόν.
- Θέση κατάταξης 4n: Η εναλλακτική P_6 καταλαμβάνει τη θέση στις τρεις από τις τέσσερις περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_6 .

- Θέση κατάταξης 5n: Η εναλλακτική P_1 καταλαμβάνει τη θέση στις δύο από τις τέσσερις περιπτώσεις. Οι εναλλακτικές P_3 και P_4 καταλαμβάνουν τη θέση από μία φορά. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_1 .
- Θέση κατάταξης 3n: Η εναλλακτική P_1 τοποθετήθηκε στη θέση 5. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_4 .
- Θέση κατάταξης 6n: Η εναλλακτική P_2 καταλαμβάνει τη θέση στις τρεις από τις τέσσερις περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_2 .
- Θέση κατάταξης 7n: Η εναλλακτική P_3 καταλαμβάνει τη θέση στις τρεις από τις τέσσερις περιπτώσεις. Συνεπώς τη θέση καταλαμβάνει η εναλλακτική P_3 .

Ομοίως προκύπτει ο μέσος όρος της κατάταξης και των υπολοίπων τύπων κριτηρίων.

Συγκρίνοντας τους μέσους όρους των πέντε περιπτώσεων κριτηρίων, παρατηρείται μια σχετική ομοιότητα των κατατάξεων. Πράγματι, με εξαίρεση το σχεδόν κριτήριο, τα αποτελέσματα των υπολοίπων τεσσάρων κριτηρίων συμφωνούν σε όλες τις θέσεις. Μοναδική διαφοροποίηση αποτελούν οι θέσεις 3 και 5 της κατάταξης, όπου μόνο τα αποτελέσματα του σύννηθες κριτηρίου καθιστούν σαφές ποια εναλλακτική τις καταλαμβάνει. Τα αποτελέσματα του σχεδόν κριτηρίου συμφωνούν με τα υπόλοιπα αποτελέσματα μόνο στις θέσεις 1, 6 και 7 της κατάταξης.

Συμπερασματικά, ο τύπος κριτηρίου της μεθόδου PROMETHEE δεν επηρεάζει σημαντικά την κατάταξη των εναλλακτικών. Δεδομένου, μάλιστα, του ότι η εφαρμογή του σύννηθες κριτηρίου απαιτεί λιγότερη πληροφορία και συνεπώς εμπεριέχει μικρότερο κίνδυνο σφάλματος, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι αρκεί η εφαρμογή του σύννηθες κριτηρίου.

Πίνακας 64: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το σύνηθες κριτήριο, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου.

Θέση Κατάταξης	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
1η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₂	P ₁	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇
2η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₆	P ₁	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃
3η & 4η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃
5η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃
Μέσος Όρος Κατάταξης	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃

Πίνακας 65: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το σχεδόν κριτήριο, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου.

Θέση Κατάταξης	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
1η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₇	P ₄
2η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃
3η & 4η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₇	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
5η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₃	P ₂
Μέσος Όρος Κατάταξης	P ₅	P ₁	P ₂	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃

Πίνακας 66: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου.

Θέση Κατάταξης	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
1η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇
2η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃
3η & 4η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
5η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂
Μέσος Όρος Κατάταξης	P ₅	P ₇	P ₁ ή P ₄	P ₆	P ₁ ή P ₄	P ₂	P ₃

Πίνακας 67: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το κριτήριο επιπέδου, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου.

Θέση Κατάταξης	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
1η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₄	P ₇
2η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₆	P ₇	P ₄	P ₂	P ₃
3η & 4η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
5η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂
Μέσος Όρος Κατάταξης	P ₅	P ₇	P ₁ ή P ₄	P ₆	P ₁ ή P ₄	P ₂	P ₃

Πίνακας 68: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου PROMETHEE εφαρμόζοντας το κριτήριο γραμμικής προτίμησης και περιοχής αδιαφορίας, για τις διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας και εξαγωγή του μέσου όρου.

Θέση Κατάταξης	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η
1η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₂	P ₆	P ₃	P ₇	P ₄
2η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₁	P ₇	P ₆	P ₄	P ₂	P ₃
3η & 4η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₃
5η Περίπτωση Βαρύτητας	P ₅	P ₇	P ₄	P ₆	P ₁	P ₃	P ₂
Μέσος Όρος Κατάταξης	P ₅	P ₇	P ₁ ή P ₄	P ₆	P ₁ ή P ₄	P ₂	P ₃

5.6.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΕΚΕΙΝΑ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Τα δεδομένα που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη, έχουν επεξεργαστεί στο παρελθόν με τη μεθοδολογία της Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic) από άλλους επιστήμονες [42, 43]. Συγκεκριμένα, για κάθε εναλλακτική επιλογή προκύπτει ένας συντελεστής CPI (Cleaning Performance Index). Όσο υψηλότερο είναι το CPI, τόσο πιο κατάλληλη προς επιλογή κρίνεται η εναλλακτική. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 69, η κατάταξη που προκύπτει, από την εναλλακτική που κρίνεται ως καλύτερη σε εκείνη που κρίνεται ως χειρότερη είναι: $P_5 \rightarrow P_7 \rightarrow P_4 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1$.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ταυτίζονται με εκείνα της Ασαφούς Λογικής στις πρώτες θέσεις της κατάταξης. Αναλυτικότερα, επιβεβαιώνεται ότι η βέλτιστη εναλλακτική προς επιλογή είναι η P_5 και αμέσως χειρότερη είναι η P_7 . Αντίθετα, αναντιστοιχίες παρατηρούνται στις υπόλοιπες θέσεις της κατάταξης. Παρά ταύτα, αντικείμενο της μελέτης ήταν η διατύπωση πρότασης αναφορικά με το ποια είναι η μοναδική εναλλακτική θα πρέπει να επιλεγεί. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας της Ασαφούς Λογικής επιβεβαιώνονται ικανοποιητικά από την παρούσα μελέτη.

Πίνακας 69: Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από προγενέστερες μελέτες, μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας της Ασαφούς Λογικής στα δεδομένα του προβλήματος [43].

Εναλλακτική Επιλογή	CPI
P_1	4,22
P_2	4,62
P_3	4,82
P_4	5,15
P_5	8,05
P_6	4,58
P_7	6,25

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κοινή συνισταμένη όλων των αποτελεσμάτων αποτελεί το γεγονός ότι η εναλλακτική επιλογή P₅ (πάστα AB57 για 1h) μπορεί να αποτελέσει τη συμβουλή που θα δοθεί προς τον αποφασίζων. Συγκεκριμένα, αποτελεί τη μοναδική εναλλακτική που η εφαρμογή όλων των μεθόδων και σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι επιλέξιμη (ELECTRE I, με και χωρίς βέτο) ή η βέλτιστη (PROMETHEE). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει πλήρως τους ισχυρισμούς των προγενέστερων μελετών.

Στην πλειοψηφία τους, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE συμφωνούν ότι θα μπορούσε να προταθεί η εναλλακτική επιλογή P₇ (πάστα EDTA για 1h). Η εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE επιβεβαιώνει τον ισχυρισμό, κατατάσσοντας την εναλλακτική P₇ ως αμέσως χειρότερη της εναλλακτικής P₅. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα προγενέστερων μελετών, σύμφωνα με τα οποία η εν λόγω εναλλακτική είναι η δεύτερη καλύτερη.

Ως αμέσως επόμενη εναλλακτική κατατάσσεται από την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE η εναλλακτική επιλογή P₁ (πάστα MORA για 2h). Αντίθετα, σε καμία περίπτωση τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο δε συμφωνούν ότι η εναλλακτική P₁ είναι επιλέξιμη. Στο σημείο αυτό παρατηρείται επίσης μία αναντιστοιχία τόσο των μεθόδων που εξετάστηκαν μεταξύ τους, όσο και με τις προγενέστερες μελέτες, σύμφωνα με τις οποίες η εναλλακτική P₁ είναι ξεκάθαρα η χειρότερη εναλλακτική επιλογή.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE I με βέτο, η εναλλακτική επιλογή P₄ (πάστα σπιδιόλιθου για 3,5h) θα μπορούσε να είναι επιλέξιμη. Αντίθετα, μόνο εφόσον τα κριτήρια θεωρηθούν ισοδύναμα, η εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE κατατάσσει την εναλλακτική P₄ στην τρίτη

θέση, δηλαδή πάνω από το μέσο όρο. Αντίστοιχα, μόνο εφόσον τα κριτήρια θεωρηθούν ισοδύναμα και με σημαντική επιφύλαξη, η εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I χωρίς βέτο καθιστά επιλέξιμη την εναλλακτική P₄. Στο σημείο αυτό παρατηρείται επίσης μία αναντιστοιχία τόσο των μεθόδων που εξετάστηκαν μεταξύ τους, όσο και με τις προγενέστερες μελέτες, σύμφωνα με τις οποίες την τρίτη θέση καταλαμβάνει σαφώς η εναλλακτική P₄.

Η εναλλακτική επιλογή P₆ (πάστα NC για 1h) κρίνεται ως επιλέξιμη μετά την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο σε ορισμένες μόνο από τις περιπτώσεις βαρύτητας που εξετάστηκαν. Η μέθοδος PROMETHEE την κατατάσσει τέταρτη, δηλαδή ακριβώς στη μέση της κατάταξης. Αντίθετα, στις προγενέστερες μελέτες κατατάσσεται ως δεύτερη από το τέλος.

Τέλος, οι εναλλακτικές επιλογές P₂ (πάστα AB57 για 2h) και P₃ (πάστα NC για 2h) δεν κρίνονται σε καμία περίπτωση επιλέξιμες μετά την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE με και χωρίς βέτο, ενώ η μέθοδος PROMETHEE τις κατατάσσει στις δύο τελευταίες θέσεις.

Παρά τις όποιες διαφορές στην κατάταξη, το αντικείμενο της μελέτης ήταν η διατύπωση πρότασης αναφορικά με το ποια είναι η μοναδική εναλλακτική θα πρέπει να επιλεγεί. Συνεπώς, είναι ελάχιστος σημασίας το ποια κατατάσσεται τρίτη, τέταρτη, κ.λπ., αλλά οι δύο πρώτες θέσεις: κυρίως η πρώτη, καθώς θα αποτελέσει την κυρίαρχη πρόταση, αλλά και η δεύτερη ως εναλλακτική της πρώτης (σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο ο αποφασίζων δεν επιθυμεί την υλοποίηση της πρώτης πρότασης). Στο πλαίσιο αυτό, η πρόταση που κατατίθεται προς τον αποφασίζων έχει ως εξής:

«Για τον καθαρισμό των περιοχών των μαρμάρων του ιστορικού κτιρίου της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος, στα σημεία εκείνα όπου δημιουργείται εύθρυπτη φαιόμαυρη κρούστα, με βάση τις εναλλακτικές επιλογές που δόθηκαν, τις κυρίαρχες σύγχρονες θεωρίες που διέπουν την προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομίας και τη μέχρι σήμερα επιστημονική γνώση αναφορικά με τις φυσικοχημικές παραμέτρους που αποτελούν τα κριτήρια απόφασης, αλλά και τα πλαίσια μέσα στα οποία

κρίνεται σκόπιμο να κυμαίνεται η βαρύτητα την οποία κάθε κριτήριο λαμβάνει, προτείνεται σαφώς η εφαρμογή πάστας AB57 για χρονικό διάστημα 1h. Εφόσον για τον οποιοδήποτε λόγο αποφασιστεί να μην ακολουθηθεί η παραπάνω πρόταση, προτείνεται εναλλακτικά, με ενδεχομένως, όμως, χειρότερα αποτελέσματα, η εφαρμογή πάστας EDTA για χρονικό διάστημα 1h.»

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου ELECTRE I, με και χωρίς βέτο, αποκαλύπτει ότι η χρησιμοποίηση των κατωφλίων βέτο επιδρά στα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE I, εντούτοις δεν τα αλλοιώνει. Αντίστοιχα, η σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών περιπτώσεων βαρύτητας αποκαλύπτει ότι η βαρύτητα των κριτηρίων δεν επηρεάζει την επιλογή των δύο βέλτιστων εναλλακτικών. Η θέσπιση κατωφλίων, αλλά και μοντέλων ολικής προτίμησης τα οποία απαιτούν τη λήψη αποφάσεων από τον αποφασίζων εμπεριέχει πάντοτε τον κίνδυνο η απόδοση βέτο και βαρύτητας να μη λάβει χώρα αξιοκρατικά, ενώ παράλληλα απαιτούν επιπλέον χρόνο. Συνεπώς, μπορεί να ειπωθεί ότι η χρήση βέτο κρίνεται περιττή, ενώ η χρησιμοποίηση του μοντέλου ολικής προτίμησης που βασίζεται στην εντροπία των κριτηρίων ή η θεώρηση των κριτηρίων ως ισοδύναμα κρίνονται επαρκείς για τις ανάγκες του εξεταζόμενου προβλήματος. Τέλος, ο τύπος κριτηρίου της μεθόδου PROMETHEE δεν επηρεάζει σημαντικά την κατάταξη των εναλλακτικών. Δεδομένου, μάλιστα, του ότι η εφαρμογή του σύνηθες κριτηρίου απαιτεί λιγότερη πληροφορία και συνεπώς εμπεριέχει μικρότερο κίνδυνο σφάλματος, μπορεί να ειπωθεί ότι στο συγκεκριμένο πρόβλημα η εφαρμογή του σύνηθες κριτηρίου κρίνεται επαρκής.

6.2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι επόμενες μελέτες που κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθούν, αφορούν την εφαρμογή επιπλέον μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης, για την επιβεβαίωση των συμπερασμάτων της παρούσας μελέτης. Ακόμη, διαφορετικές περιπτώσεις βαρύτητας μπορούν να εξεταστούν και διαφορετικά κατώφλια βέτο, προτίμησης και αδιαφορίας μπορούν να τεθούν. Παράλληλα, η μελέτη ενός μεγαλύτερου αριθμού υλικών καθαρισμού ίσως αποκαλύψει κάποιο καταλληλότερο. Επιπλέον, θα μπορούσε να διευρυνθεί η συνεπής οικογένεια κριτηρίων, μέσα από την εξέταση περισσότερων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας του μαρμάρου. Εξάλλου, η επανάληψη των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί θα επιβεβαιώσει την ορθή διεξαγωγή τους. Εξάλλου, η τακτή διεξαγωγή μετρήσεων θα αποκαλύψει την εξέλιξη του φαινομένου της φθοράς στο χρόνο και ενδέχεται να δημιουργήσει ανάγκη επαναπροσδιορισμού της φυσικοχημικά βέλτιστης επέμβασης αποκατάστασης. Προς αυτή την κατεύθυνση, όργανα τελευταίας τεχνολογίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν, προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τέλος, όλη η διαδικασία κρίνεται σκόπιμο να επαναληφθεί για όλους τους διαφορετικούς τύπους φθοράς που μία μαρμάρινη επιφάνεια μπορεί να εμφανίσει σε ένα μεγάλο δείγμα μνημείων σε όλον τον κόσμο.

Η συλλογή των συμπερασμάτων ενός μεγάλου εύρους περιπτώσεων, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, είναι δυνατόν να οδηγήσει στην δημιουργία ενός ολοκληρωμένου λογισμικού, που θα υποστηρίζει την διαδικασία επιλογής φυσικοχημικά συμβατού υλικού καθαρισμού κάθε μαρμάρινης επιφάνειας. Ασφαλώς, η χρηματοδότηση ενός τέτοιου εγχειρήματος μπορεί να γίνει από ευρωπαϊκούς πόρους, ενώ η υλοποίησή του απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση σε διεθνές επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο, ο καθαρισμός οποιασδήποτε μαρμάρινης επιφάνειας μνημείων όλου του κόσμου θα καταστεί γρήγορος και πιο οικονομικός, ενώ θα αποφεύγονται μη συμβατές επεμβάσεις καθαρισμού που οδηγούν σταδιακά στην αλλοίωση της παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αθανασίου, Κ. Δ. (2015). "Χαρακτηρισμός και διάγνωση της φθοράς των δομικών υλικών της εισόδου του Σουκ των Σέσια στη Μεδίνα της Τυνησίας (entrance of Souk des Chéchias of Medina of Tunis) με χρήση μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών." Μεταπτυχιακή Εργασία. Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [2] UNESCO, ICCROM, ICOMOS, IUCN (2013). "Managing Cultural World Heritage." United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.
- [3] ICOMOS (1964). "International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964)." Second International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964.
- [4] Phillips, A. (2003). "Turning ideas on their head: the new paradigm for protected areas." The George Wright Forum 20 No. 2: 8–32.
- [5] Μαΐστρου, Ε. (2014). "Εξέλιξη της Έννοιας του Μνημείου και των Αρχών της Αποκατάστασης". Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 1.1, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [6] Η' Αναθεωρητική Βουλή των Ελλήνων (2008). "Σύνταγμα της Ελλάδας." Αναθεώρηση βάση του Ψήφισματος της 27ης Μαΐου 2008.
- [7] Χατζοπούλου – Τζίκα, Α. (2014). "Ιστορική Εξέλιξη της Νομοθεσίας για την Προστασία της Αρχιτεκτονικής Κληρονομιάς." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 1.3, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

- [8] Κορρές, Μ. (2014). "Αρχιτεκτονική Κληρονομιά, από τον 2ο στον 21ο αι. Απολογισμός και Προοπτικές." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 1.1, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [9] Ashby, M. F., Jones, D. R. H. (1996). "Engineering Materials 1. An introduction to their Properties and Applications, 2nd Edition." Butterworth–Heinemann, Oxford, UK.
- [10] Μοροπούλου, Α. (2010). "Χαρακτηρισμός, Έλεγχος Ποιότητας, Διάγνωση Φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών – Μεθοδολογία Ενόργανων και μη Καταστρεπτικών Τεχνικών." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος Επιστήμη και Τεχνική των Υλικών, 7ο εξάμηνο Σχολής Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [11] Μοροπούλου, Α. (2014). "Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Διάγνωσης, Ανάλυσης και Χαρτογράφησης των Δομικών Υλικών και της Φθοράς στα Κτίρια." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 2.1, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [12] <https://www.draw.io> "draw.io." Διαδικτυακή εφαρμογή δημιουργίας διαγραμμάτων ροής. Ανακτήθηκε 20 Δεκεμβρίου 2015.
- [13] Μοροπούλου, Α. (2014). "Στρατηγικός Σχεδιασμός των Επεμβάσεων Συντήρησης σε Μνημεία, Βάση των Δεδομένων της Διάγνωσης και της Χαρτογράφησης της Φθοράς των Υλικών." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 2.2, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [14] Δημοσθένους, Α. Μ., Στυλιανίδης, Χ. Κ. (2000). "Κριτήρια επιλογής μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης μνημείων και παραδοσιακών κτιρίων από τοιχοποιία." Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Ήπιες επεμβάσεις για την προστασία ιστορικών κατασκευών, Θεσσαλονίκη: 445–461.

- [15] Θεοδωρίδης, Χ. Δ. (2006). "Συμβατά Υλικά και Μέθοδοι Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων." 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε., Ε.Τ.Ε.Κ., Αλεξανδρούπολη.
- [16] Rodrigues, D. J. (1996). "In the search for tentative recommendations regarding compatible restoration mortars." Proceedings of the 8th International congress on deterioration and conservation of stone, Vol. 3: 141–147.
- [17] Μοροπούλου, Α., Βακόλας, Α., Μουνδούλας, Ε., Αγγελακοπούλου, Ε., Αναγνωστοπούλου, Σ. (2005). "Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries." Cement & Concrete Composites 27: 289–294.
- [18] Μοροπούλου, Α. (2014). "Περιβαλλοντικά Αίτια – Φαινόμενα και Μηχανισμοί της Φθοράς – Σχέση Φθοράς και Παθολογίας." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 1.2, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [19] Μοροπούλου, Α., Μουνδούλας, Π. (2014). "Συμβατά και Επιτελεστικά Κονιάματα Αποκατάστασης." Διδακτικές Σημειώσεις Μαθήματος 1.2, Δ.Μ.Π.Σ. Προστασία Μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [20] Δούκας, Χ., Ξυδώνας, Π., Ψαρράς, Ι. (2015). "Πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων." Διδακτικές Σημειώσεις Δ.Μ.Π.Σ. Μ.Β.Α. Τεχνο-Οικονομικά Συστήματα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [21] Olson, D. (2007). "Evaluation of ERP outsourcing." Computers & Operations Research, Vol. 34: 3719–3720.
- [22] (Σίσκος, Ι., 2008. Μοντέλα αποφάσεων. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.)
- [23] Sfez, L. (1973). "Critique de la decision." Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, Paris.

- [24] Roy, B. (1997). "Une lacune en RO-AD: Les conclusions robustes." Cahier du LAMSADE 144, Université Paris-Dauphine, France.
- [25] Roy, B. Multiple. "Criteria Decision Analysis: Paradigms and Challenges."
- [26] Pardalos, P.M., Siskos, Y., Zopounidis, C. (1995). "Advances in Multicriteria Analysis." Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [27] Roy, B. (1985). "Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision." Economica, Paris.
- [28] Roy, B. (1996). "Multicriteria Methodology for Decision Aiding." Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [29] Δούμπος, Μ. (2000). "Πολυκριτήριες μέθοδοι ταξινόμησης και εφαρμογές στη χρηματοοικονομική."
- [30] Γαρίτος, Ζ. (2012). "Λήψη συλλογικών αποφάσεων με ασαφείς μεθόδους σχέσεων υπεροχής." Μεταπτυχιακή Εργασία. Π.Μ.Σ. Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής. Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- [31] Bouyssou, D. (2001). "Outranking Methods." Editors: Floudas, C. A., Pardalos, P. M. Encyclopedia of optimization, Kluwer.
- [32] Jaszkiwicz, A., Slowinski, R. "The light beam search: outranking based interactive procedure for multiple-objective mathematical programming."
- [33] Μαστρογιάννης, Ν. (2009). "Μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης γνώσης από δεδομένα με την χρήση αρχών της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων." Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [34] Figueira, J., Mousseau, V., Roy, B. (2005). "Electre Methods." Editors: Figueira, J., Greco, S., Ehrogott, M. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer: 133–153.

- [35] Roy, B. (1968). "Classement et choix en presence de points de vue multiples (la methode ELECTRE)." *Revue Informatique et Recherche Operationnelle* 8: 57–75
- [36] Roy, B. (1991). "The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods." *Theory and Decision* 31: 49–73.
- [37] Brans, J. P, Vincke, Ph., Mareschal, B. (1986) "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method." *European Journal of Operational Research* 24: 228–238.
- [38] Zeleny, M. (1982). "Multiple criteria decision making." McGraw Hill, New York.
- [39] Saaty, T. L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process." *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1.
- [40] <http://www.nlg.gr/el/node/7> "Ιστορικά Στοιχεία Εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος." Δικτυακός τόπος της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος. Ανακτήθηκε 20 Δεκεμβρίου 2015.
- [41] Normal document 20/85, ICR-CNR.
- [42] Δελέγκου, Κ. Θ. (2011). "Κριτήρια και μεθοδολογία αποτίμησης υλικών και στρατηγικός σχεδιασμός επεμβάσεων καθαρισμού σε μαρμάρινες επιφάνειες μνημείων." Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [43] Moropoulou, A., Delegou, E. T., Konstandinidou, M., Kiranoudis, C. (2008). "Decision Making about Cleaning Interventions on Marble Surfaces Using a Fuzzy Logic Approach." 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Istanbul, Turkey.